



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS Y BIOLÓGICAS  
“DR. IGNACIO CHÁVEZ”  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD

Tesis

Estudio de la coherencia frontotemporal de la actividad theta de adultos mayores sanos, durante una tarea de memoria visuoespacial incidental, en correlación con la eficiencia en la ejecución de dicha tarea.

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA SALUD

Presenta:  
Lic. en Psic. Ismael Díaz Cazares

Director de tesis:  
D.C. José Miguel Cervantes Alfaro

Codirectora:  
D.C. María Esther Olvera Cortés

Morelia, Michoacán. Agosto de 2024

La Maestría en Ciencias de la Salud de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo pertenece al Padrón de Posgrados de Excelencia CONAHCYT.

El estudiante de la División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez” Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Licenciado en Psicología

Ismael Díaz Cazares

Recibió beca del CONAHCYT durante la realización de las actividades académicas y la tesis correspondiente al programa de Maestría en Ciencias de la Salud.

Registro de becario

CONAHCYT

CVU: 732812

Nº. Becario: 812409

Dirección de Tesis

Doctor en Ciencias Biomédicas José Miguel Cervantes Alfaro.  
Profesor Investigador Titular C, TC.  
Laboratorio de Neurociencias, División de Estudio de Posgrado.  
Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez”  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Codirector de Tesis

Doctora en Ciencias del Comportamiento María Esther Olvera Cortés  
Investigadora Titular B  
Laboratorio de Fisiología Experimental  
Centro de Investigación Biomédica de Michoacán, IMSS

El Comité Tutorial designado por la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez”. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, aprobó la memoria de tesis que presentó:

Licenciado en Psicología: Ismael Díaz Cazares

Comité tutorial

Doctora en Ciencias Fisiológicas  
Bertha Fenton Navarro

Doctora en Ciencias Biomédicas  
Graciela María Eugenia Letechipía Vallejo

Doctora en Ciencias Especialidad en Farmacología  
Marcia Yvette Gauthereau Torres

La presente investigación se realizó en:

Laboratorio de Fisiología Experimental  
Centro de Investigación Biomédica de Michoacán del  
Instituto Mexicano del Seguro Social.

Laboratorio de Neurociencias, División de Estudio de Posgrado.  
Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez”  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

# ÍNDICE

1.	RESUMEN.....	8
2.	ABSTRACT .....	9
3.	INTRODUCCIÓN.....	10
4.	MARCO TEORICO.....	13
4.1.	Memoria .....	13
4.1.1.	Memoria de trabajo visuoespacial. ....	14
4.1.2.	Memoria declarativa.....	16
4.1.3.	Memoria intencional vs memoria incidental .....	16
4.2.	Envejecimiento sano y memoria. ....	17
4.2.1.	Envejecimiento y memoria declarativa.....	19
4.2.2.	Envejecimiento y memoria de trabajo visuoespacial .....	19
4.2.3.	Envejecimiento y memoria intencional e incidental. ....	20
4.3.	Envejecimiento sano, EEG y la actividad theta. ....	21
4.4.	La coherencia, el aprendizaje y memoria. ....	22
5.	JUSTIFICACIÓN.....	27
6.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	28
7.	HIPÓTESIS .....	28
8.	OBJETIVO GENERAL.....	28
9.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	28
10.	MÉTODO .....	29
Criterios de inclusión.....		29
Criterios de exclusión.....		29
Criterios de eliminación .....		30
Desarrollo de la prueba conductual.....		30
Definición de variables.....		34
Variables independientes.....		34
Variables Dependientes. Cuestionarios.....		34
Variables Dependientes. Prueba de aprendizaje y memoria visuoespacial incidental. ..		34
Variables Dependientes. Actividad eléctrica cerebral. ....		34
11.	ASPECTOS ÉTICOS.....	35
12.	RESULTADOS.....	36
13.	DISCUSIÓN.....	49

14.	CONCLUSIÓN .....	55
15.	REFERENCIA .....	56
16.	ANEXOS .....	67

## 1. RESUMEN

Entre las funciones cognitivas que pueden mostrar deterioro por la edad se encuentra la memoria declarativa episódica la cual requiere procesos de codificación de contenidos de información obtenidos de manera intencional y/o incidental, así como la comunicación y sincronización funcional entre varias estructuras cerebrales como la corteza prefrontal, frontal y temporal medial. En particular, se ha descrito que la codificación de la información visuoespacial adquirida de forma incidental parece ser más vulnerable y propensa al deterioro durante el envejecimiento que aquella codificada intencionalmente. El objetivo del presente estudio fue analizar la coherencia de la actividad theta frontotemporal intra- e interhemisférica (como indicador del acoplamiento funcional de regiones cerebrales) y la eficiencia en la ejecución de una tarea de memoria visuoespacial incidental en 43 adultos mayores sanos (50 a 85 años). Metodología, a cada uno de los participantes se registró la actividad EEG (sistema internacional 10 – 20) durante la ejecución de una tarea de aprendizaje y memoria visuoespacial que incluyó una etapa basal, una etapa de codificación de información incidental y una etapa de recuperación de dicha información. Resultados: los participantes se clasificaron de acuerdo con su eficiencia en la prueba de aprendizaje y memoria visuoespacial incidental dividiéndolos en dos grupos: eficientes (n = 13) (reconocimiento de 5 a 8 objetos) y no eficientes (n = 30) (reconocimiento de 0 a 4 objetos). La coherencia interhemisférica (F3 – F4), (F7 – F8) y (T3 – T4) e intrahemisférica del hemisferio izquierdo (Fp1 – F3) y (F3 y T5) del EEG en la banda theta es diferente entre los participantes eficientes y no eficientes durante la codificación incidental de la información visuoespacial con respecto al estado basal y de recuperación de la información, siendo mayor la coherencia en codificación en los participantes no eficientes. Los resultados muestran la asociación entre mayor coherencia interhemisférica y la poca eficiencia en la codificación de la memoria incidental, en contraste, con la ausencia de correlación interhemisférica para una codificación incidental eficiente.

Palabras clave: memoria visuoespacial, aprendizaje incidental, coherencia inter – intrahemisférica, actividad EEG Theta, envejecimiento.

## 2. ABSTRACT

Episodic declarative memory, which requires intentional and/or incidental, encoding and retrieval of information contents, as well as functional coupling between various brain structures, such as the prefrontal, frontal, and medial temporal cortex, may be deteriorated as progress of age took place. Specifically, it has been described that the encoding of visuospatial information incidentally acquired seems to be more vulnerable and prone to deterioration during aging than information intentionally encoded. The aim of the present study was to analyze the coherence of intra- and interhemispheric frontotemporal theta activity (as an indicator of the functional coupling of brain regions) and the efficiency in performing an incidental visuospatial memory task in 43 healthy older adults (aged 50 to 85 years). Methodology: EEG activity (international 10–20 system) was recorded from each participant during the execution of a visuospatial learning and memory task that included baseline, incidental information encoding, and information recovery stages. Results: Participants were classified according to their efficiency in the incidental visuospatial learning and memory test, into two groups: efficient (n = 13) (recognition of 5 to 8 objects) and inefficient (n = 30) (recognition of 0 to 4 objects). Interhemispheric coherence (F3–F4), (F7–F8), and (T3–T4) and intrahemispheric coherence of the left hemisphere (Fp1–F3) and (F3 and T5) in the theta frequency band of the EEG were different between efficient and inefficient participants during the incidental encoding of visuospatial information compared to the baseline and information retrieval stages, with greater coherence during encoding in inefficient participants. The results show the association between greater interhemispheric coherence and low efficiency in incidental memory encoding, in contrast to the absence of interhemispheric correlation for efficient incidental encoding.

### 3. INTRODUCCIÓN

El incremento de la esperanza de vida de la población ha dado lugar a nivel mundial a una proporción progresivamente creciente de individuos en proceso de envejecimiento, lo cual ha traído consigo repercusiones de tipo social, económico, político y de salud pública, en todos los países, especialmente en aquellos de ingresos bajos y medios. Se ha considerado que a nivel mundial cada segundo dos personas cumplen 60 años, lo cual implica, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) que entre el año 2000 y el año 2050, la población mundial de 60 años y más crecerá del 11% al 22% y aumentará a 1,400 millones para 2030, a 2,100 millones para 2050 y podría llegar a 3,200 millones en el 2100.

Las tendencias son similares en América Latina, se prevé que en el 2025 existan 100 millones de personas adultas (15%) y 183.7 millones (25%) para 2050. En México, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), actualmente habitan 17 millones de personas de 60 años o más (14% de la población) y se espera que en el 2030 esta población llegue a 20 millones.

El crecimiento de la población de adultos mayores es relevante, debido a que en el curso del envejecimiento pueden ocurrir cambios en las funciones cognitivas, principalmente en acciones que requieren de funciones ejecutivas, memoria operativa, flexibilidad cognitiva y atención dividida o selectiva (Abizanda, 2015). En este sentido, de acuerdo con los datos proporcionados por la OMS, a nivel mundial, más del 20% de las personas mayores de 60 años de edad sufren algún trastorno cognoscitivo, aunque tienden a preservarse la capacidad de concentración, la memoria sobre hechos, el conocimiento de palabras, conceptos, la memoria procedimental, el lenguaje, la comprensión, la capacidad de lectura y el vocabulario. En estas condiciones el deterioro de las funciones cognitivas asociados al avance de la edad puede ser un factor que contribuya a la pérdida de la funcionalidad, autonomía e independencia del adulto mayor (Abizanda, 2015).

Los estudios sobre las funciones cognitivas durante el envejecimiento muestran que a medida que los adultos sanos envejecen, se tiene más dificultades para situar acontecimientos pasados en tiempo y lugar (Friedman, 2000). De hecho, entre los aspectos cognoscitivos que pueden verse deteriorados en el envejecimiento se encuentra la memoria declarativa episódica la cual se define como la habilidad para recordar episodios autobiográficos y hechos complejos en un tiempo y espacio preciso y requiere para la

codificación exitosa de sus contenidos, la comunicación y sincronización funcional entre varias estructuras cerebrales como el lóbulo temporal medial, el hipocampo y la corteza prefrontal (Squire, 1987). En este tipo de memoria, la información es codificada mediante un procesamiento incidental, es decir, no existe un intento activo para codificar y recordar la información.

La memoria declarativa episódica se ha definido como la capacidad para recordar episodios autobiográficos y hechos complejos (Squire, 1987) en el tiempo y espacio preciso; para ello la codificación exitosa de la información depende en sus etapas iniciales de las estructuras del lóbulo temporal medial incluyendo el hipocampo y la corteza prefrontal, las cuales, para este propósito, deben estar sincronizadas funcionalmente a través de sus conexiones neuronales. Así es posible que gran parte del aprendizaje de lo que ocurre en el entorno se lleve a cabo mediante el procesamiento incidental, aún sin tener inicialmente la intención de codificar y recordar la información (Brewer & Treynens, 1981). En diversas tareas diseñadas para el estudio de la memoria declarativa se ha evaluado la memoria episódica de tipo incidental en comparación con la memoria de tipo intencional mediante la manipulación de las instrucciones que se dan a los sujetos en el estudio, en las que se advierte para el caso de la memoria intencional, que se someterán a pruebas donde se evaluará la capacidad de retener la información presentada. Así, cuando la información ha sido adquirida incidentalmente se ha observado un marcado deterioro en la eficiencia de la ejecución de la tarea en adultos mayores al igual que la información visuoespacial de objetos y posiciones asociadas (Klimesch et al., 2001; Bastiaansen et al., 2002).

En los adultos mayores se ha observado un declive en la memoria episódica (Allegri & Anterion, 1997) y también en la memoria de trabajo en condiciones que implican el procesamiento simultáneo de varios ítems de información (Baddeley, 2010), en ocasiones asociado con: perseveración, impulsividad, juicio pobre y dificultad en la recuperación en el ordenamiento temporal de los recuerdos (Schoenbaum et al., 2002).

Se sabe que el rendimiento cognitivo se sustenta en el establecimiento de redes en las que participan y funcionan de manera conjunta distintas regiones cerebrales (Hogan et al., 2003), en relación con los procesos de memoria, los estudios realizados en seres humanos sanos han mostrado que el funcionamiento conjunto de diversas estructuras cerebrales para el mismo propósito puede identificarse mediante el registro simultáneo de la actividad

eléctrica cerebral en donde las relaciones funcionales entre las estructuras pueden expresarse por la adopción de actividad eléctrica con características semejantes y coincidencia en el tiempo. Este es el caso de las oscilaciones de la actividad theta que se registran simultáneamente en distintas regiones cerebrales durante tareas de aprendizaje y memoria y que expresan la participación conjunta de las diferentes estructuras en la codificación y la recuperación de la información para el aprendizaje y la memoria (Min Park et al., 2022). En este sentido, se sabe que la coherencia del EEG refleja la conectividad funcional y las interacciones entre las redes neuronales y estructuras cerebrales (Hogan et al., 2003 & Breakspear, 2002). La coherencia del EEG puede interpretarse como una medida cuantitativa del grado de conectividad entre distintas regiones cerebrales, y se considera que una mayor coherencia indica una mayor vinculación funcional entre las distintas regiones.

El objetivo del presente estudio es analizar la coherencia intra- e interhemisférica durante una tarea de memoria visuoespacial incidental en adultos mayores sanos para analizar la posible relación entre los cambios de la coherencia intra- e interhemisférica con el grado de eficiencia individual en una tarea de aprendizaje y memoria visuoespacial incidental.

Los resultados del estudio podrían ser tomados en cuenta ante la perspectiva de identificar, a través del análisis de las características de la actividad theta, de manera temprana cambios en el procesamiento de la información que pudieran estar asociados al inicio o al grado de deterioro cognoscitivo en seres humanos durante el proceso de envejecimiento

#### 4. MARCO TEORICO

En el presente estudio, cuyo tema central es el análisis del desempeño de tareas cognoscitivas basadas en el procesamiento de la información incidental en adultos mayores sanos, es importante revisar algunos aspectos relevantes de las funciones cognoscitivas.

##### 4.1. Memoria

La memoria se define como la capacidad de almacenar y recuperar información (Zlotnik & Vansintjan, 2019). Para su conformación la memoria consta de tres procesos: la codificación, el almacenamiento y la recuperación de la información (Wilson et al., 2018), que se han definido de la siguiente manera:

- a) Codificación: hace referencia a la etapa inicial, en la que la información codificada que llega al cerebro a partir de la actividad de los sistemas sensoriales da lugar a procesos neurofisiológicos que dan por resultado la generación de nuevos códigos de información, en estructuras tales como el hipocampo, que pueden ser almacenados en la memoria.
- b) Almacenamiento: conjunto de procesos que dan como resultado la formación de acervos de la información previamente codificada.
- c) Recuperación: es el proceso que permite acceder a la información almacenada y convertirla en elementos de representación en el ámbito de los procesos conscientes (Paller, 2004).

Desde los últimos años del Siglo XIX, se propuso que el almacenamiento de los códigos de información podría deberse a cambios en las conexiones de los circuitos neuronales en estructuras cerebrales específicas (Ramón y Cajal, 1894). Así, a partir de la percepción de estímulos sensoriales, la codificación de la información surge a través de cambios en la fuerza de las conexiones entre las neuronas, lo que daría por resultado la formación de un rastro de información dentro de las redes neurales (Tononi & Cirelli, 2014). En este sentido, se ha descrito (Frankland & Bontempi, 2005) que el fortalecimiento de las conexiones neuronales, entre el hipocampo y la neocorteza, durante la codificación y almacenamiento de la información, favorece la transferencia de información entre ambas estructuras y la formación de trazos de memoria que puede ser evocada en forma independiente. En cuanto a la recuperación de la información, las señales disponibles en un momento dado constituyen el factor más importante que determina la accesibilidad de la memoria y la evocación exitosa de los recuerdos (Frankland et al., 2019).

La evocación de la memoria puede dar lugar a modificaciones de la información previamente almacenada, la cual puede fortalecerse, debilitarse o mantenerse sin cambios (Bermúdez & McGaugh, 2017; Morgado, 2005). Sin embargo, la evocación de los recuerdos puede convertir a los trazos de memoria en información estable y duradera (Dudai, 2004). Los hallazgos de los estudios en los que se ha relacionado la activación de estructuras cerebrales específicas (mediante resonancia magnética funcional, con la codificación de la información y la memoria, sugieren que las regiones del lóbulo temporal medial son más activas durante la codificación, mientras que las regiones frontales están involucradas preferentemente en los procesos de recuperación de la información (Schacter & Wagner, 1999). En este sentido, el deterioro de las funciones cognitivas observado en los adultos mayores estaría relacionado con alteraciones de los lóbulos frontal y temporal (Rhodes & Kelley, 2005).

La memoria se divide en dos categorías de acuerdo con el tiempo en que la información permanece almacenada: la memoria a corto plazo y la memoria a largo plazo. Así mismo, la naturaleza de la información en la memoria de largo plazo sustenta la subdivisión de la memoria en las siguientes categorías: la memoria declarativa (explícita) y no declarativa (implícita), la memoria declarativa se subdivide en memoria semántica (hechos) y memoria episódica (eventos autobiográficos); mientras que en la memoria no declarativa se encuentran la memoria procedimental (habilidades), y la memoria asociativa (condicionamiento) (Schacter y Tulving, 1994). Respecto a la memoria de corto plazo, esta se refiere al mantenimiento de información por un periodo corto de tiempo.

#### 4.1.1. Memoria de trabajo visuoespacial.

La memoria de trabajo es un sistema neurocognitivo que retiene temporalmente la información necesaria para lograr objetivos específicos futuros. Esto se evidencia, por ejemplo, en el mantenimiento de la información en la mente durante la realización de tareas complejas como el razonamiento, la comprensión y el aprendizaje (Baddeley, 2010). En un estudio reciente, Trutti y colaboradores (2021) sugirieron que la memoria de trabajo implica procesos continuos de actualización, activación y eliminación de información, con el único propósito de ocupar datos relevantes que faciliten el cumplimiento de tareas esenciales.

En la memoria de trabajo, se ha observado una mayor interacción entre las redes fronto-temporales y parietales en comparación con el estado de reposo o la mera percepción sensorial (Sarnthein et al., 1998). El aumento en la cantidad de elementos que deben ser

codificados y almacenados se ha asociado con un incremento en la conectividad theta tanto entre las regiones frontales y temporo-parietales como entre las regiones temporo-occipitales (Sauseng & Klimesch, 2008; Sauseng et al., 2005).

La memoria de trabajo visuoespacial se define como es un sistema cognitivo encargado de codificar, almacenar y recuperar temporalmente la información visual y espacial necesaria para identificar las características de los objetos en el espacio (Baddeley 1992). Este tipo de memoria se sustenta en el procesamiento de la información generada por no más de 3 a 5 elementos del entorno (Muthukrishnan et al., 2020); de hecho, se reconoce que la capacidad de manejo de información se la memoria de trabajo es limitada. Esta limitación se refleja en una disminución de la eficiencia para llevar a cabo tareas de aprendizaje y memoria visuoespacial incidental cuando las cargas de información para la memoria son elevadas (Cowan, 2001; Todd & Marois, 2004; Xu y Chun, 2006).

Por otro lado, investigaciones realizadas por Smith y Jonides (1997) han demostrado que el procesamiento de diferentes tipos de información implica la participación de diversas regiones corticales. Específicamente, en la localización de objetos, la corteza parietal superior y la corteza prefrontal del hemisferio derecho desempeñan un papel predominante, mientras que, en la detección de los rasgos de los objetos, intervienen la corteza parietal superior, la parte inferior del lóbulo temporal y la corteza prefrontal del hemisferio izquierdo.

En este contexto, estudios de resonancia magnética funcional han asignado la codificación de la información visuoespacial a regiones cerebrales ubicadas en las cortezas parietal y frontal (Courtney et al., 1997; Postle et al., 2000; Munk et al., 2002; Pessoa et al., 2002; Todd & Marois, 2004; Roth & Courtney, 2006; Majerus et al., 2007). Además, se ha observado que la codificación de información visuoespacial en la memoria de trabajo requiere una mayor actividad cerebral en comparación con la recuperación de la información (Jaiswal et al., 2010).

Se ha evidenciado que el mantenimiento de la información visual en la memoria de trabajo está vinculado con un aumento en la sincronización de la actividad eléctrica en el rango de frecuencias de la banda theta. Esto ocurre tanto entre las regiones frontales-temporales-parietales como entre las regiones occipitales-temporales (Sarthein et al., 1998; Sauseng et al., 2005).

#### 4.1.2. Memoria declarativa

La memoria se clasifica en declarativa y no declarativa. La memoria declarativa, también conocida como memoria explícita, es el tipo de memoria que nos permite recordar el "qué" de nuestras experiencias a lo largo de la vida, incluyendo personas, rostros, nombres, hechos y eventos. La información en este tipo de memoria se codifica, almacena y recupera de manera consciente, y en la mayoría de las ocasiones, de manera intencional. La región cerebral asociada con este tipo de memoria es el lóbulo temporal. A su vez, la memoria declarativa se subdivide en dos categorías: la memoria semántica, que se refiere a hechos y conceptos, y la memoria episódica, que abarca las experiencias autobiográficas.

En relación con la memoria episódica, esta se refiere a la información autobiográfica y constituye el almacén de las experiencias personales de los individuos. Está compuesta por el evento en sí y el contexto espacio - temporal en el que ocurrió (Tulving, 2002), permitiendo a las personas retroceder en el tiempo y recordar algún evento específico. El funcionamiento de la memoria episódica depende de la integridad de estructuras como el hipocampo, el giro dentado, la amígdala y los núcleos talámicos (Luria, 1977).

El procedimiento más comúnmente utilizado para evaluar la memoria episódica es el de reconocimiento viejo/nuevo. Este procedimiento implica indicar durante la fase de recuperación si el estímulo fue presentado previamente (viejo) o no (nuevo) (Nessler et al., 2004).

#### 4.1.3. Memoria intencional vs memoria incidental

En cuanto a la forma en que la información se codifica, esta puede ser intencional o incidental. La memoria intencional se refiere a las condiciones en las que las personas intentan conscientemente codificar la información. En el contexto de la evaluación neuropsicológica, los participantes siempre son previamente informados de que deberán recordar el material presentado durante la fase de prueba. Este enfoque se considera una manera deliberada de adquirir información episódica, implicando un compromiso activo de los recursos atencionales (Karrasch et al., 2010; Vingerhoets & Santens, 2005).

La memoria incidental, por otro lado, es un proceso involuntario. En las pruebas neuropsicológicas, a los participantes se les presentan una serie de estímulos sin que sean

conscientes de una fase posterior de recuperación. En estas condiciones, la memoria incidental parece implicar un esfuerzo menor en comparación con la memoria intencional Kontaxopoulou y colaboradores (2017). A pesar de ello, se ha reconocido que la memoria incidental desempeña un papel relevante en el almacenamiento de información en situaciones cotidianas, incluso cuando los individuos no tienen la intención consciente de codificar y recordar la información (Vingerhoets & Santens, 2005). Shadoin & Ellis (1992) indicaron que la localización de los objetos se aprende sin que los participantes reciban instrucciones explícitas para recuperar dichas localizaciones. Otros estudios han demostrado que, ya sea en la codificación intencional o incidental, la atención dividida puede disminuir el rendimiento de la codificación (Ballesteros & Mayas, 2015; Szymanski & MacLeod, 1996).

En relación con las diferencias del sexo, algunos estudios sugieren que mujeres y hombres emplean mecanismos atencionales distintos al memorizar la ubicación de los objetos. En condiciones incidentales, las mujeres codifican involuntariamente características detalladas de su entorno y posteriormente son capaces de recuperar una representación precisa del mismo (Ecuyer & Robert, 2007).

#### 4.2. Envejecimiento sano y memoria.

Para los objetivos establecidos en esta investigación, resulta relevante la revisión conceptual de las diferencias en la eficiencia para la codificación y recuperación de la información incidental en una tarea visuoespacial en adultos mayores sanos.

De acuerdo con la definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el envejecimiento se describe como el: “Proceso fisiológico que comienza en la concepción y ocasiona cambios en las características de las especies durante todo el ciclo de la vida; esos cambios producen una limitación de la adaptabilidad del organismo en relación con el medio. Los ritmos a los que estos cambios ocurren en los diversos órganos de un mismo individuo o en distintos individuos no son iguales”.

Durante el proceso de envejecimiento, se observa una disminución en las capacidades cognitivas, incluida la memoria (Anderson & Craik, 2000). No obstante, es importante destacar que existen diferencias individuales y, en términos generales, muchos adultos mayores continúan manteniendo la mayoría de sus capacidades cognitivas. Un criterio

sugerido para identificar un envejecimiento saludable es la preservación de las funciones cognitivas que son susceptibles de experimentar cambios con la edad, como es el caso de la memoria episódica. Se postula que el envejecimiento saludable es compatible con un funcionamiento eficiente de la memoria (Nyberg & Pudas, 2019).

Existen diversos factores que influyen en el logro de un envejecimiento sano, especialmente en lo que respecta a las funciones cognitivas, se destacan la educación, la ocupación y las actividades cognitivamente estimulantes. De estos, la educación y la ocupación son características individuales que parecen estar más fuertemente asociadas con el envejecimiento cognitivo sano, preservando las capacidades cognitivas (Habib et al., 2007; Josefsson et al., 2012).

En cuanto a las actividades cognitivamente estimulantes, estudios longitudinales han informado que participar en estas actividades puede retrasar el progreso del deterioro cognitivo asociado al envejecimiento en etapas avanzadas de la vida (Potter et al., 2006; Andel et al., 2016; Vemuri et al., 2014).

Algunos estudios han incorporado el estatus socioeconómico como un factor que podría influir positivamente en el envejecimiento sano (Britton et al., 2008). Se argumenta que el estatus socioeconómico implica que las personas con mayores recursos económicos tienden a obtener un nivel educativo más elevado y a desempeñar ocupaciones y participar en actividades cognitivamente complejas, además de fomentar estilos de vida saludables.

Existe un grupo de adulto mayores que no presentan patologías evidentes asociadas al envejecimiento, pero experimenta deterioro en las funciones cognitivas. En este contexto, se ha observado que los procesos cognitivos más susceptibles al deterioro durante el envejecimiento incluyen funciones ejecutivas como la planificación, toma de decisiones y mantenimiento de la información. La naturaleza de estos procesos sugiere una alteración funcional de la corteza prefrontal (Wang et al., 2011).

Además, se ha indicado que la menor eficiencia en los procesos de atención durante la ejecución de tareas simultáneas, así como el procesamiento de información verbal y visuoespacial, que se observa en el envejecimiento (Bopp & Verhaeghen, 2005; Chen et al., 2003; Trejo & Cansino, 2011; Stern, 2012), puede atribuirse a deficiencias en los

procesos de codificación de la información. Sin embargo, es importante señalar que no todos los procesos cognitivos se ven afectados por el envejecimiento. Diversas investigaciones han sugerido que ciertos procesos tienden a mantenerse estables con la edad, como el vocabulario, el conocimiento del mundo, la inteligencia y la memoria semántica (Park et al., 2007).

#### 4.2.1. Envejecimiento y memoria declarativa

Diversos estudios han demostrado que en el transcurso del envejecimiento se puede experimentar un deterioro en la memoria declarativa, abarcando las modalidades de memoria episódica y memoria semántica, las cuales dependen del funcionamiento del hipocampo y otras estructuras del lóbulo temporal (Newman & Kaszniak, 2000; Rönnlund & Nilsson, 2008). En relación con los cambios neuroanatómicos asociados al deterioro de la memoria declarativa relacionado con el envejecimiento, las investigaciones sugieren una relación causal con alteraciones estructurales o funcionales en el lóbulo temporal medial (Moreno et al., 2013; Wilson et al., 2018; Devitt & Schacter, 2016).

La memoria episódica se define como la capacidad de codificar, almacenar y recuperar información de eventos autobiográficos (Tulving, 1993). Esta forma de memoria es esencial para la vida diaria, ya que permite recordar tanto acontecimientos recientes como antiguos. Los resultados de pruebas específicas diseñadas para evaluar la memoria episódica indican su deterioro con el envejecimiento (Wagnon et al., 2019; Rabin & Burton, 2005), en contraste con la eficiencia constante de la memoria no declarativa (procedimental) durante el envejecimiento (Brickman & Stern, 2009).

#### 4.2.2. Envejecimiento y memoria de trabajo visuoespacial

En relación con la memoria de trabajo durante el envejecimiento, se ha informado que este tipo de memoria es susceptible a los efectos del envejecimiento (Raz, 2002). Tanto los procesos de información verbal como los visuoespaciales parecen volverse menos eficientes con el paso de los años (Bopp & Verhaeghen, 2005; Chen et al., 2003; Rugg et al., 1997; Bajo et al., 2010; Loeza et al., 2006). Los límites de la capacidad de la memoria de trabajo parecen estar determinados por la cantidad y complejidad de la información que se debe codificar en la memoria, conocida como carga de memoria, así como por la cantidad de tiempo que implica el procesamiento (Álvarez y Gavanagh, 2004).

Las regiones cerebrales frontales involucradas en las operaciones de la memoria de trabajo experimentan cambios anatómicos a medida que se envejece, lo que resulta en la disminución de las funciones de memoria (Raz & Rodrigue, 2006). Diversos estudios electrofisiológicos han informado que los cambios en las activaciones frontales están asociados con el deterioro de la memoria en adultos mayores (Gutchess et al., 2007; Lawson et al., 2007; Wolk et al., 2009). La evidencia empírica respalda estos estudios al demostrar que los lóbulos frontales experimentan una mayor pérdida de células nerviosas con la edad en comparación con otras regiones del cerebro (Raz, 2000; West, 1996), y son precisamente funciones como la memoria de trabajo y la atención las que dependen esencialmente de esta región cerebral.

Los estudios de resonancia magnética funcional que se centran en las regiones cerebrales responsables de la función de la memoria de trabajo, como la corteza frontal y los lóbulos temporal medial, han revelado una reducción en la activación de estas estructuras en adultos mayores en comparación con individuos más jóvenes (Grady et al., 2003). Lawson y colaboradores (2007) encontraron que los adultos mayores llevan a cabo tareas de memoria de trabajo con menor eficiencia.

El envejecimiento tiene un impacto en la dinámica de las oscilaciones theta, lo que probablemente afecta el almacenamiento en la memoria durante el procesamiento de la información, dando lugar a una disminución del rendimiento cognitivo en adultos mayores. En un estudio utilizando EEG para examinar los cambios relacionados con la edad en la memoria de reconocimiento de ítems, Wolk y colaboradores (2009) identificaron diferencias en la actividad de la región frontal en un grupo de personas mayores con un rendimiento menos eficiente. Además, Karrasch y colaboradores (2010) informaron que los adultos mayores mostraban una menor sincronización en la banda theta relacionada con eventos durante el período de codificación en una tarea de memoria de trabajo.

#### 4.2.3. Envejecimiento y memoria intencional e incidental.

En cuanto a la codificación de la información, los estudios han señalado que la memoria incidental disminuye con el envejecimiento (Joy et al., 2000; Kontaxopoulou et al., 2017). Se ha observado que los participantes más jóvenes recuerdan significativamente más información codificada incidentalmente que los adultos mayores, tanto inmediatamente después de ver una película como un día después.

Aunque se han realizado pocos estudios para examinar la memoria incidental en comparación con la memoria intencional, estos han mostrado consistentemente que la edad afecta preferentemente la memoria incidental en comparación con la intencional (Davis et al., 2001; Téllez-Alanís y Cansino 2004). Dado que la memoria incidental es más común en la vida cotidiana, Plancher y colaboradores (2010) examinaron la memoria incidental frente a la memoria intencional en un experimento de "realidad virtual" utilizando una tarea de conducción generada por ordenador. Los autores observaron que, en comparación con los participantes más jóvenes, los adultos mayores obtuvieron peores resultados en las tareas de memoria incidental, mientras que la memoria intencional parecía estar mejor conservada.

Además, Kontaxopoulou y colaboradores (2017) investigaron la influencia de la edad y el sexo en la memoria incidental e intencional en personas sanas. Sus resultados mostraron que la eficiencia en la memoria incidental se relaciona significativamente con la edad en todas las tareas y es independiente del sexo. Los participantes de mayor edad obtuvieron peores resultados en las tareas de memoria incidental en comparación con los participantes más jóvenes. Estos hallazgos coinciden con estudios anteriores que indican una disminución de la memoria incidental debido al envejecimiento, así como un mayor impacto negativo de la edad en el material codificado incidentalmente que en el codificado intencionalmente.

#### 4.3. Envejecimiento sano, EEG y la actividad theta.

El análisis a través del electroencefalograma (EEG) ha resultado ser una herramienta valiosa para medir el funcionamiento cerebral. Esta técnica no invasiva permite estudiar las relaciones funcionales entre las regiones del cerebro, registrando la actividad eléctrica cerebral mediante electrodos colocados en el cuero cabelludo. El EEG refleja la suma de los potenciales excitatorios e inhibitorios de diferentes grupos neuronales en la corteza cerebral.

La actividad eléctrica cerebral se clasifica en distintas bandas según su frecuencia, morfología, amplitud y las condiciones de aparición. La actividad delta ( $\delta$ ), con un ritmo de frecuencia más lento que abarca de 0.5 a 3.5 Hz, se caracteriza por su mayor amplitud y está asociada con la etapa de sueño profundo. La actividad theta ( $\theta$ ) (4 a 7.5 Hz) es propia de la etapa de sueño de ondas lentas, así como de tareas visuoespaciales, creatividad e

imaginación. La actividad alfa ( $\alpha$ ) (8 a 12.5 Hz) se presenta en condiciones de reposo con los ojos cerrados. La actividad beta ( $\beta$ ) (13 a 25 Hz) es una actividad cerebral rápida que aparece ante una intensa actividad neuronal y está relacionada con procesos cognitivos de alto gasto energético. Finalmente, la actividad gamma (>30 Hz) representa el ritmo más rápido del EEG humano (Niedermeyer, 2004).

Las oscilaciones de la actividad theta han sido asociadas con la codificación y recuperación de la memoria (Bauer, 2021). Varios estudios han identificado cambios relacionados con la edad en el electroencefalograma (EEG) en estado de reposo y durante la realización de tareas cognitivas, así como con las características anatómicas de estructuras cerebrales involucradas en la integración de funciones cognitivas.

Grunwald y colaboradores (2007) demostraron una correlación entre la actividad theta cortical y el volumen hipocampal en diversas etapas del deterioro cognitivo en adultos mayores. Observaron un aumento en la potencia theta que coincidía con una disminución en el volumen del hipocampo. Concluyeron que existe una relación directa entre la pérdida neuronal en el hipocampo y los cambios en la actividad theta cortical a lo largo de las diferentes etapas del deterioro cognitivo en adultos mayores.

Mediante el análisis de imágenes de resonancia magnética estructural (IRM) y EEG, se lograron identificar asociaciones entre la actividad en la banda de frecuencia theta, el grosor cortical y el rendimiento en una tarea visuoespacial (Castro et al., 2016). Además, se observó que estos cambios en el EEG se intensifican en pacientes con deterioro cognitivo leve y demencia (Prichep et al., 2006). Estos resultados, junto con algunos estudios anteriores que han señalado un aumento de la actividad alfa en áreas frontales (Gasser et al., 1982), sugieren posibles mecanismos compensatorios contra el deterioro cognitivo (Davis et al., 2008).

#### 4.4. La coherencia, el aprendizaje y memoria.

El estudio de los procesos cerebrales puede abordarse desde el análisis de fenómenos en regiones cerebrales específicas o considerando el cerebro como una unidad morfológica y funcional integrada. La coherencia de la actividad del electroencefalograma (EEG) proporciona información sobre las interrelaciones funcionales entre dos o más estructuras

cerebrales que comparten características en su actividad eléctrica y, en estas condiciones, parecen estar funcionalmente involucradas en el mismo proceso (Corsi, 1988).

Los valores de coherencia oscilan entre 0 y 1, donde 1 denota la máxima coherencia. Cuando la coherencia es baja o nula, el valor se aproxima a 0. De acuerdo con la expresión matemática de la coherencia, esta no puede alcanzar valores superiores a 1 ni inferiores a 0. Como se mencionó anteriormente, valores cercanos a 0 indican una baja coherencia, mientras que valores a partir de 0.3 indican un alto grado de coherencia, y valores mayores reflejan una mayor relación funcional entre las estructuras generadoras de la actividad eléctrica.

Un nivel bajo de coherencia indica una baja similitud entre las dos señales y puede considerarse como un índice de separación funcional (Corsi, 1988). Por otro lado, un alto grado de coherencia de señales de EEG entre distintas regiones corticales se ha asociado con la coincidencia funcional en la conectividad entre dos regiones (Barry et al., 2011). De esta manera, si dos regiones del cerebro están relacionadas funcionalmente, deberían mostrar un EEG similar, y cuanto mayor sea la similitud entre las dos señales a comparar, mayor será la correlación entre ellas, y viceversa. Cuando cada uno de los sitios comparados está siendo activado diferencialmente, la actividad del EEG debería ser diferente, y la correlación será menor (Corsi, 1988).

Se sabe que el rendimiento cognitivo requiere de un sustrato neuronal en el que participan circuitos neuronales de diversas regiones del cerebro (Hogan et al., 2003). En relación con los procesos de memoria, los estudios realizados en seres humanos sanos han informado generalmente de un aumento en la sincronización entre dos regiones cerebrales diferentes implicadas en la tarea respectiva. En personas sanas, se ha examinado la coherencia en diversas actividades y se ha observado que esta cambia durante el compromiso activo y cognitivo, incrementándose desde el nivel de reposo mientras las personas realizan tareas específicas (Corsi, 1988).

Se ha informado que las oscilaciones theta establecen relaciones funcionales entre regiones cerebrales durante la codificación y recuperación de la memoria (Min Park, 2022). Diversas teorías sobre la función del hipocampo resaltan el papel de la banda theta en la

memoria; las oscilaciones theta del hipocampo aumentan cuando los participantes observan información espacial (Watrous & Ekstrom, 2011).

En una investigación realizada por Corsi y colaboradores (1988), donde se estudió la coherencia interhemisférica de la actividad EEG durante el rendimiento cognitivo exitoso y no exitoso, se propuso la hipótesis de que el acoplamiento interhemisférico debería ser bajo durante tareas que exigen principalmente el procesamiento del hemisferio izquierdo o derecho. Esto se debe a que estas tareas evocan una mayor diferencia en la actividad EEG de cada hemisferio. En contraste, el acoplamiento interhemisférico debería ser alto durante tareas que requieren el procesamiento simultáneo de los hemisferios derecho e izquierdo, ya que estas implican la participación de ambos hemisferios.

En sus resultados, observaron que la coherencia interhemisférica fue mayor durante los ensayos fallidos, específicamente en la banda theta y menor en las frecuencias beta. La hipótesis planteaba que la tarea mixta, que exigía la participación de los hemisferios izquierdo y derecho, generaría una mayor relación funcional entre ellos, produciendo así una actividad más similar y una mayor correlación. Por otro lado, se esperaba que las tareas que exigieran preferentemente un hemisferio u otro provocarían una mayor diferenciación en el EEG y, por ende, una menor correlación. Sin embargo, los resultados no respaldaron esta hipótesis. La falta de diferencias significativas entre las tareas podría atribuirse a una baja sensibilidad de la tarea o a la naturaleza del análisis de correlación.

En un estudio realizado por Jiang (2005), en el cual se midió la coherencia interhemisférica en pacientes con deterioro cognitivo leve durante una tarea de memoria de trabajo, evaluando múltiples regiones cerebrales, incluyendo la corteza prefrontal lateral, las áreas medio temporales y la corteza de asociación posterior (áreas funcionalmente implicadas en la memoria de trabajo), se concluyó que en la coherencia interhemisférica del EEG, el grupo con deterioro cognitivo leve mostró valores significativamente más altos en los lóbulos frontal bilateral (F3-F4), central (C3-C4), parietal (P3-P4) y temporal (T5-T6) en todas las bandas, excepto en la región occipital bilateral (O1-O2), durante la memoria de trabajo en comparación con el grupo control normal.

En relación con los procesos de memoria, estudios en humanos sanos (Krause et al., 1998; Sarnthein et al., 1998; Weiss & Rappelsberger, 2000) han informado generalmente un

aumento de la sincronización entre las regiones cerebrales implicadas en la tarea respectiva. En adultos sanos, la coherencia interhemisférica en reposo disminuye con la edad (Duffy et al., 1996; Knott & Harr, 1997; Kikuchi et al., 2000).

Duffy y colaboradores (1996) especulan que la desincronización del EEG relacionada con la edad se explica, al menos en parte, sobre la base de la disminución de la conectividad entre los hemisferios, como se ha documentado por el cambio relacionado con la edad en la coherencia interhemisférica.

También se ha informado de diferencias significativas entre los sexos en la coherencia interhemisférica, ya que las mujeres muestran una mayor coherencia que los hombres al realizar tareas cognitivas (Beaumont et al., 1978). Volf y colaboradores (1999) realizaron un estudio que muestra las diferencias de sexo en la coherencia del EEG durante una tarea de memoria verbal en adultos sanos. Los resultados muestran diferencias significativas relacionadas con el género en la reactividad de la coherencia total debido a un mayor aumento de la coherencia entre el reposo y la tarea en los participantes femeninos que en los masculinos. Las mujeres se diferenciaron por mostrar una mayor reactividad de coherencia en el hemisferio derecho para todas las bandas de frecuencia analizadas (theta 1, theta 2, alfa 1 y alfa 2).

En el equipo de trabajo del Laboratorio de Neurofisiología Experimental del Centro de Investigación Biomédica de Michoacán del Instituto Mexicano del Seguro Social, analizó la coherencia de la actividad theta del EEG en adultos jóvenes (25 a 45 años) en comparación con adultos mayores (65 a 85 años) durante el reconocimiento exitoso de estímulos visuoespaciales codificados y recuperados de manera intencional e incidental. Los resultados mostraron que el reconocimiento de objetos codificados de forma incidental no varía con la edad cuando la demanda cognitiva de la tarea es baja. Sin embargo, se observó que, con el aumento de la dificultad de la tarea de codificación de los estímulos, la ejecución de los adultos mayores se ve afectada, disminuyendo el número de objetos correctamente reconocidos. Además, se notó una mayor potencia en la banda theta en las derivaciones fronto-temporales de los participantes de mayor edad, tanto en la codificación como en la recuperación.

Durante la codificación de la información, los participantes jóvenes mostraron una mayor coherencia intrahemisférica frontotemporal izquierda y derecha que los participantes de mayor edad. En tanto que durante la recuperación de la información los participantes adultos mayores mostraron mayores valores de coherencia interhemisféricas en las regiones frontales.

Se concluyó que la recuperación exitosa de la asociación de estímulos visuoespaciales (objeto – lugar) se ve afectada por la edad sin importar la condición de aprendizaje intencional o incidental (Junco, 2017). Además, se observó que la coherencia intra e interhemisférica difiere para los grupos de edad, lo que implica que la manera en que la información se codifica y recupera sufre modificaciones debido a la edad.

## 5. JUSTIFICACIÓN

Durante el envejecimiento, se ha descrito el deterioro de los procesos cognoscitivos asociados con el curso de edad a partir de los 60 años que se manifiesta por deterioro de la eficiencia de diversas funciones cognoscitivas. Dado el incremento progresivo de la proporción de personas con edades mayores a los 60 años se anticipa que las alteraciones de las funciones cognoscitivas sean un problema prioritario de salud en el futuro inmediato. En estas condiciones parece importante generar conocimientos que permitan sustentar la posibilidad de la identificación temprana de alteraciones de funcionamiento cerebral que pudieran conducir al deterioro cognoscitivo, asociado al avance de la edad, a partir de la sexta década de la vida. Asimismo, se sabe que una de las funciones cognoscitivas que se ve gravemente afectada por envejecimiento es la memoria de trabajo y la memoria incidental, es decir, aquella información que se adquiere y almacena en ausencia de una actitud voluntaria.

En estas condiciones, resulta de gran interés conocer, si el procesamiento de la información relacionado con la eficiencia en la ejecución de una tarea visuoespacial incidental en adultos mayores sanos es diferente dependiendo del grado de eficiencia en la ejecución de dicha tarea. Para ello, se han analizado, en el presente trabajo, las características de la coherencia intra e interhemisférica de la actividad eléctrica cerebral en el rango de frecuencias de la actividad theta, en las regiones frontotemporales, como indicadores del procesamiento de información relacionado con la eficiencia de la ejecución de tareas visuoespaciales basadas en la información incidental, en adultos mayores.

## 6. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Existe una correlación entre la coherencia frontotemporal del EEG en el rango de frecuencias de la banda theta y la eficiencia de ejecución de una tarea de memoria visuoespacial incidental, en adultos mayores sanos?

## 7. HIPÓTESIS

La coherencia frontotemporal del EEG en el rango de frecuencias de la banda theta, se correlaciona con la eficiencia en la ejecución, durante una tarea de memoria visuoespacial incidental en adultos mayores sanos.

## 8. OBJETIVO GENERAL

- Analizar la correlación entre la coherencia de la actividad theta frontotemporal y la eficiencia en la ejecución de una tarea visuoespacial incidental, en adultos mayores sanos.

## 9. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el aprendizaje visuoespacial incidental de adultos mayores sanos y clasificarlos según su eficiencia.
- Analizar la coherencia frontotemporal intra e interhemisférica de la banda theta durante una tarea de memoria visuoespacial incidental en adultos mayores sanos.
- Comparar la coherencia entre los adultos mayores con alta y baja eficiencia en la tarea de memoria visuoespacial incidental.
- Obtener la correlación entre la coherencia frontotemporal intra e interhemisférica de la banda theta y las variables conductuales (el número de asociaciones objeto-lugar, número de errores, etc.) de la tarea de memoria visuoespacial, en adultos mayores sanos.

## 10. MÉTODO

En el presente trabajo se estudiaron las características de la coherencia de la actividad eléctrica cerebral en regiones frontotemporales, en el rango de frecuencias de la actividad theta y la eficiencia en la realización de una tarea de aprendizaje y memoria visuoespacial incidental, en 43 personas (16 hombres, 27 mujeres), con edades entre 50 y 84 años que cumplieron con los siguientes criterios de inclusión.

### Criterios de inclusión

- Edad entre 50 y 85 años.
- Historia clínica sin datos de enfermedad neurológica. ANEXO 1
- Puntuación igual o mayor a 26 aciertos en la prueba de cribado Montreal Cognitive Assessment (MOCA,) para evaluación de funciones cognitivas de atención, memoria y lenguaje. ANEXO 2
- Con un coeficiente intelectual (CI) dentro del intervalo medio, con calificaciones comprendidas entre 50 y 120 puntos en la prueba de Matrices progresivas RAVEN.
- Con puntuaciones indicadoras de ausencia de depresión o depresión leve en la Escala de depresión geriátrica de Yesavage.
- Agudeza visual normal o corregida.
- Que no hayan consumido fármacos con efectos en sistema nervioso central (alcohol, cafeína, psicotrópicos o sedantes) al menos 24 horas antes de las evaluaciones.
- Que hayan otorgado su consentimiento para participar en el estudio, luego de haber recibido información precisa y cabal acerca de las características metodológicas del mismo, del manejo que se dará a los resultados y del posible beneficio personal y social que podría derivarse de los resultados del estudio. ANEXO 3
- Presión arterial sistémica dentro del rango de valores normales.
- Concentración de glucosa plasmática en ayuno dentro del rango de valores normales.

### Criterios de exclusión

- Obtención de puntajes en la Escala de depresión geriátrica de Yesavage, que indiquen depresión severa al momento de realizar la prueba de aprendizaje y memoria incidental.

- Participantes que no puedan mantenerse inmóviles y/o cuyo registro EEG tenga artefactos debidos a movimientos corporales o a movimientos oculares, que impidan la obtención de registros viables para los análisis requeridos.

#### Criterios de eliminación

- Participantes que no hayan realizado en su totalidad el conjunto de pruebas establecido en el diseño experimental (RAVEN, MOCA, inventarios de Yesavage e historia clínica).
- Participantes cuyo EEG presente actividad anormal, aún en ausencia de indicadores clínicos de patología cerebral.

#### Desarrollo de la prueba conductual.

Cada sesión experimental se inició con un periodo de reposo y ambientación al recinto acondicionado para la realización de la prueba, durante media hora aproximadamente, a fin de evitar o reducir el posible estrés generado por la percepción de un entorno extraño.

Cada una de las personas participantes en el estudio realizó la prueba de aprendizaje visuoespacial incidental, diseñada por el laboratorio de Neurofisiología Experimental, Centro de Investigación Biomédica de Michoacán, IMSS, durante la cual se registró simultáneamente, a cada una de ellas, el electroencefalograma (EEG), en las regiones prefrontales, frontales, y temporales de ambos hemisferios cerebrales, siguiendo el sistema internacional 10 – 20% para la colocación de los electrodos de registro (Figura 1). Adicionalmente se registró el electro-oculograma, colocando un electrodo en el borde paraocular de la órbita derecha, y el electrocardiograma, colocando un electrodo en la parte interna de la muñeca derecha.

El registro del EEG se realizó utilizando un amplificador GRASS con derivación monopolar modelo M15 bipolar con filtros de paso de banda de 1 a 70 Hz, con filtro de rechazo de 60 Hz, y un ancho de banda de 4 a 48 Hz para el análisis cuantitativo. Todas las señales fueron digitalizadas con una frecuencia de muestreo de 1024 Hz y almacenadas para ser analizadas posteriormente fuera de línea. Las coherencias de la actividad theta serán obtenidas empleando las utilerías diseñadas por en MatLab obtenidas de Delorme y Makeig, (2004).

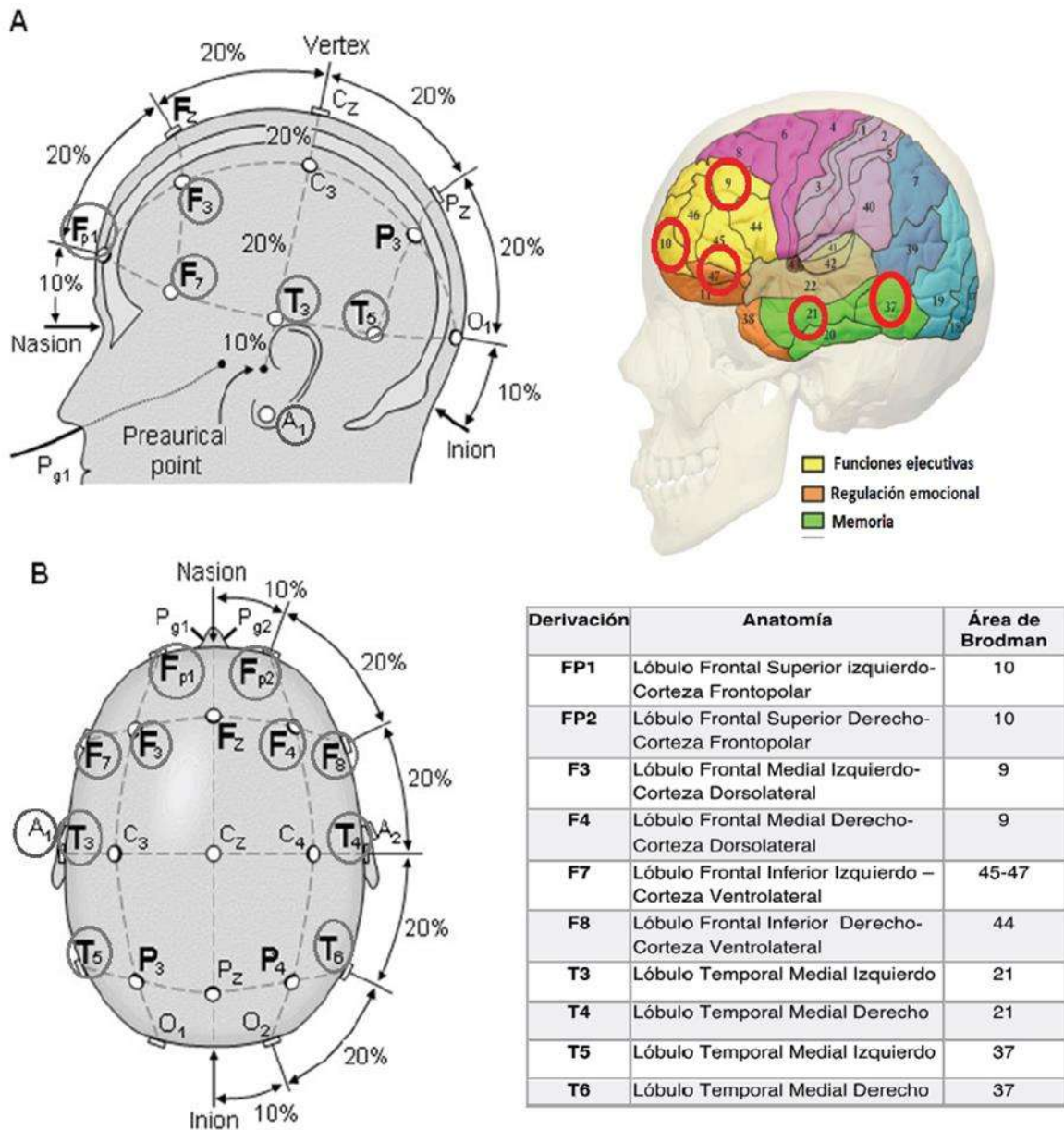


Figura 1. Sistema internacional 10-20 visto desde A) hemisferio izquierdo y B) dorsal. A1 lóbulo de la oreja; C, central; Pg nasofaríngeo; P, parietal; F, frontal; Fp, frontal polar; O, occipital. La tabla muestra de acuerdo con las derivaciones las zonas cerebrales registradas y su correspondiente de acuerdo a las áreas de Brodmann (Tomado de: Malmivuo y Plonsey, 1995; Okamoto y cols., 2004).

Una vez colocados los electrodos, se tomó un primer registro basal de 60 segundos con el participante sentado e inmóvil con la vista fija en una imagen en cruz, (2 cm en cada brazo) ubicada en el centro de un monitor de computadora (condición 1 del registro basal).

Concluido el registro basal, se procedió al desarrollo de la prueba de aprendizaje y memoria visuoespacial incidental, siguiendo las indicaciones del investigador durante 7 etapas, en las cuales se registró de manera continua el EEG de las regiones frontotemporales.

Primera etapa. Con el participante observando en el monitor de la computadora la imagen de un laberinto que contiene 8 objetos comunes (seleccionados por ser de uso cotidiano y conocido por personas de cualquier nivel económico y escolar y no presentan valor afectivo particular, Figura 2). recibe la indicación del investigador: “resuelva mentalmente el laberinto e indique verbalmente cuando haya concluido” y ejecuta la acción correspondiente. En estas condiciones se esperaría que ocurriera la codificación de la información asociada a la adquisición de información y aprendizaje incidental, referente a los objetos ubicados en el laberinto.

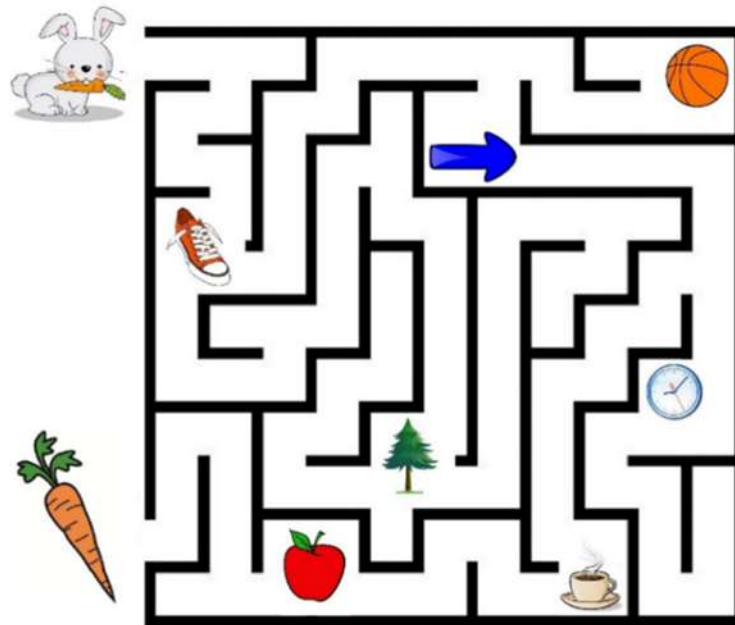


Figura 2. Etapa de codificación de la información incidental. Imágenes del laberinto, con 8 objetos de uso cotidiano, que se muestra a los participantes para la resolución de las etapas 1,3 y 4 de la prueba.

Segunda etapa. Con el monitor de la computadora “en blanco” se solicita al participante que recuerde mentalmente, en el término de 60 segundos, la trayectoria que utilizó para resolver el laberinto. En esta etapa se espera que continúe la codificación de la información incidental referente a los objetos ubicados en el laberinto.

Tercera etapa. Se le muestra al participante por segunda ocasión el laberinto con objetos incluidos (Figura 2), se le indica que trace manualmente la ruta correcta en el interior del

laberinto, mediante el uso de un “mouse” conectado a la computadora. En esta etapa se espera que continúe la codificación de la información incidental referente a los objetos ubicados en el laberinto.

Cuarta etapa. Se le muestra al participante por tercera ocasión el laberinto, con objetos incluidos (Figura 2), con la indicación de que lo observe, durante 30 segundos. En esta etapa se espera que continúe la codificación de la información incidental referente a los objetos ubicados en el laberinto.

Quinta etapa. Se le indica al participante que recuerde la posición correcta de cada uno de los objetos, ubicados ( y mostrados previamente) en el interior del laberinto, en la primera etapa de la prueba, para lo cual se mostrará a cada uno de los participantes los 8 objetos incluidos previamente en la imagen del laberinto, mezclados con otros 7 objetos que no estuvieron incluidos en la imagen original del laberinto, en una secuencia aleatoria, de tal manera que la imagen de cada uno de los objetos permanecerá en el monitor durante 2 segundos; a continuación se solicita al participante que identifique el objeto mostrado como uno de los objetos incluidos originalmente en la imagen del laberinto o como uno de los objetos nuevos. Para cada uno de los objetos identificados como contenidos en la imagen original del laberinto, (ya sea que su respuesta resulte correcta o incorrecta), se le solicita que ubique la posición del objeto mostrado en una imagen del laberinto que no contiene objetos, mediante la operación de un “mouse” (Figura 3). Este procedimiento se repitió para cada uno de los 15 objetos incluidos en la secuencia aleatoria referida.

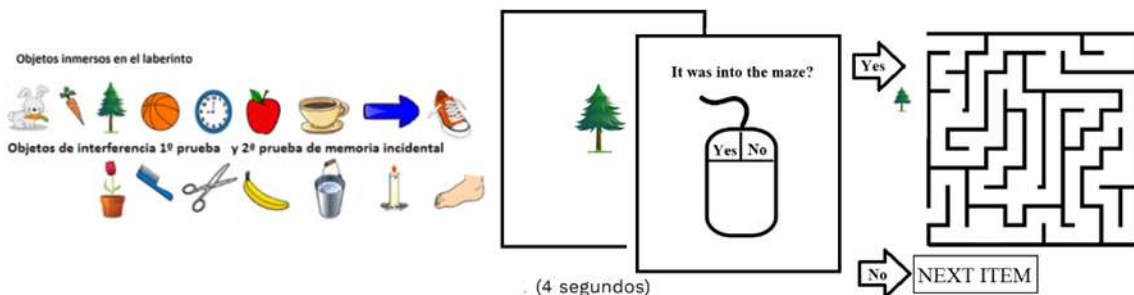


Figura 3. Etapa de recuperación de la información incidental.

La prueba concluyó con la toma de un tercer registro basal, durante 60 segundos, con los ojos abiertos mirando un punto fijo en la pantalla del monitor “en blanco”.

## Definición de variables

En el presente estudio se han considerado las siguientes variables.

### Variables independientes.

- Grado de eficiencia en la prueba de reconocimiento de objetos y posición (objeto-lugar) de los mismos en el laberinto (etapa 5 de la prueba): No eficiente 0-4 objetos; Eficiente, 5-8 objetos.

### Variables Dependientes. Cuestionarios.

- Puntaje en la prueba de cribado "Montreal Cognitive Assessment (MOCA)
- Puntaje indicador del coeficiente intelectual en la prueba de matrices progresivas RAVEN
- Puntaje en la Escala de depresión geriátrica de Yesavage. ANEXO 4

### Variables Dependientes. Prueba de aprendizaje y memoria visuoespacial incidental.

- Número de objetos cuya posición se recordó correctamente (objeto-lugar).

### Variables Dependientes. Actividad eléctrica cerebral.

Coherencia de la actividad eléctrica cerebral en el rango de frecuencias de la banda theta, entre regiones frontotemporales, de acuerdo con la ubicación de los electrodos de registro, de acuerdo con el sistema 10/20 internacional.

- Coherencia interhemisférica de la actividad Theta frontotemporal (valores de 0 a 1), de las derivaciones FP1/FP2, F3/F4, F7/F8, T3/T4 y T5/T6.
- Coherencia intrahemisférica de la actividad Theta frontotemporal (valores de 0 a 1), de las derivaciones FP1/F3, FP1/F7, FP2/F4, FP2/F8, F3/T3, F3/T5, F4/T4, F4/T6, F7/T3, F7/T5, F8/T4 y F8/T6

### Análisis estadístico

Una vez agrupados los participantes en grupos de eficiencia, las comparaciones de la coherencia se realizaron mediante un análisis de covarianza (ANCOVA) considerando el género biológico, el CI y los años de escolaridad como covariables. Además, se obtuvieron los índices de correlación parcial de las variables conductuales y los valores de coherencia, considerando el sexo y la escolaridad como factores parciales independientes, y el coeficiente intelectual como parcial dependiente. Posteriormente se incluyó la edad como

factor parcial independiente, para verificar si las correlaciones dependen de la edad o de la eficiencia.

#### 11. ASPECTOS ÉTICOS

El protocolo del presente trabajo fue aprobado por el Comité de investigación y Ética de la Coordinación de Investigación en Salud, del Instituto Mexicano del Seguro Social, y se realizó de acuerdo con lineamientos y normas éticas vigentes en los Estados Unidos Mexicanos y a nivel internacional (número de registro: CNIC: R-2014-785-058). Se prestó especial atención a la obtención del consentimiento de las personas para participar en el estudio, para lo cual se explicaron de manera precisa y cabal a cada uno de los participantes las características metodológicas del estudio, su justificación, objetivos y metas, así como los resultados que se pretendía obtener y el manejo confidencial de los mismos únicamente con fines de investigación, disponibles para los participantes una vez finalizado el estudio. Finalmente, el consentimiento informado culminó con la firma del documento correspondiente de acuerdo con lineamientos éticos y disposiciones institucionales vigentes.

## 12. RESULTADOS

Una vez efectuada la prueba de aprendizaje y memoria visuoespacial incidental, las 43 personas que aceptaron participar en el estudio fueron agrupadas de la manera siguiente: Eficientes, (reconocimiento de 5 - 8 objetos en la imagen del laberinto, n=13), No Eficientes (reconocimiento de 0 - 4 objetos en la imagen del laberinto, n=30), en la etapa de reconocimiento de la asociación objeto-lugar de la prueba (Figura 4).

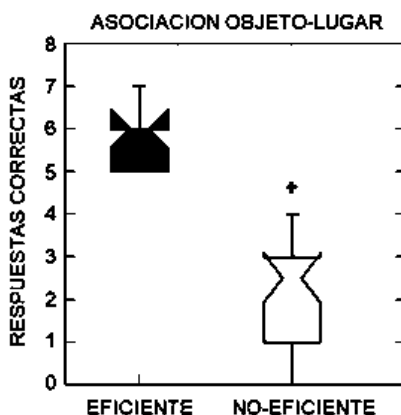


Figura 4. Número de respuestas correctas (Mediana, Rango) de los grupos Eficiente y No Eficiente, en la etapa de asociación objeto-lugar de la prueba de aprendizaje y memoria visuoespacial incidental. +  $p < 0.05$ .

La Tabla 1 muestra los valores numéricos de algunas de las variables demográficas en estudio, en los grupos Eficiente y No Eficiente. Puede observarse que la edad promedio en años fue significativamente mayor en el grupo No Eficiente ( $64.733 \pm 8.847$ , Media  $\pm$  DE), en comparación con el grupo Eficiente ( $59.385 \pm 9.430$ ). Además, hubo una diferencia significativa en el índice de la masa corporal, siendo mayor en el grupo Eficiente que en el grupo No eficiente. En cambio, no hubo diferencias significativas entre grupos en los valores numéricos de MOCA, coeficiente intelectual (RAVEN), Escolaridad, Depresión, Diabetes.

Tabla 1. Comparación intergrupala de los valores numéricos de algunas de las variables en el estudio.

VARIABLE	EFICIENTE	NO EFICIENTE	<i>P</i>
Edad (años)	50-84 $59.385 \pm 9.430$	50-83 $64.733 \pm 8.847$ *	U = 120 P = 0.047
MOCA (Puntaje)	21-30 $25.923 \pm 2.431$	20-30 $26.700 \pm 2.231$	U = 156 p = 0.294
RAVEN (Puntaje)	1-4 $3.077 \pm 0.760$	1-4 $2.700 \pm 0.702$	U = 257 p = 0.065
Escolaridad	6-22	6-22	U = 216

(Años)	14.923 ± 4.991	14.30 ± 4.070	P = 0.564
Depresión (Puntaje)	Ausente: 8(21.622%)	Ausente: 21(56.757%)	p = 0.781
	Leve: 2(5.405%)	Leve: 4(10.811%)	
	Severa: 1(2.703%)	Severa: 1(2.703%)	
Diabetes	Si: 8(26.667%)	Si: 19(63.333%)	p = 0.894
	No: 1(3.333%)	No: 2(6.667%)	
Hipertensión	Si: 7(23.333%)	Si: 17(56.667%)	p = 0.842
	No: 2(6.667%)	No: 4(13.333%)	
Índice de masa corporal	n = 11 28.2727 ± 2.5566	n = 24 25.7196 ± 3.26414*	p = 0.02

Nota. Los valores en la tabla corresponden a los intervalos entre el valor mínimo y máximo y la media ± DE de los parámetros indicados. Los valores de la prueba Yasevage (depresión), Diabetes e Hipertensión corresponden a las proporciones de individuos en las diferentes categorías. \* p < 0.05.

El análisis de correlación simple entre los valores numéricos de las diferentes variables en estudio, de todos los participantes mostró una correlación significativa (0.594, p< 0.001) entre escolaridad y puntuación en la escala de RAVEN; de tal manera que a mayor escolaridad correspondieron mayores puntuaciones en la prueba RAVEN. No se observaron correlaciones significativas entre las otras variables.

Una vez que se agruparon los participantes de acuerdo con el número de respuestas correctas en la etapa de reconocimiento de asociaciones objeto-lugar, la correlación simple entre variables demográficas mostró en el grupo No Eficiente una correlación significativa entre RAVEN y Escolaridad (0.660, p< 0.001), a mayor escolaridad mayores puntajes en la prueba RAVEN. No se observaron correlaciones significativas entre dichas variables en el grupo Eficiente.

En relación con los resultados de la coherencia de la actividad eléctrica cerebral en las etapas experimentales (etapa basal, etapas de codificación y etapa de recuperación de la información incidental), se observó que durante la etapa basal no hubo diferencias significativas entre los grupos Eficiente y No Eficiente, tanto en la coherencia intra- como inter- hemisférica.

#### Codificación incidental

Sin embargo, en la etapa de codificación de la información incidental, el análisis de correlación entre el número de aciertos en el reconocimiento objeto-lugar y los valores de coherencia interhemisférica, obtenidos de los registros EEG de todos los participantes en

el estudio, mostró correlaciones significativas en la coherencia interhemisférica de las regiones frontales. En efecto, tanto en las derivaciones F3-F4 ( $-0.479$ ,  $p < 0.002$ ) como en F7-F8 ( $-0.384$ ,  $p < 0.02$ ), se observaron correlaciones negativas significativas, con una clara tendencia al agrupamiento de valores de coherencia interhemisférica menores en el grupo eficiente y valores de coherencia interhemisférica mayores en el grupo No Eficiente (Figura 5).

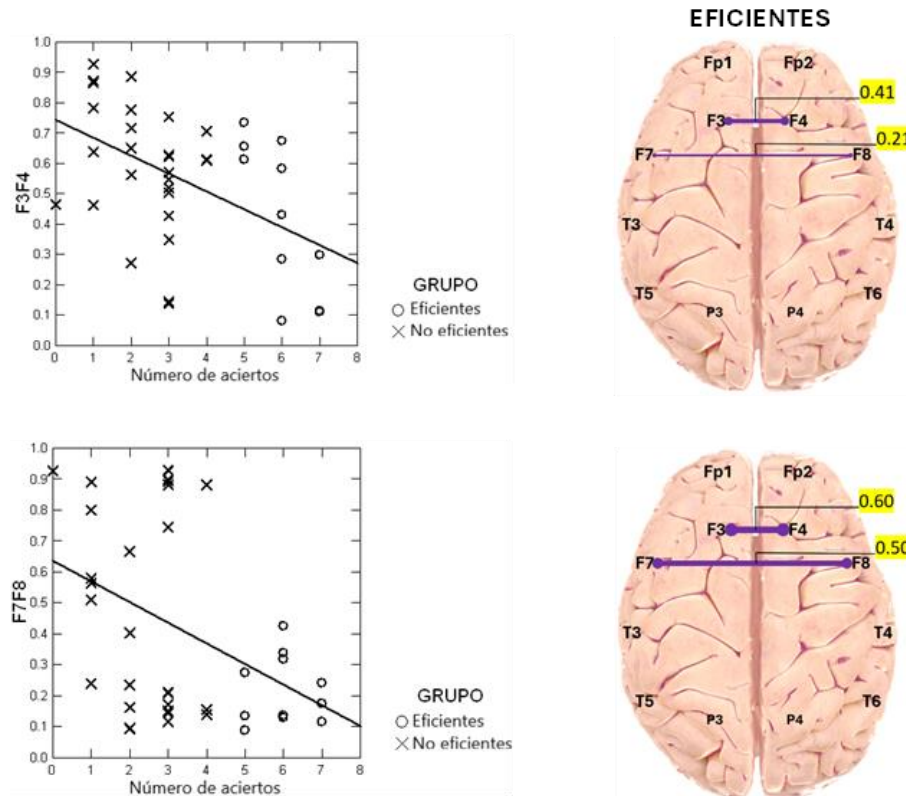


Figura 5. Gráficas que ilustran la correlación negativa, significativa ( $p < 0.05$ ), entre los valores de coherencia interhemisférica en F3-F4 y F7-F8 (ordenada) con el número de aciertos objeto-lugar (abscisa) en todos los participantes en el estudio. La imagen de la derecha muestra las derivaciones y el grado de la coherencia mediante el grosor de las líneas.

El análisis de correlación efectuado en cada uno de los grupos por separado mostró una correlación negativa, significativa ( $-0.766$ ,  $p < 0.01$ ) entre la coherencia interhemisférica en F3-F4 y el número de aciertos objeto-lugar en el grupo eficiente, así como una tendencia hacia esta correlación ( $-0.340$ ,  $p < 0.065$ ) en el grupo No Eficiente (Figura 6).

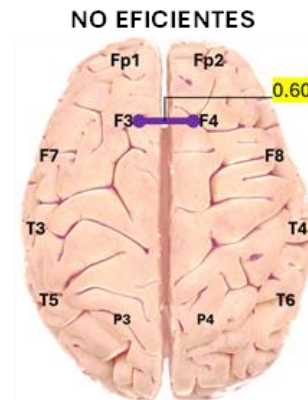
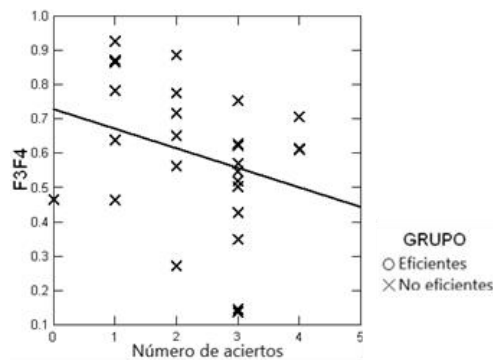
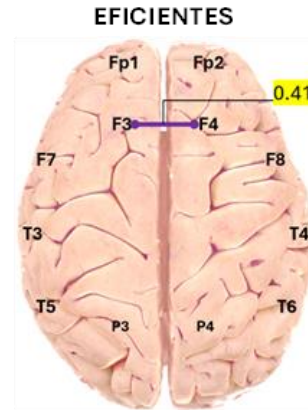
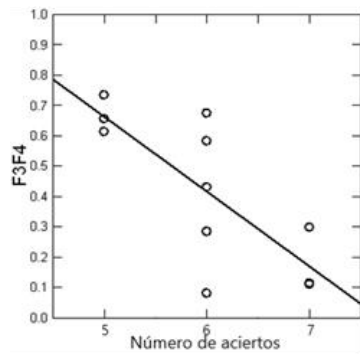
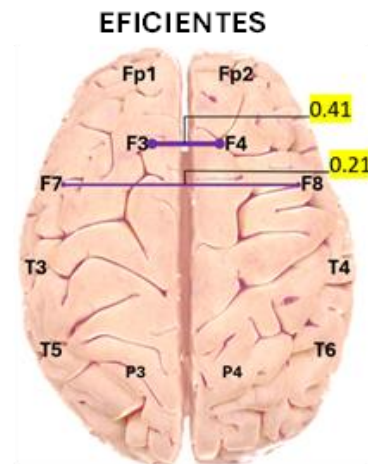
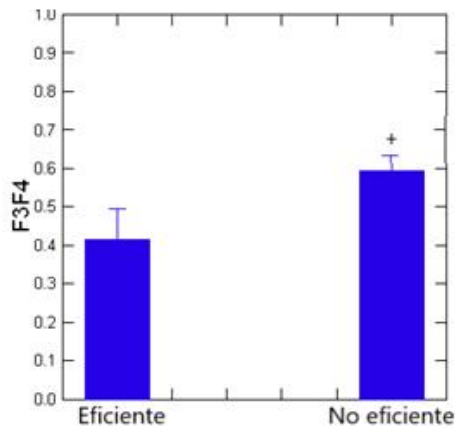


Figura 6. Gráficas de correlación entre el número de aciertos objeto-lugar (abscisa) y los valores de la correlación interhemisférica en F3-F4 (ordenada), en el grupo Eficiente y No eficiente. La imagen de la derecha muestra las derivaciones y el grado de la coherencia mediante el grosor de las líneas.

La comparación intergrupual de los valores de coherencia interhemisférica en F3-F4 y F7-F8, mostró valores de coherencia significativamente mayores ( $p < 0.03$ ,  $p < 0.02$ ), respectivamente) en el grupo No Eficiente en comparación con el grupo Eficiente (Figura 7), durante la etapa de codificación.



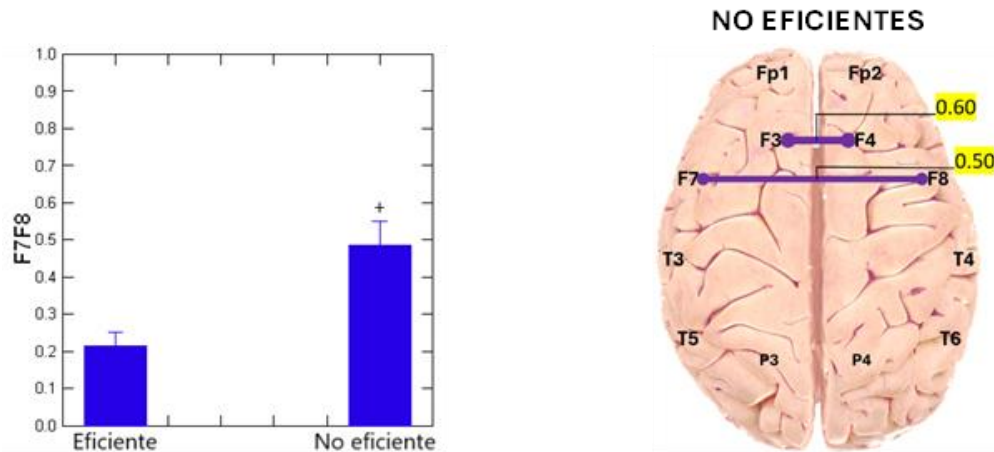
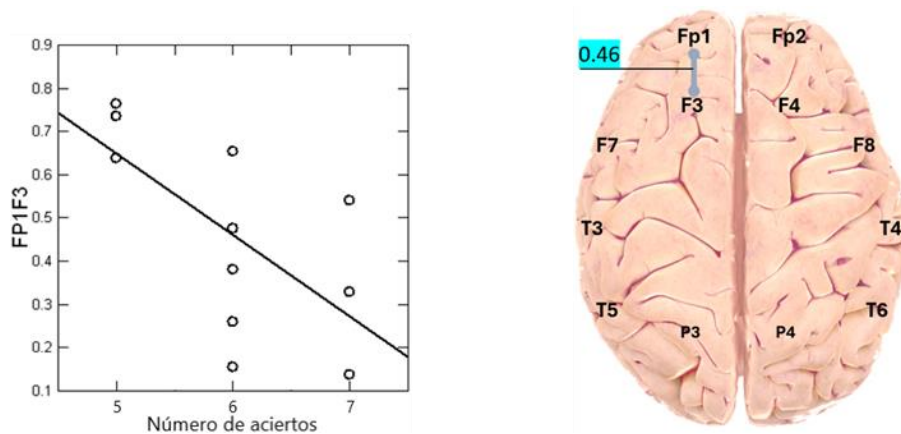


Figura 7. Valores de coherencia interhemisférica entre derivaciones frontales en los grupos eficiente y No eficiente, que muestran la correlación interhemisférica significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) en el grupo No eficiente. La imagen de la derecha muestra las derivaciones y el grado de la coherencia mediante el grosor de las líneas. En el grupo Eficiente (F3 – F4) media de 0.41 y  $\pm$  DE de 0.49 y (F7 – F8) media 0.21 y  $\pm$  DE 0.110; en el grupo No eficiente (F3 – F4) media de 0.60 y  $\pm$  DE 9.205 y (F7 – F8) media 0.48 y  $\pm$  DE 0.333.

En la figura 8 se ilustran los resultados del análisis de correlación entre los aciertos objetivo y la coherencia intrahemisférica, en el hemisferio izquierdo del grupo Eficiente. Pueden observarse las correlaciones significativas en las derivaciones FP1-F3 (-0.575,  $p < 0.013$ ) y F3-T5 (-0.693,  $p < 0.025$ ). También se encontraron valores cercanos a la correlación significativa en la derivación F3-T3 (-0.571,  $p < 0.055$ ).



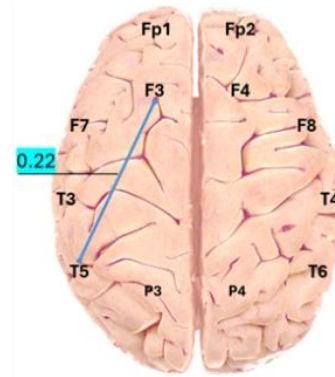
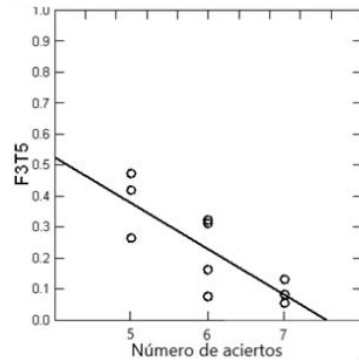


Figura 8. Correlación de los valores de coherencia intrahemisférica (ordenada) en el hemisferio izquierdo y el número de aciertos en la asociación objeto lugar (abscisa), en la prueba de codificación incidental en el grupo Eficiente. La imagen de la derecha muestra las derivaciones y el grado de la coherencia mediante el grosor de las líneas.

En cuanto a la coherencia intrahemisférica, entre las mismas derivaciones frontales del hemisferio izquierdo, en el grupo No eficiente, los resultados del análisis de correlación solo mostraron una tendencia hacia valores de significación estadística en F3-T5 (-0.339,  $p=0.093$ ), y a diferencia de los observado en el grupo Eficiente, la ausencia de correlación en FP1-F3, probablemente debida a la gran dispersión de valores en el análisis de correlación (Figura 9).

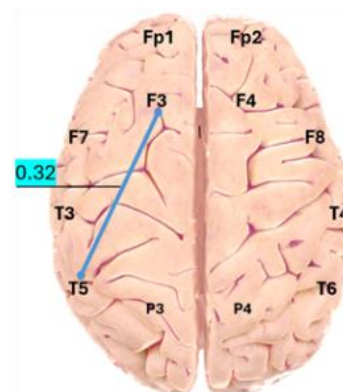
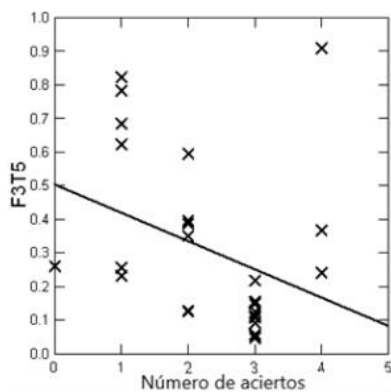
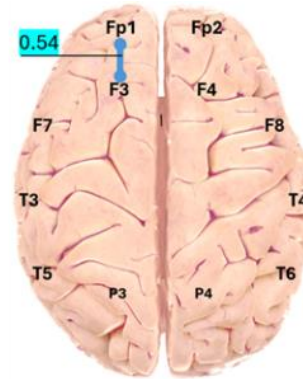
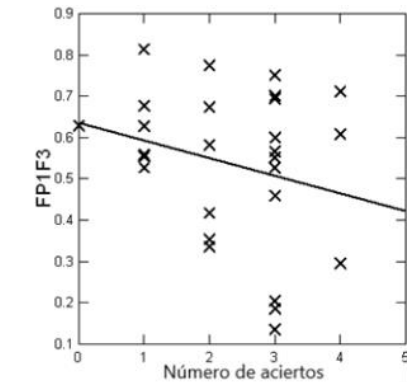


Figura 9. Correlación de los valores de coherencia intrahemisférica (ordenada) en el hemisferio izquierdo y el número de aciertos en la asociación objeto lugar (abscisa), en la prueba de codificación incidental en el grupo No eficiente. La imagen de la derecha muestra las derivaciones y el grado de la coherencia mediante el grosor de las líneas.

No hubo correlaciones significativas entre la coherencia y la eficiencia en las regiones del hemisferio derecho durante la codificación de la información.

### Recuperación incidental

Durante la recuperación de la información, hubo un aumento de la coherencia intrahemisférica del hemisferio izquierdo con respecto a la etapa basal y codificación de la información tanto en el grupo Eficiente y No eficiente en las derivaciones (Fp1 – F3), (Fp1 – F7), (F3 – T3); y un aumento de coherencia en recuperación solo para el grupo Eficiente en las derivaciones (F3 – T5), (F7 – T3) y (F7 – T5); mientras que en el grupo No eficiente no hubo modificaciones significativas de la coherencia intrahemisférica en estas mismas derivaciones (Figura 10).

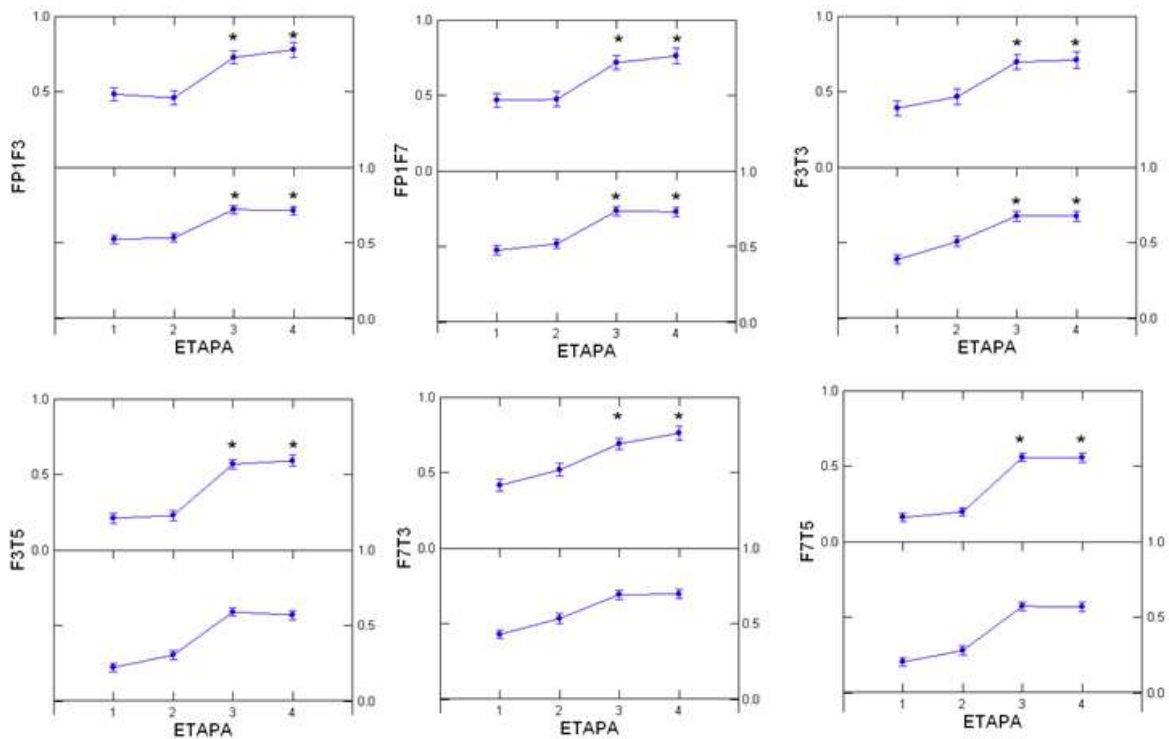


Figura 10. La figura muestra los valores (media) de coherencia intragrupal del hemisferio izquierdo por etapas: 1 basal, 2 codificación, 3 recuperación aciertos y 4 recuperación errores. En la parte superior de cada recuadro el grupo Eficiente y en la parte inferior de cada recuadro el grupo No eficiente. \*  $p < 0.05$ .

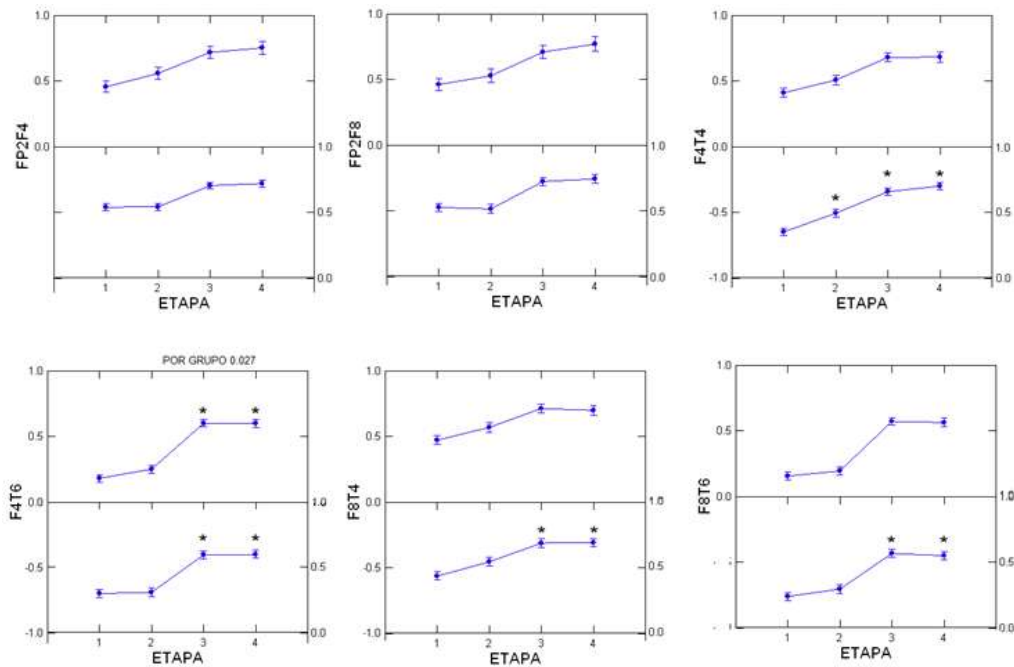


Figura 11. La figura muestra los valores (media) de coherencia intragrupal del hemisferio derecho por etapas: 1 basal, 2 codificación, 3 recuperación aciertos y 4 recuperación errores. En la parte superior de cada recuadro el grupo Eficiente y en la parte inferior de cada recuadro el grupo No eficiente. \*  $p < 0.05$

Por otra parte, en el hemisferio derecho, tanto para el grupo Eficiente y No eficiente el aumento de la coherencia en la etapa de recuperación con respecto a la etapa basal y de codificación de la información se observó en las derivaciones (F4 – T6) y (F8 – T6), y sólo para el grupo No eficiente en las derivaciones (F8 -T4) y (F4 – T4); mientras que para ambos grupos no hubo modificaciones significativas en las derivaciones (Fp2 – F4) y (Fp2 – F8) (Figura 11).

En cuanto a la coherencia interhemisférica durante las etapas de recuperación de la información, se observó un incremento significativo con respecto a la etapa basal y codificación en todas las derivaciones registradas, sin diferencias entre el grupo Eficiente y No eficiente (Figura 12).

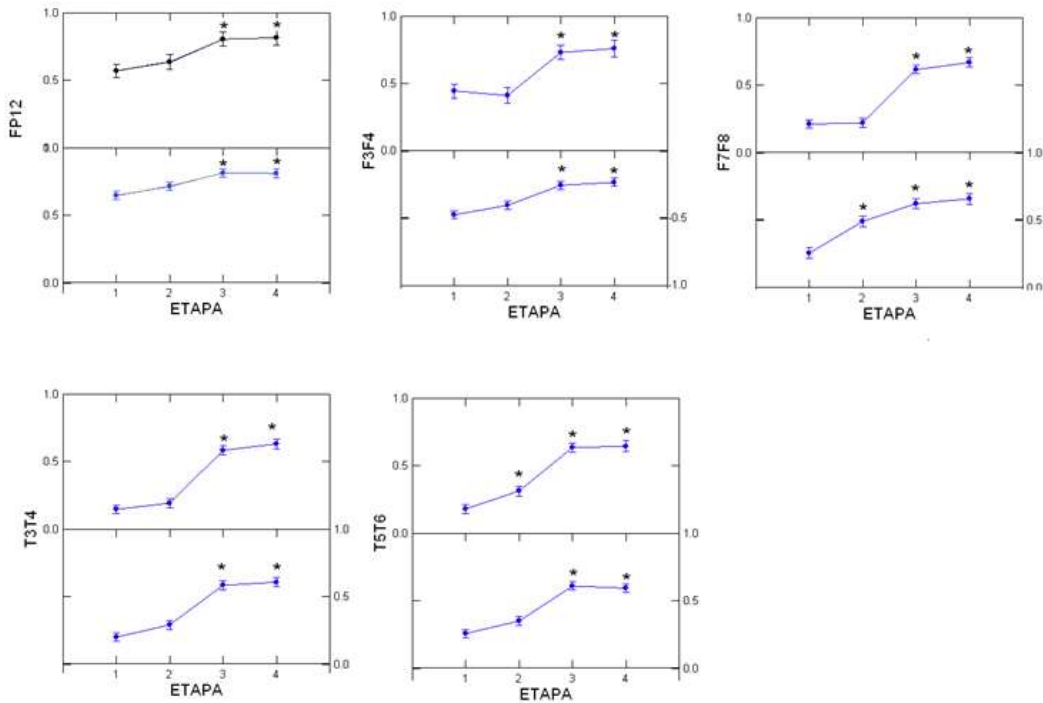


Figura 12. La figura muestra los valores (media) de coherencia intragrupal interhemisférica por etapas: 1 basal, 2 codificación, 3 recuperación aciertos y 4 recuperación errores. En la parte superior de cada recuadro el grupo Eficiente y en la parte inferior de cada recuadro el grupo No eficiente. Note el incremento significativo de la coherencia interhemisférica en todas las derivaciones durante las etapas de recuperación, en ambos grupos. \*  $p < 0.05$ .

Con la finalidad de realizar un mejor contraste de las características de la coherencia de la banda theta relacionadas con la eficiencia de los participantes; adicionalmente se realizaron comparaciones entre los resultados obtenidos en individuos del grupo Eficiente con 5 o más aciertos en la prueba de asociación objeto-lugar incidental (Grupo Eficiente bis;  $n = 13$ ) y los resultados obtenidos en individuos del grupo No eficiente que lograron entre 0 a 2 aciertos en la prueba de asociación objeto-lugar incidental (Grupo No Eficiente bis;  $n = 15$ ). En estas condiciones, se observan diferencias significativas en los puntajes de la prueba RAVEN ( $p < 0.04$ ), con mayores puntajes en el grupo Eficiente bis y en la edad ( $p < 0.05$ ), con edades significativamente mayores en el grupo No Eficiente bis (Figura 13); mientras que, no se encontraron diferencias significativas en la prueba MOCA ni en los años de escolaridad.

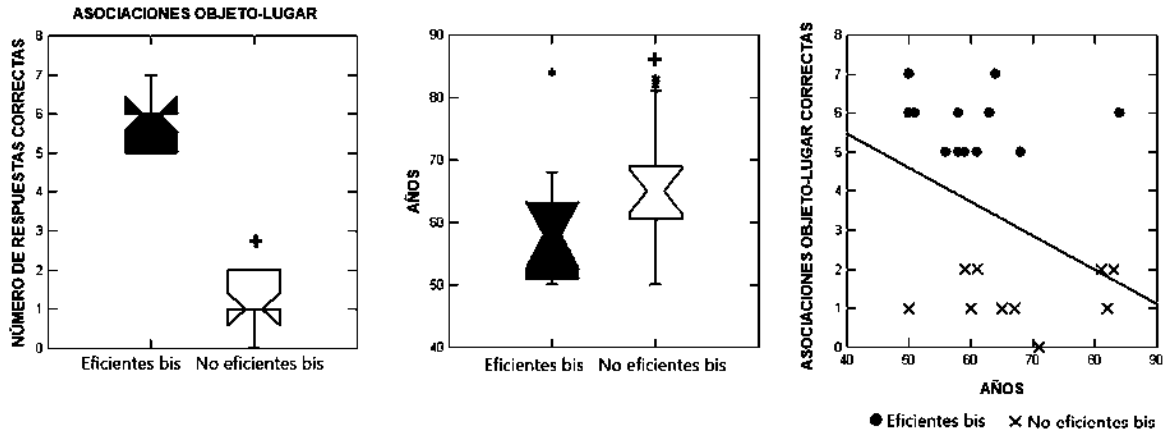


Figura 13. Numero (Mediana  $\pm$  Rango) de asociaciones objeto-lugar correctas, edad y correlación entre el número de asociaciones objeto-lugar correctas y la edad, en los grupos Eficiente bis y No eficiente bis.

El análisis de correlaciones simples entre las variables sexo, edad, escolaridad y los resultados de las pruebas MOCA y RAVEN, mostró una correlación positiva significativa entre los resultados de la prueba RAVEN y los años de escolaridad ( $r = 0.057$ ,  $p < 0.03$ ). En consecuencia, se llevaron a cabo comparaciones múltiples entre el número de asociaciones objeto – lugar correctas y la edad, considerando al sexo como variable parcial independiente, mientras que los resultados de la prueba RAVEN y los años de escolaridad fueron las variables dependientes. Bajo estas condiciones, no se encontró una correlación significativa entre el número de asociaciones objeto - lugar correctas y la edad. Por lo tanto, los resultados obtenidos por el grupo no eficiente no están relacionados con la edad, como se muestra en la gráfica de dispersión (Figura 13).

En cuanto el análisis de la actividad eléctrica, durante la etapa basal no se observaron diferencias significativas entre los grupos eficiente bis y no eficiente bis. Sin embargo, durante la etapa de la **codificación** de la información, en ambos grupos se presentaron correlaciones negativas en la coherencia interhemisférica y el número de aciertos en la asociación objeto-lugar, incidental (Figura 14) en las regiones frontales F3 – F4 ( $r = -0.61$ ,  $p < 0.00$ ) y F7 – F8 ( $r = -0.44$ ,  $p < 0.04$ ). En el hemisferio izquierdo, se observaron correlaciones intrahemisférica negativas significativas entre la coherencia y el número de aciertos en las derivaciones Fp1 – F3 ( $r = -0.19$ ,  $p < 0.05$ ) y F3 – T5 ( $r = -0.42$ ,  $p < 0.05$ ). No se encontraron correlaciones significativas entre el grado de coherencia y la eficiencia en el reconocimiento de los objetos en las derivaciones del hemisferio derecho.

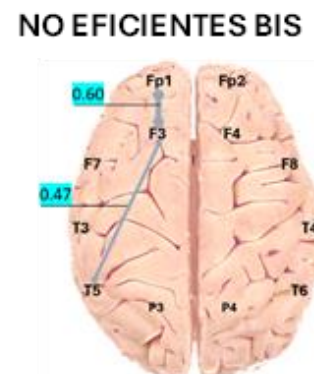
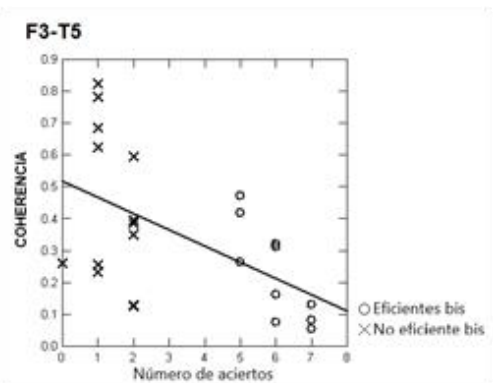
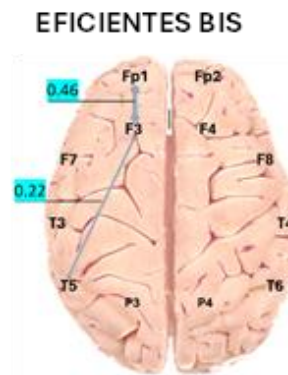
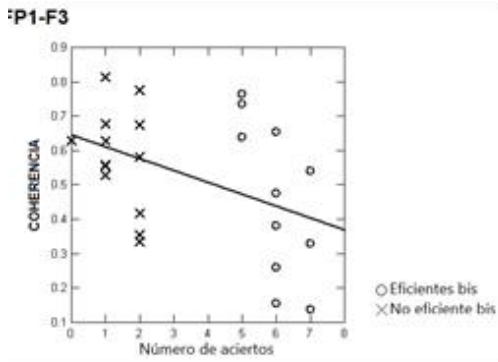
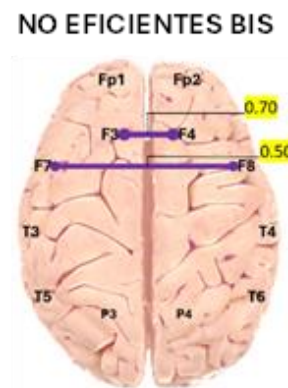
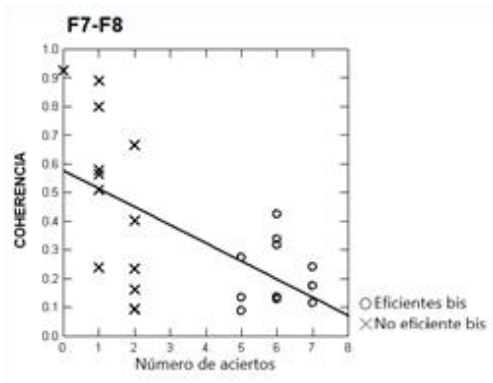
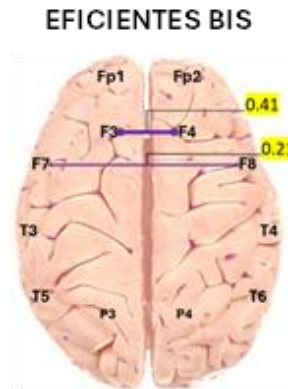
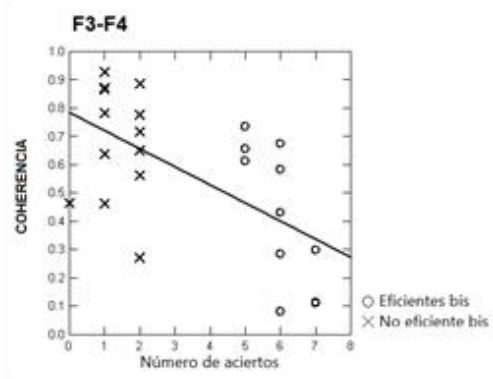
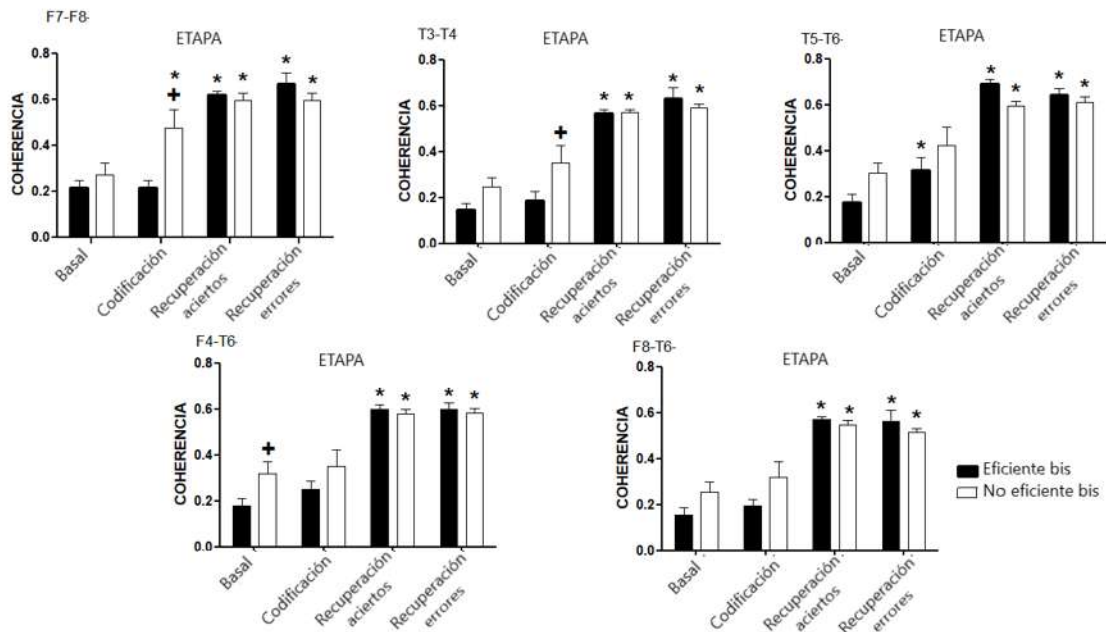


Figura 14. Correlación de los valores de coherencia interhemisférica (ordenada) entre derivaciones frontales y temporales, con el número de aciertos en la asociación objeto-lugar incidental (abscisa) en los grupos Eficiente bis y No eficiente bis. Puede observarse la relación inversa entre la coherencia interhemisférica y el número de aciertos en la asociación objeto-lugar incidental, en ambos grupos. La imagen de la derecha muestra las derivaciones y el grado de la coherencia mediante el grosor de las líneas.

En las 3 gráficas en la parte superior de la figura 15 se muestran los resultados de la comparación intergrupala de la coherencia interhemisférica en derivaciones frontales y temporales, tomando en consideración los factores de grupo y etapa de la prueba de aprendizaje/memoria visuoespacial incidental (ANOVA. F7-F8:  $F = 3.842$ ,  $p = 0.011$ ; T3-T4:  $F = 3.737$ ,  $p = 0.012$ ; T5-T6:  $F = 3.376$ ,  $p = 0.020$ ). Puede observarse el incremento significativo de la coherencia interhemisférica en las regiones F7-F8 ( $T = 3.896$ ,  $p < 0.01$ ), T3-T4 ( $T = 2.765$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo No eficiente bis, durante la etapa de codificación incidental, con respecto a la coherencia interhemisférica en el grupo Eficiente bis.



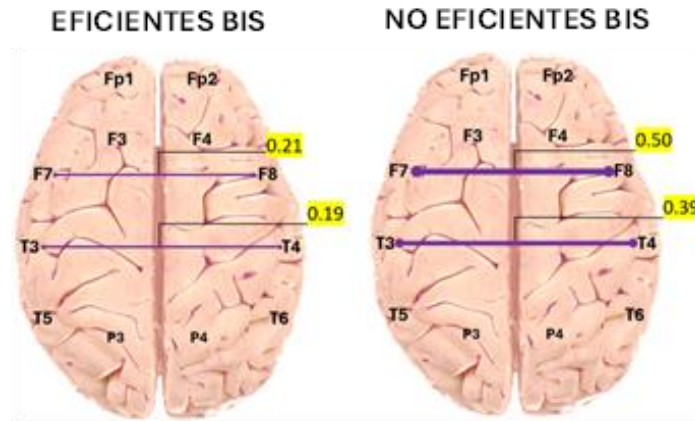


Figura 15. Valores de coherencia interhemisférica (gráficas en la parte superior) y coherencia intrahemisférica (gráficas en la parte inferior) en diferentes etapas de la prueba de codificación visuoespacial incidental, en los grupos Eficiente bis y No eficiente bis. La comparación intergrupala muestra diferencias significativas en la coherencia interhemisférica en las etapas de codificación (+) y recuperación (\*) con respecto a la condición basal.

Así mismo, la coherencia interhemisférica en las regiones F7-F8 ( $T=3.896$ ,  $p < 0.01$ ), T3-T4 ( $T= 2.765$ ,  $p < 0.05$ ) y T5-T6 fue significativamente mayor durante la recuperación de la información con aciertos y durante la recuperación de la información con errores, tanto en el grupo Eficiente bis como en el grupo No eficiente bis, en comparación con la etapa basal, sin diferencias entre ambos grupos.

En las dos gráficas de la parte inferior de la figura 15 se muestran los resultados de la comparación intergrupala de la coherencia intrahemisférica en derivaciones frontales y temporales del hemisferio derecho, tomando en consideración los factores de grupo y etapa de la prueba de aprendizaje/memoria visuoespacial incidental. Así mismo, la coherencia intrahemisférica en F4 -T6, en condiciones basales, fue significativamente mayor en el grupo No eficiente bis que el grupo Eficiente bis ( $T = 2.637$ ,  $p < 0.05$ ). Tanto en las derivaciones F4-T6 como en F8-T6 la coherencia intrahemisférica fue significativamente mayor durante la recuperación de la información con aciertos y durante la recuperación de la información con errores, tanto en el grupo Eficiente bis como en el grupo No eficiente bis, en comparación con la etapa basal, sin diferencias entre ambos grupos.

El análisis de coherencias intrahemisférica en el hemisferio izquierdo no mostró diferencias significativas intra o intergrupales.

### 13. DISCUSIÓN

Varios estudios han informado sobre el deterioro de las capacidades cognitivas relacionadas con el envejecimiento, especialmente las funciones ejecutivas, la inhibición de información irrelevante y la adecuada ejecución de la memoria de trabajo (Park et al., 2007; Cohen-Zimmerman & Hassin, 2018; Buschkuhl et al., 2008). En particular, el proceso de aprendizaje y memoria visuoespacial tanto intencional como incidental, parece ser el componente más sensible y un indicador adecuado del deterioro cognoscitivo durante el envejecimiento (Iachini I et al., 2009). En este sentido, se ha identificado a través de diferentes pruebas la menor eficiencia en el proceso de aprendizaje-memoria visuoespacial en los adultos mayores, en comparación con los adultos jóvenes (Chen et al., 2003; Rugg et al., 1997; Chu et al., 2022; López-Loeza et al., 2016; Junco, 2017).

Así mismo, se sabe que la presencia de ciertas patologías, como la diabetes mellitus puede inducir deterioro cognoscitivo que afecta principalmente a la memoria visuoespacial tanto intencional como incidental (Mejía-Rodríguez et al., 2021); varios estudios han relacionado a la diabetes con atrofia cortical, alteraciones en el sistema dopaminérgico, defectos en la señalización de la insulina, las vías neuroinflamatorias y el metabolismo mitocondrial (Zilliox et al., 2016). Además, se ha descrito que la información visuoespacial que es codificada de forma incidental parece ser aún más vulnerable que aquella codificada de manera intencional (Davis et al., 2001; Joy et al., 2000; Kontaxopoulou et al., 2017).

En estas condiciones cabría esperar que los adultos mayores (50 años o más) muestren diferentes grados de eficiencia en el desempeño de tareas visuoespaciales incidentales, las cuales podrían explicarse como debidas a variaciones del procesamiento de la información, en las estructuras cerebrales involucradas en funciones cognitivas, durante las etapas basal, codificación y recuperación de la información (Zlotnik & Vansintjan, 2019).

En nuestro estudio, el análisis de la coherencia inter e intrahemisférica en condición basal no mostró diferencias significativas entre los grupos que finalmente fueron identificados como Eficiente y No eficiente. Existen evidencias de que no hay cambios significativos en la coherencia inter e intrahemisférica en condiciones basales entre individuos sanos y otros con deterioro cognitivo leve (Stam et al., 2003; Jelic et al., 2000; Jiang, 2005).

En estas condiciones, es probable que la disminución de la eficiencia de la memoria incidental con el aumento de la edad sea consecuencia de cambios en los procesos tanto de la codificación como de la recuperación de la información, como ha sido sugerido previamente (Craik & Rose, 2012).

En el procesamiento y flujo de la información durante el aprendizaje y la memoria visuoespacial incidental, juega un papel muy importante el acoplamiento funcional entre dos o más regiones corticales y subcorticales, en un mismo hemisferio o en ambos hemisferios cerebrales involucradas en el proceso. Una forma de evaluar el acoplamiento funcional entre estructuras cerebrales que concurren en el mismo proceso es la determinación de la coherencia de la actividad eléctrica en dichas estructuras (Horwitz, 2003). Esta técnica permite determinar el grado de similitud entre el EEG registrado al mismo tiempo en diferentes estructuras involucradas en el mismo proceso cerebral. Con relación al aprendizaje y la memoria visuoespacial, la coherencia se ha empleado para evaluar la magnitud de la conectividad funcional entre regiones prefrontales y parietales en el curso de tareas de memoria visuoespacial intencional. En estas condiciones se ha observado un aumento en la coherencia en las bandas theta y alfa durante la recuperación de la información verbal o escrita de palabras clave y dibujos abstractos de diferente complejidad (Sarnthein et al., 1998; Sauseng et al., 2005; Kawasaki & Yamaguchi, 2010). Sin embargo, se tiene poca información acerca de conectividad intra e interhemisférica durante las diferentes etapas del aprendizaje/memoria visuoespacial incidental.

El objetivo de este trabajo fue analizar la correlación de la coherencia inter e intrahemisférica de la actividad EEG frontotemporal en el rango de la banda theta (4 – 8 Hz) y su correlación con la eficiencia en la ejecución de una tarea de memoria visuoespacial codificada de manera incidental en adultos mayores sanos (50 – 84 años). Para ello, se utilizó una tarea de aprendizaje y memoria visuoespacial que incluyó el componente intencional y el componente incidental del proceso cognoscitivo. En el presente trabajo se estudiaron solamente los cambios del EEG durante el proceso de aprendizaje y memoria incidental (basal, codificación y recuperación de la información), con objeto de identificar los cambios de la actividad eléctrica cerebral en diferentes derivaciones corticales y en el acoplamiento funcional entre dichas regiones.

Los resultados de la prueba de aprendizaje/memoria visuoespacial incidental mediante la asociación objeto-lugar (prueba de laberinto), utilizada en el presente trabajo, permitieron la identificación de participantes con diferentes magnitudes de eficiencia, de tal manera que pudieron ser clasificados en Eficientes y No eficientes, a fin de tomar como referencia principalmente el grado de eficiencia en la ejecución de la prueba. Así se pudo identificar una correlación negativa entre el número de asociaciones objeto-lugar correctas y el grado de coherencia inter o intrahemisférica en cada individuo, de tal manera que, en el presente estudio, los mayores valores de coherencia interhemisférica correspondieron con los menores números de aciertos en la identificación de la asociación objeto-lugar, independientemente de que los individuos hubieran sido clasificados como Eficientes o No Eficientes.

Este dato, que debe ser considerado como uno de los resultados más importantes del presente estudio, fue confirmado al analizar los resultados de coherencia y eficiencia habiendo agrupado a los participantes con los mayores grados de eficiencia (en el grupo Eficiente bis) y a los participantes con menor grado de eficiencia (en el grupo No eficiente bis). De hecho, con los participantes agrupados de esta manera la coherencia interhemisférica de las derivaciones frontales (F3 – F4), (F7 – F8) y temporales (T3 – T4) durante la codificación de la información en el grupo No eficiente bis fue significativamente mayor en comparación con el grupo Eficiente bis.

Este dato podría corresponder a las propuestas que pretenden explicar el grado de participación de ambos hemisferios o de un solo hemisferio en los procesos cerebrales relacionados con la ejecución motora, la conducta emocional o las funciones cognoscitivas y sus modificaciones en los adultos mayores. Así, se ha propuesto que en estos es necesaria la participación bilateral de las regiones prefrontales en dichos procesos, a diferencia de lo que ocurre en los jóvenes donde el mismo proceso puede tener lugar predominantemente en un solo hemisferio (Reducción de la Asimetría Hemisférica en Adultos Mayores, HAROLD por sus siglas en inglés) Cabeza, /2002), sugiriendo que la edad puede ser un factor que determina un acoplamiento interhemisférico funcional diferente en el proceso de aprendizaje y memoria visuoespacial.

También se ha mostrado, utilizando la técnica de tomografía de emisión de positrones como indicador del acoplamiento funcional entre estructuras cerebrales, que la mayor complejidad

de la tarea visuoespacial puede requerir la participación bilateral de ambos hemisferios, especialmente la región prefrontal en individuos de mayor edad (Baker, 1996). El significado funcional de la activación bilateral se ha interpretado en términos de un posible mecanismo compensatorio (Cabeza et al., 2018), lo que sugiere que un aumento del acoplamiento interhemisférico podría favorecer el aprendizaje y la memoria visuoespacial incidental; aunque, también se ha observado que la participación de ambos hemisferios en el mismo proceso no siempre da lugar a un desempeño exitoso en la tarea visuoespacial (Cabeza y Dennis, 2013). Ante esta disyuntiva, los resultados del presente estudio sustentan que el acoplamiento funcional interhemisférico de las regiones frontales y temporales, durante la etapa de la codificación de la información no corresponden al desempeño exitoso de la tarea de aprendizaje y memoria visuoespacial incidental.

A este respecto, cabe mencionar que el mayor acoplamiento funcional interhemisférico, identificado mediante la correlación del EEG de las regiones parietales en el rango de las frecuencias alfa, beta y theta y la menor eficiencia en el desempeño de la tarea cognoscitiva ya había sido mostrado en otros estudios (Corsi et al., 1988); en pruebas verbal, espacial y mixtas en jóvenes (20 – 24 años), reforzando el concepto de que el incremento de la coherencia interhemisférica podría operar en contra del desempeño exitoso de la tarea, independientemente de la edad y de la complejidad de la prueba.

De hecho, en investigaciones previas se ha mostrado un aumento en la coherencia tanto interhemisférica como intrahemisférica, en tareas de memoria de trabajo, en pacientes con deterioro cognitivo leve; un dato que se ha interpretado como indicador de la falta de eficiencia de ciertos circuitos cerebrales y el incremento de coherencia en otras redes neuronales, a manera de un proceso compensatorio (Bajo et al., 2010; Jiang & Zheng, 2006). Esta interpretación ha sido sustentada por estudios de Resonancia Magnética Funcional (fMRI) en tareas de memoria de trabajo (Bai et al., 2008).

Sin embargo, en el presente estudio los resultados del incremento de la coherencia interhemisférica no sustentan que estos correspondan a un mecanismo compensatorio que favorezca un mejor grado de eficiencia en la tarea de memoria de trabajo visuoespacial incidental ya que están relacionados con desempeño deficiente de dicha tarea, como lo muestran los valores significativamente mayores de coherencia interhemisférica en las regiones frontales (F3 – F4) y (F7 – F8) así como en la región temporal medial (T3 – T4), y

valores de coherencia intrahemisférica del hemisferio izquierdo en la región prefrontal (Fp1 – F3) y fronto-temporal (F3 – T5) en el grupo No eficiente, en comparación con el grupo Eficiente.

En este sentido, se ha reportado que en las regiones corticales fronto-temporales y parietales están implicadas en las funciones cognoscitivas (Sarnthein et al., 1998) y que estas regiones son más sensibles a los cambios durante el envejecimiento (Rhodes & Kelley, 2005).

El análisis de coherencia intrahemisférica entre las derivaciones consideradas en el presente estudio también mostró diferencias importantes durante la etapa de codificación visuoespacial incidental, relacionadas con el grado de eficiencia en el reconocimiento de asociación objeto-lugar. Así, en el hemisferio izquierdo prefrontal (Fp1 – F3) y fronto temporal (F3 – T5) y (F7- T5) se identificó la misma tendencia (no significativa) de correlación negativa entre los valores de coherencia intrahemisférica y el número de asociaciones objeto-lugar, en el análisis efectuado en los grupos originales Eficientes y No eficientes. Esta tendencia adquirió valores de significación estadística al comparar los grupo Eficientes bis y No eficientes bis. En cambio, no se observaron modificaciones en los valores de coherencia intrahemisférica en el hemisferio derecho durante la etapa de codificación.

Con base en los resultados de estudios previos (Smith & Jonides, 1997; Burgess et al., 2002), se ha sugerido que el hipocampo, la corteza parietal superior y la corteza prefrontal del hemisferio derecho desempeñan un papel predominante en el procesamiento de la información que da lugar a la localización de los objetos. En cambio, el hipocampo, la corteza del lóbulo temporal medial, la corteza parietal superior y la corteza prefrontal del hemisferio izquierdo estaría predominantemente involucradas en el procesamiento de información relacionado con otras características de la memoria episódica, como podría ser la identificación de los rasgos de los objetos en el entorno.

En el presente estudio, la ausencia de modificaciones significativas en la coherencia intrahemisférica en el hemisferio derecho podría significar que el procesamiento de información relacionado con la codificación involucrada en la localización de objetos fue semejante en los grupos Eficiente y No eficiente. En cambio, cabe destacar que la

correlación entre la coherencia interhemisférica durante la codificación y los valores de eficiencia en el reconocimiento de la asociación objeto – lugar, mostró la misma tendencia de correlación negativa que la observada en los resultados de correlación intrahemisférica del hemisferio izquierdo; es decir, mayores valores de coherencia correlacionados con menores valores de eficiencia. Esto podría indicar que la afectación de los participantes no se encuentra en la identificación de los objetos en el espacio, sino que se trata de una deficiencia de memoria que descansa principalmente en el hemisferio izquierdo.

Esta interpretación es consistente con la diferencia significativa en la coherencia intrahemisférica del hemisferio izquierdo en la región frontotemporal (F7 – T5) y la tendencia a la diferencia significativa en las regiones prefrontal (Fp1 – F3) y frontotemporal (F3 – T5), con mayores valores de coherencia en el grupo No eficiente, sugiere un procesamiento de la información diferente relacionado con el grado de eficiencia, posiblemente debido a diferencias en el recuerdo de los objetos en su posición y no con el simple reconocimiento de los objetos.

Por otra parte, en el presente estudio la coherencia interhemisférica se incrementó significativamente durante las etapas de la recuperación de la información, con respecto a la etapa basal, tanto en los participantes Eficientes como en los No eficientes, sin diferencia significativa entre ambos grupos, lo cual sugiere que el acoplamiento funcional entre las estructuras no intervino de manera importante en el resultado final de la eficiencia en la tarea. En cambio, la diferencia entre la coherencia interhemisférica durante la etapa de codificación parece ser un factor determinante en el desempeño de la tarea, como ha sido sugerido por otros autores (Muthukrishnan et al., 2020; Xie Y et al., 2021)

En este sentido nuestros resultados también muestran el incremento de la coherencia intrahemisférica en derivaciones frontotemporales del hemisferio derecho, así como en derivaciones frontales del hemisferio izquierdo durante la recuperación de la información en el grupo No eficiente. En cambio, el incremento de la coherencia en el grupo Eficiente se observó tanto en las regiones frontales como frontotemporales en el hemisferio izquierdo y en las regiones frontotemporales del hemisferio derecho.

Finalmente, es importante mencionar que, al analizar los datos de los grupos Eficiente bis y no Eficiente bis, las diferencias se mantuvieron o se remarcaron, manteniendo el mismo

sentido que los grupos originales, lo que refuerza la idea de que las diferencias en los patrones de coherencia que observamos, se relacionan con diferencias en la eficiencia y no son cambios generados solamente por el envejecimiento.

#### 14. CONCLUSIÓN

El incremento de la coherencia interhemisférica durante la codificación de la información está correlacionado de manera negativa con la eficiente del desempeño de la tarea memoria visuoespacial incidental, lo cual sugiere que el acoplamiento funcional diferente entre ambos hemisferios puede ser un factor determinante en el grado de eficiencia en la ejecución de la tarea. Así mismo, que la codificación de las características de los objetos, dependiente del hemisferio izquierdo, puede jugar un papel importante en el resultado final de eficiencia de la tarea.

Además, el acoplamiento funcional inter e intrahemisférica fue igual durante la recuperación de la información tanto en los participantes Eficientes y No eficientes, sugiriendo que las diferencias en la ejecución de la tarea de memoria visuoespacial incidental no dependen primordialmente de procesos cerebrales en la recuperación de la información.

Los resultados de este proyecto ponen en perspectiva la posibilidad de que el análisis de las características de la actividad eléctrica, indicadoras de cambio en el funcionamiento cerebral puedan ser de utilidad en el diagnóstico temprano de deficiencias cognitivas asociadas al envejecimiento y/o a la presencia de patologías cerebrales.

## 15. REFERENCIA

- Alvarez, G. A., & Cavanagh, P. (2004). The capacity of visual short-term memory is set both by visual information load and by number of objects. *Psychological science*, 15(2), 106–111. <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2004.01502006.x>
- Andel, R., Finkel, D., & Pedersen, N. L. (2016). Effects of Preretirement Work Complexity and Postretirement Leisure Activity on Cognitive Aging. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 71(5), 849–856. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbv026>
- Anderson, N.D., & Craik, F.I.M. (2000). Memory in the aging brain. In E. Tulving & F.I.M. Craik (Eds.), *The Oxford Handbook of Memory* (pp. 411-425). New York: Oxford University Press.
- Baddeley A. (1992). Working memory. *Science (New York, N.Y.)*, 255(5044), 556–559. <https://doi.org/10.1126/science.1736359>
- Baddeley A. (2010). Working memory. *Current biology: CB*, 20(4), R136–R140. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>
- Bai, F., Zhang, Z., Yu, H., Shi, Y., Yuan, Y., Zhu, W., Zhang, X., & Qian, Y. (2008). Default-mode network activity distinguishes amnesic type mild cognitive impairment from healthy aging: a combined structural and resting-state functional MRI study. *Neuroscience letters*, 438(1), 111–115. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.04.021>
- Bajo, R., Maestú, F., Nevado, A., Sancho, M., Gutiérrez, R., Campo, P., Castellanos, N. P., Gil, P., Moratti, S., Pereda, E., & Del-Pozo, F. (2010). Functional connectivity in mild cognitive impairment during a memory task: implications for the disconnection hypothesis. *Journal of Alzheimer's disease : JAD*, 22(1), 183–193. <https://doi.org/10.3233/JAD-2010-100177>
- Baker, S. C., Rogers, R. D., Owen, A. M., Frith, C. D., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S., & Robbins, T. W. (1996). Neural systems engaged by planning: a PET study of the Tower of London task. *Neuropsychologia*, 34(6), 515–526. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00133-6](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00133-6)
- Ballesteros, S., & Mayas, J. (2015). Selective attention affects conceptual object priming and recognition: a study with young and older adults. *Frontiers in psychology*, 5, 1567. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01567>
- Barry, R. J., Clarke, A. R., Hajos, M., Dupuy, F. E., McCarthy, R., & Selikowitz, M. (2011). EEG coherence and symptom profiles of children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 122(7), 1327–1332. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.01.007>
- Bastiaansen, M. C., Posthuma, D., Groot, P. F., & de Geus, E. J. (2002). Event-related alpha and theta responses in a visuo-spatial working memory task. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 113(12), 1882–1893. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(02\)00303-6](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00303-6)
- Bauer, M., Buckley, M. G., & Bast, T. (2021). Individual differences in theta-band oscillations in a spatial memory network revealed by electroencephalography predict rapid place learning.

- Beaumont, J. G., Mayes, A. R., & Rugg, M. D. (1978). Asymmetry in EEG alpha coherence and power: effects of task and sex. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 45(3), 393–401. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(78\)90190-6](https://doi.org/10.1016/0013-4694(78)90190-6)
- Bermúdez-Rattoni, F., & McGaugh, J. L. (2017). Memory reconsolidation and memory updating: Two sides of the same coin?. *Neurobiology of learning and memory*, 142(Pt A), 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2017.05.002>
- Bopp, K. L., & Verhaeghen, P. (2005). Aging and verbal memory span: a meta-analysis. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 60(5), P223–P233. <https://doi.org/10.1093/geronb/60.5.p223>
- Breakspear, M., & Terry, J. R. (2002). Detection and description of non-linear interdependence in normal multichannel human EEG data. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 113(5), 735–753. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(02\)00051-2](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00051-2)
- Brewer, W. F., & Treyens, J. C. (1981). Role of schemata in memory for places. *Cognitive Psychology*, 13(2), 207-230. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(81\)90008-6](https://doi.org/10.1016/0010-0285(81)90008-6)
- Brickman AM, Stern Y. 2009. Aging and memory in humans. In *Encyclopedia of Neuroscience*, ed. LR Squire, pp. 175–80. Amsterdam: Elsevier <https://doi.org/10.7916/p7g6-cp39>
- Britton, A., Shipley, M., Singh-Manoux, A., & Marmot, M. G. (2008). Successful aging: the contribution of early-life and midlife risk factors. *Journal of the American Geriatrics Society*, 56(6), 1098–1105. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.01740.x>
- Burgess, N., Maguire, E. A., & O'Keefe, J. (2002). The human hippocampus and spatial and episodic memory. *Neuron*, 35(4), 625–641. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(02\)00830-9](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(02)00830-9)
- Buschkuhl, M., Jaeggi, S. M., Hutchison, S., Perrig-Chiello, P., Däpp, C., Müller, M., Breil, F., Hoppeler, H., & Perrig, W. J. (2008). Impact of working memory training on memory performance in old-old adults. *Psychology and aging*, 23(4), 743–753. <https://doi.org/10.1037/a0014342>
- Cabeza R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychology and aging*, 17(1), 85–100. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.17.1.85>
- Cabeza, R., Albert, M., Belleville, S., Craik, F. I. M., Duarte, A., Grady, C. L., Lindenberger, U., Nyberg, L., Park, D. C., Reuter-Lorenz, P. A., Rugg, M. D., Steffener, J., & Rajah, M. N. (2018). Maintenance, reserve and compensation: the cognitive neuroscience of healthy ageing. *Nature reviews. Neuroscience*, 19(11), 701–710. <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0068-2>
- Cabeza, R., and Dennis, N. A. (2013). “Frontal Lobes and Aging,” in *Principles of Frontal Lobe Function*, eds D. T. Stuss and R. T. Knight (Oxford: Oxford University Press), 628–652. doi: 10.1093/med/9780199837755.003.0044

- Castro-Chavira, S. A., Barrios, F. A., Pasaye, E. H., Alatorre-Cruz, G. C., & Fernández, T. (2016). Compensatory larger cortical thickness in healthy elderly individuals with electroencephalographic risk for cognitive decline. *Neuroreport*, 27(9), 710–715. <https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000000602>
- Chen, J., Hale, S., & Myerson, J. (2003). Effects of domain, retention interval, and information load on young and older adults' visuospatial working memory. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 10(2), 122–133. <https://doi.org/10.1076/anec.10.2.122.14461>
- Chu, N. C. W., Sturnieks, D. L., Lord, S. R., & Menant, J. C. (2022). Visuospatial working memory and obstacle crossing in young and older people. *Experimental brain research*, 240(11), 2871–2883. <https://doi.org/10.1007/s00221-022-06458-9>
- Cohen-Zimmerman, S., & Hassin, R. R. (2018). Implicit motivation improves executive functions of older adults. *Consciousness and cognition*, 63, 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.06.007>
- Corsi-Cabrera, M., Gutiérrez, S., Ramos, J., & Arce, C. (1988). Interhemispheric correlation of EEG activity during successful and unsuccessful cognitive performance. *The International journal of neuroscience*, 39(3-4), 253–259. <https://doi.org/10.3109/00207458808985712>
- Courtney, S. M., Ungerleider, L. G., Keil, K., & Haxby, J. V. (1997). Transient and sustained activity in a distributed neural system for human working memory. *Nature*, 386(6625), 608–611. <https://doi.org/10.1038/386608a0>
- Cowan N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *The Behavioral and brain sciences*, 24(1), 87–185. <https://doi.org/10.1017/s0140525x01003922>
- Craik, F. I., & Rose, N. S. (2012). Memory encoding and aging: a neurocognitive perspective. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 36(7), 1729–1739. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.007>
- Davis, H. P., Trussell, L. H., & Klebe, K. J. (2001). A ten-year longitudinal examination of repetition priming, incidental recall, free recall, and recognition in young and elderly. *Brain and cognition*, 46(1-2), 99–104. [https://doi.org/10.1016/s0278-2626\(01\)80043-9](https://doi.org/10.1016/s0278-2626(01)80043-9)
- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 18(5), 1201–1209. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm155>
- Devitt, A. L., & Schacter, D. L. (2016). False memories with age: Neural and cognitive underpinnings. *Neuropsychologia*, 91, 346–359. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.08.030>
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of neuroscience methods*, 134(1), 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- Dudai Y. (2004). The neurobiology of consolidations, or, how stable is the engram?. *Annual review of psychology*, 55, 51–86. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.142050>

- Ecuyer-Dab, I., & Robert, M. (2007). The Female Advantage in Object Location Memory According to the Foraging Hypothesis: A Critical Analysis. *Human nature* (Hawthorne, N.Y.), 18(4), 365–385. <https://doi.org/10.1007/s12110-007-9022-0>
- Frankland, P. W., & Bontempi, B. (2005). The organization of recent and remote memories. *Nature reviews. Neuroscience*, 6(2), 119–130. <https://doi.org/10.1038/nrn1607>
- Frankland, P. W., Josselyn, S. A., & Köhler, S. (2019). The neurobiological foundation of memory retrieval. *Nature neuroscience*, 22(10), 1576–1585. <https://doi.org/10.1038/s41593-019-0493-1>
- Friedman D. (2000). Event-related brain potential investigations of memory and aging. *Biological psychology*, 54(1-3), 175–206. [https://doi.org/10.1016/s0301-0511\(00\)00056-9](https://doi.org/10.1016/s0301-0511(00)00056-9)
- Gasser, T., Bächer, P., & Möcks, J. (1982). Transformations towards the normal distribution of broad band spectral parameters of the EEG. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 53(1), 119–124. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(82\)90112-2](https://doi.org/10.1016/0013-4694(82)90112-2)
- Grady, C. L., McIntosh, A. R., & Craik, F. I. (2003). Age-related differences in the functional connectivity of the hippocampus during memory encoding. *Hippocampus*, 13(5), 572–586. <https://doi.org/10.1002/hipo.10114>
- Grunwald, M., Hensel, A., Wolf, H., Weiss, T., & Gertz, H. J. (2007). Does the hippocampal atrophy correlate with the cortical theta power in elderly subjects with a range of cognitive impairment?. *Journal of clinical neurophysiology : official publication of the American Electroencephalographic Society*, 24(1), 22–26. <https://doi.org/10.1097/WNP.0b013e31802ed5b2>
- Gutchess, A. H., Ieuiji, Y., & Federmeier, K. D. (2007). Event-related potentials reveal age differences in the encoding and recognition of scenes. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(7), 1089–1103. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.7.1089>
- Habib, R., Nyberg, L., & Nilsson, L. G. (2007). Cognitive and non-cognitive factors contributing to the longitudinal identification of successful older adults in the betula study. *Neuropsychology, development, and cognition. Section B, Aging, neuropsychology and cognition*, 14(3), 257–273. <https://doi.org/10.1080/13825580600582412>
- Hogan, M. J., Swanwick, G. R., Kaiser, J., Rowan, M., & Lawlor, B. (2003). Memory-related EEG power and coherence reductions in mild Alzheimer's disease. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 49(2), 147–163. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(03\)00118-1](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(03)00118-1)
- Horwitz B. (2003). The elusive concept of brain connectivity. *NeuroImage*, 19(2 Pt 1), 466–470. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(03\)00112-5](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(03)00112-5)
- Iachini, I., Iavarone, A., Senese, V. P., Ruotolo, F., & Ruggiero, G. (2009). Visuospatial memory in healthy elderly, AD and MCI: a review. *Current aging science*, 2(1), 43–59. <https://doi.org/10.2174/1874609810902010043>

- INEGI. (2022). Estadística a propósito del día internacional de las personas adultas mayores 2022. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Jaiswal, N., Ray, W., & Slobounov, S. (2010). Encoding of visual-spatial information in working memory requires more cerebral efforts than retrieval: Evidence from an EEG and virtual reality study. *Brain research*, 1347, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.05.086>
- Jelic, V., Johansson, S. E., Almkvist, O., Shigeta, M., Julin, P., Nordberg, A., Winblad, B., & Wahlund, L. O. (2000). Quantitative electroencephalography in mild cognitive impairment: longitudinal changes and possible prediction of Alzheimer's disease. *Neurobiology of aging*, 21(4), 533–540. [https://doi.org/10.1016/s0197-4580\(00\)00153-6](https://doi.org/10.1016/s0197-4580(00)00153-6)
- Jiang Z. Y. (2005). Abnormal cortical functional connections in Alzheimer's disease: analysis of inter- and intra-hemispheric EEG coherence. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 6(4), 259–264. <https://doi.org/10.1631/jzus.2005.B0259>
- Jiang, Z. Y., & Zheng, L. L. (2006). Inter- and intra-hemispheric EEG coherence in patients with mild cognitive impairment at rest and during working memory task. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 7(5), 357–364. <https://doi.org/10.1631/jzus.2006.B0357>
- Josefsson, M., de Luna, X., Pudas, S., Nilsson, L. G., & Nyberg, L. (2012). Genetic and lifestyle predictors of 15-year longitudinal change in episodic memory. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(12), 2308–2312. <https://doi.org/10.1111/jgs.12000>
- Joy, S., Fein, D., Kaplan, E., & Freedman, M. (2000). Speed and memory in WAIS-R-NI Digit Symbol performance among healthy older adults. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 6(7), 770–780. <https://doi.org/10.1017/s1355617700677044>
- Junco, M. (2017). Estudio de la actividad EEG en la banda theta y gamma-baja durante la adquisición y recuperación de información visuoespacial incidental e intencional en voluntarios jóvenes sanos y adultos. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Karrasch, M., Myllyniemi, A., Latvasalo, L., Söderholm, C., Ellfolk, U., & Laine, M. (2010). The diagnostic accuracy of an incidental memory modification of the Boston Naming Test (memo-BNT) in differentiating between normal aging and mild Alzheimer's disease. *The Clinical neuropsychologist*, 24(8), 1355–1364. <https://doi.org/10.1080/13854046.2010.521982>
- Kawasaki, M., Kitajo, K., & Yamaguchi, Y. (2010). Dynamic links between theta executive functions and alpha storage buffers in auditory and visual working memory. *The European journal of neuroscience*, 31(9), 1683–1689. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2010.07217.x>
- Kikuchi, M., Wada, Y., Koshino, Y., Nanbu, Y., & Hashimoto, T. (2000). Effect of normal aging upon interhemispheric EEG coherence: analysis during rest and photic stimulation. *Clinical EEG (electroencephalography)*, 31(4), 170–174. <https://doi.org/10.1177/155005940003100404>
- 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)

Knott, V. J., & Harr, A. (1997). Aging, smoking and EEG coherence: a preliminary study. *Clinical EEG (electroencephalography)*, 28(4), 236–244.  
<https://doi.org/10.1177/155005949702800409>

Kontaxopoulou, D., Beratis, I. N., Fragkiadaki, S., Pavlou, D., Yannis, G., Economou, A., Papanicolaou, A. C., & Papageorgiou, S. G. (2017). Incidental and Intentional Memory: Their Relation with Attention and Executive Functions. *Archives of clinical neuropsychology : the official journal of the National Academy of Neuropsychologists*, 32(5), 519–532.  
<https://doi.org/10.1093/arclin/acx027>

Krause, W., Gibbons, H., & Schack, B. (1998). Concept activation and coordination of activation procedure require two different networks. *Neuroreport*, 9(7), 1649–1653.  
<https://doi.org/10.1097/00001756-199805110-00071>

Laurent, B., Allegri, R.F., & Thomas-Anterion, C. (1997). La memoria y el envejecimiento [Memory and aging]. In C.A. Mangone, R.F. Allegri, R.L. Arizaga, & J.A. Ollari (Eds.), *Demencias: Enfoque multidisciplinario* (pp. 351-372). Buenos Aires: Ediciones Sagitario

Lawson, A. L., Guo, C., & Jiang, Y. (2007). Age effects on brain activity during repetition priming of targets and distracters. *Neuropsychologia*, 45(6), 1223–1231.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.10.014>

López-Loeza, E., Rangel-Argueta, A. R., López-Vázquez, M. Á., Cervantes, M., & Olvera-Cortés, M. E. (2016). Differences in EEG power in young and mature healthy adults during an incidental/spatial learning task are related to age and execution efficiency. *Age (Dordrecht, Netherlands)*, 38(2), 37. <https://doi.org/10.1007/s11357-016-9896-z>

Majerus, S., Bastin, C., Poncelet, M., Van der Linden, M., Salmon, E., Collette, F., & Maquet, P. (2007). Short-term memory and the left intraparietal sulcus: focus of attention? Further evidence from a face short-term memory paradigm. *NeuroImage*, 35(1), 353–367.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.12.008>

Mejía-Rodríguez, O., Zavala-Calderón, E., Magaña-García, N., González-Campos, R., López-Loeza, E., Rangel-Argueta, A. R., ... Olvera-Cortés, M. E. (2021). Diabetic patients are deficient in intentional visuospatial learning and show different learning-related patterns of theta and gamma EEG activity. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 43(1), 15–32. <https://doi.org/10.1080/13803395.2020.1853065>

Min Park, Y., Park, J., Young Kim, I., Koo Kang, J., & Pyo Jang, D. (2022). Interhemispheric theta coherence in the hippocampus for successful object-location memory in human intracranial encephalography. *Neuroscience letters*, 786, 136769.  
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2022.136769>

Moreno Fernández, R. D., Pedraza, C., & Gallo, M. (2013). Neurogénesis hipocampal adulta y envejecimiento cognitivo. *Escritos de Psicología - Psychological Writings*, 6(3), 14-24. [fecha de Consulta 11 de Diciembre de 2023]. ISSN: 1138-2635. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=271030534003>

- Morgado I. (2005). Psicobiología del aprendizaje y la memoria: fundamentos y avances recientes [The psychobiology of learning and memory: fundamentals and recent advances]. *Revista de neurologia*, 40(5), 289–297. doi: 10.33588/rn.4005.2005004
- Munk, M. H., Linden, D. E., Muckli, L., Lanfermann, H., Zanella, F. E., Singer, W., & Goebel, R. (2002). Distributed cortical systems in visual short-term memory revealed by event-related functional magnetic resonance imaging. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 12(8), 866–876. <https://doi.org/10.1093/cercor/12.8.866>
- Muthukrishnan, S. P., Soni, S., & Sharma, R. (2020). Brain Networks Communicate Through Theta Oscillations to Encode High Load in a Visuospatial Working Memory Task: An EEG Connectivity Study. *Brain topography*, 33(1), 75–85. <https://doi.org/10.1007/s10548-019-00739-3>
- Newman, M. C., & Kaszniak, A. W. (2000). Spatial memory and aging: Performance on a human analog of the Morris water maze. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 7(2), 86–93. [https://doi.org/10.1076/1382-5585\(200006\)7:2;1-U;FT086](https://doi.org/10.1076/1382-5585(200006)7:2;1-U;FT086)
- Nessler, D., Friedman, D., & Bersick, M. (2004). Classic and false memory designs: an electrophysiological comparison. *Psychophysiology*, 41(5), 679–687. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2004.00195.x>
- Niedermeyer, E. (2004). The Normal EEG of the Waking Adult. En E. Niedermeyer y F. Lopes da Silva (Eds). *Electroencephalography. Basic principles, clinical applications and related fields*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Nyberg, L., & Pudas, S. (2019). Successful Memory Aging. *Annual review of psychology*, 70, 219–243. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-103052>
- Organización Mundial de la Salud. Organismos internacionales y envejecimiento 2009.
- Paller, K. A. (2004). Electrical Signals of Memory and of the Awareness of Remembering. *Current Directions in Psychological Science*, 13(2), 49–55. <http://www.jstor.org/stable/20182909>
- Park, D. C., Gutchess, A. H., Meade, M. L., & Stine-Morrow, E. A. (2007). Improving cognitive function in older adults: nontraditional approaches. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 62 Spec No 1, 45–52. [https://doi.org/10.1093/geronb/62.special\\_issue\\_1.45](https://doi.org/10.1093/geronb/62.special_issue_1.45)
- Pessoa, L., Gutierrez, E., Bandettini, P., & Ungerleider, L. (2002). Neural correlates of visual working memory: fMRI amplitude predicts task performance. *Neuron*, 35(5), 975–987. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(02\)00817-6](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(02)00817-6)
- Plancher, G., Gyselinck, V., Nicolas, S., & Piolino, P. (2010). Age effect on components of episodic memory and feature binding: A virtual reality study. *Neuropsychology*, 24(3), 379–390. <https://doi.org/10.1037/a0018680>
- Postle, B. R., Zarahn, E., & D'Esposito, M. (2000). Using event-related fMRI to assess delay-period activity during performance of spatial and nonspatial working memory tasks. *Brain research. Brain research protocols*, 5(1), 57–66. [https://doi.org/10.1016/s1385-299x\(99\)00053-7](https://doi.org/10.1016/s1385-299x(99)00053-7)

- Potter, G. G., Plassman, B. L., Helms, M. J., Foster, S. M., & Edwards, N. W. (2006). Occupational characteristics and cognitive performance among elderly male twins. *Neurology*, 67(8), 1377–1382. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000240061.51215.ed>
- Prichep, L. S., John, E. R., Ferris, S. H., Rausch, L., Fang, Z., Cancro, R., Torossian, C., & Reisberg, B. (2006). Prediction of longitudinal cognitive decline in normal elderly with subjective complaints using electrophysiological imaging. *Neurobiology of aging*, 27(3), 471–481. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2005.07.021>
- Rabin, L. A., Barr, W. B., & Burton, L. A. (2005). Assessment practices of clinical neuropsychologists in the United States and Canada: a survey of INS, NAN, and APA Division 40 members. *Archives of clinical neuropsychology : the official journal of the National Academy of Neuropsychologists*, 20(1), 33–65. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2004.02.005>
- Ramón y Cajal Santiago (1894). The Croonian lecture.—La fine structure des centres nerveux *Proc. R. Soc. Lond.* 55444–468 <http://doi.org/10.1098/rspl.1894.0063>
- Raz, N. (2002). Cognitive aging. In L.R. Squire (Ed.), *Encyclopedia of the human brain* (Vol. 2, pp. 1-10). New York: Academic Press.
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (2nd ed., pp. 1–90). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Raz, N., & Daugherty, A. M. (2018). Pathways to Brain Aging and Their Modifiers: Free-Radical-Induced Energetic and Neural Decline in Senescence (FRIENDS) Model - A Mini-Review. *Gerontology*, 64(1), 49–57. <https://doi.org/10.1159/000479508>
- Rhodes, M. G., & Kelley, C. M. (2005). Executive processes, memory accuracy, and memory monitoring: An aging and individual difference analysis. *Journal of Memory and Language*, 52(4), 578-594. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2005.01.014>
- Rönnlund, M., & Nilsson, L.-G. (2008). The magnitude, generality, and determinants of Flynn effects on forms of declarative memory and visuospatial ability: Time-sequential analyses of data from a Swedish cohort study. *Intelligence*, 36(3), 192–209. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2007.05.002>
- Roth, J. K., Serences, J. T., & Courtney, S. M. (2006). Neural system for controlling the contents of object working memory in humans. *Cerebral cortex* (New York, N.Y. : 1991), 16(11), 1595–1603. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhj096>
- Rugg, M. D., Fletcher, P. C., Frith, C. D., Frackowiak, R. S., & Dolan, R. J. (1997). Brain regions supporting intentional and incidental memory: a PET study. *Neuroreport*, 8(5), 1283–1287. <https://doi.org/10.1097/00001756-199703240-00045>
- Sarnthein, J., Petsche, H., Rappelsberger, P., Shaw, G. L., & von Stein, A. (1998). Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(12), 7092–7096. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.12.7092>

- Sauseng, P., & Klimesch, W. (2008). What does phase information of oscillatory brain activity tell us about cognitive processes?. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 32(5), 1001–1013. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.03.014>
- Sauseng, P., Klimesch, W., Schabus, M., & Doppelmayr, M. (2005). Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 57(2), 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.03.018>
- Schacter, D. L., & Tulving, E. (1994). What are the memory systems of 1994? In D. L. Schacter & E. Tulving (Eds.), *Memory systems 1994* (pp. 1–38). The MIT Press.
- Schacter, D. L., & Wagner, A. D. (1999). Medial temporal lobe activations in fMRI and PET studies of episodic encoding and retrieval. *Hippocampus*, 9(1), 7–24. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-1063\(1999\)9:1<7::AID-HIPO2>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-1063(1999)9:1<7::AID-HIPO2>3.0.CO;2-K)
- Schoenbaum, G., Nugent, S., Saddoris, M. P., & Gallagher, M. (2002). Teaching old rats new tricks: age-related impairments in olfactory reversal learning. *Neurobiology of aging*, 23(4), 555–564. [https://doi.org/10.1016/s0197-4580\(01\)00343-8](https://doi.org/10.1016/s0197-4580(01)00343-8)
- Shadoin, A.L., Ellis, N.R. Automatic processing of memory for spatial location. *Bull. Psychon. Soc.* 30, 55–57 (1992). <https://doi.org/10.3758/BF03330395>
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory: a view from neuroimaging. *Cognitive psychology*, 33(1), 5–42. <https://doi.org/10.1006/cogp.1997.0658>
- Squire L. R. (1987). The organization and neural substrates of human memory. *International journal of neurology*, 21-22, 218–222.
- Stam, C. J., van der Made, Y., Pijnenburg, Y. A., & Scheltens, P. (2003). EEG synchronization in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Acta neurologica Scandinavica*, 108(2), 90–96. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0404.2003.02067.x>
- Stern Y. (2012). Cognitive reserve in ageing and Alzheimer's disease. *The Lancet. Neurology*, 11(11), 1006–1012. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(12\)70191-6](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(12)70191-6)
- Szymanski, K. F., & MacLeod, C. M. (1996). Manipulation of attention at study affects an explicit but not an implicit test of memory. *Consciousness and cognition*, 5(1-2), 165–175. <https://doi.org/10.1006/ccog.1996.0010>
- Téllez-Alanís, B., & Cansino, S. (2004). Incidental and intentional encoding in young and elderly adults. *Neuroreport*, 15(11), 1819–1823. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000137075.41257.98>
- Todd, J. J., & Marois, R. (2004). Capacity limit of visual short-term memory in human posterior parietal cortex. *Nature*, 428(6984), 751–754. <https://doi.org/10.1038/nature02466>
- Tononi, G., & Cirelli, C. (2014). Sleep and the price of plasticity: from synaptic and cellular homeostasis to memory consolidation and integration. *Neuron*, 81(1), 12–34. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.12.025>

- Trejo-Morales, P., & Cansino, S. (2011). Efectos de la Atención Dividida sobre la Memoria Episódica en Adultos Jóvenes y Mayores. *Revista Colombiana de Psicología*, 20(2), 181-191. [fecha de Consulta 10 de Diciembre de 2023]. ISSN: 0121-5469. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=80421265003>
- Trutti, A. C., Verschooren, S., Forstmann, B. U., & Boag, R. J. (2021). Understanding subprocesses of working memory through the lens of model-based cognitive neuroscience. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 38, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2020.10.002>
- Tulving E. (2002). Episodic memory: from mind to brain. *Annual review of psychology*, 53, 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135114>
- Tulving, E. (1993). What Is Episodic Memory? *Current Directions in Psychological Science*, 2(3), 67-70. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10770899>
- Vemuri, P., Lesnick, T. G., Przybelski, S. A., Machulda, M., Knopman, D. S., Mielke, M. M., Roberts, R. O., Geda, Y. E., Rocca, W. A., Petersen, R. C., & Jack, C. R., Jr (2014). Association of lifetime intellectual enrichment with cognitive decline in the older population. *JAMA neurology*, 71(8), 1017–1024. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2014.963>
- Vingerhoets, G., Vermeule, E., & Santens, P. (2005). Impaired intentional content learning but spared incidental retention of contextual information in non-demented patients with Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 43(5), 675–681. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.09.003>
- Volf, N. V., & Razumnikova, O. M. (1999). Sex differences in EEG coherence during a verbal memory task in normal adults. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 34(2), 113–122. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(99\)00067-7](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(99)00067-7)
- Wagnon, C. C., Wehrmann, K., Klöppel, S., & Peter, J. (2019). Incidental Learning: A Systematic Review of Its Effect on Episodic Memory Performance in Older Age. *Frontiers in aging neuroscience*, 11, 173. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2019.00173>
- Wang, M., Gamo, N. J., Yang, Y., Jin, L. E., Wang, X. J., Laubach, M., Mazer, J. A., Lee, D., & Arnsten, A. F. (2011). Neuronal basis of age-related working memory decline. *Nature*, 476(7359), 210–213. <https://doi.org/10.1038/nature10243>
- Watrous, A. J., Fried, I., & Ekstrom, A. D. (2011). Behavioral correlates of human hippocampal delta and theta oscillations during navigation. *Journal of neurophysiology*, 105(4), 1747–1755. <https://doi.org/10.1152/jn.00921.2010>
- Weiss, S., & Rappelsberger, P. (2000). Long-range EEG synchronization during word encoding correlates with successful memory performance. *Brain research. Cognitive brain research*, 9(3), 299–312. [https://doi.org/10.1016/s0926-6410\(00\)00011-2](https://doi.org/10.1016/s0926-6410(00)00011-2)
- Wilson, D. M., Potter, K. W., & Cowell, R. A. (2018). Recognition memory shielded from semantic but not perceptual interference in normal aging. *Neuropsychologia*, 119, 448–463. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.07.031>

- Wolk, D. A., Sen, N. M., Chong, H., Riis, J. L., McGinnis, S. M., Holcomb, P. J., & Daffner, K. R. (2009). ERP correlates of item recognition memory: effects of age and performance. *Brain research*, 1250, 218–231. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.11.014>
- Xie, Y., Li, Y., Duan, H., Xu, X., Zhang, W., & Fang, P. (2021). Theta Oscillations and Source Connectivity During Complex Audiovisual Object Encoding in Working Memory. *Frontiers in human neuroscience*, 15, 614950. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.614950>
- Xu, Y., & Chun, M. M. (2006). Dissociable neural mechanisms supporting visual short-term memory for objects. *Nature*, 440(7080), 91–95. <https://doi.org/10.1038/nature04262>
- Zlotnik, G., & Vansintjan, A. (2019). Memory: An Extended Definition. *Frontiers in psychology*, 10, 2523. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02523>
- Zilliox, L. A., Chadrsekaran, K., Kwan, J. Y., & Russell, J. W. (2016). Diabetes and Cognitive Impairment. *Current diabetes reports*, 16(9), 87. <https://doi.org/10.1007/s11892-016-0775-X>

## 16. ANEXOS

ANEXO 1. Historia clínica.

# Historia Clínica



FICHA DE IDENTIFICACIÓN	
Nombre	
Sexo	
Fecha de nacimiento/ Edad	
Estado civil	
VARIABLE DEMOGRÁFICA	
Escolaridad	
Ocupación	
Telefono	
Observaciones del investigador	
VARIABLES CLÍNICAS Y METABÓLICAS	
Talla en cm	Niveles de glucosa
Peso en Kg	Presión
Grasa visceral	Ritmo menstrual
Grasa corporal	Horas de sueño
Porcentaje muscular	RAVEN

<b>VARIABLES HIPERTENSIVAS</b>	<b>Inicio de la tarea</b>	<b>Final de la tarea</b>
PAS (mm/Hg)		
PAD (mm/Hg)		
PAD if (mm/Hg)		
FC(latidos/min)		

<b>DATOS PERSONALES</b>		
¿Tiene Diabetes?	( ) SI.      ( ) NO.	Anote los años :
¿Tiene hipertensión?	( ) SI.      ( ) NO.	Anote los años :
¿Fuma actualmente?	( ) SI.      ( ) NO.	Anote los años :
¿Fumó en años anteriores ?	( ) SI.      ( ) NO.	Anote los años :
¿Hace alguna actividad física?	( ) SI.      ( ) NO.	Anote horas a la semana:
¿Ha tenido algún golpe en la cabeza que requirió hospitalización?	( ) SI.      ( ) NO.	Anote los años :
¿Fue diagnosticado con COVID?	( ) SI.      ( ) NO.	
¿Cómo considera es su memoria ?	( ) Buena    ( ) Regular    ( ) Mala	
Actualmente toma medicamentos:		

## ANEXO 2. Carta de consentimiento informado.

### CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPACIÓN EN PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

Nombre del estudio: *Estudio de la coherencia frontotemporal de la actividad theta de adultos mayores sanos, durante una tarea de memoria visuoespacial incidental, en correlación con la eficiencia en la ejecución de dicha tarea.*

Lugar y fecha: Morelia, Mich., \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 2024

Número de registro CNIC: R-2014-785-058

Este estudio tiene como propósito observar la actividad cerebro durante la realización de diferentes tareas, con la finalidad de conocer la manera en que las personas lo resuelven.

**Si usted acepta participar** se le pedirá que conteste dos cuestionarios referentes a su estado de ánimo y salud actual. Se calculará su coeficiente intelectual visuoespacial y una prueba rápida para conocer el funcionamiento cognitivo general. Posteriormente, se le colocarán sobre la cabeza unos discos pequeños de metal (electrodos) unidos a un cable que se conecta al equipo para observar la actividad eléctrica mientras resuelve una tarea en la computadora y será grabado para analizarlo con los demás participantes del estudio. Le tomará 80 minutos aproximadamente todo el procedimiento. La colocación de electrodos no significa un riesgo para la salud, puede causar una ligera incomodidad, ya que le pediremos no moverse durante algunos periodos breves.

Es probable que usted no reciba ningún beneficio directo por su participación, sin embargo, los resultados del estudio permitirán el desarrollo de conocimiento sobre el funcionamiento del cerebro y mejorar la forma de diagnosticar un deterioro cognitivo patológico en caso de que encontremos alguna alteración en su estado de ánimo o cognitivo, se le informará y orientará con un consultorio de medicina familiar si así lo desea usted.

**Participación o retiro:** usted conserva en todo momento el derecho de retirarse del estudio en cualquier momento en que lo considere conveniente, sin que ello afecte la atención médica que recibe en el Instituto. Nos comprometemos a proporcionarle la información actualizada que se obtenga durante el estudio, aunque ésta pudiera hacerle cambiar de parecer respecto a continuar participando en el mismo.

De ninguna manera relevaremos su identidad en las presentaciones o publicaciones que deriven de este estudio y los datos relacionados con su privacidad serán manejados en forma confidencial asignando una clave a su expediente y resultados.

Si usted está interesado en conocer los resultados de los estudios aún cuando no se hayan encontrado ninguna alteración, se puede comunicar con el investigador responsable para le sea informado.

**En caso de dudas o aclaraciones relacionadas con el estudio, podrá dirigirse a:**

Investigador responsable: Dra. María Esther Olvera Cortés.

Laboratorio de Neurofisiología Experimental en el Centro de Investigación Biomédica de Michoacán del Instituto Mexicano del Seguro Social. Camino de la Arboleda, 300. Ex Hacienda de San José de la Huerta. Morelia, Michoacán. Código Postal, 58341. Teléfono. 52 (443) 322 26 00. Ext, 1019.

Participante

Obtuvo el consentimiento

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma

Testigo 1

Testigo 2

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma

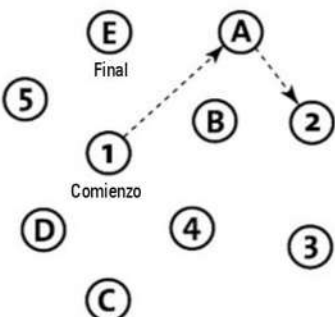
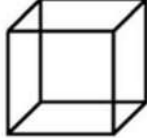
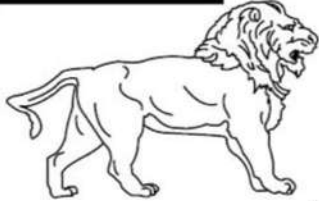
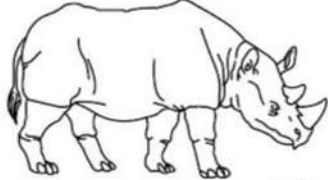
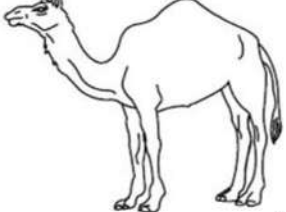
\_\_\_\_\_  
Nombre y firma

ANEXO 3. Evaluación Cognitiva Montreal. MOCA

**MONTREAL COGNITIVE ASSESSMENT (MOCA)**  
(EVALUACIÓN COGNITIVA MONTREAL)

NOMBRE:  
Nivel de estudios:  
Sexo:

Fecha de nacimiento:  
FECHA:

<b>VISUOESPACIAL / EJECUTIVA</b>					Copiar el cubo	<b>Dibujar un reloj (Once y diez)</b> (3 puntos)	Puntos	
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	___/5	
<b>IDENTIFICACIÓN</b>								___/3
<b>MEMORIA</b>	Lea la lista de palabras, el paciente debe repetirlas. Haga dos intentos. Recuérdelas 5 minutos más tarde.	ROSTRO 1er intento 2º intento	SEDA	IGLESIA	CLAVEL	ROJO	Sin puntos	
<b>ATENCIÓN</b>	Lea la serie de números (1 número/seg.) El paciente debe repetirla. <input type="checkbox"/> 2 1 8 5 4 El paciente debe repetirla a la inversa. <input type="checkbox"/> 7 4 2	___/2						
	Lea la serie de letras. El paciente debe dar un golpecito con la mano cada vez que se diga la letra A. No se asignan puntos si ≥ 2 errores. <input type="checkbox"/> FBACMNAAJKLBAFAKDEAAAJAMOF AAB	___/1						
	Restar de 7 en 7 empezando desde 100. <input type="checkbox"/> 93 <input type="checkbox"/> 86 <input type="checkbox"/> 79 <input type="checkbox"/> 72 <input type="checkbox"/> 65 4 o 5 sustracciones correctas: 3 puntos, 2 o 3 correctas: 2 puntos, 1 correcta: 1 punto, 0 correctas: 0 puntos.	___/3						
<b>LENGUAJE</b>	Repetir: El gato se esconde bajo el sofá cuando los perros entran en la sala. <input type="checkbox"/> Espero que él le entregue el mensaje una vez que ella se lo pida. <input type="checkbox"/>	___/2						
	Fluidez del lenguaje. Decir el mayor número posible de palabras que comiencen por la letra "P" en 1 min. <input type="checkbox"/> _____ (N ≥ 11 palabras)	___/1						
<b>ABSTRACCIÓN</b>	Similitud entre p. ej. manzana-naranja = fruta <input type="checkbox"/> tren-bicicleta <input type="checkbox"/> reloj-regla	___/2						
<b>RECUERDO DIFERIDO</b>	Debe acordarse de las palabras SIN PISTAS	ROSTRO <input type="checkbox"/>	SEDA <input type="checkbox"/>	IGLESIA <input type="checkbox"/>	CLAVEL <input type="checkbox"/>	ROJO <input type="checkbox"/>	Puntos por recuerdos SIN PISTAS únicamente	
Optativo	Pista de categoría Pista elección múltiple	___/5						
<b>ORIENTACIÓN</b>	<input type="checkbox"/> Día del mes (fecha) <input type="checkbox"/> Mes <input type="checkbox"/> Año <input type="checkbox"/> Día de la semana <input type="checkbox"/> Lugar <input type="checkbox"/> Localidad	___/6						
© Z. Nasreddine MD Versión 07 noviembre 2004 www.mocatest.org		Normal ≥ 26 / 30		<b>TOTAL</b>		___/30 Añadir 1 punto si tiene ≤ 12 años de estudios		

ANEXO 4. Escala de depresión geriátrica Yesavage.

<b>Escala de Yesavage</b>		
Escala de depresión geriátrica de Yesavage		
<b>ítem</b>	<b>Pregunta a realizar</b>	<b>1 punto si responde:</b>
1	¿Está básicamente satisfecho con su vida?	NO
2	¿Ha renunciado a muchas de sus actividades e intereses?	SI
3	¿Siente que su vida está vacía?	SI
4	¿Se encuentra á menudo aburrido?	SI
5	¿Tiene esperanza en el futuro?	NO
6	¿Tiene molestias (malestar, mareo) por pensamientos que no pueda sacarse de la cabeza?	SI
7	¿Tiene a menudo buen ánimo?	NO
8	¿Tiene miedo de que algo le esté pasando?	SI
9	¿Se siente feliz muchas veces?	NO
10	¿Se siente a menudo abandonado?	SI
11	¿Está a menudo intranquilo e inquieto?	SI
12	¿Prefiere quedarse en casa que acaso salir y hacer cosas nuevas?	SI
13	¿Frecuentemente está preocupado por el futuro?	SI
14	¿Encuentra que tiene más problemas de memoria que la mayoría de la gente?	SI
15	¿Piensa que es maravilloso vivir?	NO
16	¿Se siente a menudo desanimado y melancólico?	SI
17	¿Se siente bastante inútil en el medio en que está?	SI
18	¿Está muy preocupado por el pasado?	SI
19	¿Encuentra la vida muy estimulante?	NO
20	¿Es difícil para usted poner en marcha nuevos proyectos?	SI
21	¿Se siente lleno de energía?	NO
22	¿Siente que su situación es desesperada?	SI
23	¿Cree que mucha gente está mejor que usted?	SI
24	¿Frecuentemente está preocupado por pequeñas cosas?	SI
25	¿Frecuentemente siente ganas de llorar?	SI
26	¿Tiene problemas para concentrarse?	SI
27	¿Se siente mejor por la mañana al levantarse?	NO
28	¿Prefiere evitar reuniones sociales?	SI
29	¿Es fácil para usted tomar decisiones?	NO
30	¿Su mente está tan clara como lo acostumbraba a estar?	NO
<b>Puntuación total:</b>		
<b>0 - 10: Normal.</b>		
<b>11 - 14: Depresión</b> (sensibilidad 84%; especificidad 95%).		
<b>&gt; 14: Depresión</b> (sensibilidad 80%; especificidad 100%).		