

# UNIVERSIDAD DE ALMERÍA



## FACULTAD DE PSICOLOGÍA



**Trabajo Fin de Master**

**Master en Investigación en Ciencias del Comportamiento**

**Convocatoria Septiembre 2018**

**Influencia de la Capacidad de la Memoria de Trabajo en la Memoria Espacial a Largo Plazo.**

***Influence of Working Memory Capacity in Long Term Spatial Memory.***

**Autor: Jose Javier Fernández Castro**

**Tutor: José Manuel Cimadevilla Redondo**

**Co-Tutor: Juan José Ortells Rodríguez.**

## Resumen

En los últimos años, se ha puesto de manifiesto que el lóbulo temporal medial, asociado tradicionalmente con la memoria espacial a largo plazo, puede jugar un papel importante en la memoria de trabajo, que ha sido ampliamente asociada a zonas frontales del córtex cerebral. El objetivo principal de este estudio es comprobar si la capacidad de memoria de trabajo muestra alguna influencia directa en el rendimiento de la memoria espacial. Este estudio se ha basado en investigaciones previas que mostraron que el daño en las zonas temporales se encontraba asociado a una peor ejecución en tareas asociadas a la memoria de trabajo, como la tarea de Clasificación de Cartas de Wisconsin o la tarea Stroop. El procedimiento para evaluar la influencia de la memoria de trabajo sobre la memoria espacial ha sido designando dos grupos de diferente capacidad de memoria de trabajo. Seleccionamos a los participantes con mejor y peor ejecución en la tarea de Localización de Cambio Visual. Esta tarea requiere mantener en mente cuatro círculos coloreados mostrados brevemente y, posteriormente, son expuestos a una nueva imagen visual, que mantiene tres círculos iguales, pero uno de los círculos habrá cambiado de color. Se pidió a los participantes señalar con el ratón el círculo que ha cambiado. Posteriormente, realizaron la tarea virtual de la Sala de las Cajas, que evalúa la memoria espacial. Para realizarla, las participantes deben encontrar cinco cajas, localizadas siempre en la misma posición de la habitación a lo largo de 10 ensayos. Este estudio fue aplicado en una muestra femenina, un total de 38 participantes estudiantes de la Universidad de Almería. Los resultados muestran que todas las participantes aprendieron a medida que realizaban la tarea. Además, las participantes del grupo de alta capacidad de memoria de trabajo mostraron una mejor orientación espacial a lo largo de toda la tarea, porque cometieron un menor número de errores a lo largo de los 10 ensayos. Estos resultados sugieren que la capacidad de la memoria de trabajo puede modular el rendimiento de la memoria espacial.

## **Abstract**

In recent years, it has become clear that medial temporal lobe, associated with long term spatial memory traditionally, can have an important role in working memory, which has been widely associated with frontal cortex. The aim of this study was to corroborate if working memory capacity has a direct influence in spatial memory performance. This study has been based in previous investigation, which showed that damage in temporal areas was associated with worse performance in working memory tasks, like Wisconsin Card Sorting Test or Stroop task. The procedure to assess the influence of working memory over spatial memory has been designating two groups based in different working memory capacity. We selected participants with higher and lower performance in Location Change Detection Task. This task require to keep in mind four color circles showed briefly and later, participants were exposed to new visual image, which have three same circles but one of them have changed. Participants were asked to sign with mouse what circle had changed. Then, they made the Boxes' Room Task, that assess spatial memory. To make it, the participants have to find five boxes, which were in the same place of the room along 10 trials. This study was applied in a woman sample, a total of 38 participants who were student in University of Almería. The results showed that all participants learned as they performed the task. Besides, high working memory group participants showed better spatial orientation along the whole task, because they did less error in the 10 trials. This results suggest that working memory capacity could to modulate the spatial memory performance.

## Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>2. MATERIALES Y MÉTODO</b> .....	9
<b>2.1</b> Participantes .....	9
<b>2.2</b> Materiales .....	9
<b>2.3</b> Procedimiento .....	10
<b>2.4</b> Análisis Estadísticos .....	13
<b>3. RESULTADOS</b> .....	13
<b>3.1</b> Capacidad de memoria de trabajo .....	13
<b>3.2</b> Relación capacidad de memoria de trabajo y memoria espacial .....	15
<b>4. DISCUSIÓN</b> .....	16
<b>5. REFERENCIAS</b> .....	22

## 1. Introducción.

El estudio de la memoria ha supuesto un amplio marco de investigación en el ámbito de la neurociencia. La memoria episódica es la memoria formada por recuerdos explícitos o conscientes de acontecimientos o experiencias concretas de la vida personal, por lo que la información que incluye puede ser evocada de forma explícita o consciente (Pinel, 2007). Dentro de este tipo de memoria podemos incluir la memoria espacial, que almacena información sobre rutas, configuraciones y localizaciones espaciales. (Kessels, de Haan, Kappelle, y Postma, 2001).

Cuando una persona se encuentra en un espacio, en un momento concreto, ha de realizar un reconocimiento del mismo. Con el reconocimiento, se establece una serie de claves asociativas que permiten moverse a lo largo de dicho espacio. Gracias a la capacidad de orientación podemos generar estas claves contextuales, pero no siempre se generan bajo una misma estrategia (Burgess, 2008). Para la construcción de mapas espaciales se usan dos estrategias diferentes. La estrategia aloécéntrica, consiste en una representación del espacio basada en relaciones entre objetos externos y delimitaciones. Por el lado contrario encontramos la estrategia egocéntrica, que alude a una representación del espacio basada en las relaciones con la posición propia.

Fueron O'Keefe y Nadel (1978) quienes propusieron la teoría del mapa cognitivo para explicar la función del hipocampo, en la que describen que la función específica del hipocampo es almacenar recuerdos referidos a la localización espacial. Concretamente, propusieron que el hipocampo construye y almacena mapas aloécéntricos del mundo externo a partir del *input* sensitivo que recibe. Además, disponemos de numerosas pruebas que han evidenciado esta teoría, ya que se han realizado numerosas investigaciones en pacientes que presentan daño cerebral en el hipocampo y las zonas adyacentes a éste y han mostrado como dicho deterioro provoca un déficit en la memoria espacial (v.g., Cánovas, Espínola, Iribarne, y Cimadevilla, 2008; Chauviere, et al. 2009; Glikmann-Johnston, et al. 2008; Shrager, Kirwan y Squire, 2008; Kaunt y Bunsey, 2001).

Más concretamente, parece ser que el hipocampo posee dos circuitos independientes de memoria, el primero de ellos es directo desde la corteza entorrinal hacia la unidad CA1 del hipocampo que es suficiente para la memoria de reconocimiento; y el circuito CA3-CA1, que es esencial para el proceso de recuperación de la memoria (Brun, et al. 2002).

De esta manera, podemos concluir que conocer el rendimiento en la memoria espacial puede ser de gran utilidad, ya que nos proporciona información de la funcionalidad del lóbulo temporal medial de una persona.

Una de las tareas para evaluar la memoria espacial empleada tradicionalmente ha sido el Laberinto de agua de Morris (*Water maze*) (Morris, 1981). Inicialmente, esta tarea fue empleada para evaluar la orientación espacial en roedores (Morris, 1984; Williams y Vorhees, 2006). Años más tarde, gracias al avance tecnológico, se ha puesto de manifiesto que es posible aplicar esta tarea para el estudio de la memoria espacial en humanos. La forma de emplear esta tarea tradicional para evaluar la memoria espacial ha sido desarrollando una versión virtual que genera un contexto similar al laberinto de agua y cuya eficacia como predictor de la orientación espacial ha sido evidenciada (v.g. Astur, Taylor, Mamelak, Philpott, y Sutherland, 2002; Kallai, Makany, Karadi y Jacobs, 2005).

Por otro lado, el uso de tareas virtuales, que permiten generar diferentes entornos tridimensionales, como herramienta de evaluación de la orientación espacial se ha mostrado en diversos estudios. Actualmente, disponemos de numerosa evidencia que muestran la eficacia del uso de tareas virtuales. De este modo, Guderian, et al. (2015), emplearon una tarea virtual para evaluar la memoria espacial y comprobaron como una reducción de la zona hipocampal bilateral generaba una alteración en el proceso de recuperación de memoria espacial. Además, este tipo de tareas ha puesto de manifiesto la diferencia de rendimiento en función de la edad, mostrando generalmente un peor rendimiento las personas ancianas frente a las jóvenes (Moffat, Zonderman, y Resnick, 2001). También, se ha puesto de manifiesto como el uso de tareas virtuales son eficaces para determinar el estado de orientación espacial en personas con algún desorden afectivo (Fantie, et al. 2007) y diferentes poblaciones clínicas, como personas mayores con la enfermedad de Alzheimer (Lanza, Knörzer, Weber, y Riepe, 2014), o con síntomas esquizofrénico, quienes parecen mostrar una activación hipocampal reducida cuando realizan tareas de orientación espacial (Wilkins, et al. 2017).

Una de las tareas virtuales empleada actualmente para evaluar la integridad de la memoria espacial es la Tarea Sala de las Cajas (Boxes' room Task). Esta tarea ha sido desarrollada por Cánovas, et al. (2008), donde pusieron a prueba esta tarea valorando la ejecución realizada por varones y mujeres. Además, la tarea de la Sala de las Cajas ha mostrado su validez como herramienta predictora de la funcionalidad del lóbulo temporal medial. De esta manera, Cánovas, León, Serrano y Cimadevilla (2011), comprobaron que

los pacientes con epilepsia temporal medial refractaria muestran un peor rendimiento en la tarea de memoria espacial, replicando los resultados de otros trabajos previos (Glikmann-Johnston, et al. 2008). La efectividad que presenta la tarea de la Sala de Cajas no radica únicamente en su capacidad predictora de la orientación espacial, sino que ha permitido evaluar diferentes aspectos relacionados con esta función cognitiva. Así, empleando esta tarea, Cánovas, García y Cimadevilla (2011), pusieron de manifiesto como las claves proximales y distales influyen en la orientación espacial.

Por otra parte, sabemos que un correcto rendimiento cognitivo depende de muchas funciones diferentes y, en este sentido, la memoria de trabajo parece apoyar a muchas de las conductas que realizamos. La memoria de trabajo hace referencia al sistema o conjunto de sistemas necesarios para seleccionar, mantener y manipular información en mente, permitiendo, así, realizar operaciones o tareas más complejas como el razonamiento, comprensión y aprendizaje o conductas dirigidas a metas (v.g., Baddeley, 2010; Obrauer, 2017; Stretton, y Thompson, 2012; Tsubomi y Watanabe, 2017). La capacidad de la memoria de trabajo parece esencial para comprender la conducta dirigida a metas, ya que ésta es capaz de seleccionar la información que va a ser procesada y, simultáneamente, evitar el procesamiento de la información distractora o competitiva (Kane y Engle, 2003).

Además, es interesante valorar como en personas ancianas o de diversas poblaciones clínicas, como el alzheimer o la esquizofrenia, no solo muestran un déficit de las funciones relacionadas a la memoria de trabajo (De Belder, Santens, Sieben, y Fias, 2017; Lee y Park, 2005; Rhodes y Katz, 2017), sino que, también, muestran un déficit de la memoria espacial a largo plazo (Lanza, et al. 2014; Moffat et al. 2001; Wilkins, et al. 2017)

Continuando con estas observaciones, podemos encontrar actualmente cierta evidencia que muestra la relación entre las funciones asociadas al lóbulo temporal medial con las funciones asociadas a zonas frontales. Adicionalmente, sabemos que la epilepsia localizada en el lóbulo temporal no solamente afecta a las diversas funciones que se han asociado a éste, sino que producen un deterioro en el rendimiento de tareas dependientes de zonas frontales. De este modo, podemos encontrar ciertos hallazgos que relacionan la epilepsia temporal con un déficit de rendimiento en tareas asociadas a la memoria de trabajo, como la Tarea de Stroop, el Test de Trazo-B (Trail Making Test-B) o el Test de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin (v.g., Black, et al. 2010; Hermann, Seidenberg,

Lee, Chan y Rutecki, 2007). Además, hay evidencia de que la epilepsia del lóbulo temporal derecho puede estar relacionada con un déficit en la memoria de trabajo espacial (Abrahams, et al. 1999).

Teniendo en mente la posibilidad de una relación funcional entre el lóbulo frontal y temporal, el objetivo principal de este estudio es valorar si las diferencias individuales halladas en la capacidad de memoria de trabajo (que resulta dependiente de la corteza prefrontal) podrían verse reflejadas de alguna forma en el rendimiento de memoria espacial (dependiente de la integridad del hipocampo).

Para evaluar la capacidad de Memoria de trabajo visuoespacial de nuestros participantes, todos ellos realizaron la denominada tarea de Localización del Cambio Visual (Johnson, et al. 2013). En cada ensayo de esta tarea se presenta brevemente una matriz estimular previa que contiene siempre cuatro círculos coloreados distribuidos de forma aleatoria en la pantalla. Tras un breve intervalo de demora, aparece una segunda matriz de prueba que incluye los mismos objetos coloreados y en las mismas posiciones que en la matriz previa, excepto que uno de los ellos ha cambiado de color, teniendo los participantes que decidir cuál de ellos fue el que cambió de color.

Esta tarea es mucho más sencilla y requiere muchos menos ensayos que las tareas de amplitud (span) compleja de memoria tradicionalmente empleadas para evaluar las capacidades de memoria de trabajo (v.g., Engle, Tuholski, Laughlin y Cowan, 1991; Kane, Conway, Bleckley y Engle 2001). Mientras que en estas los participantes deben compartir sus recursos en dos tareas que demandan retener y procesar activamente información, en la tarea de localización del cambio no existe presión temporal ni alternancia entre diferentes procesos, y tampoco requiere poseer conocimientos previos específicos para su realización.

La tarea de la Sala de cajas se empleó en este estudio para evaluar la memoria espacial a largo plazo de los participantes. En cada ensayo, los participantes se encontraban dentro de una habitación virtual que contenía un total de 16 cajas que podían ser comprobadas. Solo cinco cajas del total eran válidas y la función de los participantes era intentar comprobar solo las cinco cajas válidas, evitando, a su vez, comprobar las cajas erróneas.

## **2. Materiales y método.**

### **2.1.Participantes.**

La muestra seleccionada ha sido un total de 38 participantes. Además, todas las participantes seleccionadas en este estudio han sido mujeres porque existe una amplia evidencia de que la capacidad de la memoria espacial presenta dimorfismo sexual, mostrando, generalmente, un rendimiento superior de varones frente a un grupo femenino (v.g., Persson, et al. 2013; Tascón, García-Moreno y Cimadevilla, 2017). Todas las participantes de este estudio realizaron primero la Tarea de Localización del Cambio Visual y, posteriormente, la Tarea de la Sala de Cajas. Las participantes tuvieron edad comprendida entre 18 y 35 años ( $M = 22,21$ ;  $DT = 4,24$ ) y presentaban visión normal o corregida en el momento de realizar las tareas. Todas eran estudiantes de la universidad de Almería, concretamente, estudiantes de psicología y educación social. Además, de forma previa a su participación, firmaron un protocolo de consentimiento informado. El experimento se llevó a cabo de acuerdo a la normativa de Bioética de la Universidad de Almería y la Declaración de Helsinki.

### **2.2.Instrumentos.**

Para realizar todas las actividades que compusieron este experimento se usó un ordenador portátil, un joystick Logitech y un ratón. El ordenador en el que se administraron las dos tareas que desarrollaron las participantes tenía una pantalla de 15,4”.

La tarea de Localización de Cambio Visual, fue diseñada empleando el software E-Prime v2.0 (Psychology Software Tools, Pittsburg, PA, USA) que, además, se encargó de la presentación de los estímulos y el registro de las respuestas, a través del ratón del ordenador. La tarea de memoria espacial, fue administrada por el software “Boxes Room Task”, encargado de registrar las respuestas de las participantes mediante el uso del joystick.

En la tarea de Localización del Cambio Visual se presentaron conjuntos de cuatro círculos de colores distintos con un ángulo visual de  $0,96^\circ$ . Estos colores podían ser: naranja (255, 113, 0), amarillo (255, 255, 0), magenta (255, 0, 255), azul (0, 0, 255), blanco (255, 255, 255), negro (0, 0, 0), cian (0, 255, 255), rojo (255, 0, 0), y verde (0, 255, 0). Los círculos coloreados se presentaron sobre un fondo gris (60, 60, 50), formando

siempre una circunferencia y cada uno en un cuadrante de la pantalla. La distancia entre el punto de fijación y el estímulo más cercano fue de  $3,36^\circ$  (radio menor) y el más lejano fue de  $6,24^\circ$  (radio mayor). Los estímulos más cercanos de cuadrantes adyacentes tenían una distancia de  $4,32^\circ$  y, los más lejanos, de  $8,83^\circ$ .

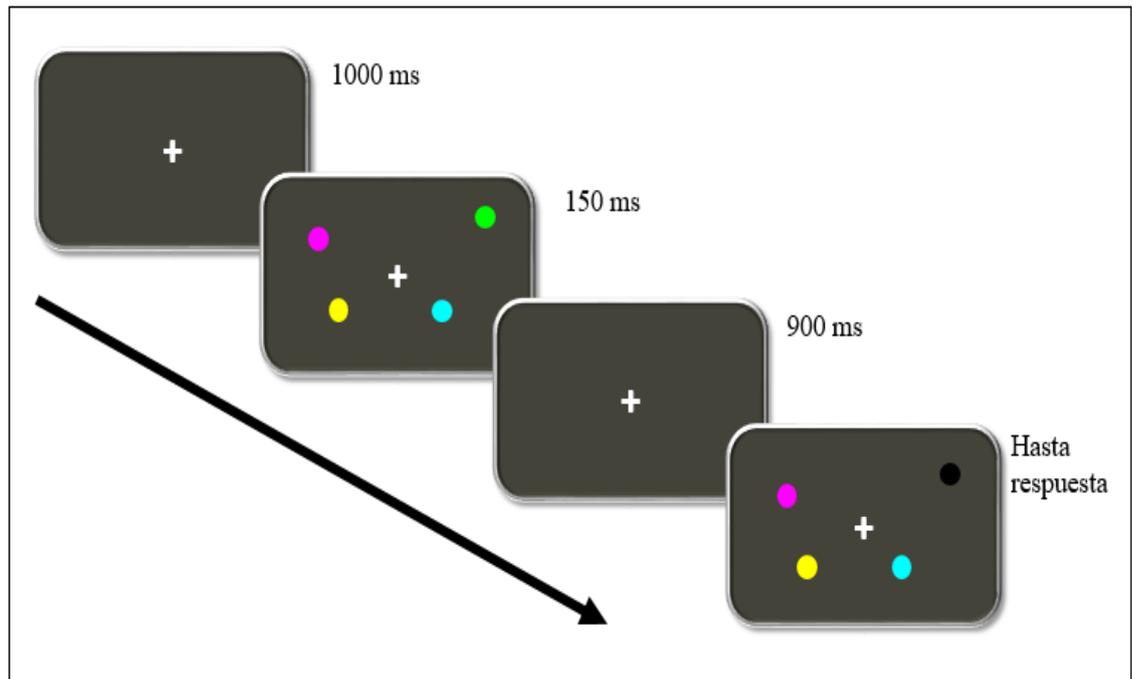
En la tarea de memoria a largo plazo espacial se presentó una habitación en un entorno virtual tridimensional en la pantalla, que incluyó una serie de estímulos visuales en las paredes que componían la habitación. En el interior de la misma, hay un total de 16 cajas de color marrón distribuidas paralelamente formando una matriz de 4x4 cajas que podían ser válidas o inválidas. En este estudio se seleccionaron un total de cinco cajas válidas, que se mantuvieron constantes a lo largo de toda la prueba.

### **2.3.Procedimiento.**

En el experimento, todas las participantes realizaron dos pruebas diferentes, primero realizaron la Tarea de Localización de Cambio Visual y, finalmente, la Tarea de las Cajas. La evaluación se realizó en el laboratorio de Neurociencia para la experimentación humana de la universidad de Almería.

Para evaluar la capacidad de memoria de trabajo las participantes realizaron la tarea de Localización de Cambio Visual. En esta tarea, cada ensayo comenzaba con un punto de fijación central (1000 ms), seguido por una matriz estimular previa en la que se presentan brevemente (150 ms) cuatro círculos coloreados (distribuidos de forma aleatoria en cada uno de los 4 cuadrantes de la pantalla). Dicha matriz es seguida una pantalla en blanco (900 ms), y por una segunda matriz de prueba que se presenta hasta respuesta, que incluía los mismos cuatro círculos coloreados en las mismas posiciones que en la anterior matriz, excepto que uno de ellos siempre cambiaba de color.

Las participantes debían indicar, seleccionando con el ratón, cuál de los cuatro círculos cambió de color (ver Figura 1). Las participantes comenzaron la prueba realizando un bloque de 16 ensayos de práctica, seguido por 2 bloques de ensayos experimentales, de 64 ensayos cada uno.

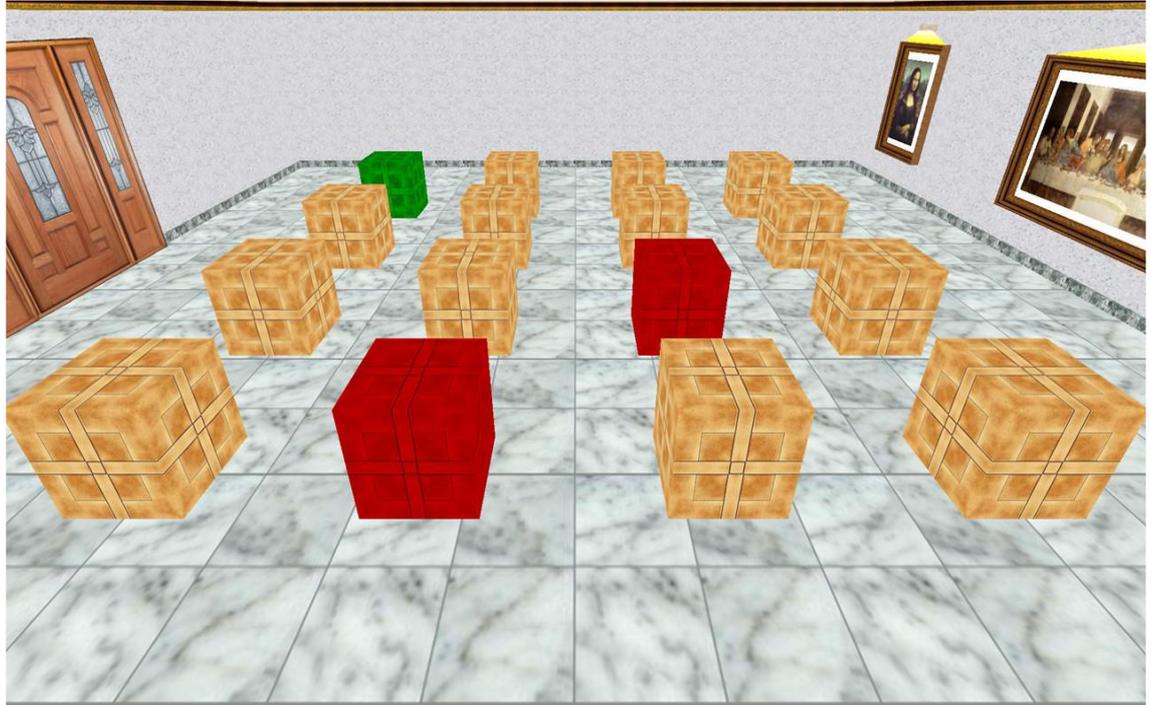


*Figura 1. Secuencia de eventos de un ensayo en la tarea de localización del cambio visual.*

Posteriormente, las participantes realizaron la prueba de evaluación de memoria a largo plazo espacial. La tarea en concreto es la prueba “Boxes Room Task” (Cánovas, et al. 2008). En esta prueba, se presentaba una habitación en un entorno virtual tridimensional, que tenía una serie de estímulos visuales como un cuadro o una puerta, que pueden ser empleados para generar diferentes estrategias de orientación (Ver figura 2).

En el interior, hay un total de 16 cajas de color marrón que pueden ser abiertas o comprobadas. Gracias al uso de un joystick, las participantes pudieron moverse libremente a través del interior de la sala y seleccionar las cajas que deseaban comprobar. La prueba tuvo de un total de 10 ensayos, que finalizaban cuando las participantes abrían o comprobaban todas las cajas válidas o transcurría un total de 150 segundos. Las participantes debían localizar y recordar la posición de cinco cajas correctas de las 16 cajas totales, cuya localización fue la misma a lo largo de los 10 ensayos que componen la tarea, de modo que las participantes podían aprender la localización de las cajas objetivo a medida que transcurrían los ensayos. Además, todas las cajas se encontraron siempre en la misma posición y en cada uno de los ensayos el punto de partida dentro de la habitación era diferente, lo que obligaba a generar estrategias aloécnicas para poder

resolverla. Finalmente, cada vez que una participante abría o comprobaba cada una de las cajas recibían un feedback visual (la caja se torna de color verde o rojo si es válida o inválida, respectivamente) y un feedback auditivo (sonido agradable o desagradable si la caja abierta ha sido válida o inválida, respectivamente).



*Figura 2. Vista de la habitación de la Tarea de las Cajas desde la perspectiva aérea. La caja de color verde muestra una caja premiada o correcta y las de color rojo muestran cajas erróneas.*

Finalmente, una vez obtenidos los resultados de todas las participantes en ambas pruebas, se procedió a establecer los grupos de alta y baja capacidad de memoria de trabajo. Para esto, se establecieron las puntuaciones típicas de cada participante en la tarea de localización de cambio visual, cuyo valor mínimo fue de -3,14 y su valor máximo fue de 1,63. Tomando como referencia estas puntuaciones, se seleccionaron a las 10 participantes con menor puntuación (cuarto cuartil) para formar el grupo baja capacidad de memoria de trabajo, mientras que las 10 participantes con mayor puntuación (primer cuartil) formaron el grupo de alta capacidad de memoria de trabajo. De este modo, las participantes cuya puntuación típica se encontraban en el segundo y tercer cuartil fueron

eliminadas de los análisis, porque su puntuación no podía ser designada como alta o baja, sino intermedia.

## **2.4. Análisis de datos.**

En el presente estudio se usó un diseño factorial mixto de medidas repetidas. Como VI se tomó la alta o baja capacidad de memoria de trabajo (intersujetos), siendo ensayo (3 niveles), la variable de medidas repetidas (intrasujeto). Como VD se empleó el número de errores en cada ensayo de la tarea de memoria espacial.

Primero, se calculó el porcentaje de aciertos de cada participante en la tarea de localización de cambio visual. A continuación, se calcularon las puntuaciones típicas de cada participante. Posteriormente, se seleccionaron los cuartiles de la puntuación típica de la muestra para asignar a los sujetos a dos grupos diferentes, un grupo se compuso con las 10 participantes que mostraron un mejor rendimiento y otro grupo se compuso con las 10 que mostraron un peor rendimiento en esta tarea.

Finalmente, se evaluó la diferencia de rendimiento en la tarea de localización de cambio en ambos grupos seleccionados previamente. Para evaluar las diferencias se empleó una comparación de medias *t de Student* para muestras independientes.

Por otro lado, para analizar la interacción “capacidad de memoria de trabajo- rendimiento espacial” se realizó una ANOVA de medidas repetidas con un factor, grupo, de alta o baja capacidad, y un factor intrasujeto de medidas repetidas, ensayos en la tarea, tomando como VD los errores en los diferentes ensayos de la prueba de memoria espacial. Es necesario denotar que el primer ensayo se descarta de los análisis ya que en éste el componente mnésico no existe. Además, con la finalidad de reducir la dispersión de los datos, los ensayos se promediaron en tres bloques, formando tres únicas puntuaciones que comprendieron todos los ensayos, a razón de 2-4, 5-7 y 8-10.

## **3. Resultados.**

### **3.1. Capacidad de Memoria de Trabajo**

Se compararon los resultados obtenidos en la tarea de Localización de Cambio Visual en ambos grupos seleccionados mediante la prueba *t de Student* para muestras independientes, tomando como variable independiente la selección de los candidatos a

ambos grupos (alta y baja capacidad de memoria de trabajo); y, como variable dependiente, la puntuación típica de las participantes. Los resultados obtenidos fueron  $t(18)= 8.353$ ;  $p= 0.0001$ ;  $d=3.73$ . Estos resultados muestran que la puntuación media de ambos grupos es diferente significativamente (Ver figuras 3 y 4).



Figura 3. Diferencia de media en las puntuaciones típicas en la tarea de Localización de Cambio Visual para ambos grupos. Las barras coloreadas muestran la media de la puntuación típica del grupo baja capacidad de memoria de trabajo (color azul) y el grupo alta capacidad de memoria de trabajo (naranja). Las líneas de dispersión indican el error estándar de la media de ambos grupos.

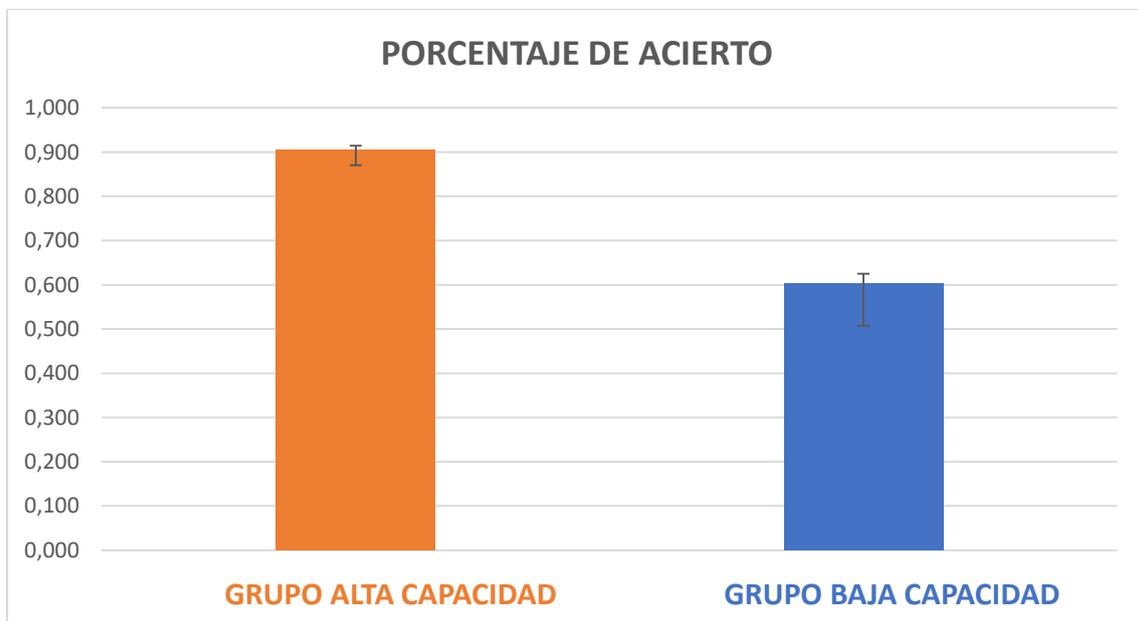


Figura 4. Diferencia porcentaje de acierto en la tarea de Localización de Cambio Visual para ambos grupos. Las barras muestran la media del porcentaje correcto en la tarea de localización de cambio visual, para el grupo de alta capacidad de memoria de trabajo (naranja) y baja capacidad de memoria de trabajo (Azul). Las barras de dispersión muestran el error estándar de la media de ambos grupos.

### **3.2.Relación entre capacidad de memoria de trabajo y memoria espacial a largo plazo.**

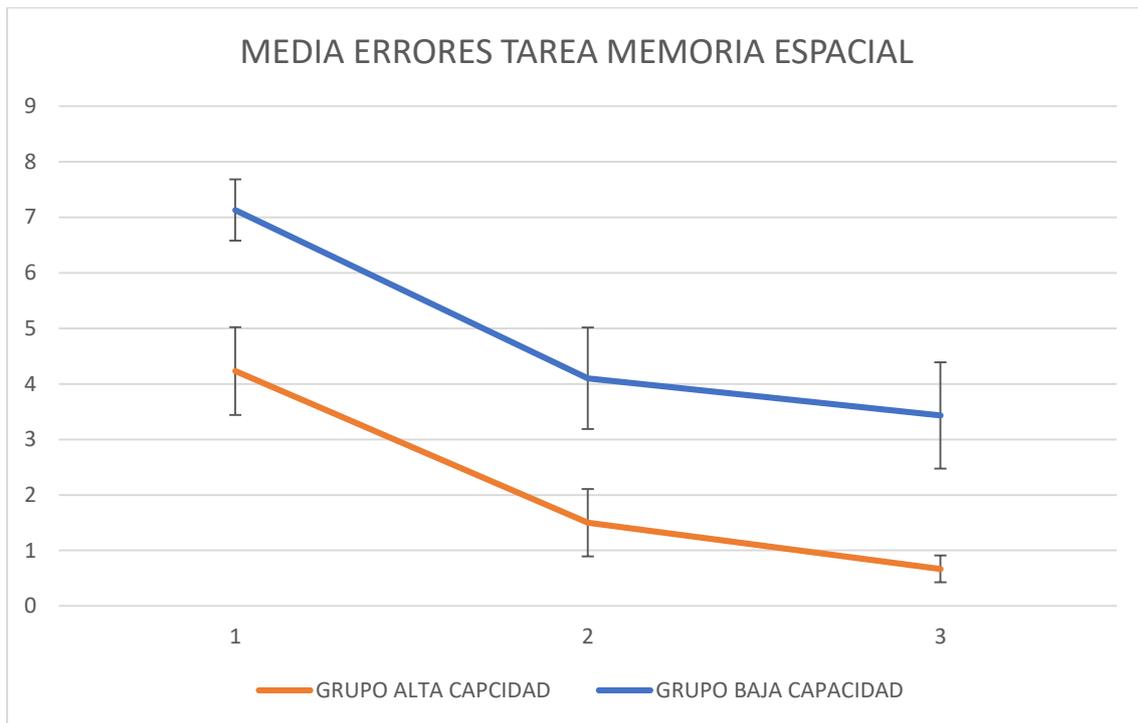
Se realizó un análisis ANOVA de medidas repetidas. Como variables independientes seleccionamos la capacidad de memoria de trabajo (VI inter-sujetos, 2 niveles, alta y baja), y el número de bloques de ensayos (VI intra-sujeto, 3 niveles), con medidas repetidas. Como variable dependiente (intrasujeto) se seleccionó el número de errores medio de la tarea espacial en cada uno de los bloques de ensayos.

Los resultados del ANOVA, mostraron efectos principales significativos de la capacidad de memoria de trabajo ( $F(1,18)= 4.86$ ;  $p= 0.041$ ;  $\eta^2= 0.213$ ) y bloque de ensayos en la tarea de memoria a largo plazo espacial ( $F(2,36)= 24.13$ ;  $p= .0001$ ;  $\eta^2=0.573$ ). Pero la interacción entre ambas variables no fue significativa ( $F<1$ ).

Se realizó una comparación a posteriori, para analizar los efectos principales de la variable bloque de ensayos. Se realizó un análisis por parejas (ajuste de bonferroni). Los resultados mostraron diferencias significativas entre los bloques de ensayos uno y dos ( $p=.0001$ ) y entre los bloques de ensayos uno y tres ( $p=.0001$ ), pero no encontramos diferencias entre los bloques dos y tres ( $p=0.274$ ).

Los análisis también revelan que las participantes cometieron un menor número de errores en los bloques dos y tres, cuando se compararon con el primer bloque, pero no sucedió lo mismo cuando comparamos el bloque dos y el bloque tres. De este modo, concluimos que el nivel máximo de aprendizaje ocurrió en el segundo bloque de ensayos, compuesto por los ensayos 5-7.

Estos resultados muestran que las diferencias de rendimiento entre ambos grupos en la tarea de memoria espacial a largo plazo han sido significativamente diferentes a lo largo de toda la tarea, desde el primer bloque de ensayos (ensayos 2-4) hasta el bloque final (ensayos 8-10). Como podemos observar en la Figura 5, las participantes con alta capacidad de memoria de trabajo muestran siempre un menor número de errores que las participantes con baja capacidad de memoria de trabajo (Ver figura 5).



*Figura 5. Las líneas coloreadas muestran la media de errores a lo largo de la tarea de memoria espacial, concretamente, la variable bloque de ensayos (1= ensayos 2-4; 2=ensayos 5-7; 3= ensayos 8-10), para ambos grupos de capacidad de memoria de trabajo (Naranja= grupo alta capacidad de memoria de trabajo, azul= grupo baja capacidad de memoria de trabajo). Las barras de dispersión muestran el error estándar de la media de ambos grupos.*

#### **4. Discusión.**

En este estudio se ha realizado una evaluación de la influencia de la capacidad de memoria de trabajo sobre la memoria espacial. Para evaluar la capacidad de memoria de trabajo se ha realizado la tarea de localización del cambio visual. En esta tarea las participantes han de mantener en mente una imagen visual mostrada brevemente, compuesta por cuatro círculos de colores, para detectar el cambio en el momento que aparece una imagen que contiene tres círculos iguales, pero uno siempre ha cambiado.

Esta tarea parece proveer un índice puro de la capacidad de memoria de trabajo, porque no es necesario ningún tipo de conocimiento previo para realizarla, como en las tareas de amplitud compleja. Además, la ejecución en estas últimas depende de la

ejecución simultánea de dos tareas que implican diferentes procesos cognitivos asociados a la memoria de trabajo. Una está relacionada con la capacidad de mantener información en mente y otra está relacionada con los procesos ejecutivos. También se ha mostrado que el rendimiento en dichas tareas puede ser modulado por la naturaleza del material empleado (v.g. lectura u operaciones matemáticas), debido al dominio que los participantes tengan con un tipo de estímulo concreto (vg. Capacidad lectora) (Kane, et al. 2001).

De este modo, la tarea de Localización de Cambio Visual parece proporcionar una medida más objetiva que las tareas de amplitud compleja cuando queremos evaluar la capacidad de memoria de trabajo. Puesto que la capacidad de la memoria de trabajo se ha asociado con la capacidad de mantener información en mente, la variabilidad individual de la memoria de trabajo está relacionada con la cantidad de información que puede mantener en mente un individuo (Johnson, et al. 2013). Esta tarea parece proporcionar información sobre esta capacidad, ya que se comprobó que en la fase de mantenimiento que incluye esta tarea, mediante el análisis de potenciales evocados, se caracterizaba por una actividad neural cuando la información dejaba de estar presente (Vogel y Machizawa, 2004).

Además, cuando comparamos la diferencia en el rendimiento de Localización de Cambio Visual por los grupos seleccionados, encontramos diferencias significativas del rendimiento entre ambos grupos. Ha sido bien demostrada una correlación positiva entre la educación y la capacidad de memoria de trabajo (Pliatsikas, Veríssimo, Babcock, Pullman, Gleit, Weinstein, y Ullman, 2018). También, se sabemos que la capacidad de memoria de trabajo se ve deteriorada con el paso del tiempo, encontrando pruebas que muestran un peor rendimiento de personas ancianas frente a individuos jóvenes (Gilchrist, Cowan y Naveh-Benjamin, 2008). Ya que el nivel educativo de la muestra fue alto, todas las participantes eran universitarias, y que la edad media fue de 22 años, esta tarea parece ofrecer una medida eficaz para evaluar la capacidad individual de memoria de trabajo, puesto que ha permitido establecer grupos diferenciables, incluso en una muestra con alto nivel de educación y un rango de edad similar. De esta manera, podemos concluir que esta tarea parece ser una herramienta eficaz para evaluar la capacidad de memoria de trabajo individual (Oberauer, 2017).

Por otro lado, cuando relacionamos la capacidad de la memoria de trabajo con el rendimiento de la memoria espacial, se encontraron diferencias significativas entre los

individuos con alta y baja capacidad de memoria de trabajo, concretamente, comprobamos como el grupo con mayor capacidad de memoria de trabajo cometió un menor número de errores en la tarea espacial, es decir, tuvo un rendimiento más óptimo a la hora de aprender la localización de las cinco cajas que debían recordar. Además, podemos comprobar como la diferencia de rendimiento entre ambos grupos se ha dado a lo largo de toda la tarea, desde los primeros hasta los últimos ensayos, por lo que podemos concluir que la capacidad de la memoria de trabajo es un modulador de la memoria espacial y que están relacionadas funcionalmente.

Actualmente, disponemos de una amplia literatura producida en los últimos años que puso de manifiesto la existencia de una posible relación funcional entre la funcionalidad del lóbulo temporal y el lóbulo frontal, relacionado este último con la memoria de trabajo. Muchos de estos estudios, se han realizado empleando una muestra que presentaba epilepsia, cuyo foco epiléptico se encontraba localizado en el lóbulo temporal, y comprobaron cómo este tipo de afección generaba un déficit de rendimiento en diversas tareas asociadas con la memoria de trabajo y las funciones ejecutivas, como la Tarea de Stroop, la Tarea de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin o la Tarea de Trazo-B, asociadas a las áreas frontales cerebrales (v.g., Black, et al. 2010; Hermann, et al. 2007). Una de las principales limitaciones que presentan estos estudios es la incapacidad de descartar que el déficit mostrado en tareas de memoria de trabajo estuviese causado por una extensión del foco epiléptico, que provocase el declive de las tareas ejecutivas. Nuestro estudio ha eliminado esta posibilidad ya que se ha realizado sobre una muestra que no presenta daño neurológico.

Por otro lado, se ha puesto a prueba como la variabilidad de carga en la memoria de trabajo influye diferencialmente sobre la actividad en el lóbulo temporal, empleando tareas de corta duración (Schon, Quiroz, Hasselmo y Stern, 2009). De esta manera, podemos comprobar como una mayor carga en la memoria concurre con una mayor actividad en el lóbulo temporal medial. Así, se ha descrito como la manipulación de la carga en memoria de trabajo, empleando estímulos visuales basados en rostros faciales puede producir un incremento en la actividad del hipocampo izquierdo durante el proceso de codificación y mantenimiento (Axmänder, Mormann, Fernández, Cohen Elger y Fell, 2017). Además, se produce un incremento que, en base a la carga en la memoria de trabajo, varía la actividad en el hipocampo anterior izquierdo, en el momento de recuperación de información de escenas visuales (paisajes), siendo mayor en la

recuperación de cuatro escenas frente a la recuperación de dos escenas (Schon, et al, 2009). Este fenómeno se repite en otros procesos relacionados con el aprendizaje, ya que, en la fase de mantenimiento, la carga en memoria de trabajo modula la actividad en las cortezas entorrinal y perirrinal (Schon, Newmark, Ross, Quiroz y Stern, 2010).

De este modo, cuando valoramos en nuestro experimento la hipótesis que dice que la memoria de trabajo moduló el rendimiento espacial, debemos tomar en cuenta las demandas que se exigieron para la resolución de la Tarea de la Sala de las Cajas. Esta tarea permite establecer diferentes niveles de dificultad, que es determinada por el número de cajas que deben ser recordadas. Comprobamos que en la condición en la que se debía recordar la localización de cinco cajas, la capacidad de la memoria de trabajo ha mostrado influencia sobre el rendimiento. De este modo, sería interesante evaluar la influencia de la capacidad de memoria de trabajo en diferentes condiciones de dificultad variable.

Puesto que los citados estudios emplearon el mismo material visual para manipular la carga de memoria de trabajo y evocar el recuerdo, resulta imposible descartar la posibilidad de que la actividad hallada en el lóbulo temporal no provenga de un proceso de aprendizaje del material visual empleado para manipular la carga en la memoria de trabajo (Jeneson, y Squire, 2012). Una de las ventajas que contiene nuestro estudio es que evaluó la relación funcional entre la capacidad de memoria de trabajo y memoria espacial a largo plazo con el uso de diferentes tareas que evaluaron ambos procesos cognitivos. De este modo, concluimos que la capacidad de mantener información en mente, la capacidad de memoria de trabajo, moduló el rendimiento de la memoria espacial.

Respecto a la tarea de memoria espacial, observamos que las participantes aprendieron, a medida que transcurrían los ensayos, la localización de las cajas premiadas, evitando, a su vez, las cajas incorrectas. Además, observamos que el nivel de aprendizaje máximo, definido por el nivel asintótico, se encuentra en los ensayos cinco y siete, para la condición de cinco cajas premiadas. Estos resultados son similares a los que podemos encontrar en literatura previa que han empleado la tarea de la sala de las cajas en una muestra femenina joven bajo la condición de cinco cajas (v.g. Cánovas et al. 2011; Cánovas, García y Cimadevilla, 2011).

Por otro lado, las participantes fueron libres de resolver la tarea de forma libre, ya que no se proporcionaron directrices sobre las estrategias de aprendizaje que debían ser empleadas. Las estrategias que modulan la navegación pueden ser egocéntricas o

alocéntricas y en nuestro estudio la estrategia que debía ser empleada mayormente fue la estrategia alocéntrica. Actualmente, se ha mostrado que los mecanismos subyacentes para cada una de estas estrategias pueden estar modulados por diferentes dominios neuro-anatómicos, aportando como evidencia que la codificación desde la perspectiva egocéntrica ha sido relacionada con áreas cerebrales como el precuneus y la corteza parietal posterior, mientras que la codificación alocéntrica se ha asociado a las áreas como el lóbulo parietal superior e inferior derecho, el córtex occipito-temporal ventrolateral o algunas zonas frontales (v.g. Cánovas et al. 2011; Ciaramelli, Rosenbaum, Solcz, Levine, y Moscovitch, 2010; Zaehle, et al. 2006).

Continuando con esta premisa, resultaría interesante valorar la hipótesis de que la capacidad de memoria de trabajo puede ejercer una influencia diferencial en las estrategias empleadas en la navegación. De este modo, establecer una metodología donde se compruebe la capacidad de memoria de trabajo y su influencia en tareas espaciales que permitan el uso exclusivo de estrategias egocéntricas o alocéntricas podría suponer un gran avance en el conocimiento de esta relación funcional.

En relación a las limitaciones que encontramos en este estudio, la primera limitación que encontramos es la homogeneidad de los resultados en la tarea de Localización de Cambio Visual de la muestra. Algunos estudios han definido a los individuos que mostraron un rendimiento, en tareas relacionadas a la memoria de trabajo, de 75-100% como individuos con alta capacidad de memoria de trabajo, mientras que un rendimiento de 0-25% se consideraron como individuos con baja capacidad de memoria de trabajo (Ortells, Noguera, Álvarez, Carmona y Houghton, 2016). De este modo, los sujetos designados como sujetos con baja capacidad de memoria de trabajo de nuestro estudio no pueden ser considerados de esta forma, ya que el procedimiento para asignarlos al grupo de alta o baja capacidad fue designando al 25% que mostraron un peor rendimiento frente al 25% de los que mostraron una mejor ejecución en la tarea de Localización de Cambio Visual. De este modo, nuestro estudio tuvo dos grupos cuyo rendimiento real medio fue de 90% (alta capacidad) y 60% (media-alta capacidad). En conclusión, creemos que, si se aplicase una metodología en la que se obtuviesen un grupo de alta capacidad de memoria de trabajo y un grupo de baja capacidad de memoria de trabajo, propiamente dicho, la diferencia observada en el rendimiento de la tarea espacial debería ser aún más pronunciada que la obtenida en este estudio.

La segunda limitación que presenta nuestro estudio es que los resultados obtenidos solo son aplicables a una muestra femenina, puesto que la orientación espacial es sexodimórfica (Cánovas, et al. 2008; León et al. 2016; Tascón, García-Moreno y Cimadevilla, 2017). Esto significa que la ejecución en tareas de memoria espacial es diferente en función del género de las personas que realicen la tarea. De esta manera, los resultados obtenidos solo pueden ser aplicables en una muestra femenina.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahams, S., Morris, R., Polkey, C., Jarosz, J., Cox, T., Graves, M. & Pickering, A. (1999). Hippocampal involvement in spatial and working memory: A structural MRI analysis of patients with unilateral mesial temporal lobe sclerosis. *Brain and Cognition*, 41(1), 39-65. doi:10.1006/brcg.1999.1095
- Astur, R., Taylor, L., Mamelak, A., Philpott, L. & Sutherland, R. (2002). Humans with hippocampus damage display severe spatial memory impairments in a virtual morris water task. *Behavioural Brain Research*, 132(1), 77-84. doi:10.1016/S0166-4328(01)00399-0
- Axmacher, N., Mormann, F., Fernández, G., Cohen, M., Elger, C. & Fell, J. (2007). Sustained neural activity patterns during working memory in the human medial temporal lobe. *Journal of Neuroscience*, 27(29), 7807-7816. doi:10.1523/JNEUROSCI.0962-07.2007
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20(4), 136-140. doi:10.1016/j.cub.2009.12.014.
- Black, L., Schefft, B., Howe, S., Szaflarski, J., Yeh, H. & Privitera, M. (2010). The effect of seizures on working memory and executive functioning performance. *Epilepsy and Behavior*, 17(3), 412-419. doi:10.1016/j.yebeh.2010.01.006
- Brun, V. , Otnæss, M., Molden, S., Steffenach, H., Witter, M., Moser, M. & Moser, E. (2002). Place cells and place recognition maintained by direct entorhinal-hippocampal circuitry. *Science*, 296(5576), 2243-2246. doi:10.1126/science.1071089
- Burgess, N. (2006). Spatial memory: How egocentric and allocentric combine. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(12), 551-557. doi: 10.1016/j.tics.2006.10.005
- Cánovas, M., & Cimadevilla, J. (2011). Sexual orientation and spatial memory. *Psicothema*, 23(4), 752-758.
- Cánovas, R., Espínola, M., Iribarne, L. & Cimadevilla, J. (2008). A new virtual task to evaluate human place learning. *Behavioural Brain Research*, 190(1), 112-118. doi: 10.1016/j.bbr.2008.02.024
- Cánovas, R., García, R. & Cimadevilla, J. (2011). Effect of reference frames and number of cues available on the spatial orientation of males and females in a virtual memory task. *Behavioural Brain Research*, 216(1), 116-121. doi:10.1016/j.bbr.2010.07.026

- Cánovas, R., León, I., Serrano, P., Roldán, M. & Cimadevilla, J. (2011). Spatial navigation impairment in patients with refractory temporal lobe epilepsy: Evidence from a new virtual reality-based task. *Epilepsy and Behavior*, 22(2), 364-369. doi: 10.1016/j.yebeh.2011.07.021
- Chauviere, L., Raftafi, N., Thinus-Blanc, C., Bartolomei, F., Esclapez, M. & Bernard, C. (2009). Early deficits in spatial memory and theta rhythm in experimental temporal lobe epilepsy. *Journal of Neuroscience*, 29(17), 5402-5410. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4699-08.2009
- Ciaramelli, E., Rosenbaum, R., Solcz, S., Levine, B. & Moscovitch, M. (2010). Mental space travel: Damage to posterior parietal cortex prevents egocentric navigation and reexperiencing of remote spatial memories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(3), 619-634. doi: 10.1037/a0019181
- De Belder, M., Santens, P., Sieben, A. & Fias, W. (2017). Impaired processing of serial order determines working memory impairments in alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, 59(4), 1171-1186. Doi: 10.3233/JAD-170193
- Engle, R., Tuholski, S., Laughlin, J. & Conway, A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128(3), 309-331. doi:10.1037/0096-3445.128.3.309
- Fantie, B., Holmes, M., Burgess, N., Luckenbaugh, D., Pine, D., Gould, N., Zarate, C. (2007). Performance on a virtual reality spatial memory navigation task in depressed patients. *American Journal of Psychiatry*, 164(3), 516-519. doi:10.1176/ajp.2007.164.3.516
- Gilchrist, A., Cowan, N. & Naveh-Benjamin, M. (2008). Working memory capacity for spoken sentences decreases with adult ageing: Recall of fewer but not smaller chunks in older adults. *Memory*, 16(7), 773.
- Glikmann-Johnston, Y., Saling, M. M., Chen, J., Cooper, K. A., Beare, R. J., & Reutens, D. C. (2008). Structural and functional correlates of unilateral mesial temporal lobe spatial memory impairment. *Brain*, 131(11), 3006-3018. doi:10.1093/brain/awn213
- Guderian, S., Dzieciol, A., Gadian, D., Jentschke, S., Doeller, C., Burgess, N. & Vargha-Khadem, F. (2015). Hippocampal volume reduction in humans predicts

- impaired allocentric spatial memory in virtual-reality navigation. *The Journal of Neuroscience*, 35(42), 14123-14131. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0801-15.2015
- Hermann, B., Seidenberg, M., Lee, E., Chan, F., & Rutecki, P. (2007). Cognitive phenotypes in temporal lobe epilepsy. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 13(1), 12-20. doi: 10.1017/S135561770707004X
  - Hutchison, K. (2007). Attentional control and the relatedness proportion effect in semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 33, 645-662.
  - Jeneson, A. & Squire, L. (2012). Working memory, long-term memory, and medial temporal lobe function. *Learning & Memory*, 19(1), 15-25. doi:10.1101/lm.024018.111
  - Johnson, M., McMahon, R., Robinson, B., Harvey, A., Hahn, B., Leonard, C., Gold, J. (2013). The relationship between working memory capacity and broad measures of cognitive ability in healthy adults and people with schizophrenia. *Neuropsychology*, 27(2), 220-229. doi: 10.1037/a0032060
  - Kallai, J., Makany, T., Karadi, K., & Jacobs, W. J. (2005). Spatial orientation strategies in morris-type virtual water task for humans. *Behavioural Brain Research*, 159(2), 187-196. doi:10.1016/j.bbr.2004.10.015
  - Kane, M., Bleckley, M., Conway, A. & Engle, R. (2001). A controlled-attention view of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 169–183.
  - Kane, M. & Engle, R. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(1), 47-70. doi:10.1037/0096-3445.132.1.47
  - Kane, M., Bleckley, M., Conway, A. & Engle, R.. (2001). A controlled-attention view of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 169–183.
  - Kaut, K. & Bunsey, M. (2001). The effects of lesions to the rat hippocampus or rhinal cortex on olfactory and spatial memory: Retrograde and anterograde findings. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 1(3), 270-286. doi:10.3758/CABN.1.3.270

- Kessels, R., de Haan, E., Kappelle, L. & Postma, A. (2001). Varieties of human spatial memory: A meta-analysis on the effects of hippocampal lesions. *Brain Research. Brain Research Reviews*, 35(3), 295.
- Lanza, C., Knörzer, O., Weber, M. & Riepe, M. (2014). Autonomous spatial orientation in patients with mild to moderate alzheimer's disease by using mobile assistive devices: A pilot study. *Journal of Alzheimer's Disease*, 42(3), 879. doi:10.3233/JAD-140063.
- Lee, J. & Park, S. (2005). Working memory impairments in schizophrenia: A meta-analysis. *Journal of Abnormal Psychology*, 114(4), 599-611. doi:10.1037/0021-843X.114.4.599
- León, I., Tascón, L. & Cimadevilla, J. (2016). Age and gender-related differences in a spatial memory task in humans. *Behavioural Brain Research*, 306, 8-12. doi:10.1016/j.bbr.2016.03.008
- Morris, R. (1984). Developments of a water-maze procedure for studying spatial learning in the rat. *Journal of Neuroscience Methods*, 11(1), 47-60. doi:10.1016/0165-0270(84)90007-4
- Morris, R. (1981). Spatial localization does not require the presence of local cues. *Learning and Motivation*, 12(2), 239-260. doi:10.1016/0023-9690(81)90020-5
- Oberauer k. (2017) What is working memory capacity? / ¿Qué es la capacidad de la memoria de trabajo?, *Estudios de Psicología*, 38(2), 338-384, doi:10.1080/02109395.2017.1295579
- O'Keefe, J. & Nadel, L. (1978). *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford: Clarendon Press.
- Ortells, J., Noguera, C., Álvarez, D., Carmona, E. & Houghton, G. (2016). Individual differences in working memory capacity modulates semantic negative priming from single prime words. *Frontiers in Psychology*, 7, 1286. doi:10.3389/fpsyg.2016.01286
- Perssona J., Herlitz, A., Engmana, J., Morell, A., Sjölie D., Wikströmc, J. & Söderlunda, H. (2013). Remembering our origin: Gender differences in spatial memory are reflected in gender differences in hippocampal lateralization. *Behavioural Brain Research*, 256, 219-228. doi:10.1016/j.bbr.2013.07.050
- Pinel (2007). *Biopsicología (6ª edición)*. Madrid: Pearson Education.
- Pliatsikas, C., Veríssimo, J., Babcock, L., Pullman, M., Gleib, D., Weinstein, M. & Ullman, M. (2018). Working memory in older adults declines with age, but is

- modulated by sex and education. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1-20. doi: 10.1177/1747021818791994
- Rhodes, R. E., & Katz, B. (2017). Working memory plasticity and aging. *Psychology and Aging*, 32(1), 51-59. doi:10.1037/pag0000135
  - Schon K., Newmark R, Ross R, Quiroz Y. & Stern C. (2010). Working memory load effects in hippocampal subfields: A high-resolution fMRI study. *Program no. 398.14/KKK40, 2010 Neuroscience Meeting Planner. Society for Neuroscience, San Diego, CA.*
  - Schon, K., Quiroz, Y., Hasselmo, M. & Stern, C. (2009). Greater working memory load results in greater medial temporal activity at retrieval. *Cerebral Cortex*, 19(11), 2561-2571. doi: 10.1093/cercor/bhp006
  - Shrager, Y., Kirwan, C. & Squire, L. (2008). Neural basis of the cognitive map: Path integration does not require hippocampus or entorhinal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(33), 12034-12038. doi:10.1073/pnas.0805414105
  - Stretton, J. & Thompson, P. (2011). Frontal lobe function in temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Research*, 98(1), 1-13. doi:10.1016/j.eplepsyres.2011.10.009
  - Tascón, L., García-Moreno, L. & Cimadevilla, J. (2017). Almeria spatial memory recognition test (ASMRT): Gender differences emerged in a new passive spatial task. *Neuroscience Letters*, 651, 188-191. doi:10.1016/j.neulet.2017.05.011
  - Tsubomi, H. & Watanabe, K. (2017). Development of visual working memory and distractor resistance in relation to academic performance. *Journal of Experimental Child Psychology*, 154, 98-112. doi:10.1016/j.jecp.2016.10.005
  - Vicens, P., Carrasco, M. & Redolat, R. (2003). Aprendizaje espacial y laberinto de agua: Metodología y aplicaciones. *Psicothema*, 15(4), 539-544.
  - Vogel, E., & Machizawa, M. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428(6984), 748-751. doi:10.1038/nature02447
  - Wilkins, L., Girard, T., Herdman, K., Christensen, B., King, J., Kiang, M. & Bohbot, V. (2017). Hippocampal activation and memory performance in schizophrenia depend on strategy use in a virtual maze. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 268, 1-8. doi:10.1016/j.psychresns.2017.07.007

- Williams, M. & Vorhees, C. (2006). Morris water maze: Procedures for assessing spatial and related forms of learning and memory. *Nature Protocols*, 1(2), 848-858. doi:10.1038/nprot.2006.116
- Zaehle, T., Jordan, K., Wüstenberg, T., Baudewig, J., Dechent, P. & Mast, F. (2006). The neural basis of the egocentric and allocentric spatial frame of reference. *Brain Research*, 1137(1), 92-103. doi:10.1016/j.brainres.2006.12.044