



Universidad de Oviedo

Departamento de Psicología

Tesis Doctoral (Doctorado Internacional)

**MEMORIA Y ORIENTACIÓN ESPACIAL EN
ENTORNOS VIRTUALES: INFLUENCIA DE
LA EDAD Y DE LAS HABILIDADES ESPACIALES.**

Autora: **Clara Zancada Menéndez**

Director **Dr. Laudino López Álvarez**

Codirectora **Dra. Azucena Begega Losa**

Oviedo, 2016



RESUMEN DEL CONTENIDO DE TESIS DOCTORAL

1.- Título de la Tesis	
Español/Otro Idioma: "Memoria y orientación espacial en entornos virtuales: influencia de la edad y de las habilidades espaciales"	Inglés: "Memory and Spatial orientation in virtual environments: Influence of age and spatial abilities".
2.- Autor	
Nombre: Clara Zancada Menéndez	DNI/Pasaporte/NIE: -K
Programa de Doctorado: Psicología	
Órgano responsable: universidad de Oviedo, Facultad de Psicología	

RESUMEN (en español)

Muchas de las tareas que realizamos en nuestro día a día dependen de nuestra capacidad para adquirir y representar información del espacio que nos rodea. Por ello, cuando se producen déficits en los procesos de cognición espacial, algunas de las actividades básicas de la vida diaria se ven comprometidas, constituyendo una de las primeras quejas que aparecen con el envejecimiento.

Con el fin de comprender mejor los posibles déficits que ocurren durante el envejecimiento en la capacidad de orientación espacial, así como el rol de ciertos factores como la memoria visuoespacial, la capacidad de cambio de perspectiva o la rotación mental, desarrollamos un entorno de realidad virtual ambientado en un jardín botánico y constituido por tres rutas que comenzaban y finalizaban en distintos puntos del mismo. Los resultados mostraron un peor rendimiento del grupo de personas mayores frente a los de jóvenes y adultos en la capacidad de orientación a lo largo de las tres rutas, siendo factores moduladores de tal deterioro la interferencia y la capacidad de actualización de la información.

Por otro lado, para evaluar específicamente la relevancia de la capacidad de cambio de perspectiva en el envejecimiento, se utilizó el test de cambio de perspectiva de Kozhevnikov y Hegarty (2001). En esta investigación se observó un claro deterioro de esta habilidad visuoespacial en el grupo de personas mayores. Además, observamos que en el grupo de jóvenes y adultos la ejecución empeoró en aquellos ítems donde el grado de desviación requerido era mayor de 90°. Resultado que subraya la importancia del ángulo de desviación en



la capacidad de cambio de perspectiva, especialmente cuando son comparados diferentes grupos de edad. En cuanto al género, e independientemente de la edad o del ángulo de perspectiva, nuestros resultados mostraron, en concordancia con otros autores (Gardner y cols. 2012; Halpern y cols. 2007) una peor ejecución de las tareas en el caso de las mujeres respecto de los hombres.

Dada la relevancia del cambio de perspectiva en la cognición espacial (Watanabe y Takamatsu 2014), otro de nuestros objetivos fue comprobar si tener acceso tanto a la perspectiva de ida como de vuelta de las rutas que componen un entorno, podría mejorar la capacidad de orientación y construcción del mapa cognitivo. Nuestros resultados mostraron que la perspectiva bidireccional no sólo no ayudó, sino que dificultó tanto la orientación como la configuración del mapa. Sin embargo, los resultados también mostraron que un mayor tiempo de acceso a la información de ambas perspectivas parece reducir la interferencia producida por la similitud de las rutas. Esta interferencia de la información, junto con la capacidad de cambio de perspectiva, fueron las más relacionadas con la peor ejecución del grupo que tenía acceso a la información bidireccional.

Finalmente, el último estudio de esta Tesis Doctoral trató de conocer la función específica que cumplían tanto las habilidades visuoespaciales, como la memoria de trabajo espacial, en la capacidad de orientación y formación del mapa cognitivo de nuestro entorno. En la línea de estudios previos realizados por Meneghetti y cols. (2011a, 2013b), nuestros resultados mostraron que la capacidad de rotación mental estaría actuando como variable predictora y la memoria visuoespacial como una variable moduladora, tanto en la representación de rutas de forma independiente, como en la formación del mapa cognitivo. Sin embargo, a pesar de la importancia que tiene el cambio de perspectiva en los procesos de orientación al medio, como han señalado nuestros resultados, esta habilidad visuoespacial no mostró una función definida dentro de dicho modelo.



RESUMEN (en Inglés)

Most of the activities that we perform in our daily life depend on our ability to acquire spatial information and represent the space around us. Therefore, when impairments in spatial cognition processes appear, many of the basic activities of daily life are compromised, constituting one of the first subjective cognitive complaints during the aging.

In order to understand the potential deficits that occur during the aging in the capacity to remain spatially oriented and the role of several factors, such as visuospatial memory, perspective change or mental rotation in this process, we developed a virtual reality environment set in a botanical garden compound of three paths, which began and ended in different parts of the same environment. Results showed that the older group had a worse performance compared to young and adult groups in the ability of orientating along the three routes. Besides, the interference of information and the capacity to updating have shown to be modulating factors.

In addition, we assessed the relevance of perspective change in the aging process using the Kozhevnikov and Hegarty (2001) test which analyses the perspective change ability. In this research, a clear impairment of the visuospatial ability in the elderly group was observed. In addition, we observed that in the young and middle-aged adults groups the performance was strongly impaired in those items with a degree of deviation greater than 90°. Respect to the gender, and regardless of the age and the angle deviation, our results agree with the previous literature, (Gardner et al. 2012; Halpern et al 2007), showing that the women had a worse performance compared to the men. Another aim was to study if having access to the forward and backward perspectives of the paths that compound an environment, could improve the spatial representation of each path as well as the construction of the cognitive map. Our results showed that bidirectional perspective altered the performance compared to the unidirectional perspective both in route and cognitive map construction. However, our results also showed that a higher time of exposition to both perspectives led to better performance reducing the interference of similar information. This variable, along with the ability of perspective change, were the most related to the worst execution of the bidirectional



perspective group.

Finally, the last study of this thesis aimed to analyze the specific role played by visuospatial working memory and spatial abilities in the orientation capacity and the cognitive map construction. In line with previous studies (Meneghetti et al., 2011a, 2013b), our results showed that the ability of mental rotation would be a predictor variable and the visuospatial memory a mediator variable both in the accuracy performance of each path, as in the integration of all the spatial information. However, despite the relevance that we have seen of perspective change ability in the orientation processes, this visuospatial ability did not showed a defined function within the model.

SR. DIRECTOR DE DEPARTAMENTO DE _____ /
SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN _____



cambio de perspectiva, si el envejecimiento en sí mismo producía un deterioro en la capacidad de cambio de perspectiva, así como qué factores influían más en el mismo. El estudio confirmó que esta habilidad espacial se encuentra muy deteriorada con el envejecimiento, pero que el grado de desviación únicamente deteriora la ejecución en jóvenes y adultos (Aging clinical and experimental research, 2015).

Ahondando en la relevancia del cambio de perspectivas, otro estudio trató de averiguar si tener acceso a perspectivas de ida y vuelta cuando se adquiere una nueva ruta, beneficia o deteriora la capacidad de orientación y la integración de la información espacial. Los resultados de dicho estudio mostraron que lejos de ayudar, tener acceso a una perspectiva de vuelta deteriora tanto la capacidad de orientación como la formación del mapa cognitivo (Journal of Cognitive Psychology., 2016). Dada la relevancia que a lo largo de dichos experimentos se observó tanto de las habilidades espaciales y la memoria de trabajo visuoespacial, se quiso saber específicamente qué papel jugaba cada uno de dichos factores en la integración de la información espacial de las tres rutas del entorno virtual y en la formación del mapa cognitivo. Los resultados mostraron por un lado que el cambio de perspectivas no tiene un papel específico, mientras que la rotación mental actuaría como predictor del nivel de ejecución, y la memoria de trabajo visuoespacial como mediador (Learning and individual differences *under-review*).

Además a lo largo de dichos estudios también se comparó la ejecución entre hombres y mujeres. Observando que el rendimiento de los hombres era mejor que el de las mujeres en muchas de las tareas espaciales.

Todos los experimentos incluidos en la presente Tesis Doctoral tienen un punto en común, y es comprender mejor como con el envejecimiento se produce un deterioro en la cognición espacial y en qué medida un conjunto de factores están implicados en dicho deterioro.

Oviedo, 12 de Enero de 2016

Director/es de la Tesis Doctoral

Fdo.: Laudino López Álvarez

Fdo.: Azucena Begega Losa



Universidad de Oviedo

Departamento de Psicología

Tesis Doctoral (Doctorado Internacional)

**MEMORIA Y ORIENTACIÓN ESPACIAL EN
ENTORNOS VIRTUALES: INFLUENCIA DE
LA EDAD Y DE LAS HABILIDADES ESPACIALES.**

Autora: **Clara Zancada Menéndez**

Oviedo, 2016

Financiación

Esta Tesis Doctoral ha sido realizada durante el periodo de disfrute de la beca predoctoral “Severo Ochoa” concedida por la Fundación para el Fomento en Asturias de la Investigación Científica Aplicada y la Tecnología (Ficyt).

A mi familia

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN / SUMMARY (bis).....	1
1. MARCO TEÓRICO	
1.1 La Memoria.....	9
1.2 Cognición Espacial.....	33
2. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS.....	67
3. PUBLICACIONES	
3.1 Age differences in path learning: The role of interference in updating spatial information. Zancada-Menéndez, C., Sampedro-Piquero, P., Meneghetti, C., Labate, E., Begega, A., y López, L. (2015). Learning and Individual Differences, 38, 83-89. Doi:10.1016/j.lindif.2015.01.015.....	73
3.2. Age and gender differences in spatial perspective taking. Zancada-Menéndez, C., Sampedro-Piquero, P., López, L., y McNamara, T. (2015). Aging Clinical and Experimental Research, 1-8. Doi:10.1007/s40520-015-0399-z.....	83
3.3. Influence of bidirectional perspective on learning routes and spatial layout. Zancada-Menéndez, C., Qiliang, H., Sampedro-Piquero, P., López, L., y McNamara, T. (2016). Journal of Cognitive Psychology. Doi:10.1080/20445911.2016.1143476.....	93

4. ESTUDIO COMPLEMENTARIO

4.1. Mental representation derived by navigation: The role of visuo-spatial abilities and working memory. Meneghetti, C., Zancada-Menéndez, C., Sampedro-Piquero, P., Lopez, L., Martinelli, M., y Rossi, B. (2015). Journal of Learning and Individual Differences (en revision LEAIND-D-15-00484).....115

5. DISCUSIÓN GENERAL.....147

6. CONCLUSIONES / CONCLUSIONS (bis).....179

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....185

Resumen

Muchas de las tareas que realizamos en nuestro día a día dependen de nuestra capacidad para adquirir y representar información del espacio que nos rodea. Por ello, cuando se producen déficits en los procesos de cognición espacial, algunas de las actividades básicas de la vida diaria se ven comprometidas, constituyendo una de las primeras quejas que aparecen con el envejecimiento.

Con el fin de comprender mejor los posibles déficits que ocurren durante el envejecimiento en la capacidad de orientación espacial, así como el rol de ciertos factores como la memoria visuoespacial, la capacidad de cambio de perspectiva o la rotación mental, desarrollamos un entorno de realidad virtual ambientado en un jardín botánico y constituido por tres rutas que comenzaban y finalizaban en distintos puntos del mismo. Los resultados mostraron un peor rendimiento del grupo de personas mayores frente a los de jóvenes y adultos en la capacidad de orientación a lo largo de las tres rutas, siendo factores moduladores de tal deterioro la interferencia y la capacidad de actualización de la información.

Por otro lado, para evaluar específicamente la relevancia de la capacidad de cambio de perspectiva en el envejecimiento, se utilizó el test de cambio de perspectiva de Kozhevnikov y Hegarty (2001). En esta investigación se observó un claro deterioro de esta habilidad visuoespacial en el grupo de personas mayores. Además, observamos que en el grupo de jóvenes y adultos la ejecución empeoró en aquellos ítems donde el grado de desviación requerido era mayor de 90°. Resultado que subraya la importancia del ángulo de

desviación en la capacidad de cambio de perspectiva, especialmente cuando son comparados diferentes grupos de edad. En cuanto al género, e independientemente de la edad o del ángulo de perspectiva, nuestros resultados mostraron, en concordancia con otros autores (Gardner y cols. 2012; Halpern y cols. 2007) una peor ejecución de las tareas en el caso de las mujeres respecto de los hombres.

Dada la relevancia del cambio de perspectiva en la cognición espacial (Watanabe y Takamatsu 2014), otro de nuestros objetivos fue comprobar si tener acceso tanto a la perspectiva de ida como de vuelta de las rutas que componen un entorno, podría mejorar la capacidad de orientación y construcción del mapa cognitivo. Nuestros resultados mostraron que la perspectiva bidireccional no sólo no ayudó, sino que dificultó tanto la orientación como la configuración del mapa. Sin embargo, los resultados también mostraron que un mayor tiempo de acceso a la información de ambas perspectivas parece reducir la interferencia producida por la similitud de las rutas. Esta interferencia de la información, junto con la capacidad de cambio de perspectiva, fueron las más relacionadas con la peor ejecución del grupo que tenía acceso a la información bidireccional.

Finalmente, el último estudio de esta Tesis Doctoral trató de conocer la función específica que cumplían tanto las habilidades visuoespaciales, como la memoria de trabajo espacial, en la capacidad de orientación y formación del mapa cognitivo de nuestro entorno. En la línea de estudios previos realizados por Meneghetti y cols. (2011a, 2013b), nuestros resultados mostraron que la capacidad de rotación mental estaría actuando como variable predictora y la memoria visuoespacial como una variable moduladora, tanto en la

representación de rutas de forma independiente, como en la formación del mapa cognitivo. Sin embargo, a pesar de la importancia que tiene el cambio de perspectiva en los procesos de orientación al medio, como han señalado nuestros resultados, esta habilidad visuoespacial no mostró una función definida dentro de dicho modelo.

Summary (bis)

Most of the activities that we perform in our daily life depend on our ability to acquire spatial information and represent the space around us. Therefore, when impairments in spatial cognition processes appear, many of the basic activities of daily life are compromised, constituting one of the first subjective cognitive complaints during the aging.

In order to understand the potential deficits that occur during the aging in the capacity to remain spatially oriented and the role of several factors, such as visuospatial memory, perspective change or mental rotation in this process, we developed a virtual reality environment set in a botanical garden compound of three paths, which began and ended in different parts of the same environment. Results showed that the older group had a worse performance compared to young and adult groups in the ability of orientating along the three routes. Besides, the interference of information and the capacity to updating have shown to be modulating factors.

In addition, we assessed the relevance of perspective change in the aging process using the Kozhevnikov and Hegarty (2001) test which analyses the perspective change ability. In this research, a clear impairment of the visuospatial ability in the elderly group was observed. In addition, we observed that in the young and middle-aged adults groups the performance was strongly impaired in those items with a degree of deviation greater than 90°. Respect to the gender, and regardless of the age and the angle deviation, our results agree with the previous literature, (Gardner et al. 2012; Halpern et al 2007), showing that the women had a worse performance compared to the men. Another aim was to study if having access to the forward and backward

perspectives of the paths that compound an environment, could improve the spatial representation of each path as well as the construction of the cognitive map. Our results showed that bidirectional perspective altered the performance compared to the unidirectional perspective both in route and cognitive map construction. However, our results also showed that a higher time of exposition to both perspectives led to better performance reducing the interference of similar information. This variable, along with the ability of perspective change, were the most related to the worst execution of the bidirectional perspective group.

Finally, the last study of this thesis aimed to analyze the specific role played by visuospatial working memory and spatial abilities in the orientation capacity and the cognitive map construction. In line with previous studies (Meneghetti et al., 2011a, 2013b), our results showed that the ability of mental rotation would be a predictor variable and the visuospatial memory a mediator variable both in the accuracy performance of each path, as in the integration of all the spatial information. However, despite the relevance that we have seen of perspective change ability in the orientation processes, this visuospatial ability did not show a defined function within the model.

1

Marco Teórico

*La vida no es la que uno vivió, sino la que uno
recuerda y cómo la recuerda para contarla*

Gabriel García Márquez

1.1 La Memoria

A lo largo de la historia, desde diferentes enfoques teóricos, han sido muchos los autores que han tratado de comprender cómo se adquiere, almacena, recupera y reconsolidada la información. Dicho interés por comprender los procesos de aprendizaje y memoria se remonta ya a la época Aristotélica (siglo IV a.C.) donde la cuestión era abordada desde un punto de vista filosófico. En uno de sus escritos el propio Aristóteles hace este comentario: *“Es, pues, evidente que la memoria corresponde a aquella parte del alma a la que también pertenece la imaginación: todas las cosas que son imaginables son esencialmente objetos de la memoria, y aquellas cosas que implican necesariamente la imaginación son objetos de la memoria tan sólo de una manera accidental”* (Aristóteles, 1993). Habría que esperar más de un siglo para que Ebbinghaus (1850-1909), a través de sus tareas de aprendizaje de sílabas, introdujese por primera vez la metodología experimental en el estudio de la memoria. De esta manera se dejó a un lado la idea de memoria como especulación filosófica y se convirtió en un proceso observable y evaluable a través de procedimientos científicos.

El concepto y clasificación de la memoria ha ido variando a lo largo de los años. William James (1890) fue el primero en diferenciar entre memoria primaria y memoria secundaria. Posteriormente Donald Hebb (1949), con su teoría de la *dobles huella*, retomó la clasificación de James y diferenció entre memoria a corto plazo y memoria largo plazo. Sin embargo, el modelo que ha sido y sigue siendo, casi 50 años después de su postulado, uno de los más influyentes es el *modal* o *multialmacén*, propuesto por Atkinson y Shiffrin en

1968. Este modelo entiende, por primera vez, la memoria como un sistema activo donde la información es transformada a lo largo de tres grandes procesos: *registro sensorial*, *almacén a corto plazo* y *almacén a largo plazo*. A continuación, se describirán de forma breve estos procesos.

Registro sensorial

Es la primera etapa en el proceso de la memoria donde se reconoce de forma inmediata lo que perciben nuestros sentidos. Para Atkinson y Shiffrin (1968) este proceso es específico de cada modalidad sensorial y, aunque su capacidad parece ser ilimitada, su tiempo de retención es muy corto. Anteriormente, Neisser (1967) había propuesto que este registro sensorial podía dividirse en memoria icónica, responsable del registro precategórico de la información visual y memoria ecoica, responsable de la información auditiva. Independientemente de la forma de categorizar este registro sensorial, lo que parece claro es la relevancia del mismo dado que sin sensación no hay percepción y sin esta no hay recuerdo.

Memoria a corto plazo

Cuando la información del registro sensorial pasa al *almacén a corto plazo* esta es procesada y categorizada. Al contrario que en el registro sensorial, en la memoria a corto plazo la cantidad de información es limitada y, aunque el tiempo de retención es superior a la del registro sensorial, si ésta no se repasa en una especie de bucle de repetición, también denominado *retén de repaso*, la información se olvida en un periodo comprendido entre los 15 y los 30 segundos. En 1956 George Miller publicó un ensayo sobre los límites de

nuestra capacidad para procesar información dentro de los rangos de la memoria a corto plazo. Según Miller, la memoria a corto plazo tiene una capacidad de almacenamiento limitada, que está entre 5 y 9, es decir, 7 más o menos dos.

Un tipo o modalidad de memoria a corto plazo es la denominada memoria de trabajo. Si bien esta diferenciación no es una propuesta de Atkinson y Shiffrin, el hecho de que, a pesar de ser conceptualmente distintos el uso de ambos términos sea a veces ambiguo, nos ha llevado a considerar de interés introducir su diferenciación (Aben y cols. 2012). Aunque ambos tipos de memoria correlacionan entre sí (Engle y cols. 1999), cada uno de ellos conlleva demandas cognitivas diferentes. Mientras que la memoria a corto plazo es un sistema cognitivo que se utiliza para mantener información sensorial, movimientos o información cognitiva como dígitos, palabras, nombres, u otros ítems, por un breve período de tiempo (Kolb y Wishaw, 2009); la memoria de trabajo conlleva una demanda atencional extra, ya que en esta la información se mantiene activa y se manipula a fin de poder llevar a cabo tareas de comprensión, razonamiento, o aprendizajes más complejos (Miyake y cols. 2001).

Años más tarde de la aparición del modelo multialmacén, Baddeley y Hitch (1974) profundizaron más en el estudio de la memoria de trabajo. Diferenciaron tres subsistemas dentro de la misma: *bucle fonológico*, *agenda visuoespacial* y *ejecutivo central*. Para estos autores el *bucle fonológico* sería el encargado de procesar el lenguaje y almacenar la información de manera temporal, dividiéndose a su vez en dos sistemas que se comunican entre sí, el *sistema*

de control articulatorio y el almacén fonológico. El primero de ellos sería el encargado de la repetición verbal con el fin de evitar el rápido decaimiento de la información. De esta manera, repetir la información hace que ésta vuelva a entrar en el bucle fonológico, donde de inmediato comienza a decaer de nuevo. De forma gráfica, Baddeley (2000) describe el *sistema de control articulatorio* como una grabadora con una duración de dos segundos. Por su parte, el *almacén fonológico* sería el encargado de almacenar la información verbal durante un corto periodo de tiempo, considerándose así un sistema pasivo ya que únicamente almacena la información durante un tiempo limitado.

El segundo subcomponente introducido por Baddeley y Hitch, *la agenda visuoespacial*, haría referencia al lugar donde la información visual y espacial serían almacenadas durante un periodo de tiempo. Aunque sus autores no introdujeron subcomponentes dentro de la *agenda visuoespacial*, a lo largo de la literatura otros autores si lo han hecho, considerando probable que la información del “qué” y “dónde”, almacenada en dicha agenda visuoespacial, sea en realidad procesada por dos mecanismos que hacen frente por separado a cada tipo de información (Della Sala y Logie, 2002; Smyth y Pendleton, 1989). Vicari y cols. (2006) estudian esa posible disociación en personas con distintas discapacidades intelectuales observando diferencias de ejecución claras, sobre todo en participantes con síndrome de Williams, entre las tareas que requieren memoria de trabajo con componente espacial (dónde), frente a aquellas que implicaban solamente la memorización del objeto (qué). De hecho, esta nueva perspectiva de la *agenda visuoespacial* hizo que Baddeley matizase que dicho componente no había sido profundamente analizado,

considerando necesario un estudio más en detalle de la misma y dejando así la puerta abierta a una posible subdivisión de la *agenda visuoespacial* (Baddeley, 2007).

El tercer componente que configuraría la memoria de trabajo para Baddeley y Hitch, el *ejecutivo central*, fue originariamente descrito como un sistema con cierta capacidad de almacenamiento. Se consideraba que estaba conectado con la memoria a largo plazo y que su función principal era controlar la atención prestada a la información a retener. Sin embargo, esta visión del *ejecutivo central* se modifica cuando Baddeley (2000) introduce un cuarto subsistema denominado *buffer episódico*. Así, el *ejecutivo central* pasaría a ser únicamente el responsable del control y asignación de la atención, mientras que el nuevo subsistema se encargaría de relacionar la memoria a corto plazo con la memoria a largo plazo. Además, este *buffer episódico* sería el encargado de integrar la información de otros sistemas en una experiencia unificada (Baddeley, 2007).

Por otro lado, un aspecto que parece no quedar claro del modelo postulado por Baddeley es el límite de capacidad de este nuevo componente. Aunque esta cuestión ha sido ampliamente estudiada a lo largo de la literatura, sobre todo a través de tareas de amplitud y de recencia en recuerdo libre, aún hoy en día sigue siendo una pregunta de difícil respuesta (Jonides y cols., 2008). Anteriormente ya hemos hecho referencia al trabajo de Miller (1956), que estableció la capacidad de la memoria a corto plazo en torno a 7 ± 2 ítems. Pero la relevancia del estudio de Miller no fue el límite de ítems, si no que por primera vez introdujo el concepto de "chunk". Este hace referencia a la

agrupación de los ítems que tratamos de recordar en unidades superiores de acuerdo a un patrón o regla. Por ejemplo, una secuencia de 6 letras (U-A-M-I-C-S) puede componerse en un chunk (MÚSICA) utilizando una estrategia de recodificación. Para Miller, el número de chunks a recordar es limitado, sin embargo, la información que conforma cada uno de éstos es ilimitada, por eso la recodificación parece ser una buena estrategia para almacenar y procesar la información a corto plazo. El nuevo enfoque de Miller aumentó el número de investigaciones al respecto, pero los resultados obtenidos resultaron ser muy dispares (Waugh y Norman, 1965; Murdock, 1967). Cowan (2001) hizo una revisión de todos los estudios al respecto poniendo de relevancia que, aunque la mayoría diferían en el número de ítems máximo que podía ser mantenido en esta memoria, todos concordaban en que su capacidad era muy limitada. Además, Cowan expone que la variación en el número de ítems entre los distintos estudios es dependiente de la influencia de factores como la capacidad del foco de atención o las estrategias de procesamiento. Por último, este autor considera que la capacidad de esta memoria estaría más próxima a los 4 ± 1 chunks que al concepto clásico de 7 ± 2 .

Memoria a largo plazo

Si retomamos el modelo multialmacén de Atkinson y Shiffrin (1968), el tercer componente que proponían estos autores, después del *registro sensorial* y la *memoria a corto plazo*, era el de la *memoria a largo plazo*. Esta, en comparación con los almacenes anteriores, permite mantener la información por un periodo de tiempo indefinido teniendo además una capacidad ilimitada. Para Melton (1963) esta memoria a largo plazo dependía de tres fases:

codificación, almacenamiento y recuperación. La *codificación* conlleva el registro de los inputs de las memorias sensoriales (adquisición) así como el análisis de tal información (consolidación) y su posterior *almacenamiento* en el que la información es organizada y codificada. Por último, la fase de *recuperación* permitiría utilizar dicha información almacenada en el momento en que fuese necesaria evocarla.

Al igual que sucediera con la adhesión del buffer episódico en la memoria a corto plazo, Nader y cols. (2000) incorporaron una cuarta fase a esta memoria de largo plazo, denominándola fase de *reconsolidación*. Al parecer, cuando una memoria ya consolidada es de nuevo recordada se produce inestabilidad, dado que el recuerdo se adapta a las circunstancias presentes donde está siendo reactivada, por ello, es necesario que ésta vuelva a reconsolidarse (Sara, 2000). Este proceso de reconsolidación reforzaría la propuesta de Bartlett (1932) que mantenía la existencia de procesos tanto constructivos como reconstructivos de la información, es decir, la existencia de una unión entre los procesos de codificación y recuperación.

Aunque el modelo de Atkinson y Shiffrin (1968) ha servido de marco de referencia en el estudio de la memoria, como hemos visto a través de los múltiples estudios que han ido variando el modelo original, parece ser un modelo no tanto erróneo si no incompleto (Broadbent, 1984; Cowan, 1988). A lo largo de la década de los 80 nuevas propuestas sobre la división de la memoria a largo plazo permitieron conocer más en detalle el funcionamiento de este tipo de memoria. Dos teorías fueron las más influyentes: Tulving y Schacter (1990) diferenciando entre memoria implícita y explícita, y Squire

(1986, 1987) diferenciando entre memoria declarativa y no declarativa. Para Tulving y Schacter la memoria implícita hacía referencia a la recuperación de una información de manera no intencional y automática, mientras que, por el contrario, la memoria explícita sería aquella recordada de manera deliberada y consciente. Esta diferenciación gozó de gran aceptación en un principio, pero según apunta Gardiner (2008) ha ido perdiendo crédito con el paso de los años dada la complejidad de discernir entre un recuerdo adquirido de forma explícita o implícita. Como apunta Ruiz-Vargas (2000) la línea divisoria entre la intención y la conciencia es de difícil delimitación en la práctica. Sin embargo, la diferenciación de Squire (1986, 1987) entre memoria declarativa (implícita) y no declarativa (explícita) ha sido y sigue siendo la más comúnmente utilizada en la memoria a largo plazo. A continuación analizaremos dicha propuesta.

Memoria Declarativa

La memoria de tipo *declarativa* (o *explícita* para Tulving) es considerada un tipo de memoria a largo plazo que, de manera consciente, puede ser recordada y declarada o descrita a otras personas como en el caso de la descripción de ideas o sucesos. Esta memoria puede, a su vez, subdividirse en memoria *semántica* y *memoria episódica* (Tulving, 1972). La primera de ellas haría referencia específicamente a nuestro conocimiento general acerca de las palabras, conceptos o cosas que nos rodean, así como, a las propiedades e interrelaciones de las mismas (ej. recordar que Oviedo es la capital de Asturias o que “El Quijote” fue escrito por *Miguel de Cervantes*). Por su parte, la memoria episódica permitiría recordar experiencias vividas en un marco espacio-temporal específico y que son recuperadas de manera deliberada y

consciente (ej. recordar qué comimos el día anterior). Por tanto, el aspecto diferencial entre la memoria episódica y la semántica es que esta última sólo implica conciencia de saber y no tiene un componente personal.

Aunque para algunos autores como Tulving (2005) la *memoria episódica* sería equivalente a la *memoria autobiográfica*, otros entienden que hay diferencias entre ambos términos, siendo característica sólo de la *memoria autobiográfica* la vinculación de la información con el carácter más personal de la misma (Nelson, 1993; Brewer, 1986). La clave en dicha diferenciación parece estar, como exponen Singer y Salovey (1993), en la convergencia de emociones y memoria que se da en cada recuerdo autobiográfico (ej. revivir o reexperimentar la redacción de esta tesis frente al recuerdo del hilo argumental de la última novela que hemos leído).

En definitiva, si este sistema de memoria declarativa se viese dañado, como el caso clínico del paciente H.M. que desarrollaremos más adelante, la persona viviría en un presente permanente sin capacidad de adquirir ninguna información nueva, ya sea ésta de tipo semántica o episódica.

Memoria No Declarativa

Este tipo de memoria permite adquirir y mantener aprendizajes y habilidades de forma no consciente, así como hábitos motores que son cualitativa y funcionalmente independientes de la memoria declarativa. En ella se englobarían la memoria procedimental, el priming, el condicionamiento clásico y el aprendizaje no asociativo. Específicamente, la memoria de *tipo procedimental* permite adquirir habilidades perceptivomotoras sin que sea

necesario recordar las experiencias previas al respecto. Con la práctica, dichas habilidades se vuelven muy precisas y se automatizan. Un ejemplo claro de memoria procedimental es la conducción: una vez que se tiene experiencia, automatizamos los movimientos para cambiar de marcha en coordinación con el pedal del embrague.

Fitts y Posner (1967) propusieron tres fases de adquisición de esta memoria procedimental. Para estos autores el aprendizaje comienza con una etapa cognitiva, donde el conocimiento se representa de forma declarativa y, por lo general, en código verbal. A continuación se pasaría a una fase de asociación, donde la conducta se afina y los errores empiezan a disminuir. Finalmente, en la fase de autonomía, la ejecución se vuelve muy precisa, rápida y requiere bajos niveles de atención. Otro ejemplo de memoria procedimental es la que utilizan los músicos cuando interpretan una melodía sobradamente conocida. Sánchez y cols. (2004) muestran en su estudio que efectivamente la memoria musical difiere de la memoria declarativa. En este estudio evalúan el caso de una paciente solista, con síndrome amnésico por intoxicación de monóxido de carbono y, aunque la paciente presentaba graves fallos de memoria episódica y semántica, como evidenció la evaluación neuropsicológica, no mostraba déficits en el test de la Torre de Hanoi, en la prueba de lectura en espejo ni en pruebas que evaluaban sus competencias musicales tanto a nivel perceptivo como de producción.

Por otro lado, el *priming* verbal o perceptivo es un tipo de memoria donde el recuerdo de lo percibido anteriormente influye de manera inconsciente en las actuaciones futuras. Así, por ejemplo, si escuchamos o vemos la palabra

“comer” y a continuación tenemos que completar la palabra “ja-ón”, la exposición a la palabra previa “comer” fomentaría el reconocimiento de palabras relacionadas con ésta, llevándonos a evocar más probablemente la palabra “jamón” que la palabra “jabón”. Diversos estudios en personas amnésicas, que muestran déficits en la memoria declarativa, realizan bien tareas donde se les pide completar palabras fragmentadas que previamente han percibido (Vaidya y cols., 1998). Recientemente, Kane y cols. (2015), utilizando la tarea de terminación de palabras, muestran un deterioro en esta prueba en pacientes que cursan con Demencia de Alzheimer. Sin embargo, otros estudios, utilizando la misma tarea, muestran una buena ejecución en estos pacientes (Fleischman, 2007; Millet y cols., 2010). Estos resultados opuestos nos llevan a pensar que o bien la sensibilidad conductual de la tarea no es muy alta (Salmon y Heindel, 2014), o bien que múltiples mecanismos neuronales puedan estar implicados en la ejecución de la misma (Race y cols. 2009).

Como apuntamos anteriormente, la memoria no declarativa incluye también el *aprendizaje no asociativo* (habitación, deshabitación y sensibilización) que tiene lugar cuando la asociación estímulo-respuesta se repite de forma continuada. Así como el condicionamiento clásico descrito por Pavlov (1849-1936). Este tipo de aprendizaje implica que la asociación de un estímulo incondicionado con un estímulo neutro lleva posteriormente a producir una respuesta igual ante el estímulo neutro que aquella que se producía ante la presencia del estímulo incondicionado. Watson y Rayner (1920) investigaron por primera vez en seres humanos este tipo de aprendizaje con el conocido

caso del niño Albert. En este experimento se muestra como Albert asociaba un ruido provocado por el golpe de un martillo sobre una barra de metal con la aparición de una rata que previamente no producía ninguna respuesta en el niño. Esta asociación continua entre el ruido y la aparición de la rata llevó a que, posteriormente, ante la sola presencia de la rata, Albert mostrase una respuesta condicionada de miedo que antes no aparecía.

Bases cerebrales y sistemas de memoria

A lo largo de la literatura, numerosos estudios, tanto en modelo animal como humano, han tratado de descubrir las bases cerebrales que subyacen a los procesos de memoria. Lashley (1890-1958) fue uno de los primeros investigadores que trató de localizar la base neuroanatómica de la memoria (el engrama). Para ello, lesionaba regiones específicas o seccionaba vías de conexión con el fin de desconectar diferentes regiones corticales y poder así identificar la localización de la memoria. Sin embargo, Lashley (1950) acabaría postulando la inexistencia de un único centro específico para la memoria, considerando que ésta estaba configurada por el conjunto de conexiones entre distintas estructuras cerebrales. Por otro lado, gracias en gran medida a los estudios de caso único, principalmente de pacientes amnésicos, hoy sabemos que los sustratos neuroanatómicos que subyacen a la memoria declarativa y no declarativa son distintos.

Sistemas encefálicos subyacentes a la formación de la memoria declarativa

Evidencias tanto clínicas como experimentales han mostrado la relevancia que el lóbulo temporal medial tiene en los procesos de consolidación de la memoria

declarativa. El hipocampo y las cortezas perirrinal, entorrinal y parahipocámpal adyacentes conforman este sustrato neuroanatómico (Eichenbaum y cols., 2007; Squire y Zola-Morgan, 1991). Pero, sin duda, es la formación hipocámpal la que parece desempeñar un papel crítico en los procesos de memoria. Esta formación se sitúa en la cara medial del lóbulo temporal y está conformada por el giro dentado (GD), el asta de Ammón (dividida en las áreas CA1-CA2-CA3 y CA4 en humanos) y el complejo subicular. Por medio de la vía perforante (que lo conecta con el neocórtex posterior) y el fórnix (que lo conecta con el tálamo y la corteza frontal) mantiene conexiones con el resto del encéfalo.

Un caso especialmente revelador sobre la implicación del lóbulo temporal medial en la consolidación de la memoria declarativa, fue el del paciente Henry Molaison (H.M.) (Augustinack y cols., 2014; Corkin, 2002). Con el objetivo de reducir las fuertes crisis epilépticas que sufría, H.M. fue sometido a una resección bilateral del lóbulo temporal medial (Corkin, 1984; Scoville y Milner, 1957). A consecuencia de la operación H.M. presentaba una amnesia anterógrada que le impedía adquirir nuevas memorias. Así como una leve amnesia retrógrada (dos años anteriores a la operación y pérdida de datos hasta los 11 años anteriores). Sin embargo, mantenía preservada la memoria a corto plazo, mostrando una buena ejecución en tareas como los cubos de Corsi y en la prueba de dígitos (Milner, 1971; Wickelgren, 1968). Tampoco mostraba déficits en tareas perceptivas, de pensamiento abstracto o aquellas que conllevaban un aprendizaje de estímulos condicionados. Por ello, cuando Milner (1965) evaluó la memoria procedimental a través de la tarea de dibujo en espejo, observó que, aunque H.M. no recordaba haber realizado la prueba

con anterioridad, su ejecución a lo largo de tres días mostraba una curva de aprendizaje clara. Lo mismo sucedió años más tarde cuando Milner (1968) evaluó su ejecución en la tarea de figuras incompletas.

Así, el estudio del paciente H.M. permitió conocer la relevancia del lóbulo temporal medial en la memoria declarativa. Sin embargo, no sería hasta el estudio del caso del paciente R.B. cuando se descubriese que un daño limitado a la región hipocampal era suficiente para producir un déficit de memoria declarativa (Zola-Morgan y cols., 1986). Como consecuencia de una anoxia cerebral producida por una intervención quirúrgica, R.B. presentaba lesiones en el hipocampo, el globo pálido, circunvolución postcentral y cápsula interna. No obstante, la única región afectada que podía relacionarse con los déficits de memoria fue la lesión hipocampal, específicamente una pérdida neuronal en el área CA1. A nivel cognitivo, dicha lesión produjo una severa amnesia anterógrada y retrógrada leve (abarcaba solo los dos años anteriores al accidente cerebrovascular). El hecho de que CA1 y el subículo sean las vías principales eferentes de la formación hipocampal hacia otras áreas corticales y subcorticales, hace comprender mejor que una lesión tan específica pueda por sí sola producir un daño tan severo (Gigg, 2006; Kim y cols., 2012).

Ciertamente, como se acaba de mostrar, una lesión hipocampal específica es capaz de producir un deterioro en la memoria declarativa. Pero cabe recalcar que cuanto mayor es la afectación cerebral mayores parecen ser también los déficits de memoria que se producen (Mishkin, 1978; Zola-Morgan y cols., 1994). El claro ejemplo es el estudio de caso del paciente E.P. A raíz de una encefalitis viral E.P. presentaba un daño bilateral global del lóbulo temporal

medial, así como un deterioro del lóbulo temporal lateral. Como consecuencia de dichas lesiones mostraba una severa amnesia anterógrada tanto episódica como semántica. Además, también mostraba una clara amnesia retrógrada que abarcaba varias décadas. Pero, al igual que en los casos anteriores, E.P. no mostró déficits en las tareas de memoria no declarativa (Conroy y cols., 2005; Stark y Squire, 2000). Cuando se compara el caso de H.M. y E.P. se observa que, efectivamente, una mayor afectación cerebral conlleva deterioros de memoria más severos (Insausti y cols., 2013). Así por ejemplo, H.M. era capaz de beneficiarse de la exposición prolongada del material a recordar (Freed y cols., 1987). Sin embargo, E.P. mantenía el mismo nivel de recuerdo al margen del tiempo de exposición de la información (Reed y cols., 1997). Por otro lado, mientras que H.M. podía adquirir cantidades significativas de nueva información fáctica después del inicio de su amnesia (O'Kane y cols., 2004), E.P. no era capaz de adquirir nueva información declarativa (Bayley y cols., 2006, 2008).

Además, el caso de E.P. ha dado a conocer la especial implicación de la corteza temporal lateral (el giro temporal superior, inferior y medial) y el giro fusiforme en el procesamiento de la memoria semántica. Como apunta Insausti y cols. (2013), parece que la pérdida de memoria severa de E.P. fue causada por las lesiones bilaterales del lóbulo temporal medial. Sin embargo, sus alteraciones en la memoria semántica se vincularon a la lesión de la corteza temporal lateral, al igual que ocurre en pacientes con demencia de tipo semántico (Hodges y cols., 1992; Hodge y Graham, 2001). Específicamente, en el estudio de Galton y cols. (2001) se muestra cómo, a consecuencia de una

lesión en el giro fusiforme, los pacientes muestran un claro deterioro en tareas de asociación semántica tanto visual como verbal.

Históricamente se ha considerado que la memoria de trabajo era independiente del lóbulo temporal medial (Baddeley y Warrington, 1970; Milner, 1972). A este respecto, Jeneson y cols. (2010) muestran cómo pacientes con daño en el lóbulo temporal medial son capaces de recordar la localización de un pequeño número de objetos. Sin embargo, cuando el límite excede la memoria de trabajo la ejecución es muy pobre. Lo mismo muestran los estudios de Baddeley y cols. (2010, 2011), donde un paciente con daño en el lóbulo temporal medial (similar al del paciente H.M.) fue evaluado utilizando una extensa batería de test específicos de memoria de trabajo. Sus resultados revelaron que el paciente era capaz de realizar todas las pruebas con precisión. Los estudios parecen apuntar a la especial implicación del lóbulo frontal en la ejecución de tareas de memoria de trabajo, con una especial relevancia el circuito dorsolateral (Bechara y cols., 2000; Postle, 2006). Tal es el caso del estudio de Curtis y D'Esposito (2003) que, utilizando resonancia magnética funcional, encontraron una persistente actividad en el córtex prefrontal dorsolateral durante el intervalo de retención en una tarea de emparejamiento demorado a la muestra. De hecho, en este estudio se indica que esta estructura dirige la atención a estímulos sensoriales y planes motores que, posteriormente, serán almacenados en otras regiones cerebrales.

Por otro lado, el diencéfalo, en el que se incluye el tálamo, el hipotálamo y el epitálamo, es otro de los sustratos cerebrales con un rol importante en la memoria declarativa (Mair y cols., 2015; Vann, 2010). En un principio se

consideró que las lesiones del lóbulo temporal medial y las diencefálicas producían déficits de memoria distintos (Hupper y Piercy, 1979; Parkin, 1984). Pero estudios más recientes indican que lesiones en ambos sustratos neuroanatómicos comportan déficits de memoria similares (Gold y Squire, 2006; Van der Werf y cols., 2000). Lo que, por otro lado, no resulta extraño dada la conexión neuroanatómica existente entre ambas regiones cerebrales (Gold y Squire, 2006; Squire y Wixted, 2011).

A finales del s. XIX Serguéi Korsakoff (1854-1900) postuló, por primera vez, que pequeños daños en ciertas zonas diencefálicas podían producir un síndrome amnésico. Años después se constató que, efectivamente, pacientes con lesiones específicas en los cuerpos mamilares (Delay y Brion, 1969; Gudden 1896) y el tálamo (Victor y cols., 1971) cursaban con amnesia anterógrada y en menor medida retrógrada (Paller y cols., 1997; Squire y cols., 1990; Squire, 1992; Oudman y cols., 2011). Dando lugar a lo que hoy conocemos como Síndrome de Korsakoff (Harding y cols., 2000; Reed y cols., 2003). Aunque ha existido cierta controversia sobre la implicación de las distintas estructuras diencefálicas en este síndrome (Kopelman, 2014), los estudios de pacientes con lesiones bien delimitadas, por lo general debidos a accidentes isquémicos, tumores o traumatismos (Aggleton y cols., 2011; Van der Werf y cols., 2003), han mostrado que la conexión entre el tálamo y los cuerpos mamilares es clave en la aparición de la amnesia diencefálica (Carrera y cols., 2004). De hecho, algunos estudios apuntan que la lesión en esta conexión es el mejor predictor de déficits de memoria a este nivel (Carrera y cols., 2004; Van der Werf y cols., 2000, 2003). A este respecto, Carlesimo y

cols. (2011) hacen una extensa revisión de un total de 83 pacientes con daño diencefálico. Del total de casos observaron que 55 mostraban daño en el tracto mamilotalámico, y que el 95% cursaban con amnesia anterógrada. Sin embargo, de los 28 pacientes restantes que no cursaban con lesión en el tracto mamilotalámico, sólo el 46% de los casos cursaba con amnesia.

Por su parte, el tálamo tiene una densa red de interconexiones con otras regiones cerebrales, como la formación hipocampal, el córtex retrosplenial, la corteza prefrontal o los cuerpos mamilares como acabamos de ver (Aggleton y cols., 2011). Investigaciones recientes como la de Wolff y cols. (2014) han resaltado que el tálamo anterior podría ser crítico también en la aparición de la amnesia talámica, dado el apoyo que esta región presta a las funciones hipocampales. Igualmente las lesiones del tálamo medial, en particular de los núcleos dorsomediales, conllevan déficits de memoria (Mitchell 2015., Waxman, 2011). Pergola y cols. (2012) mostraron que frente a sujetos controles, aquellos pacientes con lesiones a nivel del tálamo dorsomedial, realizan peor las tareas de reconocimiento y recuerdo con claves, mostrando además un aumento en los tiempos de respuesta.

Respecto a la función que cumplen los cuerpos mamilares, Gudden (1896) fue uno de los primeros investigadores en postular que una lesión a este nivel, conllevaba déficits claros de memoria. De hecho, durante años se ha considerado esta estructura como parte de un "sistema hipocampal extendido" (Gaffan, 2001). No obstante, resultados contrapuestos a lo largo de la literatura, han hecho dudar de la implicación de esta estructura en los procesos de memoria. Así por ejemplo, que pacientes con síndrome de Korsakoff mostrasen

síndromes amnésicos, pero no daño focal en los cuerpos mamilares, hizo dudar de su implicación en los procesos de memoria (Victor y cols., 1989; Davila, 1994; Kapur y cols., 1998). En cambio, estudios de caso como el del paciente B.J., que cursaba con amnesia anterógrada debido a una lesión específica bilateral en los cuerpos mamilares, llevó a considerar lo contrario (Holdstock y cols., 1995). Más recientemente, el estudio de Tsvilis y cols. (2008) afianzó lo propuesto en el estudio de caso de B.J. En dicha investigación se constató que la atrofia persistente en los cuerpos mamilares de 38 pacientes, era causa de los déficits en tareas de memoria episódica que estos presentaban.

La amígdala por su parte, parece cumplir un papel de enorme relevancia en la regulación del componente emocional tanto en la memoria declarativa como en la no declarativa (Hamann y cols., 2002; Hermans y cols., 2014). Dada la proximidad estructural entre la amígdala y la formación hipocampal, los pacientes amnésicos muestran comúnmente daños en ambas estructuras. No obstante, de nuevo gracias al estudio de pacientes con lesiones específicas, hoy sabemos del rol de esta estructura en el procesamiento de estímulos afectivos y emocionales (Sears y cols., 2014). A este respecto, el estudio de Adolphs y cols. (2000) muestra cómo lesiones en la amígdala izquierda produce déficits en tareas de memoria declarativa con componente emocional. Sin embargo, la ejecución es precisa ante estímulos neutros. Por otro lado, Siebert y cols. (2003) mostraron una pobre ejecución en el reconocimiento de expresiones faciales, o en tareas de recuerdo de imágenes positivas y negativas, en aquellos pacientes con síndrome de Urbach-Wiethe, que se

caracteriza por la calcificación del complejo amigdalino. Además, el rol de la amígdala en el recuerdo de la información se fundamenta también en el hecho de que los eventos con carga emocional, tanto positiva como negativa, son recordados mejor que aquellos emocionalmente neutros (Squire y Zola-Morgan, 2015).

Otra causa de amnesia, es la producida por lesiones a nivel del prosencéfalo basal (núcleo accumbens, núcleo septal, núcleo basal de Meynert, sustancia innominada y banda diagonal de Broca) (Damasio y cols., 1985). En la mayoría de los casos como consecuencia de una hemorragia por aneurisma de la arteria comunicante anterior (De Luca, 1992; Irle y cols., 1992). Como ya señalaban Goldenberg y cols. (1999), la relación clínica anatómica de amnesia a consecuencia de una lesión en el prosencéfalo basal es complicada fundamentalmente por la proximidad de ésta con el lóbulo frontal. No obstante, en los últimos años, varios casos de pacientes con amnesia debido a un daño delimitado al prosencéfalo basal, han enfatizado el rol de esta estructura en el proceso de recuperación de la información ya almacenada, pero no así en el sistema de codificación (Fujii y cols., 2000; Fukatsu y cols., 1998; Hashimoto y cols., 2000).

Sistemas encefálicos subyacentes a la formación de la memoria no declarativa

Como ha sido indicado con anterioridad, la memoria no declarativa o procedimental puede subdividirse en aprendizaje de hábitos, priming, condicionamiento clásico y aprendizaje no asociativo (Squire, 1986; Tulving, 1985; Tulving y Schacter, 1990), participando distintas regiones y estructuras cerebrales en cada uno de estos tipos de memoria.

De esta forma, el aprendizaje de hábitos motores parece sustentarse en los ganglios basales, siendo el estriado la estructura más relevante (Grillner y Robertson, 2015). Los ganglios basales son un grupo de núcleos subcorticales derivados del telencéfalo, entre los que se incluye el estriado (núcleo accumbens, caudado, putamen y globo pálido), la sustancia negra y el núcleo subtalámico (Seger y Spiering, 2011). Estos núcleos reciben proyecciones desde todas las regiones del neocórtex y envían proyecciones a través del globo pálido y del tálamo ventral a la corteza premotora. Diversos estudios han mostrado que una lesión en estas estructuras conlleva una mala ejecución en tareas de habituación así como en tareas motoras (Pessiglione y cols., 2008; Seger y cols., 2011). Produciéndose una falta de coordinación que ocasiona la aparición de síntomas característicos de un trastorno motor global (Packard y Knowlton, 2002; Seger, 2009).

La Enfermedad de Parkinson y la Corea de Huntington son dos patologías que se caracterizan por presentar daños a nivel de los ganglios basales. Por lo que su estudio ha sido una fuente de información muy importante para conocer la importancia, tanto a nivel motor como cognitivo, de estos núcleos subcorticales. Aunque en ambas patologías los trastornos motores son el síntoma más característico, también presentan déficits en tareas que no requieren un proceso exclusivamente motor (Nieuwboer y cols., 2009; Swinnen y cols., 2000; Squire y Zola, 1996). Específicamente, en la Corea de Huntington la afectación se produce por una atrofia en el núcleo caudado y en el putamen, y los pacientes muestran un pobre rendimiento en pruebas de aprendizaje motor, como, por ejemplo, en la tarea de reproducción de secuencias de movimientos

con los dedos de las manos o la tarea de figura en espejo (Harrington y cols., 2014; Stout y cols., 2012). Por otra parte, en la enfermedad de Párkinson se produce una pérdida de neuronas dopaminérgicas en la sustancia negra, lo que ocasiona una interferencia en la señalización normal de los ganglios basales (Glosser, 2001). Yin y Knowlton (2006) compararon la ejecución de pacientes amnésicos con lesión en el lóbulo temporal medial y pacientes con Parkinson en una tarea de aprendizaje de hábitos. Mostraron que mientras los pacientes amnésicos no tenían problemas en la realización de la tarea, aquellos sujetos con Parkinson ofrecían una pobre ejecución. Sin embargo, tras un entrenamiento continuado en la tarea, éstos eran capaces de llegar a un rendimiento normal. Los autores, siguiendo las consideraciones de estudios previos, atribuyeron tal mejoría a un efecto compensatorio de otros sistemas neuronales, como habían indicado Moody y cols. en un trabajo publicado en el año 2004.

El aprendizaje de priming, por su parte, parece vincularse con la activación del neocórtex (Schacter y cols., 2007). Los estudios que utilizan técnicas de neuroimagen han proporcionado evidencias de la implicación del neocórtex en este tipo de memoria no declarativa (Schacter y Buckner, 1998). En el trabajo publicado por Squire y cols. en 1992, los participantes estudiaban en primer lugar una serie de palabras. A continuación, mientras se realizaba una Tomografía por Emisión de Positrones (TEP), se les proporcionaba parte de las palabras visualizadas previamente y otras nuevas, para que éstos la completasen. Los resultados mostraron un recuerdo claramente mejor, de

aquellas palabras que habían sido presentadas con anterioridad, junto con una menor activación en áreas corticales posteriores.

Respecto al condicionamiento clásico, éste se ha visto estrechamente relacionado con dos estructuras, el cerebelo y la amígdala (Mariën y cols., 2009; Milad y Quirk, 2012). El cerebelo, por medio de las conexiones talámicas, envía proyecciones a las regiones motoras y, de esta manera, se establece un circuito en el que a partir del neocórtex pueden iniciarse acciones motoras automáticas que no requieren ser procesadas por los ganglios basales. El ejemplo más claro de la implicación del cerebelo en este tipo de memoria es la afectación que se produce en el condicionamiento clásico de parpadeo (Clark y cols., 2001). Además, investigaciones donde se produce una estimulación eléctrica o, por el contrario, se inactiva esta estructura, apoyan firmemente la hipótesis de que es concretamente en el núcleo interpósito del cerebelo donde se forma y almacena la huella de la memoria esencial para el aprendizaje de tareas de condicionamiento (Thompson y Steinmetz, 2009). Respecto a la función específica de la amígdala en el condicionamiento clásico, esta parece ser crítica en la asociación de estímulos sensoriales con su valencia emocional (positiva o negativa) (Hamann y cols., 2002). Los múltiples estudios realizados por LeDoux y cols. [Lanuza y cols., 2008; LeDoux, 2014; Ostroff y cols., 2010] han proporcionado a lo largo de la literatura una evidencia clara sobre el rol de la amígdala en el procesamiento y almacenamiento de las reacciones emocionales.

Por otro lado, parece que el prosencéfalo basal estaría también implicado en tareas de condicionamiento clásico. La relevancia de este sustrato

neuroanatómico reside en ser la principal fuente de inervación colinérgica a la corteza (el mayor output colinérgico del SNC). Lesiones a este nivel, generalmente debido a la ruptura de aneurismas en la arteria comunicante anterior (De Luca y Chiaravalloti, 2002), anoxias (De Reuck y cols., 2003) o encefalitis (Kapur y cols., 1994), muestran una mala actuación en tareas de condicionamiento clásico (Myer y cols., 2002).

Por último, como se postuló al principio de este capítulo, la diferencia básica entre el condicionamiento clásico y el aprendizaje de hábitos reside en que este último, una vez establecido, no requiere una retroalimentación instrumental. Por ello, las vías reflejas, moduladas por señales de estructuras centrales que constituyen una red neuronal autónoma central (Correa, 2007), parecen ser capaces por sí solas de sustentar este tipo de memoria no declarativa, permitiendo así ejecutar las respuestas de forma automática e integrando las respuestas tanto somáticas como autonómicas y afectivas (Navarro, 2002).

1.2 Cognición Espacial

La cognición espacial es una rama de la ciencia cognitiva que trata de comprender cómo los seres humanos y otros animales perciben, interpretan, representan mentalmente e interactúan con su entorno (Waller y Nadel, 2013). Es por ello que el estudio de la cognición espacial engloba diversos procesos mentales, tales como la percepción, la atención, la memoria, la categorización y la resolución de problemas entre otros. Este capítulo analizará el conjunto de factores que a lo largo de la literatura se han visto implicados en la capacidad de orientación al medio y en la formación del mapa cognitivo.

Marcos teóricos de representación mental del espacio

Según diversos autores, para desarrollar la capacidad de orientación al medio es necesario adquirir tres niveles de conocimientos básicos: el conocimiento de las pistas, el conocimiento de las rutas y una configuración general donde se relacionan pistas y rutas (Golledge, 1990; Waller y cols., 2009). La adquisición de pistas, o también denominadas puntos de referencia, es para muchos autores la base de los procesos de orientación al medio (Foo y cols., 2007). Estas son objetos discretos del medio que tienen un rol específico en la configuración del mismo (ej. colinas, intersecciones, estatuas, edificios...etc.) (Janzen y cols., 2008). Aunque, como veremos más adelante, es posible conocer la identidad de muchos objetos en un entorno, no todos ellos reportan información espacial para ser considerados pistas espaciales (Couclelis y cols., 1987).

Por otro lado, el denominado conocimiento de ruta consiste en el recuerdo de la secuencia de pistas o decisiones de dirección a lo largo de un recorrido (ej. girar a la derecha y después del cruce continuar todo de frente) (Latini-Corazzini y cols., 2010). Cuando toda esa información del medio se integra en una red compleja de información, se llega al tercer nivel de conocimiento, dando paso al denominado conocimiento de mapa (o conocimiento *survey*). Tolman (1948) fue el primero que introdujo el término de mapa cognitivo al observar cómo los roedores eran capaces de orientarse perfectamente en un laberinto tras un aprendizaje previo. Para este investigador los animales mostraban haber construido el mapa cognitivo del laberinto cuando eran capaces de reconocer en qué punto del mismo se encontraban, hacia dónde querían ir y qué debían hacer para llegar a la meta.

Hoy en día entendemos el mapa cognitivo como la adquisición de la disposición espacial general de un entorno, donde la información de las pistas y de las rutas, así como la información métrica, se unen permitiendo generar una visión global del entorno (Manning y cols., 2014). Para Etienne y cols. (1999) una persona puede estar segura de haber formado un mapa cognitivo sólo si es capaz de realizar adecuadamente nuevas rutas. Es decir, si es capaz en cada momento de escoger la ruta más precisa bajo nuevas condiciones. Por ello, las tareas más comúnmente utilizadas para evaluar la formación del mapa cognitivo recurren al dibujo del mapa, a la capacidad para tomar atajos o rutas alternativas, a la capacidad para indicar la dirección de un lugar o un elemento del entorno o la estimación de distancias euclidianas (Borella y cols., 2015; Foo y cols., 2005).

A lo largo de la literatura, la función de las pistas y las rutas, así como el proceso para llegar a construir el mapa cognitivo, ha sido un tema en constante discusión en el marco de la cognición espacial (Wen y cols., 2014; Zhang y cols., 2014). Siendo la teoría clásica de Siegel y White (1975) una de las más influyentes (Fig.1 A). El punto clave de esta teoría reside en la adquisición secuencial de distintas informaciones espaciales. Según este modelo, lo primero que se adquiere es la información de las pistas para, una vez consolidada esta, adquirir el conocimiento de ruta sin el componente métrico. Es decir, solo se adquiere la relación entre las pistas pero no la distancia entre las mismas, ya que para adquirir la información métrica se requieren sucesivas experiencias en el entorno (ej. distancias, duración de las rutas, giros de dirección). Finalmente, con toda esa información adquirida de forma secuencial se configura el mapa cognitivo del entorno

Sin embargo, aunque esta teoría ha tenido mucha influencia no ha mostrado un gran soporte empírico (Montello, 1998). De hecho, Allen (1998) ya indicaba cómo los participantes de su estudio eran capaces de guiarse en un entorno donde no había disponible ningún tipo de objeto que pudiese servir como pista espacial, contradiciendo así el primer supuesto de Siegel y White para quienes este tipo de información era el primero en adquirirse. Por su parte, Montello y Pick (1993) también cuestionan esta teoría clásica al mostrar cómo después de una breve experiencia en un entorno nuevo, los participantes eran capaces de realizar tareas que requerían de la información métrica. De hecho, años más tarde, Montello (1998) postulaba que no hay etapas en las que sólo exista el conocimiento único de pistas o de rutas. Considerando así que a medida que

se tiene más experiencia con el entorno se produce un “entramado continuo” de la información. (Fig. 1. B).

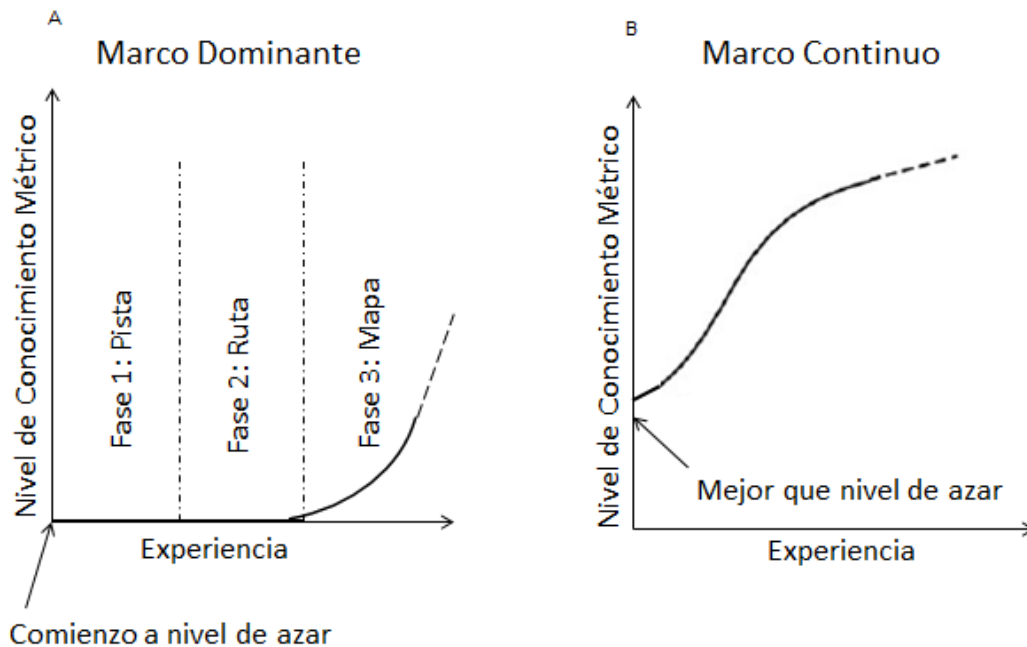


Fig.1. A) Modelo de adquisición del mapa cognitivo según la teoría de Siegel y White (1975). B) Modelo de adquisición según Montello (1998). Esquema basado en Ishikawa y Montello (2006).

El estudio longitudinal de Ishikawa y Montello (2006) ha sido clave a la hora de comprender si en verdad se produce una adquisición secuencial o continua de la información espacial hasta llegar a construir el mapa cognitivo. En este trabajo los participantes experimentan de forma pasiva (recorriendo las rutas en coche) dos rutas en un área residencial privada una vez a la semana durante diez semanas consecutivas. A partir del cuarto día, los participantes eran conocedores de una ruta que conectaba las dos anteriores, animándolos a tratar de aprender la relación espacial entre las mismas. El conocimiento de las rutas fue evaluado mediante tareas espaciales, como nombrar las pistas en orden de aparición, estimar direcciones, calcular las distancias de las rutas o

crear esquemas del mapa del entorno. El análisis de estas tareas mostró que la estimación de direcciones, así como de distancias, no era del todo precisa en un principio, mejorando de forma modesta a lo largo del aprendizaje. Sin embargo, mientras algunos participantes eran capaces de adquirir, tras las primeras sesiones, niveles de actuación elevados en todas las tareas, incluyendo las de componente métrico, otros mostraban una muy pobre ejecución en las tareas espaciales más exigentes, incluso en las sesiones finales de exposición a las rutas.

Estos resultados contradicen de manera directa la teoría clásica de Siegel y White, dado que, sin ir más lejos, algunos participantes eran capaces de realizar tareas con componente métrico aun cuando tenían poca experiencia en el entorno. Por ello, como indican Ishikawa y Montello, los procesos de adquisición de la estructura de un entorno seguirían más probablemente una pauta continua y no secuencial. A su vez, este estudio pone de relieve la importancia de considerar las diferencias individuales en la configuración global del espacio al mostrar una gran variabilidad entre los participantes. A este respecto, el marco teórico propuesto por Hegarty y cols. (2006) enfatiza precisamente la influencia de las diferencias individuales en los procesos de cognición espacial (Fig.2). En su estudio se apunta a tres factores principales que modularían dichas diferencias individuales: la capacidad de codificar los inputs sensoriales, la habilidad para mantener una representación interna de calidad de la información almacenada y la habilidad para integrar toda la información y construir una representación precisa del mapa cognitivo.

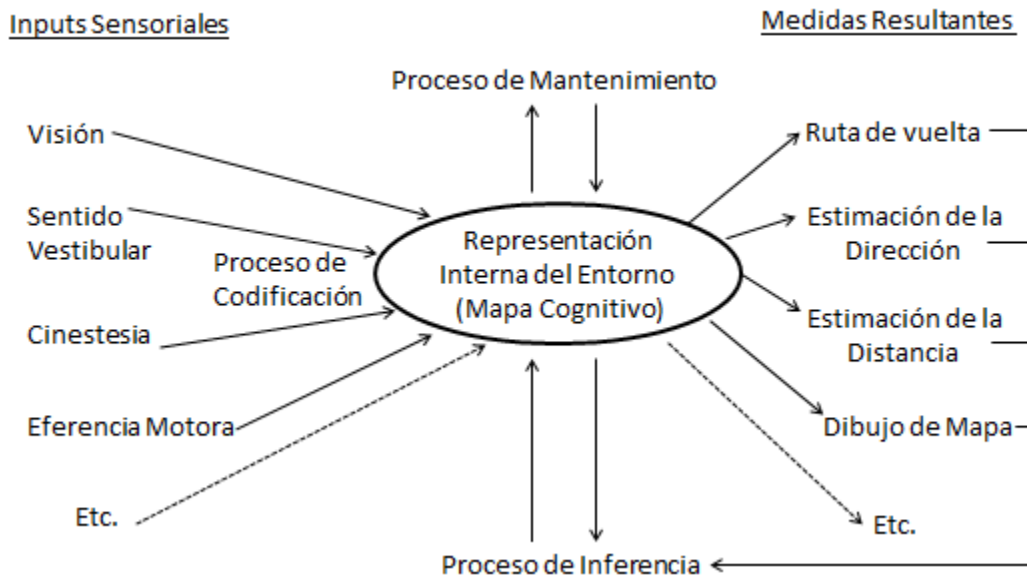


Fig.2 Esquema en el que se representan las variables que modularían la construcción del mapa cognitivo del entorno según lo propuesto por Hegarty y cols. (2006).

Rol de las pistas en la adquisición del conocimiento espacial

Como indicamos anteriormente, la información de las pistas del entorno como referencia espacial parece facilitar en gran medida el proceso de orientación al medio (Collet y Graham, 2004; Kessels y cols., 2011). Es más, para autores como Foo y cols. (2007) la información que estas proporcionan resulta esencial en algunas tareas espaciales, como la creación de nuevas rutas o atajos. Para otros, como Wan y cols. (2012), la utilización de las pistas en la configuración espacial pueden ser ventajosas o no, dependiendo en gran medida del tipo de estrategia espacial utilizada así como el tipo de tarea a realizar. Por otro lado, algunos estudios apuntan que no todas las pistas a lo largo de una ruta son igual de relevantes, teniendo más valor informativo aquellas que se sitúan en lugares de decisión (ej. la intersección de una vía) (Rösera y cols., 2012;

Kessels, y cols., 2011). Sin embargo, otros sostienen que observar pistas situadas en un punto de decisión no hace que el proceso de orientación sea más preciso (Janzen y cols., 2008; Janzen y Janzen, 2010).

Factores moduladores de la adquisición espacial

La cognición espacial, como se indicó al comienzo de este capítulo, no es una función unitaria, si no que en ella se incluyen una amplia gama de procesos cognitivos (Iachini y cols., 2008). Por ello, y dada también la complejidad que conlleva construir la representación mental del espacio, no resulta extraño que sean múltiples los factores que de una forma u otra modulan el mismo.

Estrategias espaciales

Como bien apuntaban Hegarty y cols. (2006), la utilización de un tipo u otro de información espacial afecta en gran medida a nuestra orientación en el medio. A este respecto, al menos dos estrategias cognitivas pueden ser empleadas durante una tarea de orientación espacial. Por un lado, la estrategia de mapa (*survey*), donde el marco de referencia es externo a la persona y el espacio puede ser visto desde una orientación fija (*alocéntrica*), es decir, se adquiere una perspectiva externa del espacio facilitando el acceso a las propiedades de la estructura global del entorno (Harris y Wolbers, 2014). Por otro lado, la estrategia de ruta, donde el marco de referencia (*egocéntrico*) es la propia representación sensoriomotriz del cuerpo. En este último tipo de estrategia se requiere actualizar la orientación local a través de giros y la estructura global del espacio debe deducirse mediante la información disponible a través de visitas sucesivas (Shelton y McNamara, 2004). Estudios recientes como el de

Ruotolo y cols. (2011a, 2011b) indican que la información que proporcionan ambas estrategias es de relevancia en el proceso de orientación al medio, pudiendo incluso ser adquiridas de manera simultánea y llegando a considerarlas dimensiones interactivas.

Pero ¿qué hace que utilicemos un tipo u otro de estrategia para orientarnos? A lo largo de la literatura han sido numerosos los estudios que han tratado de responder a esta pregunta (Wen y cols., 2011; Wolbers y Hegarty, 2010). Trabajos clásicos como el de Taylor y Tversky (1992), u otros más recientes como el de Lee y Tversky (2001), sugieren que no hay una clara relación entre la forma en que se adquiere la información espacial y el tipo de estrategia empleada. Sin embargo, otros estudios consideran todo lo contrario: que el modo que utilizamos para adquirir la información espacial del entorno es crítica para comprender cómo nos orientamos en el espacio (Brunyé y Taylor, 2008a; Shelton y McNamara, 2004; Meneghetti y cols., 2011b; Zhang y cols., 2014). Por otro lado, algunos trabajos señalan que es posible orientarse utilizando ambas estrategias indistintamente, o incluso cambiar de una a otra, si la información disponible del entorno lo permite (Etchamendy y Bohbot, 2007; Van Gerven y cols., 2012). Por su parte, Livingstone-Lee y cols. (2014) consideran que la experiencia previa también es un factor muy influyente, ya que si conseguimos orientarnos de manera eficaz utilizando un tipo de estrategia este buen resultado tendrá un efecto directo en el tipo de estrategia que se utilice en futuras tareas de orientación.

También hay estudios que apuntan a que el mayor o menor desarrollo de ciertas habilidades espaciales correlaciona con el tipo de estrategia espacial

utilizada (Fields y Shelton, 2006; Kozhevnikov y cols., 2006). Tal es el caso del estudio de Shelton y Gabrieli (2004), donde se muestra que participantes con puntuaciones altas en tareas de rotación mental muestran una preferencia por el uso de estrategias alocéntricas frente a estrategias de ruta. En relación a esto, varios estudios han mostrado cómo las variables socioculturales pueden modular las habilidades espaciales y con ello incluso el tipo de estrategia utilizada en los procesos de orientación espacial (Shelton y Gabrieli, 2004; Szechter y Liben 2004; Uttal, 2000). Este es el caso del trabajo de Lippa y cols. (2010), donde se analizó específicamente la habilidad espacial de rotación mental de sujetos procedentes de 53 países con distinto nivel de desarrollo. Los resultados de este estudio mostraron que los participantes de países con mayor renta per cápita obtenían mejores puntuaciones en este tipo de tareas espaciales, diferencias atribuidas principalmente a la disparidad tecnológica de los países. Estos datos están en concordancia con estudios previos en los que se observa que el simple uso de videojuegos mejora en gran medida algunas habilidades espaciales (Cherney, 2008; Uttal y cols., 2013a).

Género

En el marco de la cognición espacial es extensa la literatura con respecto a las diferencias de género (Persson y cols., 2013). Por lo general, los hombres tienden a prestar atención a información de la estructura del entorno como distancias, puntos cardinales o conexiones de vías. Información que facilita, en gran medida, la construcción de una perspectiva global del espacio, la cual, a su vez, se vería favorecida por la mejor ejecución que estos muestran en tareas de rotación mental (Voyer, 2007). Por su parte, las mujeres tienden a

prestar más atención a la información de pistas locales y rutas familiares (Chai y Jacobs, 2009). De ahí que éstas suelen tener mayor dificultad para interpretar los mapas (Kelly y cols., 2009; Saucier y cols., 2002) y que los hombres muestren una peor ejecución en tareas donde la memoria de localización de objetos es necesaria (Burgess y cols., 2004; Voyer y cols., 2007). Aunque estas diferencias de género suelen ser más marcadas en ambientes virtuales (Waller, 2000) tal vez por la influencia, como vimos anteriormente, del uso de las nuevas tecnologías que favorecería a los hombres, estas también tienen lugar, aunque en menor medida, en entornos reales (Coluccia y Louse, 2004). Son varias las hipótesis planteadas que tratan de explicar tales diferencias, desde estudios que apuntan a variables evolutivas (Jones y cols., 2003), pasando por aquellos que subrayan la importancia de la experiencia temprana de los niños con tareas espaciales respecto a las niñas o de la formación académica recibida (Quaiser-Pohl y Lehmann, 2002; Rosselli y Ardila, 2003).

También existen teorías que ponen el acento en la influencia de ciertas hormonas (estrógenos y testosterona) sobre la cognición espacial (Burkitt y cols., 2007; Guenzel y cols., 2014) o autores como Kaufman (2007) que consideran que hay procesos cognitivos, como la memoria de trabajo, que estarían actuando como mediadores entre el género y la habilidad espacial, al observar que la ejecución de hombres y mujeres, en todas las habilidades espaciales y en test de memoria de trabajo espacial, eran significativamente distintos. Finalmente, cabe decir que autores como Uttal y cols. (2013b) indican que el entrenamiento en tareas espaciales reduce la diferencia de ejecución entre hombres y mujeres, pero que ésta no desaparece.

Envejecimiento

A lo largo de la literatura numerosos estudios han tratado de comprobar si, y en qué medida, la edad es un factor modulador de la cognición espacial (Mitolo y cols., 2014). De hecho, gracias a estos estudios hoy sabemos que ciertos deterioros en tareas espaciales que se dan con el envejecimiento (ej. tareas de localización de objetos) pueden actuar como marcadores tempranos en enfermedades neurodegenerativas (Possin, 2010). Este es el caso de los estudios longitudinales de Swainson y cols. (2001) o Blackwell y cols. (2004), donde se muestra la sensibilidad de un test de memoria espacial (prueba de pares asociados de la batería computerizada CANTAB) a la hora de discriminar pacientes en estadios tempranos de la enfermedad de Alzheimer. De igual manera, la reciente investigación de Soares y cols. (2014) indica que la aplicación a gran escala de pruebas visuoespaciales automatizadas para evaluar el aprendizaje y la memoria podría aumentar nuestra capacidad de discernir los límites entre el envejecimiento normal y patológico.

Pero para poder comprender bien el deterioro de este proceso cognitivo en enfermedades neurodegenerativas, es fundamental conocer su evolución en el envejecimiento sin patología asociada. Tal es el caso del estudio de Gyselinck y cols. (2013), en donde se comparó la representación mental del espacio de jóvenes y mayores cognitivamente sanos con similares habilidades espaciales (controlando así la influencia de esta variable en la adquisición). Para ello desarrollaron un entorno virtual en el que los participantes tenían que reconocer y localizar las pistas que lo configuraban, así como verificar las relaciones espaciales directas e indirectas (ej. indicar si una descripción verbal

del entorno era correcta o no). Sus resultados mostraron una adquisición similar en ambos grupos, tanto en el reconocimiento de pistas como en la verificación de las relaciones espaciales directas (ej. el parque y el quiosco de prensa están en lados opuestos de la calle). Sin embargo, los participantes de mayor edad mostraban una ejecución significativamente peor en la localización de pistas y relaciones espaciales indirectas en donde la información espacial tenía que ser inferida (ej. el restaurante y el quiosco de prensa están en el mismo lado). Resultados que parecen confirmar que, efectivamente, la construcción de la configuración global del entorno se ve deteriorada con el envejecimiento. También el estudio de Kirasic (2000) observó una influencia claramente negativa de la edad en el aprendizaje de tareas espaciales en entornos reales. Por su parte, estudios como el de Wolbers y Hegarty (2010), o más recientemente el de Meneghetti y cols. (2013a), muestran que las diferencias individuales en las habilidades espaciales son particularmente destacables con el envejecimiento, pudiendo incluso determinar la independencia de las personas mayores en las actividades de su día a día. Específicamente, Inagaki y cols. (2002) evaluaron la ejecución en tareas de rotación mental y cambio de perspectivas en el envejecimiento y observaron que en ambas, pero de forma especial en el cambio de perspectiva, se producía un declive significativo con el envejecimiento.

Rotación mental y cambio de perspectiva

Como acabamos de indicar, parece que las habilidades espaciales de cambio de perspectivas y la rotación mental modulan en gran medida la cognición espacial (McNamara, 2003; Meneghetti y cols., 2015). Aunque a lo largo de la

literatura se ha cuestionado la divisibilidad de estas habilidades espaciales (Kozhevnikov y Hegarty, 2001; Shepard y Metzler, 1971) hoy son entendidas como habilidades separadas (Janczyk, 2013; Kessler y Thomson, 2010).

La visualización espacial, comúnmente denominada rotación mental, hace referencia a la capacidad de imaginar la representación de un objeto rotado en el espacio sin que la persona que realiza la tarea cambie de perspectiva (ej. la habilidad de rotar estímulos tridimensionales) (Lyon y cols., 2008). Diversos estudios han observado una correlación directa entre altas puntuaciones en test de visualización espacial y una mejor ejecución en el aprendizaje de la disposición general de un entorno (Blajenkova y cols., 2005; Gyselinck y cols., 2013). En el estudio de Pazzaglia y De Beni (2001) los participantes realizaban un test de rotación mental, así como un cuestionario de sentido de dirección, antes de una tarea de recuerdo de rutas en un entorno real. Los resultados mostraron, por un lado, que aquellos participantes con altas puntuaciones en el test de rotación mental eran capaces de construir una perspectiva global del entorno más precisa. Por otro, y como cabría esperar, aquellos participantes que utilizaban una estrategia centrada en el recuerdo de pistas mostraban una peor ejecución en el test de rotación mental, frente aquellos que utilizaban la información de distancias y giros y trataban de generar una visión global del entorno. Por otro lado, aunque en la revisión de Hegarty y Waller (2005) se observó una correlación baja de esta habilidad espacial y la ejecución en tareas espaciales, estudios más recientes muestran el importante rol de esta habilidad espacial en los procesos de orientación al medio, llegando a considerarlo un

predictor de la precisión con que se adquiere la información espacial (Palermo y cols., 2008; Meneghetti y cols., 2013b).

Por otra parte, la capacidad de cambio de perspectiva, descrito por primera vez con el término de orientación espacial por Lohman en 1998, permite imaginar el aspecto de los objetos desde diferentes perspectivas del observador (Hegarty y Waller, 2004). Una estrategia de orientación, fuertemente dependiente de esta habilidad de cambio de perspectiva, es la de mirar hacia atrás cuando tratamos de aprender una nueva ruta (Cornel y cols., 1992). Para Hegarty y cols. (2002) esta capacidad espacial está relacionada directamente con el rendimiento de navegación en espacios grandes y para Kozhevnikov y cols. (2006), o Fields y Shelton (2006), los resultados obtenidos en una tarea de toma de perspectiva correlaciona con el rendimiento en tareas de navegación que requieren precisas representaciones del participante con respecto al resto de elementos que configuran el entorno. Por último, algunos estudios puntualizan que la influencia de la perspectiva está significativamente relacionada con tareas espaciales en entornos de realidad virtual, pero no en aquellas que tienen lugar en entornos reales (Liben y cols., 2010; Wolbers y Hegarty, 2010). Hegarty y cols. (2006) llegan a la misma conclusión, proponiendo que tal diferencia entre entornos reales y virtuales pueda deberse a que el aprendizaje en entornos reales es dependiente de más factores, como por ejemplo la percepción del movimiento para poder actualizar la información a medida que nos movemos.

Actualización e interferencia

Los procesos de actualización espacial nos permiten tomar conciencia de la posición, permanecer orientados en el espacio y renovar la información a medida que nos movemos por el mismo (Montello, 2005; Gomez y cols., 2009). Según Wang y Brockmole (2003) este proceso de actualización es automático en el momento de realizar la tarea, pero cuando se trata de actualizar una información previamente adquirida requiere un mayor esfuerzo, pasando a ser una actualización consciente. De hecho, como sostiene Wang (2004), esta asimetría en los procesos de actualización entre la información actual y la pasada sería reflejo de la eficiencia cognitiva basada en la importancia de la información a recordar. Bilge y Taylor's (2006) comparan la actualización de la información dependiendo del marco de referencia a la hora de adquirir la información. Observan que la información espacial se actualizaba mejor, y de forma más precisa, cuando había sido adquirida a través de una perspectiva de mapa frente a una perspectiva de ruta, indicando así que el marco de referencia desde el que es adquirida la información influye en el proceso de actualización de la misma. Por otro lado, parece que otro factor que influye en la actualización de la información es la interferencia. De hecho, Chelonis y cols. (2014) muestran la gran influencia de ésta en los procesos de memoria. Rowe y cols. (2010) apuntan específicamente que la interferencia proactiva tiene lugar cuando la información que ha sido presentada con anterioridad, pero que ha dejado de ser relevante, interrumpe la capacidad de adquirir nuevas informaciones. Variables como la similitud, la complejidad o el tiempo que transcurre entre la información adquirida con anterioridad y la nueva a retener

acentúan la aparición de la interferencia (Cermak, 1970; Hanseeuw y cols., 2012; Jeneson y Squire, 2011). El estudio de Leung y Zhang (2004) ha tratado de comprender el proceso de interferencia en la memoria espacial. En dicho estudio los participantes tenían que memorizar en un primer ensayo la posición de cuatro puntos en una rejilla (Fig. 3). A continuación, en el segundo ensayo, se les presentaba la misma rejilla pero siendo visibles solamente dos de los anteriores puntos. La prueba consistía en decidir si el punto que aparecía en una serie de rejillas sucesivas, estaba en la misma posición que aquellos que no aparecían en el segundo ensayo, pero si en el primero.

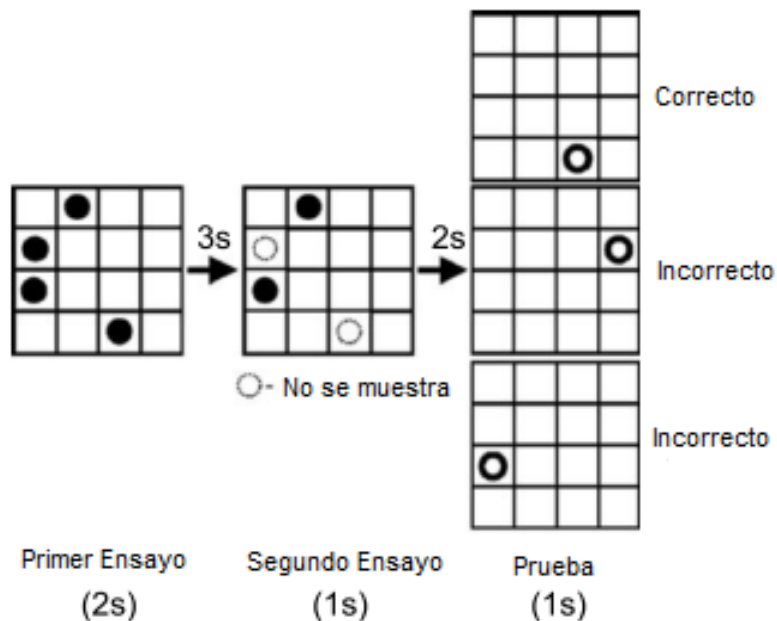


Fig. 3. Imagen modificada de Leung y Zhang (2004), en la que se muestra un ejemplo gráfico de la tarea con todas las fases de aprendizaje y prueba.

Los resultados de esta prueba mostraron cómo la familiaridad de los puntos que aparecían en el segundo ensayo producían una clara interferencia en el proceso de discriminación en la fase de prueba, mostrando latencias mayores a

la hora de descartar aquellos puntos que aparecían en el segundo ensayo frente a aquellos que se localizaban en otros lugares no visualizados en el segundo ensayo. Esta dificultad en la discriminación de la posición y la aparición de la interferencia podría haberse incrementado debido a la estabilidad de la información, así como con la similitud de la misma (Kearns, 2003).

Configuración del entorno

Por último, parece que la complejidad del entorno modula también la capacidad de orientación al medio. Thorndyke y Hayes-Roth (1982) postulaban que la regularidad de un entorno tenía un efecto directo en lo rápido que una persona era capaz de aprender las relaciones espaciales del mismo. Así, por ejemplo, será más difícil orientarse en ciudades con una disposición irregular, donde no ha habido una planificación previa del plano, frente a aquellas con una disposición ortogonal o de damero, donde predominan las líneas rectas en el trazado de las calles. Jansen-Osman y cols. (2007) confirmaban esta hipótesis mostrando un efecto modulador de la estructura del entorno en tareas de ruta (ej. indicar la distancia caminada o indicar los giros que se han hecho para llegar a un punto). Por su parte Haq y Zimring (2003) observaron que la regularidad estructural del interior de los edificios también modula la mejor o peor orientación dentro de los mismos.

Neurociencia de la cognición espacial

A lo largo de la literatura muchos estudios han tratado de conocer la implicación de las distintas regiones cerebrales en la consecución de tareas

espaciales, siendo la formación hipocampal la estructura que más atención ha acaparado tanto en modelos animales como humanos (para revisión véase Nadel y cols., 2013). Pero también otras estructuras extra-hipocampales, como la corteza parahipocampal, el córtex prefrontal, el parietal o la corteza entorrinal, han mostrado ser fundamentales en los procesos de orientación al medio (Ekstrom y cols., 2014; Wegman y Janzen, 2011).

El hipocampo, como ya postularon O'Keefe y Nadel (1978), es una región esencial en la formación de la representación espacial de un entorno. De hecho, los estudios de Maguire y cols. (1996, 1997, 2000) mostraron cómo realizar de forma continuada tareas de orientación espacial (ej. taxistas) conllevaba incluso un mayor volumen en este sustrato neuroanatómico. Resultado que dio paso a un gran número de investigaciones que tratarían de comprender de forma más detallada el rol de esta estructura en los procesos de memoria espacial. Este es el caso del estudio de Iaria y cols. (2003), donde, utilizando un entorno de realidad virtual, dividieron a los participantes en dos grupos, uno que utilizaba una estrategia allocéntrica al tener disponible la información de las pistas que configuran el entorno, el otro que utilizaba una estrategia egocéntrica (mismo entorno pero sin acceso a la información de las pistas). Los resultados mostraron, por un lado, la implicación de estructuras parietales y frontales en ambas estrategias, pero también una mayor activación hipocampal en el grupo con estrategia allocéntrica frente a una mayor activación del núcleo caudado en el grupo que utilizó la estrategia egocéntrica.

En esta línea, investigaciones posteriores como la de Fortin y cols. (2008) se preguntaron si el hecho de no percibir la información de las pistas que

configuran el entorno conllevaría un menor volumen hipocampal en comparación con las personas que sí la percibían. Con este fin, exploraron las habilidades de navegación en personas invidentes (ceguera congénita y adquirida) con la de videntes y analizaron el volumen hipocampal en ambos grupos. La tarea espacial consistía en orientarse utilizando una estrategia egocéntrica en un entorno real (habitación con un laberinto en su interior), para lo cual las personas videntes tenían que cubrirse los ojos, con el fin de que no percibiesen ninguna información del espacio que facilitase su orientación. En la fase de aprendizaje los participantes memorizaban una ruta guiados por el investigador y, en la de prueba, estos tenían que realizar solos el recorrido. El total de la prueba lo componían 4 recorridos que iban incrementándose en dificultad (mayor número de puntos de decisión). Los resultados conductuales mostraron que la ejecución de los invidentes a medida que se incrementaba la dificultad era significativamente mejor que la de los videntes. Cuando analizaron el volumen de la región hipocampal no observaron diferencias entre los participantes con ceguera congénita o adquirida, pero sí entre el grupo de videntes e invidentes, observándose, en contra de lo esperado, un mayor volumen hipocampal en este último grupo. Sin embargo, en una tarea similar Chebat y cols. (2007) mostraron resultados opuestos, con un volumen significativamente menor de la región hipocampal en el grupo de invidentes. Leporé y cols. (2008) analizan el porqué de los resultados dispares de ambos estudios llegando a la conclusión de que estos podrían ser el reflejo de respuestas adaptativas a la privación sensorial y/o a las demandas funcionales de los sistemas de memoria.

Volviendo a la relevancia que el núcleo caudado parece tener en tareas egocéntricas (Galati y cols., 2010), algunos estudios han querido comprobar la implicación de esta estructura evaluando para ello a pacientes que cursan con enfermedad de Parkinson o enfermedad de Huntington. Patologías donde específicamente se producen deterioros en los ganglios basales (Davidsdottir y cols., 2008; Majerová y cols., 2012). Este es el caso del estudio de Possin y cols. (2009) que evaluaron la capacidad de orientación en pacientes con Parkinson, en comparación con controles sanos, en la realización de una tarea espacial alocéntrica y otra egocéntrica. Los resultados mostraron una peor ejecución de los pacientes en la tarea egocéntrica en comparación con el grupo control. Sin embargo, tales diferencias desaparecían cuando los pacientes disponían de la información de los objetos que configuraban el entorno. Por su parte, Bohbot y cols. (2004) hicieron un estudio similar al anterior en el que compararon también la ejecución en una tarea espacial dependiendo de la estrategia utilizada, pero esta vez evaluaron a pacientes con lesión en el lóbulo temporal medial. Como se esperaba, observaron que los participantes que hacían uso de una estrategia alocéntrica para orientarse, ejecutaban mucho peor la tarea que aquellos que utilizan la información de giros o distancias para llegar al destino. Así, los estudios anteriores dan cuenta, por un lado, de la relación del núcleo caudado en tareas donde es necesario estimar correctamente las distancias y, por otro lado, de la implicación de las regiones hipocampales en aquellas donde es necesario el procesamiento de puntos de referencia (Ehgoetz-Martens y cols., 2013; Wegman y cols., 2014).

Como se indicaba al comienzo de este apartado, el córtex prefrontal parece ser también una estructura de relevancia en los procesos de orientación espacial (Hassabis y Maguire, 2009; Chan y cols., 2013). Para Ciaramelli (2008) la corteza prefrontal estaría implicada en la selección de acciones dirigidas a un objetivo. Concretamente, Spiers y Maguire (2007) muestran cómo distintas áreas del propio córtex prefrontal están especializadas en el procesamiento de distintos tipos de información espacial. Así, evaluando la orientación en un entorno virtual, a la par que mediante RMf se medía la activación cerebral, observaron la implicación del área medial en la estimación de las distancias, dado que a medida que los participantes estaban más próximos al lugar de destino ésta iba incrementando su activación. Pero, además, observaron que el área lateral derecha mostraba una gran activación cuando surgían cambios inesperados en la ruta (ej. el corte de una calle), requiriendo una reestructuración/planificación del recorrido, proceso donde era de forma específica el área anterior de la corteza prefrontal la que mostraba la máxima activación. Por su parte, los estudios de pacientes que cursan con desorientación topográfica del desarrollo, refuerzan el papel de la corteza prefrontal en tareas espaciales. En esta patología, de reciente descubrimiento, los individuos son incapaces, ya desde la infancia, de generar una representación mental del entorno y, por lo tanto, incapaces de hacer uso de ella durante la orientación (Bianchini y cols., 2014). El reciente estudio de Iaria y cols. (2014), evaluando la capacidad de orientación de estos pacientes, indica que una posible causa de tal ineficiencia en la orientación podía ser debida a la disminución funcional de la conectividad entre el hipocampo y el córtex

prefrontal, que se observó cuando los sujetos realizaban tareas de localización de pistas, recuerdo de giros o formación del mapa cognitivo, entre otras.

Por su parte, el córtex parahipocampal parece estar implicado de manera específica en la codificación de la escena, ayudando a representar mentalmente toda la información espacial que configura el entorno (Arnold y cols., 2014; Lithfous y cols., 2013). Deutschlander y cols. (2009) analizan la activación de esta estructura comparando la ejecución de personas invidentes a las que se les facilita descripciones verbales de la ruta, frente a la ejecución de participantes videntes que percibían la información visual de las mismas. Los resultados mostraron una activación significativamente menor en esta región en el grupo de participantes invidentes, lo que afianza el rol de esta estructura en el procesamiento de la información que configura el entorno. Por su parte, Janzen y van Turenhout (2004) observaron una activación significativamente menor de esta región cuando los participantes observaban objetos sin valor espacial de un entorno, en comparación a cuando observaban objetos que sí aportaban información espacial. Epstein y cols. (2007) indicaron que cuando se repiten escenas de un entorno se produce una reducción en la actividad parahipocampal que no sucede cuando se presenta, por ejemplo, la misma escena pero desde un punto de vista distinto.

Por otro lado, son múltiples los estudios que, utilizando técnicas de neuroimagen, han revelado la constante participación de áreas parietales durante la ejecución de las tareas espaciales (Sack y cols., 2002). Wolbers y cols. (2008) muestran que la parte medial del córtex parietal está estrechamente vinculada con la actualización de la información egocéntrica.

Linden (2007) indica que es esta región cortical la encargada de mantener la información espacial durante cortos periodos de demora, facilitando la ejecución de tareas demoradas a la muestra. Por su parte, Müri y cols. (2002) observan que es específicamente el lóbulo parietal derecho el responsable de una buena ejecución en tareas de atención visuoespacial, ya que la misma estimulación en el córtex parietal izquierdo no mostró efectos significativos. De ahí que estudios de pacientes con lesiones en el córtex parietal derecho muestren déficits en la realización de tareas de memoria espacial (Olson y Berryhill, 2009).

Finalmente, estudios recientes como el de Miller y cols. (2015) indican que neuronas individuales en la corteza entorrinal se activan en tareas de orientación en el medio, siendo su principal función la codificación de la información geométrica del espacio. Además, para Frank y cols. (2000), o Bjerknes y cols. (2014), la corteza entorrinal es la entrada principal al hipocampo, por lo que esa información geométrica sería la base de la configuración del mapa cognitivo. En la misma línea, Howard y cols. (2014) observan que cuanto mayor es el cambio en la distancia euclidiana, pero no la distancia de la trayectoria, mayor es la respuesta evocada en la corteza entorrinal.

Como se ha intentado reflejar a lo largo de este capítulo, la literatura en el campo de la cognición espacial es extensa. Sin embargo, el gran número de factores que la modulan hace necesario continuar las investigaciones en este campo para, por un lado, dar respuestas a cuestiones actualmente en debate,

así como plantear nuevas hipótesis que permitan conocer más en detalle los entresijos de esta rama de la ciencia cognitiva.

Herramientas de evaluación

Aunque son múltiples los test que permiten evaluar la memoria de trabajo espacial, los *Cubos de Corsi* (Corsi, 1972) han sido descritos como una de las tareas no verbales de memoria de trabajo visuo-espacial de más relevancia en la investigación neuropsicológica (Berch y cols., 1998). Este test evalúa, a través de 9 cubos colocados en un panel, el recuerdo y reproducción de una serie de movimientos que siguen una secuencia, tanto en orden directo como inverso (Fig.4 A). El estudio de Fischer (2001) con este test muestra, en primer lugar, un decremento en la buena ejecución de la tarea a medida que se incrementa la secuencia de cubos a recordar, lo cual justifica la utilización de este test como medida del *span* de memoria espacial. En segundo lugar, observan que si el tiempo en la fase de muestra de la secuencia se prolonga (tiempo entre la señalización de un cubo y el siguiente) el rendimiento mejora significativamente. Dato que sorprende dado que implica que el proceso de codificación podría ser una variable moduladora en la ejecución de la tarea.

En la actualidad existen versiones informatizadas que permiten, por un lado, controlar y estabilizar el tiempo de presentación de las secuencias y, por otro, medir con más precisión la ejecución de los participantes (ej. es posible obtener los tiempos de reacción en la respuesta). El estudio de Nelson y cols. (2000) comparó la ejecución en ambas versiones (clásico vs informatizado) no encontrando diferencias en la ejecución de los participantes que dependiesen del tipo de modalidad utilizada. En la misma línea, recientemente Brunetti y

cols. (2014) concluyeron que la versión informatizada eCorsi, (Brunetti y cols., 2013) puede utilizarse de forma segura para sustituir a la versión tradicional. Por otro lado, hoy en día un gran número de estudios está tratando de comprobar si la evaluación de la memoria de localización de objetos podría ser útil como marcador temprano de enfermedades neurodegenerativas (Possin y cols., 2008; Vacante y cols., 2013). Alguno de los test que evalúan la memoria de localización de objetos son el *Test 7/24* de recuerdo espacial (Gontkovsky y cols., 2004), el *Test de Localización de Objetos* (Bucks y Willison, 1997) o el *Test de Aprendizaje Visuoespacial* (Malec y cols., 1992) (Fig.4 B). Por lo general, los participantes en estas pruebas observan durante un periodo de tiempo determinado un número de objetos dentro de un espacio acotado (ej. una cuadrícula). A continuación, de forma inmediata o utilizando intervalos de demora, se les pide que indiquen si los objetos están situados en la posición anterior, o incluso que coloquen ellos mismos todos los elementos en su posición correcta. Recientemente, el estudio de Külzow y cols. (2014) evaluó la validez de un nuevo test de localización de objetos computerizado –LOCATO– (Flöel y cols., 2012), el cual resultó ser un buen test de *screening* en patologías como el deterioro cognitivo leve, al superar las limitaciones de sus predecesores utilizando objetos de la vida real, minimizando la codificación verbal, evitando las respuestas motoras finas y permitiendo evaluar la curva de aprendizaje además del grado de recuerdo.

Por otra parte, para evaluar las habilidades espaciales de cada participante, los autoinformes como la *Escala de Sentido de Dirección de Santa Bárbara* (Hegarty y cols., 2002), o el *Cuestionario de Representación Espacial*

(Pazzaglia y cols., 2000), son herramientas de evaluación muy útiles principalmente porque todos somos conscientes del tipo de información espacial que utilizamos para orientarnos. De hecho, estos cuestionarios correlacionan fuertemente con la ejecución en diversas tareas espaciales (Wen y cols., 2011; Castelli y cols., 2008). Este es el caso del estudio de Hegarty y cols. (2002), donde se observa que las puntuaciones en la *Escala de Sentido de Dirección de Santa Bárbara* correlacionan de forma especial con la ejecución de tareas espaciales que se adquieren a partir de la experiencia directa con el medio (ej. tareas de búsqueda de ruta) frente a aquellas tareas espaciales indirectas (ej. estimar distancias o dibujar un mapa del entorno), siendo las primeras las que más similitud tienen con las tareas de orientación diarias. En general, en estos cuestionarios los participantes puntúan en una escala Likert el tipo de información espacial que suelen utilizar para orientarse tanto en lugares conocidos como nuevos (ej. ¿Se orienta recordando rutas que conectan un lugar con otro? Cuando está dentro de un edificio, ¿Puede visualizar fácilmente qué hay fuera del mismo en la dirección a la que está mirando?).

Por su parte, pruebas como el *Test de Rotación Mental* (Vandenberg y Kuse, 1978), el *Test de Cambio de Perspectiva* (Kozhevnikov y Hegarty, 2001), la tarea de las *Tres Montañas de Piaget e Inhelder* (1967), o el *Test de Orientación de Líneas de Benton* (Benton y cols., 1978), permiten evaluar la visualización y la orientación espacial. El *Test de Rotación Mental* consiste en observar una serie de figuras tridimensionales conformadas por cubos y escoger de entre varias opciones cuál sería la visualización correcta si la figura

estuviese rotada (Fig.4 C). Caissie y cols. (2009) observan que es la diferencia de ángulo entre la figura modelo y las figuras rotadas a escoger la característica más importante de este test, al ser la variable que facilita o endurece la prueba. De hecho, ya Shepard y Metzler's (1971) observaban una correlación positiva directa entre los tiempos de reacción y el ángulo de diferencia. Por su parte, en el *Test de Cambio de Perspectiva* los participantes visualizan un círculo en cuyo interior hay 7 elementos fijos (ej. Un árbol, una señal de stop, un coche...etc.) para, a continuación, indicar el lugar donde quedaría un tercer elemento teniendo en cuenta su posición y punto de vista (Fig.4D). También en este test, como apuntan Kozhevnikov y Hegarty (2001) la dificultad residiría en la diferencia entre la perspectiva imaginada y el objeto a localizar, observando un incremento en los errores en aquellos ítems donde el ángulo entre el punto de vista y el objeto a localizar es mayor de 90°.

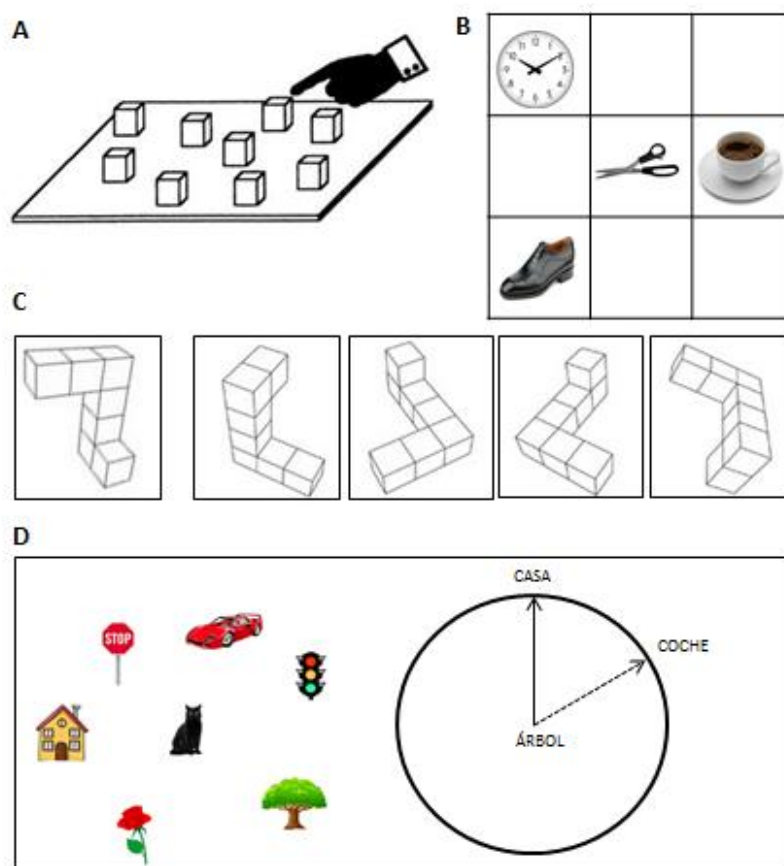


Fig. 4. La imagen muestra un ejemplo de las distintas herramientas de evaluación en la cognición espacial. A) Cubos de Corsi, B) Test de localización de objetos, C) Test de Rotación Mental D) Test de cambio de perspectiva.

Hoy en día, gracias al gran avance tecnológico del siglo XX, podemos contar con técnicas de realidad virtual que permiten una evaluación global de los procesos de orientación al medio más sistemática y controlada. Reduciendo en gran medida las limitaciones metodológicas de los entornos reales (Rizzo y cols., 2002, 2004; Schultheis y cols., 2002). De hecho, la gran ventaja de los entornos reales, su validez ecológica, conlleva al mismo tiempo limitaciones metodológicas, ya que, por ejemplo, es muy complicado asegurar que todas las condiciones ambientales son exactamente las mismas para todos los participantes del estudio (ej. grado exacto de familiaridad con el lugar donde se

realiza la prueba, inclemencias meteorológicas, aparición de elementos distractores, etc...) (Van Asselen y cols., 2006., Cooke y Laneb, 2014). De acuerdo con Fuchs y cols. (2001) el objetivo de la realidad virtual es permitir que una persona realice una actividad cognitiva en un mundo artificial donde pueden ser recreados aspectos del mundo real. El desarrollo de estas técnicas ha supuesto una gran avance en este campo de estudio, al aunar la precisión metodológica con la validez ecológica de los entornos reales (Hardiess y Mallot, 2015).

Por otro lado, otra de las grandes ventajas del uso de la realidad virtual es que permiten usar técnicas de neuroimagen, como la Resonancia Magnética Funcional (RMf) o la Tomografía por Emisión de Positrones (TEP), durante la realización de las pruebas. Aportando una valiosísima información acerca de las estructuras cerebrales implicadas directamente en la realización de las tareas espaciales, así como en la evaluación de aquellos participantes que cursan con alguna patología cerebral asociada (Dahmani y Bohbot, 2015; LeDoux y cols., 2013). También cabe destacar que los entornos virtuales sirven como instrumentos de rehabilitación en personas con déficits en la cognición espacial (ej. agnosia topográfica) (Glizea y cols., 2012). Este es el caso del estudio de Kober y cols. (2013) donde 11 pacientes con déficits en la orientación espacial por lesión focal (10 en hemisferio derecho y 1 en hemisferio izquierdo), y 11 controles sin patología neurológica, realizaron un entrenamiento que consistía en aprender y recordar diferentes rutas para orientarse en una ciudad virtual. Sus resultados mostraron una mejora en la cognición espacial general en ambos grupos tras el entrenamiento. Resultando

ser una herramienta útil a la hora de implementar la capacidad de orientación al medio. Por tanto, estos estudios parecen fomentar el desarrollo de entornos virtuales tanto para la evaluación de los procesos de cognición espacial como para el entrenamiento o rehabilitación de los mismos.

Por otro lado, algunos estudios han querido contrastar la efectividad de ambos tipos de técnicas (real vs virtual). Rodrigues y cols. (2010) comparan la adquisición de la información espacial aprendida en un entorno real frente a una réplica del mismo en formato virtual. Los resultados mostraron un buen recuerdo en ambos entornos y, aunque se cometían más errores en la reproducción de la ruta en el entorno virtual, no fueron estadísticamente significativos en comparación con los que se cometieron en el entorno real. Sin embargo, otros estudios muestran problemas específicos de los entornos virtuales en tareas que requieren estimar con precisión las distancias espaciales. Argumentando como posibles causas la limitación en la visión por el uso de los dispositivos HMD (head-mounted displays) o incluso por una mala resolución gráfica de las imágenes que impedirían adquirir con precisión la información (Creem-Regehr y cols., 2005; Thompson y cols., 2004; Philbin y cols., 1998). Este es el caso del estudio presentado por Witmer y Kline (1998), donde los participantes en un entorno virtual subestiman las distancias tanto entre los objetos que lo conforman como del propio recorrido en comparación con las estimaciones realizadas en un entorno real. Además, observan que cuando se añadían señales auditivas cada 10 pasos en rutas alternas, la estimación de la distancia mejoraba de forma significativa. Investigaciones más actuales, como la de Richardson y Waller (2007), apuntan que el problema a la

hora de estimar las distancias se diluye a medida que se tiene más experiencia con el entorno virtual, siendo suficiente un periodo previo de familiarización con el entorno virtual para aminorar cualquier problema potencial en la estimación de la distancia. En la misma línea, Waller y cols. (2001) concluyen, comparando la ejecución en entornos reales y virtuales, que con la suficiente experiencia en entornos virtuales los participantes son capaces de adquirir la información espacial al mismo nivel que cuando se adquiere en un entorno real.

2

Planteamiento y Objetivos

Primero, ten una clara idea práctica definida; una meta y un objetivo. En segundo lugar, dispón de los medios necesarios para alcanzar tus fines., sabiduría, dinero, materiales y métodos. En tercer lugar, ajusta todos tus medios a ese fin.

Aristóteles

Planteamiento y Objetivos

Como se ha expuesto en el marco teórico, la cognición espacial está presente en muchas de las actividades que se realizan en nuestra vida diaria, siendo la capacidad de orientación espacial una de las más investigadas (Cohen, 2015; Ekstrom, 2015; Head e Isom, 2010). Los estudios al respecto se han centrado, sobre todo, en descubrir qué regiones cerebrales están más implicadas en la capacidad de orientación al medio (Hampstead y cols. 2014; Jandl y cols. 2015), así como en comprender cómo varía la capacidad de orientación espacial cuando son utilizadas distintas estrategias o marcos de referencia, si existen diferencias entre hombres y mujeres o si este proceso cognitivo se ve deteriorado con el envejecimiento (Brunyé y cols, 2012; Harris y Wolbers, 2014; Iglói y cols, 2009; Livingstone-Lee y cols, 2014; Manning y cols, 2014). Sin embargo, aún hoy en día no existen datos concluyentes sobre el papel que cumplen ciertas variables, como la interferencia y actualización de la información, la rotación mental, el cambio de perspectivas o la memoria de trabajo visuoespacial, en la capacidad de orientación al medio. Así como la influencia que el envejecimiento tiene en dichas variables.

Aunque se sabe que el fenómeno de interferencia influye en el almacenamiento de información en la memoria de trabajo (Jonides y Nee, 2006; Rong y cols. 2013), pocos han investigado el rol de éste factor en la actualización de la información espacial (Rowe y cols, 2010; Jonides and Nee, 2006) y los que lo han hecho, han confirmado la alta influencia de esta variable en la memoria de trabajo, considerándola un factor esencial en la renovación y adquisición de nueva información espacial (Engle, 2005; Leung y Zhang, 2004; Xiao y cols,

2009). Por su parte, la rotación mental y el cambio de perspectivas son consideradas actualmente habilidades espaciales imprescindibles en los procesos de orientación y transformación espacial (Jansen y Heil, 2014; Kozhevnikov y cols. 2006; Zacks y Michelon, 2005). Incluso algunos estudios recientes indican que pueden ser utilizadas como herramientas de screening tanto para el Deterioro Cognitivo Leve como para la demencia de Alzheimer (Marková y cols. 2015).

Por otro lado, han sido numerosas las investigaciones que han constatado la importancia de la memoria de trabajo visuoespacial en la capacidad de orientación al medio (Brunyé y Taylor, 2008b; Coluccia y cols. 2007; Fischer, 2001; Pazzaglia y cols, 2010). En la actualidad, nuevas líneas de investigación han comenzado a evaluar la vinculación de ésta función cognitiva con la capacidad de cambio de perspectiva y la rotación mental (Bernstein y cols. 2015; Wen y cols, 2011). Llegando a indicar, algunas de ellas, que la memoria de trabajo espacial y, las habilidades espaciales mencionadas, modularían de forma conjunta la adquisición de la información del medio y, con ello, permitirían la construcción de una representación mental del espacio más precisa (Hegarty y cols, 2006; Meneghetti y cols, 2011a).

Considerando todo lo anterior, los objetivos específicos de esta Tesis Doctoral son los siguientes:

Primer objetivo: Estudiar la capacidad de orientación espacial en tres periodos diferentes del ciclo vital en una tarea de orientación espacial. La tarea consiste en recordar tres rutas que comienzan y finalizan en distintos puntos del mismo entorno de realidad virtual. Este protocolo experimental permitirá evaluar la

influencia de factores como la interferencia de la información o la capacidad de actualización de la misma en la orientación espacial de los distintos grupos de edad.

Segundo objetivo: Analizar la influencia de la edad y del género en una tarea específica de cambio de perspectiva. Esto permitirá conocer la influencia de factores como la amplitud del cambio de perspectiva o el tiempo para realizar la tarea en la precisión con que hombres y mujeres, de distintas edades, realizan la tarea de cambio de perspectiva.

Tercer objetivo: Analizar el efecto del cambio de perspectiva en la orientación e integración de la información espacial en un entorno virtual inmersivo. Se trata de conocer si el acceso a la perspectiva de ida y de vuelta en tres rutas de un entorno virtual proporciona una mejor adquisición de la información espacial o, al contrario, genera una mayor interferencia y peor recuerdo.

Cuarto objetivo: Analizar el rol específico que cumple la memoria de trabajo visuoespacial, la rotación mental y el cambio de perspectiva en el aprendizaje e integración de la información espacial. Para este fin se analizará la relevancia de cada uno de dichos factores en la adquisición de la información espacial de tres rutas de un entorno virtual y su contribución a la formación del mapa cognitivo del entorno.

A continuación, se muestra la configuración del entorno de realidad virtual diseñado específicamente para la realización de esta Tesis Doctoral (Figura5).

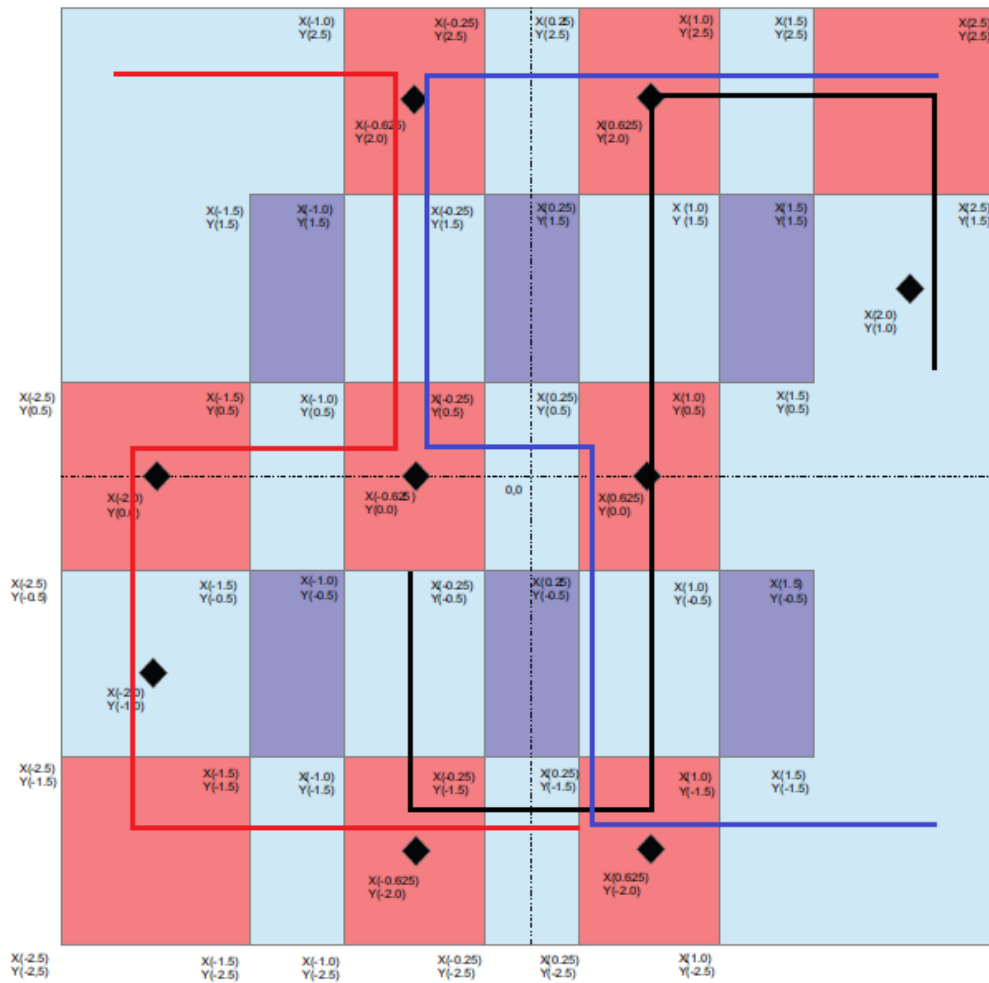


Figura 5. Configuración del entorno virtual a escala. Se observa, por un lado, las columnas centrales del entorno (rectángulos morados) así como los tres recorridos realizados en el mismo (líneas roja, negra y azul). Por otro lado, los rectángulos rosas, los rombos y las coordenadas representan información estructural para la programación del entorno virtual.

3

Publicaciones

The path to our destination is not always a straight one. We go down the wrong road, we get lost, we turn back. Maybe it doesn't matter which road we embark on. Maybe what matters is that we embark.

Barbara Hall

3.1 Artículo 1

Age differences in path learning: The role of interference in updating spatial information. Zancada-Menéndez, C., Sampedro-Piquero, P., Meneghetti, C., Labate, E., Begega, A., y Lopez, L. (2015). *Learning and Individual Differences*, 38, 83-89. doi:10.1016/j.lindif.2015.01.015.

ABSTRACT

Spatial orientation is an essential ability, which has shown to decline with aging. Although several researches have focused on the different orientation behaviors and perspectives, few of them have examined the acquisition of multiple paths at the same time. The current study was designed with the intention of investigating age differences in multiple view learning, as well as understanding the difficulty in updating spatial information. Twenty young people, 20 adults and 20 older adults learnt three paths which started and ended from different points of view in the same virtual environment. Results had shown worse performance of the older adults, although all age groups worsened in the last path. These results showed a severe impact on navigation in aging, and were discussed within aging and spatial cognition domain.



Age differences in path learning: The role of interference in updating spatial information



C. Zancada-Menendez^{a,b,*}, P. Sampedro-Piquero^{a,b}, C. Meneghetti^c, E. Labate^c, A. Begega^{a,b}, L. Lopez^{a,b}

^a Laboratorio de Neurociencias, Departamento de Psicología, Universidad de Oviedo, Plaza Feijoo s/n., 33003 Oviedo, Spain

^b Instituto de Neurociencias Principado de Asturias (INEUROPA), Spain

^c Department of General Psychology, University of Padua, Via Venezia, 8, 35100 Padova, Italy

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 August 2014

Received in revised form 13 December 2014

Accepted 22 January 2015

Keywords:

Route learning

Age differences

Virtual reality

Updating

Interference

ABSTRACT

Spatial orientation is an essential ability, which has shown to decline with aging. Although several researches have focused on the different orientation behaviors and perspectives, few of them have examined the acquisition of multiple paths at the same time. The current study was designed with the intention of investigating age differences in multiple view learning, as well as understanding the difficulty in updating spatial information. Twenty young people, 20 adults and 20 older adults learnt three paths which started and ended from different points of view in the same virtual environment. Results had shown worse performance of the older adults, although all age groups worsened in the last path. These results showed a severe impact on navigation in aging, and were discussed within aging and spatial cognition domain.

© 2015 Elsevier Inc. All rights reserved.

1. Introduction

Navigating successfully through the world, localizing new places or inferring shortcuts, are important aspects of human behavior. Even today, targeted effectively in our environment, it remains an indispensable factor to survive in some places in the world. Thereby, given the changing environment around us, we consider it of great interest to analyze how the changing spatial information is updated. In this regard, some studies consider that this process implies a big effort, since it involves combining prior with new information (Mou, Zhang, & McNamara, 2009; Waller, Montello, Richardson, & Hegarty, 2002; Wang & Brockmole, 2003). Furthermore, the success to modulate the updating of spatial information depends not only on individual differences, but also on variables such as the information complexity, similarity in the number of trials, or the time of exposure, among others (Klatzky et al., 1990). In this respect, Cánovas et al. (2011) aimed to see how the acquisition varies along a series of trials in a virtual task presented in navigation modality, focusing on the influence of the number and location of cues on young males and females. They found an acquisition improvement over eight trials in all participants. The research of Livingstone-Lee, Zeman, Gillingham, and Skelton (2014)

showed similar results but comparing the effectiveness of different spatial strategies (place maze, cue maze and visible platform maze) in young participants along ten trials. In this study, first the participants were trained to use allocentric or egocentric strategies in a virtual environment analog to the Morris Water Maze. Then they were tested in a dual-strategy maze to discover if they maintained or changed the strategy of the training phase. They found a clear influence of the prior experience on navigational strategy, as a progressive acquisition along the 10 trials of a wayfinding task, regardless of the spatial strategy used.

Therefore, in general, these findings point to the possibility of acquiring both types of spatial information, in the same environment but with prior separate acquisition training. Nevertheless, in all these previous studies, the starting and/or finishing point of the navigation path remained stable throughout the trials. Thereby, the acquisition of the task was easier, due to the fact that one point of reference remains stable (start position or finish) which is very valuable information in wayfinding tasks.

On the other hand, partly due to the increasingly aging population, several researchers have focused on the study of spatial orientation during aging (e.g. Gyselinck et al., 2013; Harris & Wolbers, 2014). Thus, due to the deterioration with age of some cognitive processes such as working memory, executive functions or cognitive control (e.g., Borella, Meneghetti, Ronconi, and De Beni 2014), it is not surprising to observe a decline in the wayfinding task, updating spatial information, inferring distances and directions, learning unfamiliar routes or remembering landmarks (Adler et al., 2014; Grewe et al., 2014; Mou & McNamara, 2002; Vallesi, McIntosh, & Stuss, 2011; Willis,

* Corresponding author at: Laboratorio de Neurociencias, Departamento de Psicología, Plaza Feijoo s/n. 33003 Oviedo, Spain. Tel.: +34 985104192.

E-mail addresses: clerzm@gmail.com (C. Zancada-Menendez), uo179677@uniovi.es (P. Sampedro-Piquero), chiara.meneghetti@unipd.it (C. Meneghetti), enialabate@libero.it (E. Labate), begega@uniovi.es (A. Begega), llopez@uniovi.es (L. Lopez).

1991). To our knowledge, the only research that has approached how the impairments along lifespan affected the updating of spatial information, was a recent study by Harris and Wolbers (2014). Using allocentric and egocentric strategies in a navigation virtual task, participants learned paths with different start and finish positions of the same environment (training trials). Then they assessed three spatial abilities; switching from following learned routes (updating information), finding novel shortcuts, as well as changing strategy. Results point to more problems in the older group both in the training and in all the spatial abilities measured in the testing phase.

In this regard, one factor to consider in the capacity to update spatial information is the interference phenomenon (Cabrera, Chavez, Corley, Kitto, & Butt, 2006; Leung & Zhang, 2004). Specifically, proactive interference is conceived as a negative modulator in the acquisition of information and has been considered to be the deleterious effect of previously remembered information on current memory representations (McGeoch & McDonald, 1931; Postle, Brush, & Nick, 2004). Although to date, analysis of the role of interference in spatial acquisition has hardly been considered, those studies that have been analyzed have demonstrated a high influence of this phenomenon in spatial working memory (Aisenberg, Sapirb, & d'Avossab, 2014; Jonides & Nee, 2006; Rowe, Hasher, & Turcotte, 2008). In this line, Cornoldi, Bassani, Berto, and Mammarella (2007), develop a visuo-spatial working memory task in which participants had to remember the path of dots in a matrix that changes the position of the dots along the trials. Thus, this task allows detection the proactive interference, since to update the position of the dots participants had to inhibit the position of the previous trials. Their results underline the relevance of interference in the acquisition of spatial information and also show the greater difficulty in carrying out the task in the older adult. Similarly, other studies point to a selective impairment in the ability to inhibit irrelevant information during the normal aging process (Gazzaley & D'Esposito, 2007; Vallesi et al., 2011).

1.1. Rationale and aim of the current study

Previous studies had focused on changing strategies in young and older groups over the trials in spatial tasks when either the start and/or the goal remains stable (Harris & Wolbers, 2014; Igló, Zaoui, Berthoz, & Rondi-Reig, 2009; Livingstone-Lee et al., 2014). Since, to the best of our knowledge, no previous study has focused on the study of changing spatial information over paths exploring age-related differences, it has become for us a really interesting issue to address.

For that purpose, we developed a virtual environment labyrinth, inspired in the characteristics of the Tolman (1948), reproducing a botanical garden. In this labyrinth three paths were created that start and end in different points (in order to change the environment perspective in each path). Nowadays many researchers are carrying out spatial navigation studies using virtual reality, providing a better understanding of the spatial impairments both in normal or pathological aging (Akinlofa, O'Brian-Holt, & Elyan, 2014; Cohen & Hegarty, 2014; Martens & Antonenko, 2012). Given previous studies that point to a deterioration with age in updating spatial information (Harris & Wolbers, 2014), as well as the higher demand that implies combining prior with new information (Mou et al., 2009), we hypothesize that i) older adults will have a general worse performance compared with young and adults, ii) but at the same time all age groups would have a worse performance along the paths.

2. Method

2.1. Participants

A group of 20 young people (16 females and 4 males) ($M = 21$ years, $SD = 0.56$, range = 19–30 years), a group of 20 adults (17 females and 3 males) ($M = 44.80$ years, $SD = 1.92$, range = 31–55 years) and a group of 20 older adults (16 females and 4 males) ($M = 64.15$ years,

$SD = 1.49$, range = 56–80 years) voluntarily took part in the experiment. We excluded patients with cerebrovascular disease, mild cognitive impairment, Alzheimer disease and mental disorders. None of the participants had an occupation that could have trained visuo-spatial skills, e.g. they were not pilots or taxi-drivers. All participants were native Spanish speakers.

The study was carried out with full respect for the fundamental principles established in the Helsinki Declaration, the Convention of the Council of Europe on human rights and biomedicine, in the UNESCO Universal Declaration on the Human Genome and Human Rights as well as the requirements of Spanish law in the field of biomedical research, the protection of personal data and bioethics.

2.2. Experimental setting and materials

2.2.1. Sample screening test

In order to discard those results in spatial memory may be determined by intelligence, mental status or cognitive processes, several cognitive tests indicated below were also performed.

2.2.1.1. *Fototest* (Carnero-Pardo & Montoro-Ríos, 2004). This is a brief cognitive test for detecting mild cognitive impairment and dementia. This test assesses several cognitive domains such as memory, language and executive functions, allowing us to rule out that none of the participants show cognitive impairment. It is divided into three sections, denomination (six questions giving one point for each correct answer), verbal fluency (one point for each correct item), and memory (the spontaneously remembered items scored with 2 points and remembered with help 1 point). This test is not influenced by the educational level of the subject and has proven internal consistency (Cronbach's alpha 0.94), high test–retest reliability (intraclass correlation coefficient [ICC] 0.89 ± 0.04) and interobserver (ICC = 0.98 ± 0.01) (Carnero-Pardo, Sáez-Zea, Montiel-Navarro, Fera-Vilar, & Gurpegui, 2012).

2.2.1.2. *WAIS-III* (Wechsler, 1997). Two tasks were chosen measuring the degree of acquisition, retention and retrieval of general information acquired from culture, as well as visual perception, organization, concentration and visual recognition of objects. So the following sub-test was chosen:

Information in order to ensure that participants had no problems in verbal comprehension or long-term memory.

Picture completion in order to evaluate the perceptual organization, as well as the ability to recognize familiar objects and to distinguish essential details of the secondary. *Scoring was according to WAIS-III scoring criteria* (Wechsler, 1997, 1999). Moreover, all these subtests allow us to obtain an IQ score for all the participants, to ensure that there were no differences in intelligence that can skew the results of the virtual environment task.

2.2.1.3. *Visual object and space perception battery* (VOSP; Warrington & James, 1991). This test ascertains that there is no impairment in the recognition of the space environment. Besides, this test has no cultural baggage, and has been developed, validated and standardized in the Psychology Department of the National Hospital for Neurology and Neurosurgery, Queen Square, London. Of this battery of tests specifically those that allow the evaluation of spatial perception were performed:

Dot counting consists in identifying the number of dots presented in 10 stimulus cards.

Position discrimination consists of two squares (one up and one down) each with a dot inside. The task is to indicate whether the two points lie in exactly the same position or vary.

Number location was based on the same configuration as the previous test, but in this case, the top square contains random numbers

while the lower square shows a black dot. Participants have to identify which number of the top square fits with the position of the black dot (lower square).

Cube analysis consists in determining the number of cubes shown on each of the 10 stimulus cards.

2.2.1.4. Corsi Blocks task (Corsi, 1972). The task requires the participants to remember in forward and backward order a sequence of blocks that are irregularly placed on a board. The sequence of digits to remember increases successively, going from a minimum of 2 blocks to a maximum of 9.

2.2.2. Spatial memory task

2.2.2.1. Virtual maze environment task. The virtual maze learning task was designed using the software *Blender 3D* (2.7). The task was administered on a standard Dell computer, using a 21 in. monitor. The maze was set in a botanical garden compound with three paths. Each path starts and finishes in a different position of the labyrinth, the third being 1.125 m shorter. Thus, all paths have a total of 4 turns, which are balanced left and right so as not to have the same sequence between the paths.

Regarding the landmarks, the participants had to recall a total of 8 landmarks on the first and second paths, while on the last path there is a total of 10 in order to increase the complexity of the last path (see Fig. 1). The paths had landmarks that were not on the corners, only along the path. We include more landmarks than turns to ensure that the task implies not only a simple relation between both types of spatial information. On the other hand our aim was not to compare if participants acquire better turns or landmarks, since the number of both were different (more landmarks than turns in all the paths). Moreover, the paths only overlap in three sections of the entire labyrinth (between the first path with the second and third, and between the second and third paths).

2.3. Procedure

Individual test sessions (lasting around 45 min) took place in a laboratory at the University of Oviedo. First of all, participants were informed about the aims of the research, the questionnaires and the confidentiality of their personal data and declared informed consent. Following all the screening, tests were conducted.

Then, all participants were given the opportunity to practice handling the joystick by navigating in an open field, without landmarks but also inspired in the characteristics of a botanical garden. Then, the evaluation with the virtual maze began.

There were three learning phases for each path (navigation, test phase I, test phase II). In the navigation participants were asked to pay close attention to both the path and all the landmarks of the labyrinth, hence in this phase participants only have to pay attention to the reproduced path on the computer. Then, in test phase I, participants were asked to reproduce with a joystick the same path which they have just visualized in the learning phase. Finally in test phase II participants were asked to indicate the landmarks that have been seen in the same order of appearance, and after that they had to indicate the turns made also in the same order.

This information was in order to ensure that they are paying attention to both types of spatial information in phase I.

Thus, paths had landmarks that were not on the corners but only along the path. These three experimental phases were repeated three times in the same order for each participant, as there were three paths that begin and end in different places of the same labyrinth. Thus, once finalized phase II of the first path, the learning phase of the second path began, where participants see the reproduction of the path, then reproduce it with the joystick and then indicate the landmarks with/

without order and the turns in order (phase II). The same protocol is then given for the third path.

2.4. Scoring

To score the performance in the virtual maze task, as dependent variables in the phase I was considered i) time spent (total time needed to reach the end of the path), ii) total distance (distance from the start to end of the path); iii) error reproductions (number of times leaves in an incorrect direction); and iv) stops (number of times that each subject stopped before choosing the direction to take). Furthermore, to ensure that the small difference in length of the last path is not modulating the results, we have also created the variable latency/length, as well as error reproduction/length and distance/length¹.

Regarding the wrong direction, the computer displayed a notice saying “incorrect direction” not allowing the subject to continue walking in that direction. In phase II the following were considered i) the correct turns (right and left) ii) the number of correct landmarks (without taking into account their order and giving one point for each recalled landmark that appeared in the path), and iii) the correct ordered landmarks (the order is correct if the landmark is located between the previous and the next).

All these scores were taken for each of the three paths separately.

3. Results

Results were analyzed with SPSS 19.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) and were expressed as mean \pm SEM. The results were considered statistically significant if $p < 0.05$ Bonferroni post hoc test had been used once significant differences appear between the different age groups if $p \leq 0.02$. Results were represented graphically with SigmaPlot 8.0 (Systat, Richmond, USA).

3.1. Participant selection (Screening test)

First of all, we make sure that all participants showed a normal score within their age range in all the screening tests mentioned above. Therefore, no participant in this study showed any cognitive impairment, deficit in the recognition of space environment, perceptual organization, verbal comprehension or memory processes (Table 1). Nevertheless, some of these screening tests had shown significant differences between the age groups. In this regard, one way ANOVAs showed significant differences in the discrimination position test (VOSP) ($F_{2,60} = 4.06$, $p = 0.022$). Post-hoc comparison showed a worse result in the older adults compared with the young ($p = 0.02$). Also, the sub-test *information (WAIS-III)*, showed significant differences ($F_{2,60} = 7.91$, $p = 0.001$). Post-hoc test showed a tendency of difference between young compared with adults and older adults, the young group obtaining the worst score ($p = 0.03$, $p = 0.04$ respectively).

3.2. Virtual maze

Firstly, due to the significant differences found between young, adults and older adults, both in the VOSP (discrimination position) and the WAIS (information test), we wanted to introduce these variables as covariates. Thus, we carried out analysis of co-variance 3 (Age: young vs adults, vs older adults) \times 3 (Number of paths learnt: first vs second vs third) on virtual maze score inserting each time as

¹ The analysis of variances carried out considering the proportion latency/length, and error reproduction/length as dependent variables showed no significant differences over the three paths (latency/length: $F_{2,57} = 2.407$, $p = 0.09$; error reproduction/length: $F_{2,57} = 2.407$, $p = 0.09$). Distance/length showed significant differences between paths ($F_{2,57} = 139.62$, $p = 0.001$). Post hoc comparisons showed higher distances in the third path and also in the second compared with the first ($p = 0.001$, $p = 0.001$, $p = 0.001$ respectively).

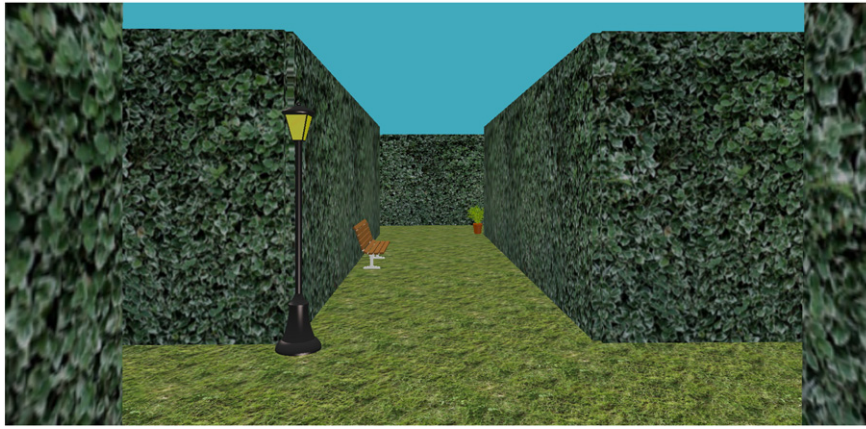


Fig. 1. Virtual environment view of the participants of one decision direction in one of the three paths: in this example, participants had to remember the lamp, bank and plant.

covariate VOSP (discrimination position) and WAIS-III (information test) score. The results showed no significant effect of covariate ($F_{2,57} = 1.47$, $p = 0.12$, $F_{2,57} = 1.44$, $p = 0.13$) respectively so we carried out – and reported below – the repeated measure ANOVA 3 (Age: young vs adults, vs older adults) \times 3 (Number of paths learnt: first vs second vs third) for each dependent measure considered.

3.2.1. Test phase I (joystick reproduction)

For Latency time, Errors, Distance and Stops three 3 \times (Age: young vs adults, vs older-adults) \times 3 (Number of path learnt: first vs second vs third) analysis of variance² were carried out.

3.2.1.1. Latency time. Results showed that latency did not show significant differences over the three paths, thus none of the three paths require extra time with respect to the others ($F_{2,57} = 0.51$, $p = 0.59$)².

Regarding the differences between age groups, significant differences have been shown between groups ($F_{2,57} = 19.62$, $p = 0.001$). Post hoc comparisons showed that the group of older adults needed significantly more time to complete the paths compared with young and adults ($p = 0.001$, $p = 0.002$ respectively). Finally, the interaction Number of paths learnt \times Group did not reach significance ($F_{4,114} = 0.66$, $p = 0.61$). (Fig. 2A).

3.2.1.2. Errors. Analysis showed significant differences in the number of reproduction errors along the paths ($F_{2,57} = 3.42$, $p = 0.03$). Post hoc comparisons showed that it was in the last path where more mistakes were made compared with the first ($p = 0.005$)².

Then significant differences have been shown between age groups ($F_{2,57} = 18.51$, $p = 0.001$). Post hoc showed that older adults committed significantly more errors choosing the correct way compared with young and adults ($p = 0.001$, $p = 0.002$ respectively). The interaction did not have statistical significance ($F_{4,114} = 0.26$, $p = 0.90$). (Fig. 2. B).

3.2.1.3. Distance. Analysis showed significant differences in the distance traveled along the paths ($F_{2,57} = 86.83$, $p = 0.001$). Post hoc comparisons showed that more distance was covered in the second path in comparison with the other two, and also in the third path with respect to the first ($p = 0.001$, $p = 0.001$, $p = 0.001$ respectively)².

² Given that spatial competence is subject to gender differences (Linn & Petersen, 1985) we carried out analyses of variance analyzing the differences between males and females in accuracy performance in Phase I and Phase II. The results did not show significant differences between males and females in Phase I [latency ($F_{1,58} = 0.436$, $p = 0.051$), Errors ($F_{1,58} = 0.309$, $p = 0.58$), Distance ($F_{1,58} = 0.412$, $p = 0.52$), Stops ($F_{1,58} = 0.05$, $p = 0.81$)] nor in Phase II [Incorrect landmarks ($F_{1,58} = 3.54$, $p = 0.06$), Correct turns ($F_{1,58} = 2.26$, $p = 0.13$), Incorrect turns ($F_{1,58} = 1.08$, $p = 0.30$), Landmarks without order ($F_{1,58} = 2.24$, $p = 0.13$)].

When we compare the age groups, significant differences were shown ($F_{2,57} = 18.51$, $p = 0.001$). Post hoc comparisons showed that older adults travel significantly more distance than young and adults ($p = 0.01$, $p = 0.001$). Finally, the interaction path \times groups did not have statistical significance ($F_{4,114} = 0.63$, $p = 0.64$).

3.2.1.4. Stops. ANOVA showed that there were significant differences in the stops along the three paths ($F_{2,114} = 5.99$, $p = 0.003$). Post hoc comparisons showed that participants stop more in the last path compared with the other two ($p = 0.005$, $p = 0.03$ respectively).

Also significant differences have been shown between age groups ($F_{2,57} = 12.22$, $p = 0.001$). Thus, post hoc comparisons showed that the young group makes less stops compared both with the adults and the older adults ($p = 0.03$, $p = 0.001$). The interaction did not show statistical significance ($F_{4,114} = 0.34$, $p = 0.84$).

3.2.2. Test phase II (verbal responses)

3.2.2.1. Landmarks (without order). Results showed that the number of correct landmarks, regardless of the order, being significant along the paths, ($F_{2,57} = 31.93$, $p = 0.001$). Post hoc comparisons showed that in the last path more landmarks were remembered (without order) than in the other two ($p = 0.003$, $p = 0.001$, $p = 0.001$ respectively) (Fig. 3A).

Analysis showed significant differences between age groups ($F_{2,57} = 4.36$, $p = 0.01$). Post hoc comparisons showed that the young group remember the landmarks significantly better than the older adults ($p = 0.01$).

Finally the interaction did not have statistical significance ($F_{4,114} = 0.56$, $p = 0.68$).

3.2.2.2. Landmarks (in order). The number of correctly ordered landmarks showed significant differences along the three paths ($F_{2,57} = 19.95$, $p = 0.001$). Post hoc comparisons showed that the acquisition was better in the second path compared with the first and the third, and also the first was better compared with the third ($p = 0.009$, $p = 0.001$, $p = 0.001$ respectively) (Fig. 3B).

Then significant differences have been shown between groups in the correct order of landmarks ($F_{2,57} = 12.08$, $p = 0.001$): older adults showed worse performance compared to young ($p = 0.001$) and with adult ($p = 0.02$).

The interaction did not have statistical significance ($F_{4,114} = 0.50$, $p = 0.73$).

3.2.2.3. Turns. Regarding the correct turns, we did not find significant differences in the number of paths learnt ($F_{2,57} = 1.59$, $p = 0.20$). So the number of correct turns remained stable over the three paths (Fig. 3C).

Table 1

Mean and standard error of the different tests in each group. Two-way ANOVA and Bonferroni post-hoc test.

Test	Young (<30 years)	Adults (30–55 years)	Old-adults (>55 years)	F	P
<i>WAIS III</i>					
Picture completion	11.09 ± .62	12.20 ± .43	12.0 ± .42	1.36	0.26
Information	9.52 ± .41	12.10 ± .65	12.10 ± .50	7.91	0.001 ^{*,#}
<i>VOSP</i>					
Dot counting	9.80 ± .11	9.75 ± .12	9.9 ± .36	0.10	0.89
P. discrimination	18.57 ± .28	18.00 ± .38	16.85 ± .59	4.06	0.022 ^{##}
Number location	8.66 ± .38	8.80 ± .28	8.70 ± .30	0.04	0.957
Cube analysis	9.57 ± .14	9.70 ± .10	8.95 ± .41	2.33	0.10
<i>Cubes blocks</i>					
Direct	10.52 ± .55	10.55 ± .52	10.60 ± .55	0.005	0.99
Inverse	9.76 ± .61	9.75 ± .54	11.00 ± .34	1.92	0.15
PHOTOTEST	46.76 ± 1.02	49.05 ± 1.18	45.55 ± 1.12	2.51	0.09

* Differences between young and adults $p \leq .005$.# Differences between adults and old-adults $p \leq .005$.## Differences between young and old-adults $p \leq .005$.

Significant differences have been shown between age groups in the number of correct turns ($F_{2,57} = 4.44$, $p = 0.01$). Post hoc comparisons showed that young participants made a higher number of correct turns than the older adults ($p = 0.01$).

Finally, the interaction path \times groups did not have statistical significance in correct turns ($F_{4,144} = 0.55$, $p = 0.69$).

4. Discussion

The present study aims to investigate i) whether there are age differences (young, adults and older adults) in the ability to learn three paths included in the same environment but with different starting and finishing points. ii) If the recall of landmarks (with/without order) and turns changes along the paths. These allow exploring the ability of participants to update the changing information showing an improvement or not in the acquisition along the paths.

First of all, through the results obtained in the screening tests, we checked that the differences shown in the virtual environment performance were not due to an underlying cognitive impairment or spatial visual perception decline. The only significant difference between age groups appeared in the discriminant position subtest (VOSP) between young and older adults, but when we introduced this subtest as a co-variable we did not find differences in the results (Table 1).

Concerning the results in phase I (reproduction), older adults showed more difficulties in the acquisition of the task, as shown by their higher latencies, number of errors and distance traveled compared with the other age groups. With regard to the number of stops variable, the results showed that both the older adults and adults, needed more time to decide the right direction compared with the young participants. For us, this last result could be related with a slowing in decision-making that usually tends to appear with aging (García, 1997; Zancada-Menendez, Sampedro-Piquero, Begega, López, & Arias, 2013) (Fig. 3B). Therefore, these initial results are in line with previous researches that highlight a general poor performance in older adults in spatial learning tasks when it is necessary to change and integrate several different types of information (Grewe et al., 2014; Gyselinck et al., 2013; Harris & Wolbers, 2014; Kirasic, 2000; Moffat, Zonderman, & Resnick, 2001). In agreement with these studies, Aisenberg et al. (2014), also found a worse performance in older participants in a task that required a rapid adaptation to changing information. Moreover, Moffat (2009) underlined the relevance of this decline in the spatial navigation function as a possible previous stage to a severe cognitive disease.

On the other hand, when we compared the general performance along the paths, more error reproduction as well as a higher number of stops appeared in the third path compared with the others. It should

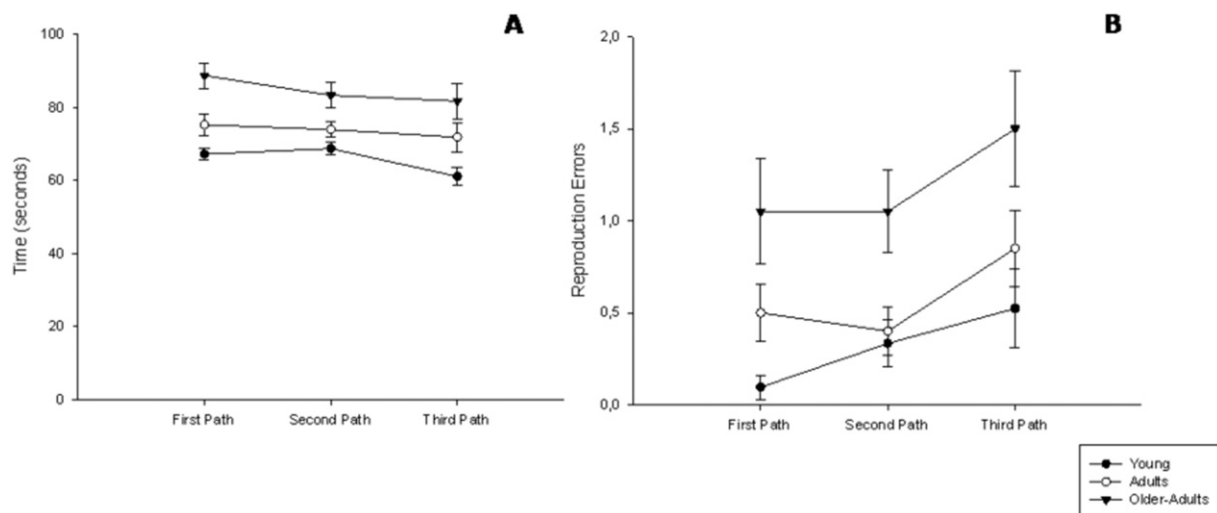


Fig. 2. Path reproduction. In (A), the histogram displays the time (seconds) required by young, adults and older adult participants to reproduce the three paths from the beginning to the end, the older adults needing significantly more time to complete the paths compared with young and adults. (B) Total direction errors made by the participants in the reproduction, committing significantly more errors in the last path, compared to the first two. Furthermore older adults commit significantly more errors than the other age groups. These graphs showed mean \pm SEM.

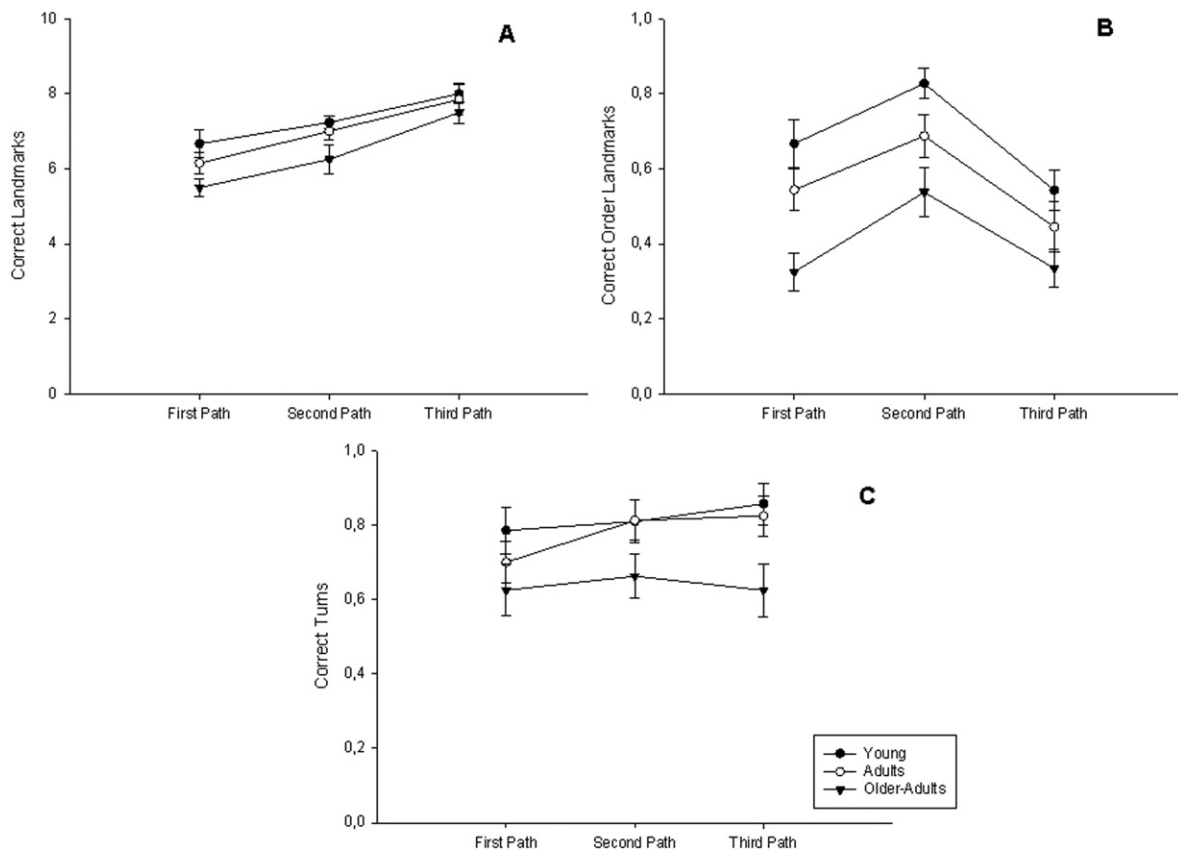


Fig. 3. Memory test. In (A), the number of correct landmarks without order was considered, the third path being that in which a significantly higher number of correct landmarks appear compared with the first and second paths. Furthermore the older adults group remembered a significantly lower number of correct landmarks compared with the younger group. Graph (B) shows the total number of correct order landmarks remembered. Significant differences have been shown between paths, the recall of the second path being better than the other two, and at the same time the recall was better in the first path compared with the third. Also significant differences appear between groups, the older adults making more mistakes compared with young and adults. Finally graph (C) shows no significant differences between groups along the paths in the number of correct order verbal turns. Nevertheless the young group remembers the turns better than the older adults. These graphs showed mean \pm SEM.

be noted that although latency did not show significant differences between the paths (either in the latency/length results), we must remember that indeed the third path was 1.125 m shorter than the first and second. In this regard, our results seem contrary to those presented by Cánovas et al. (2008) and Livingstone-Lee et al. (2014) among others, in which participants showed better performance as they performed the task over trials. This different result could be due to the fact that in previous studies participants received prior training, secondly, the environment counted with different styles that allowed easier differentiation between paths and finally, participants were not required to change both the start and final position. However, in line with our results, Wiener and Mallot (2006), studying path complexity on the visual path integration, found that when the length, overall turning angle and turning direction remained stable, the participants did not show a poor performance. Also, Klatzky et al. (1990) maintained the same line of argument. Indeed, in their research they found a worse performance when the complexity of the path increased, attributing this complexity to factors such as the interference of prior information and working memory limitations. Thereby, as the previous researches pointed out, we thought that in our study, this increment in the complexity of the third path in all the age groups could be largely due to the interference information of the previous paths.

Although as we noted from the beginning, our goal was not to compare the types of space recall used as in previous studies, we analyzed the memory of landmarks and turns in all age groups along three paths. In this way, older adults recalled worse the turns as well as the landmarks, with and without order required, compared with the other age groups. Regarding the recall along the paths, results show that the memory of landmarks without order improved over the paths in all

the age groups, which would indicate that the worst performance in the third path, mentioned above, was not due to the existence of memory impairments or a worse perceptual-spatial cognition. Nevertheless, results were contrary when we introduced the order of the landmarks. In this variable, difficulties appeared and the recall was worse along the paths, which again points to a difficulty in updating the spatial information provided by the landmarks between paths. Thus, as Solesio-Jofre et al. (2011) exposed, we assume that the age-related impairment in the inhibition process could increase the vulnerability to interference. On the other hand, the recall of the turns remained stable over the paths. This result was not surprising for us because, as noted above, the number of landmarks was higher than turns. Moreover as Iachini, Iavarone, Senese, Ruotolo, and Ruggiero (2009) and Iglói et al. (2009) explained, both in adults and elders, egocentric frames of reference that imply the turn information, produce a more accurate acquisition of spatial tasks compared with landmarks. However, and in accordance with the proposal of Arleo and Rondi-Reig (2007), we did not consider that this good recall in the right-left spatial information was due to its simplicity, since this kind of spatial information also implies a temporal sequence of body turns associated with choice points.

Therefore, the results showed overall that to acquire environment by navigation using multiple paths i) is demanding for older adults ii) produced a general improvement for memory of turns and landmarks without order, at the same time as an impairment in path reproduction and poor recording of landmarks in order in all age groups. All in all, our results seemed to follow the same line as Mammarella, Fairfield, De Beni, and Cornoldi (2009) which exposed that impairment with aging really appears in tasks that involve manipulation of information with an increase of complexity, and not in those that only imply a simple

passive storage. This difficulty in older adults could be attributed to a deficit in updating spatial information, i.e. the view of a landmark and turn after a path acquisition is not updated according to the new view proposed with a further path acquisition (as suggested by Harris & Wolbers, 2014), as well as to the interference of previous information, since the literature has shown that older adults are more vulnerable than younger adults to the disruptive effects of distraction (Hasher, Lustig, & Zacks, 2007; Hasher, Zacks, & May, 1999; Palladino & De Beni, 1999).

Although the results were interesting, further study is needed of the role played by the individual differences in the ability to carry out spatial updating (such as exploring spatial working memory updating, Cornoldi et al., 2007). On the other hand, we also believe that it is important to understand the degree of relevance of the proactive interference in the worse performance shown by all groups along the paths.

5. Conclusions

The findings of the current study showed a general decline in route learning acquisition in the older adult group since their execution in all phases was noticeably worse along the three paths compared to the other two age groups. Furthermore, the performance of young and adults was also impaired along the paths, which leads us to consider the great effort that constantly updating the spatial information implies. In this sense, our study showed that changing the start and the finish position of successive paths while the environment characteristics remained stable, seemed to have a really important effect on the wayfinding task at all ages.

Acknowledgments

We would like to thank all the participants who gave their time and Daniel Grace for revising the English of the manuscript. Thanks also to Massimiliano Martinelli (University of Padova) for his technical assistance. This work was supported by Ficyt 11-144 grant.

References

- Adler, J., Beutel, M. E., Knebel, A., Berti, S., Unterrainer, J., & Michal, M. (2014). Altered orientation of spatial attention in depersonalization disorder. *Psychiatry research, 216*, 230–235.
- Aisenberg, D., Sapirb, A., d'Avossab, G., & Henika, A. (2014). Long trial durations normalise the interference effect and sequential updating during healthy aging. *Acta Psychologica, 153*, 169–178.
- Akinlofa, O. R., O'Brian-Holt, P., & Elyan, E. (2014). The cognitive benefits of dynamic representations in the acquisition of spatial navigation skills. *Computers in human behavior, 30*, 238–248.
- Arleo, A., & Rondi-Reig, L. (2007). Multimodal sensory integration and concurrent navigation strategies for spatial cognition in real and artificial organisms. *Journal of Integrative Neuroscience, 6*, 327–366.
- Borella, E., Meneghetti, C., Ronconi, L., & De Beni, R. (2014). Spatial abilities across the adult life span. *Developmental psychology, 50*, 384–392.
- Cabrera, S. M., Chavez, C. M., Corley, S. R., Kitto, M. R., & Butt, A. E. (2006). Selective lesions of the nucleus basalis magnocellularis impair cognitive flexibility. *Behavioral neuroscience, 120*, 298–306.
- Cánovas, R., Espinola, M., Iribarne, L., & Cimadevilla, J. M. (2008). A new virtual task to evaluate human place learning. *Behavioural brain research, 190*, 112–118.
- Cánovas, R., García, R. F., & Cimadevilla, J. M. (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*, 116–121.
- Carnero-Pardo, C., & Montoro-Ríos, M. T. (2004). Test de las Fotos. *Revista de Neurología, 39*, 801–806.
- Carnero-Pardo, C., Sáez-Zea, C., Montiel-Navarro, L., Feria-Vilar, I., & Gurpegui, M. (2012). Normative and reliability study of Fototest. *Neurología (Barcelona, Spain), 26*, 20–25.
- Cohen, C. A., & Hegarty, M. (2014). Visualizing cross sections: Training spatial thinking using interactive animations and virtual objects. *Learning and individual differences, 33*, 63–71.
- Cornoldi, C., Bassani, C., Berto, R., & Mammarella, N. (2007). Aging and the intrusion superiority effect in visuo-spatial working memory. *Neuropsychology, development, and cognition. section B, aging, neuropsychology and cognition, 14*, 1–21.
- Corsi, P. M. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain. *Dissertation Abstracts International, 34*, 891B (University Microfilms No. AAI05-77717).
- García, J. (1997). *Psicología de la atención*. Madrid: Síntesis.
- Gazzaley, A., & D'Esposito, M. (2007). Top-down modulation and normal aging. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1097*, 67–83.
- Grewe, P., Lahr, D., Kohsik, A., Dyck, E., Markowitsch, H. J., Bien, C. G., et al. (2014). Real-life memory and spatial navigation in patients with focal epilepsy: Ecological validity of a virtual reality supermarket task. *Epilepsy and Behavior, 31*, 57–66.
- Gyselinck, V., Meneghetti, C., Borretti, M., Orriols, E., Piolino, P., & De Beni, R. (2013). Considering spatial ability in virtual route learning in early aging. *Cognitive processing, 14*, 309–316.
- Harris, M. A., & Wolbers, T. (2014). How age-related strategy switching deficits affect wayfinding in complex environments. *Neurobiology of aging, 35*, 1095–1102.
- Hasher, L., Lustig, C., & Zacks, R. T. (2007). Inhibitory mechanisms and the control of attention. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake, & J. N. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (pp. 227–249). NY: Oxford.
- Hasher, L., Zacks, R. T., & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. Gopher, & A. Koriati (Eds.), *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance. Interaction of theory and application*. (pp. 653–675). Cambridge, MA: MIT Press.
- 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*, 43–59.
- Iglói, K., Zaoui, M., Berthoz, A., & Rondi-Reig, L. (2009). Sequential egocentric strategy is acquired as early as allocentric strategy: Parallel acquisition of these two navigation strategies. *Hippocampus, 19*, 1199–1211.
- Jonides, J., & Nee, D. E. (2006). Brain mechanisms of proactive interference in working memory. *Neuroscience, 139*, 181–193.
- Kirasic, K. C. (2000). Age differences in adults' spatial abilities, learning environmental layout, and wayfinding behavior. *Spatial cognition and computation, 2*, 117–134.
- Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Golledge, R. G., Cicinelli, J. G., Doherty, S., & Pellegrino, J. W. (1990). Acquisition of route and survey knowledge in the absence of vision. *Journal of Motor Behavior, 22*, 19–43.
- Leung, H. C., & Zhang, J. X. (2004). Interference resolution in spatial working memory. *NeuroImage, 23*, 1013–1019.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development, 56*, 1479–1498.
- Livingstone-Lee, S. A., Zeman, P. M., Gillingham, S. T., & Skelton, R. W. (2014). Navigational strategy may be more a matter of environment and experience than gender. *Learning and motivation, 45*, 30–43.
- Mammarella, N., Fairfield, B., De Beni, R., & Cornoldi, C. (2009). Aging and intrusion errors in an active visuo-spatial working memory task. *Aging clinical and experimental research, 21*, 282–291.
- Martens, J., & Antonenko, P. D. (2012). Narrowing gender-based performance gaps in virtual environment navigation. *Computers in human behavior, 28*, 809–819.
- McGeoch, J. A., & McDonald, W. T. (1931). Meaningful relation and retroactive inhibition. *American Journal of Psychology, 43*, 579–588.
- Moffat, S. D. (2009). Aging and spatial navigation: What do we know and where do we go? *Neuropsychology Review, 19*, 478–489.
- Moffat, S. D., Zonderman, A. B., & Resnick, S. M. (2001). Age differences in spatial memory in a virtual environment navigation task. *Neurobiology of aging, 22*, 787–796.
- Mou, W., & McNamara, T. P. (2002). Intrinsic frames of reference in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and cognition, 28*, 162–170.
- Mou, W., Zhang, H., & McNamara, T. P. (2009). Change detection of an object's locations relies on the information of learning viewpoint. *Cognition, 111*, 175–186.
- Palladino, P., & De Beni, R. (1999). Short term and working memory in aging: Maintenance and suppression. *Aging Clinical and Experimental Research, 11*, 301–306.
- Postle, B. R., Brush, L. N., & Nick, A. M. (2004). Prefrontal cortex and the mediation of proactive interference in working memory. *Cognitive, affective, & behavioral neuroscience, 4*, 600–608.
- Rowe, G., Hasher, L., & Turcotte, J. (2008). Age differences in visuospatial working memory. *Psychology and aging, 23*, 79–84.
- Solesio-Jofre, E., Lorenzo-López, L., Gutiérrez, R., López-Frutos, J. M., Ruiz-Vargas, J. M., & Maestú, F. (2011). Age effects on retroactive interference during working memory maintenance. *Biological psychology, 88*, 72–82.
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review, 55*, 189–208.
- Vallesi, A., McIntosh, A. R., & Stuss, D. (2011). Overrecruitment in the aging brain as a function of task demands: Evidence for a compensatory view. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*, 801–815.
- Waller, D., Montello, D. R., Richardson, A. E., & Hegarty, M. (2002). Orientation specificity and spatial updating of memories for layouts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and cognition, 28*, 1051–1063.
- Wang, R. F., & Brockmole, J. R. (2003). Simultaneous spatial updating in nested environments. *Psychonomic Bulletin and Review, 10*, 981–986.
- Warrington, E. K., & James, M. (1991). *The visual object and space perception battery*. Bury St Edmunds: Thames Valley Test Company.
- Wechsler, D. (1997). *The Wechsler Adult Intelligence Scale-III Manual*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (1999). *The Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence Manual*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Wiener, J. M., & Mallot, H. A. (2006). Path complexity does not impair visual path integration. *Spatial cognition and computation, 6*, 333–346.
- Willis, S. L. (1991). Cognition and everyday competence. In K. W. Schaie, & M. F. Lawton (Eds.), *Annual Review of Gerontology and Geriatrics* (pp. 80–109). New York: Springer.
- Zancada-Menendez, C., Sampedro-Piquero, P., Begega, A., López, L., & Arias, J. L. (2013). Attention and inhibition in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Escritos de Psicología, 6*, 43–50.

3.2 Artículo 2

Age and gender differences in spatial perspective taking. Zancada-Menéndez, C., Sampedro-Piquero, P., López, L., y McNamara, T. (2015). *Aging Clinical and Experimental Research*, 1-8. doi:10.1007/s40520-015-0399-z.

ABSTRACT

Background and aims. It is often necessary in daily experience to change one's point of view to adopt mentally the spatial perspective of other persons, learn the position of different objects in a new environment or even describe an environment to other persons. Hence, the ability to link spatial information from different perspectives seems to be necessary to orient ourselves in the space. Several studies have found gender-related differences in spatial reasoning in younger adults, but little is known about such effects in middle-aged and older adults. *Methods.* This research was designed to study how spatial perspective taking is affected by gender and age along the lifespan. The Perspective Taking/Spatial Orientation Test (PPT; Kozhevnikov and Hegarty [1]) was administered to groups of younger, middle-aged, and older adults, with females and males represented in each age group. *Results.* The performance in the PPT decreased across age groups. All age groups had more errors in items that involved perspective changes of greater than 90°. Males performed better than females on most of the variables; however, no significant differences appeared in the interaction gender 9 age. *Conclusion.* The present findings showed the relevance of the degree perspective change in visuo-spatial abilities, especially in the older group. In relation with the gender, males outperformed females; however, the interaction gender 9 age did not show significant differences.

Age and gender differences in spatial perspective taking

Clara Zancada-Menendez^{1,2} · Patricia Sampedro-Piquero^{1,2} · Laudino Lopez^{1,2} · Timothy P. McNamara³

Received: 17 February 2015 / Accepted: 12 June 2015
© Springer International Publishing Switzerland 2015

Abstract

Background and aims It is often necessary in daily experience to change one's point of view to adopt mentally the spatial perspective of other persons, learn the position of different objects in a new environment or even describe an environment to other persons. Hence, the ability to link spatial information from different perspectives seems to be necessary to orient ourselves in the space. Several studies have found gender-related differences in spatial reasoning in younger adults, but little is known about such effects in middle-aged and older adults.

Methods This research was designed to study how spatial perspective taking is affected by gender and age along the lifespan. The Perspective Taking/Spatial Orientation Test (PPT; Kozhevnikov and Hegarty [1]) was administered to groups of younger, middle-aged, and older adults, with females and males represented in each age group.

Results The performance in the PPT decreased across age groups. All age groups had more errors in items that involved perspective changes of greater than 90°. Males performed better than females on most of the variables; however, no significant differences appeared in the interaction gender × age.

Conclusion The present findings showed the relevance of the degree perspective change in visuo-spatial abilities, especially in the older group. In relation with the gender, males outperformed females; however, the interaction gender × age did not show significant differences.

Keywords Age · Gender · Spatial orientation · Perspective taking

Introduction

Spatial reasoning is necessary in everyday situations, such as navigating to new places, estimating distances, finding shortcuts, interpreting a diagram, or even parking a car. People differ in their spatial reasoning skills and in the strategies that they use to solve spatial reasoning problems [1–3]. For example, in the mental rotation task, some participants try to rotate the stimulus holistically, others use an analytical non-spatial strategy, whereas others make a left–right discrimination of features of the object [4–6].

Individual differences in spatial reasoning are not limited to object-based spatial skills, as mental rotation, spatial visualization or spatial perception among others. They extend to normal navigation. It is of great interest to discover in what different ways our daily spatial problems, such as to find a shortcut, to reformulate a new route, or to find our car in the parking can be solved. Several studies have pointed to differences between males and females showing that males tend to use metric-distances, or cardinal points to resolve mental rotation and geographic knowledge tasks, whereas females prefer to use a route strategy, based on local landmarks and familiar routes [7–10].

Studies focused on visuo-spatial abilities, especially with tasks which require people to imagine different

✉ Clara Zancada-Menendez
zancadaclara@uniovi.es

¹ Laboratorio de Neurociencias, Departamento de Psicología, Universidad de Oviedo, Plaza Feijoo s/n, 33003 Oviedo, Spain

² Instituto de Neurociencias Principado de Asturias (INEUROPA), Oviedo, Spain

³ Department of Psychology, Vanderbilt University, 111 21st Ave South, Nashville, TN 37203, USA

perspectives have allowed researchers to learn more about these individual differences [11–13]. Specifically, Kozhevnikov and Hegarty [14] developed the perspective taking task (PPT) to assess the ability to take different imagined perspectives, a function considered necessary to predict the performance in a large-scale navigation task [15–19]. This task requires the participant to indicate the direction of a target object from an imagined perspective defined by two other objects (e.g., [20]). The difficulty depends in part on the magnitude of the difference between the imagined perspective and the participant's egocentric perspective. Kozhevnikov and Hegarty [14] showed that when they quantified the right–left and front–back errors in the perspective taking task, the errors increased in those items where the angle between the orientation of the array and the perspective to be imagined was higher than 90° . They argued that to resolve these items, it was necessary to change the imagined heading, which required a perspective taking strategy. In those items that implied an angle lower than 90° , only an object manipulation strategy was required, because it did not involve a change in perspective taking.

Due to the importance of spatial orientation abilities in our daily life, several studies have tested the impact of age and gender on this cognitive function [14, 16, 21, 22]. Age-related declines have been widely described in several studies on different spatial tasks, partly due to impairments in several cognitive processes, such as memory, reasoning, attention and speed processing [23–26]. For example, Inagaki et al. [11] using the Piaget's Three-Mountain task, showed a decline in mental rotation and perspective taking in older compared to younger adults. Several studies have also shown worse performance over age in mental rotation tests, which is accentuated when a time limit is imposed [27, 28]. However, according to Herman and Coyne [29], as well as Inagaki et al. [11], older people maintain good performance in mental rotation tests, whereas the ability to acquire mental perspective is impaired. Nevertheless, other studies have shown that the differences between age groups were not so clear. For example, Meneghetti et al. [30] showed that both young and older groups made similar errors in the more demanding items of the PPT. In the same line, Borella et al. [21] found a significant interaction between age and type of pointing judgment (aligned vs. contra-aligned) in pointing error, such that the age groups did not differ for aligned judgments but older adults performed worse than younger adults on contra-aligned judgments. This interaction appeared to occur because older adults made more opposite-quadrant pointing responses than younger adults for contra-aligned but not aligned judgments.

Regarding gender, many studies have assessed differences in brain activation between males and females. For

example, fMRI studies have shown that males have a predominantly parietal activation, whereas females show more activation of prefrontal cortex in a mental rotation task with three-dimensional objects [31]. By contrast, Kaiser et al. [32] found that both genders recruit a similar network of brain regions when they solved a spatial perspective taking task. Generally, the research points toward more accurate and faster performance of males compared to the females in the performance of spatial task.

However, as Jansen and Heil [33] have observed, most studies on the effect of the age on spatial orientation have ignored gender-related differences, so few studies have assessed the effects of these two variables at the same time. To our knowledge, only the studies of Willis and Schaie [34] and Jansen and Heil [33] have studied gender differences at different ages in the mental rotation test. They found worse spatial performance in the older group and worse performance of females compared with males across the lifespan. A potentially important finding is that gender differences decreased with age.

Therefore, due to the relevant role of perspective taking in orientation tasks and the possible effect of age and gender on this cognitive function, our aim was to assess gender differences in the PPT in three age groups: younger adults (19–29 years older), middle-aged adults (30–55 years older) and older adults (56–80 years older). To examine performance differences in greater depth, in addition to measuring correct and incorrect responses, we introduced several other dependent variables, including the categorical angular deviation from the correct pointing quadrant for incorrect responses, the number of opposite responses, the number of unanswered items, and the proportion of incorrect responses for items requiring a perspective change of less than or equal to 90° , and proportion of incorrect responses for items requiring a perspective change greater than 90° .

Materials and methods

Participants

Three groups of 22 younger adults (12 females and 10 males; M 21.36 years, SEM 0.72), 40 middle-aged adults (21 females and 19 males; M 41.95 years, SEM 1.34), 25 older adults (17 females and 8 males; M 62.24 years, SEM 1.17) took part in the experiment. Participants were recruited by announcements in the different departments of the University of Oviedo. To exclude participants with a cognitive impairment or dementia, we used a brief cognitive test, commonly used in Spain, called Fototest [35]. This test assesses several cognitive domains such as memory, language and executive functions, allowing us to

ensure that none of the participants showed cognitive impairment. Only participants who exceeded a score of 29 on the Fototest were included. Also, we excluded volunteers with cerebrovascular disease, Alzheimer disease as well as, with mental disorders. Finally, none of the participants had an occupation that could have resulted in an overtraining in visuo-spatial skills, e.g., pilots or taxi-drivers.

Instrument

The PPT was developed by Kozhevnikov and Hegarty [14]. This test comprises a configuration of seven objects printed on the upper half of an A4 sheet of paper; these objects were visible throughout the test. All objects were easily recognizable and their size was large enough to easily view. On each of the twelve test items, participants had to imagine being at the position of one of the seven objects, facing another, and were asked to indicate the direction to a third object. Each participant received an answer booklet with a separate page for each of the test items. Each item consisted of a circle, the name of an object in the center of the circle, and the name of another object at the top of the circle. Above the circle, there was a sentence that described the task (e.g., “Imagine you are standing at the traffic light and facing the house. Point to the flower”). Subjects indicated the direction of the target object by drawing a line from the center of the circle to its periphery. The imagined standing, facing, and target objects were selected from the seven objects on the page and changed across the 12 items. Participants had a total of 5 min to complete the twelve questions. They were also prevented from rotating the image of the elements or the booklet at any time. Of all the twelve items, six required an angle higher of 90° and the other six lower or equal to 90° .

Procedure

The study was carried out in compliance with the fundamental principles established in the Helsinki Declaration, the Convention of the Council of Europe on human rights and biomedicine, the UNESCO Universal Declaration on the Human Genome and Human Rights as well as the requirements of Spanish law in the field of biomedical research, the protection of personal data and bioethics.

Test sessions took place at the University of Oviedo and lasted about 20 min. At the beginning of the session, each participant was informed about the aims of this research, the confidentiality of their personal data, and signed an informed consent.

Scoring

To score the performance of each participant, we divided the circle surrounding each item into 8 sections of 45° (0° – 45° , 45° – 90° , and so on). The resulting triangles were assigned a score representative of its proximity to the correct area. We gave 1 point to the adjacent sections of the correct area, 2 points to the next contiguous sections, and so on until the opposite segment to the correct position, which was given 4 points. The score for each item was the type of response (correct and incorrect) from which we extracted the number of incorrect answers (ranging between 0 and 12). In the case of an incorrect answer, we also scored the categorical angular deviation from the correct area (1, 2, 3, 4), from which we extracted the total error deviation, which was the average deviation across all items (4 is the worst error deviation $\times 12$ items, leading to a range of 0–48; Fig. 1). We also analyzed the total number of opposite responses (i.e., responses scored as 4 points), as well as the number of items that were not answered at the end of the 5-min answer period. We also examined the proportion of the number of incorrect items involving perspective changes of less than or equal to 90° and those greater than 90° to see if accuracy depended on the magnitude of the perspective change.

Data analysis

Results were analyzed with SPSS 19.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) and were expressed as mean \pm SEM. The results were considered statistically significant if $p < 0.05$ and they were represented graphically with SigmaPlot 8.0 (Systat, Richmond, USA). The dependent variables of the number of incorrect answers, total error deviation, number of opposite answers, number not answered, proportion of incorrect responses for items requiring a perspective change of less than 90° , and proportion of incorrect responses for items requiring a perspective change of more than 90° were analyzed with a two-way multivariate analysis of variance (MANOVA). The factors were “age” (younger, middle-aged and older), and “gender” (male and female). Furthermore, a dependent T analysis for each group comparing the proportion of incorrect response more/less than 90° was conducted to test the influence of this variable in each group separately.

Results

The MANOVA revealed a significant influence of age on the number of incorrect answers, total error deviation, and the proportion of incorrect responses for items requiring a

Fig. 1 Example of an item from the PPT. Participants see the diagram on the left and receive the instructions “Imagine that you are standing at the tree and facing the flower. Point to the house”. The dashed arrow shows the correct response of this item. The green area in the circle on the right shows the correct octant. The numbers represent the error deviation, 4 being the maximum deviation (opposite area to the correct area)

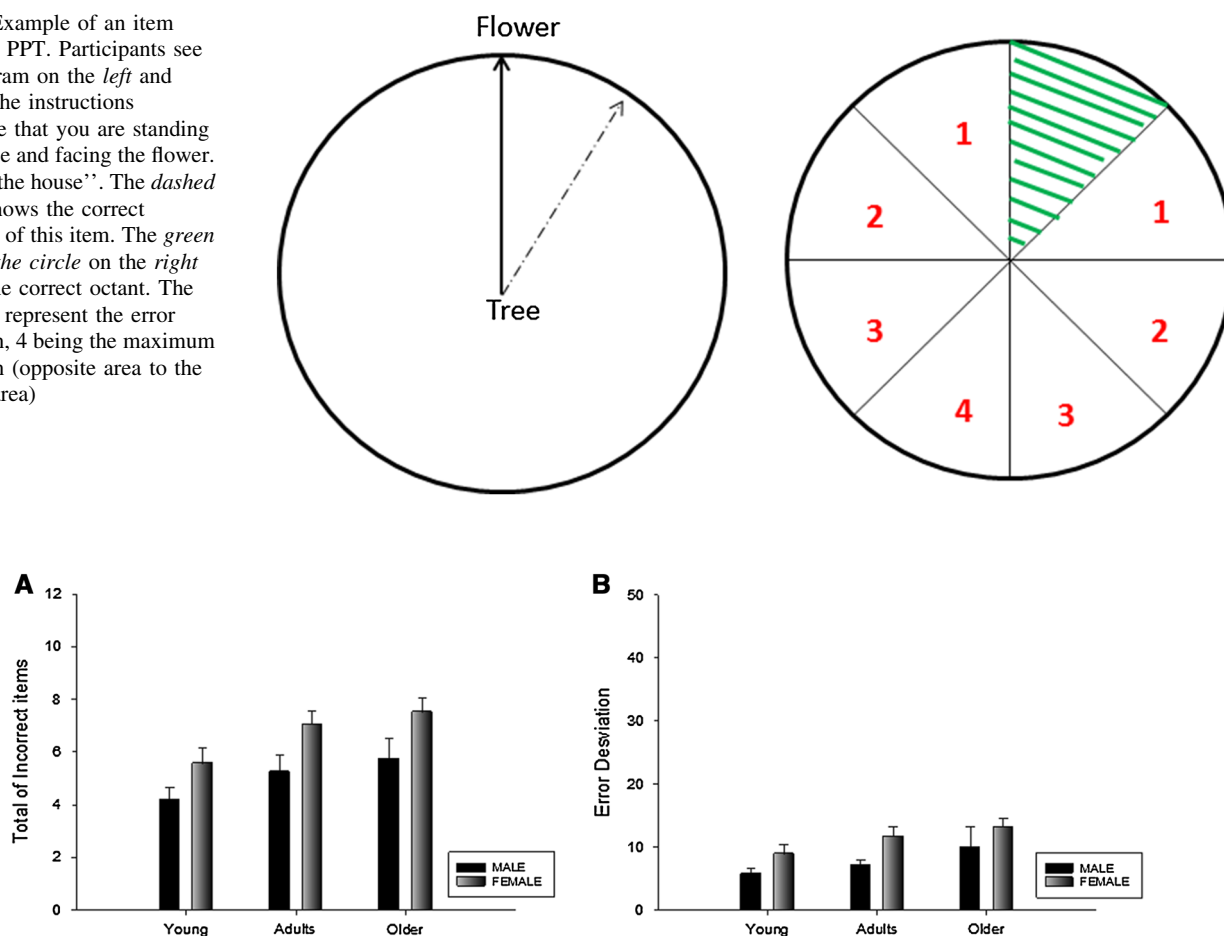


Fig. 2 **a** Number of incorrect items by age and gender. **b** Error deviation plotted as a function of age and gender. Error bars represent one standard error

perspective change of less than 90° ($F_{2,87} = 4.15$, $p = 0.019$, $\eta^2 = 0.09$; $F_{2,87} = 3.32$, $p = 0.04$, $\eta^2 = 0.07$; $F_{2,87} = 9.25$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.18$, respectively). Pairwise comparisons with Bonferroni adjustment showed that the older group had more incorrect answers and their error deviation was higher compared to the younger group ($p = 0.016$; $p = 0.037$, respectively) (Fig. 2a, b). Regarding items with perspective changes less than 90° , the younger group committed fewer mistakes than the middle-aged and older groups ($p = 0.02$, $p = 0.01$, respectively) (Fig. 3a). No significant differences were found between age groups in the number of opposite responses, number of unanswered items, or proportion incorrect with perspective changes greater than 90° ($F_{2,87} = 0.87$, $p = 0.42$; $F_{2,87} = 1.08$, $p = 0.34$; $F_{2,87} = 0.52$, $p = 0.59$, respectively) (Fig. 3b). The result of main interest was that there were no differences between groups in items that required perspective changes greater than 90° , but we found significant age differences in items that required perspective changes less than 90° (Table 1).

To understand this result, we compared both variables (more and less than 90°) within each age group. A dependent T analysis for each group of age was carried out to compare the performance between items that required less than 90° of perspective change with those that required a greater than 90° . This analysis showed an increase in the difficulty in younger and middle-aged groups in those items greater than 90° ($T_{1,21} = -3.82$, $p = 0.001$; $T_{1,39} = -2.49$, $p = 0.017$, respectively), but the older group did not show differences between the two types of response ($T_{1,24} = -0.52$, $p = 0.60$).

Regarding gender, MANOVA revealed significant differences between male and females in the incorrect responses, total error deviation, proportion incorrect with perspective changes greater than 90° , and proportion incorrect with perspective changes less than 90° ($F_{1,87} = 10.03$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.13$; $F_{1,87} = 7.24$, $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.11$; $F_{1,87} = 7.49$, $p = 0.008$, $\eta^2 = 0.07$; $F_{1,87} = 9.70$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.10$, respectively; Figs. 2a, b, 3a). For these variables, male

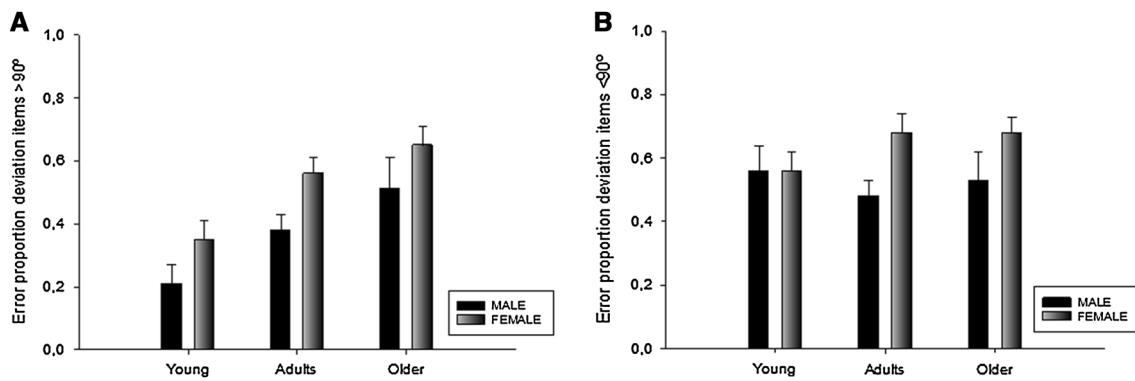


Fig. 3 **a** Proportion of errors on items requiring a perspective change greater than 90° by age and gender. **b** Proportion of errors on items requiring a perspective change less than or equal to 90° by age and gender. *Error bars* represent one standard error

Table 1 Performance of each age and gender group in different measures of the task (Mean±SEM)

	Young (<30 years)		Adult (30–55 years)		Old (>55 years)	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Incorrect responses	4.20 ± 0.48	5.58 ± 0.58	5.26 ± 0.60	7.04 ± 0.51	5.75 ± 0.77	7.52 ± 0.55
Error deviation	5.80 ± 0.85	9 ± 1.43	7.10 ± 0.96	11.71 ± 1.57	10 ± 3.20	13.17 ± 1.50
Opposite answer	0	0.33 ± 0.18	0.10 ± 0.07	0.42 ± 0.21	0.37 ± 0.26	0.47 ± 0.17
No answer	0.80 ± 0.53	0	0	0.52 ± 0.22	0.50 ± 0.50	0.82 ± 0.44
Items less than 90°	0.21 ± 0.06	0.35 ± 0.06	0.38 ± 0.05	0.56 ± 0.05	0.51 ± 0.10	0.65 ± 0.63
Items more than 90°	0.56 ± 0.08	0.56 ± 0.06	0.48 ± 0.05	0.68 ± 0.06	0.53 ± 0.09	0.68 ± 0.05

performance was better than female performance. No significant differences were found in the number of opposite responses or the number of unanswered items ($F_{1,87} = 2.6$, $p = 0.11$; $F_{1,87} = 0.003$, $p = 0.95$, respectively). Nevertheless, the interaction between age and gender did not show significant differences in any of the variables measured (incorrect answers $F_{2,87} = 0.06$, $p = 0.94$; total error deviation $F_{2,87} = 0.148$, $p = 0.86$; opposite answers $F_{2,87} = 0.23$, $p = 0.79$; unanswered items $F_{2,87} = 2.27$, $p = 0.11$; perspective change less than 90° $F_{2,87} = 0.08$, $p = 0.91$; perspective change greater than 90° $F_{2,87} = 0.96$, $p = 0.38$).

Discussion

Consistent with the literature, we found age-related impairments in spatial performance [36–39]. Even the middle-aged group showed worse performance on the PPT relative to the younger group in the simplest items. However, when the task became complicated, the performance of participants in the younger group worsened, eliminating the differences between age groups. Also, in line with the literature, we found a gender effect, in which females had worse performance than males [33, 40]. The most interesting result was found when we compared each age group

separately. These comparisons showed that in the younger and middle-aged groups, the task was more difficult when the degree of deviation increased. Thus, our results are consistent with those of Kozhevnikov and Hegarty [14], who found an increase in errors when the angle between the orientation of the array and the perspective to be imagined exceeded 90°.

Our results showed that the performance of the younger group was better than the older group in the total of incorrect items and error deviation variables. This result is consistent with other studies showing that in a large variety of spatial tasks (learning from maps, estimating distances, map drawing, path integration, etc.) performance is poorer for older participants [41, 42]. As Jansen and Heil [33] have determined, in the aging process, important cognitive functions, such as visuo-spatial abilities and working memory may be impaired. On the other hand, in contrast to Borella et al., [21] we did not find significant differences between age groups in the number of opposite responses. Opposite responses (four points of deviation in our scoring) were not frequent answers in any age group. In fact, even the older group, which showed the worst performance throughout the task, did not show a higher average in this variable. On the other hand, regarding the total number of items unanswered for lack of time, we did not find significant differences between groups. Thus, in our study, the

high complexity of the task could have been the most important factor modulating the performance of the groups, making the number of items unanswered similar across groups. Although older people usually require more time to complete the tasks, due in part to a reduction in processing speed, in our study this variable seemed not to be significant [28, 43–45].

The middle-aged group did not show significant differences relative to the younger and older groups in the number of incorrect items and in the error deviation. However, the middle-aged group performed worse than the younger group on items requiring a perspective change less than 90°. Thus, it seems that the performance of middle-aged adults was more similar to the older group than to the younger group.

With the aim of understanding better this result, we decided to analyze the performance of each group separately for items requiring perspective changes of less than vs. greater than 90°. Results showed significant differences between these variables for the younger and middle-aged groups but no significant difference for the older group. These results suggest that in the younger and middle-aged groups, those items that required more than 90° of perspective change were more complicated to resolve than those lower than 90°. Previous studies in this field of research have reported similar effects when comparing aligned and misaligned judgments in this kind of perspective taking task [30]. Other research has shown greater speed and accuracy in the performance of perspective taking tasks as the angular disparity of the items decreased [49, 50]. Specifically, Kozhevnikov and Hegarty [14] showed in an adult group that there were fewer reflection errors (defined as responses within 20° of the reflection of the correct response through the horizontal, vertical, or both axes) for items involving a perspective change of less than 90°.

Although the pattern of performance in the younger group was similar to the middle-aged group, when we compared the performance of these groups for those items requiring less than 90° perspective change, the middle-aged group performed significantly worse than the younger group. This finding is consistent with other studies which have revealed the appearance of impairments in orientation skills in the late forties [46]. Finally, regarding the older group, although generally the studies that have evaluated performance in perspective changing tasks have shown worse performance in this age group as the difficulty of the task increases [51, 52], we believe that in our study no differences were found due to a floor effect. The performance of the older participants on the simple items (less than 90°) was already poor, limiting the amount of measurable decline for the complex items (over 90°).

Another aim of this study was to assess gender-related differences in the PPT at different ages. It should first be

noted that the number of men and women in each age group in this study was not the same; so the results should be interpreted with some caution. Nevertheless, the results obtained in this study were consistent with previous studies showing generally poorer performance of females compared to males in navigation directions based on cardinal points or metric distance, among others [44, 47, 48]. We found that males had significantly better performance in the variables incorrect responses, error deviation and also in the items requiring perspective changes of less and over than 90°, regardless of the age. Nevertheless, it is noteworthy that the group \times gender interaction did not show significant differences. Other recent studies, using the PPT, have also indicated similar gender differences across age groups [21, 30].

Conclusions

Overall, our results showed that the PPT is a difficult task, especially for items that required a higher degree of perspective change. The worst performance occurred for the older group. With respect to gender, we found generally worse performance for females than males, but we did not find significant differences in the interaction of age \times gender. Thus, our results lead to an interesting open line of research about which factors could be modulating the impact of age and gender in spatial orientation tasks. Finally, this research shows how a more detailed examination of the results, through the introduction of additional dependent variables, was useful for understanding performance, especially when the age variable is evaluated.

Acknowledgments We would like to thank all participants who gave their time. This work was supported by Ficyt 11-144 Grant and PSI 2013 42704P project.

Compliance with Ethical Standards

Conflict of interest None.

Ethical approval All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

Informed consent Informed consent was obtained from all individual participants included in the study. All participants signed an informed consent form prior to being interviewed.

References

1. Fields AW, Shelton AL (2006) Individual skill differences and large-scale environmental learning. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 32:506–515

2. Kyllonen PC, Lohman DF, Woltz DJ (1984) Componential modeling of alternative strategies for performing spatial tasks. *J Educ Psychol* 76:1325–1345
3. Shelton AL, Gabrieli JD (2004) Neural correlates of individual differences in spatial learning strategies. *Neuropsychology* 18:442–449
4. Just MA, Carpenter PA (1985) Cognitive coordinate systems: accounts of mental rotation and individual differences in spatial ability. *Psychol Rev* 92:137–172
5. Jordan K, Wüstenberg T, Heinze HJ et al (2002) Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. *Neuropsychologia* 40:2397–2408
6. Pezaris E, Casey MB (1991) Girls who use “masculine” problem-solving strategies on a spatial task: proposed genetic and environmental factors. *Brain Cognit* 17:1–22
7. Dabbs JM, Chang EL, Strong RA et al (1998) Spatial ability, navigation strategy, and geographic knowledge among men and women. *Evol Hum Behav* 19:89–98
8. Ruggiero G, Sergi I, Iachini T (2008) Gender differences in remembering and inferring spatial distances. *Memory* 16:821–835
9. Nori R, Mercuri N, Giusberti F et al (2009) Influences of gender role socialization and anxiety on spatial cognitive style. *Am J Psychol* 4:497–505
10. Wolbers T, Hegarty M (2010) What determines our navigational abilities? *Trends Cogn Sci* 14:138–146
11. Inagaki H, Meguro K, Shimada M et al (2002) Discrepancy between mental rotation and perspective-taking abilities in normal aging assessed by Piaget’s three-mountain task. *J Clin Exp Neuropsychol* 24:18–25
12. Wraga M, Creem SH, Proffitt DR (2000) Updating displays after imagined object and viewer rotations. *J Exper Psychol Learn Mem Cogn* 26:151–168
13. Hegarty M, Waller D (2004) A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence* 32:175–191
14. Kozhevnikov M, Hegarty M (2001) A dissociation between object-manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Mem Cognit* 29:745–756
15. Holding CS, Holding DH (1989) Acquisition of route network knowledge by males and females. *J Gen Psychol* 116:29–41
16. Kozhevnikov M, Motes MA, Rasch B et al (2006) Perspective-taking vs. mental rotation transformations and how they predict spatial navigation performance. *Appl Cogn Psychol* 20:397–417
17. Meneghetti C, Pazzaglia F, De Beni R (2015) Mental representations derived from spatial descriptions: the influence of orientation specificity and visuospatial abilities. *Psychol Res* 79:289–307
18. Montello DR (1991) Spatial orientation and the angularity of urban routes: a field study. *Environ Behav* 23:47–69
19. Pazzaglia F, Taylor HA (2007) Perspective, instruction, and cognitive style in spatial representation of a virtual environment. *Spat Cogn Comput* 7:349–364
20. Shelton AL, McNamara TP (1997) Multiple views of spatial memory. *Psychon B Rev* 4:102–106
21. Borella E, Meneghetti C, Muffato V et al (2014) Map learning and the alignment effect in young and older adults: how do they gain from having a map available while performing pointing tasks? *Psychol Res* 79:104–119
22. Zaehle T, Jordan K, Wüstenberg T et al (2007) The neural basis of the egocentric and allocentric spatial frame of reference. *Brain Res* 1137:92–103
23. Devlin AS (2001) *Mind and maze: spatial cognition and environmental behavior*. Praeger, New York
24. Kirasic KC (2001) Aging and spatial behavior in the elderly adult. In: Kitchin R, Freundschun S (eds) *Cognitive mapping: past, present, and future*. Routledge Frontiers of Cognitive Science. Taylor and Francis, Boca Raton, pp 166–178
25. Lithfous S, Dufour A, Despres O (2013) Spatial navigation in normal aging and the prodromal stage of Alzheimer’s disease: insights from imaging and behavioral studies. *Ageing Res Rev* 12(201):213
26. Salthouse TA, Babcock RL, Skovronek E et al (1990) Age and experience effects in spatial visualization. *Dev Psychol* 26:128–136
27. Cerella J, Poon LW, Fozard JL (1981) Mental rotation and age reconsidered. *J Gerontol* 36:360–624
28. Sharps M, Gollin E (1987) Speed and accuracy of mental image rotation in young and elderly adults. *J Gerontol* 42:342–344
29. Herman JF, Coyne AC (1980) Mental manipulation of spatial information in young and elderly adults. *Dev Psychol* 16:537–538
30. Meneghetti C, Fiore F, Borella E et al (2011) Learning a map of environment: the role of visuo-spatial abilities in young and older adults. *Appl Cogn Psychol* 25:952–959
31. Hugdahl K, Thomsen T, Ersland L (2006) Sex differences in visuo-spatial processing: an fMRI study of mental rotation. *Neuropsychologia* 44:1575–1583
32. Kaiser S, Walther S, Nennig E et al (2008) Gender-specific strategy use and neural correlates in a spatial perspective taking task. *Neuropsychologia* 46:2524–2531
33. Jansen P, Heil M (2009) Gender differences in mental rotation across adulthood. *Exp Aging Res* 36:94–104
34. Willis SL, Schaie KW (1988) Gender differences in spatial ability in older age: longitudinal and intervention findings. *Sex Roles* 18:189–203
35. Carnero-Pardo C, Montoro-Ríos MT (2004) Test de las Fotos. *Rev Neurol* 39:801–806
36. Driscoll I, Hamilton DA, Yeo RA et al (2005) Virtual navigation in humans: the impact of age, sex, and hormones on place learning. *Horm Behav* 47:326–335
37. Duffy CJ (2009) Visual motion processing in aging and Alzheimer’s disease: neuronal mechanisms and behavior from monkeys to man. *Ann N Y Acad Sci* 1170:736–744
38. Linn MC, Petersen AC (1985) Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: a meta-analysis. *Child Dev* 56:1479–1498
39. Mahmood O, Adamo D, Briceno E et al (2009) Age differences in visual path integration. *Behav Brain Res* 205:88–95
40. Voyer D, Voyer S, Bryden M (1995) Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychol Bull* 117:250–270
41. Newman MC, Kaszniak AW (2000) Spatial memory and aging: performance on a human analog of the Morris Water Maze. *Aging Neuropsychol C* 7:86–93
42. Moffat SD, Resnick SM (2002) Effects of age on virtual environment place navigation and allocentric cognitive mapping. *Behav Neurosci* 116:851–859
43. Eckert MA (2011) Slowing down: age-related neurobiological predictors of processing speed. *Front Neurosci* 5:1–13
44. Hertzog C (1989) Influence of cognitive slowing on age-differences in intelligence. *Dev Psychol* 25:636–651
45. Salthouse TA, Ferrer-Caja E (2003) What needs to be explained to account for age-related effects on multiple cognitive variables? *Psychol Aging* 18:91–110
46. Liu I, Levy RM, Barton JJ et al (2011) Age and gender differences in various topographical orientation strategies. *Brain Res* 1410:112–119
47. Bell S, Saucier D (2004) Relationship among environmental pointing accuracy, mental rotation, sex, and hormones. *Environ Behav* 36:251–265

48. Saucier DM, Green SM, Leason J et al (2002) Are sex differences in navigation caused by sexually dimorphic strategies or by differences in the ability to use the strategies? *Behav Neurosci* 116:403–410
49. Kessler K, Thomson LA (2010) The embodied nature of spatial perspective taking: embodied transformation versus sensorimotor interference. *Cognition* 114:72–88
50. Zacks JM, Michelon P (2005) Transformations of visuospatial images. *Behav Cogn Neurosci Rev* 4:96–118
51. Aubrey JB, Li KZH, Dobbs AR (1994) Age differences in the interpretation of misaligned “you-are-here” maps. *J Gerontol* 49:29–31
52. De Beni R, Pazzaglia F, Gardini S (2006) The role of mental rotation and age in spatial perspective taking tasks: when age does not impair perspective-taking performance. *Appl Cogn Psychol* 20:807–821

3.3 Artículo 3

Influence of bidirectional perspective on learning routes and spatial layout.

Zancada-Menéndez, C., Qiliang, H., Sampedro-Piquero, P., López, L., y McNamara, T. (2016). *Journal of Cognitive Psychology*

Doi:10.1080/20445911.2016.1143476

ABSTRACT

The capacity to remain spatially oriented is an essential function in our day to day lives and it seems that the form in which we acquire the spatial information affects the way in which the spatial knowledge is represented in our memory. The goal of this research was to investigate whether the acquisition of spatial information through the learning of three routes within an immersive environment was improved or impaired when participants have access to the backward perspective in addition to the forward perspective. Participants in the unidirectional group walked three paths from start to finish and only experienced each path in the forward direction. Participants in the bidirectional group walked the same three paths but alternating forward and backward directions. Next, in a mapping task, both groups drew the paths and located the landmarks. Results, both in reproduction and drawing tasks, showed worse performance for the bidirectional perspective group. Our results suggest that the extra-effort involved in updating the spatial information trial by trial (due to the change of perspectives), was responsible for the poorer performance in the bidirectional group. However it seems that the experience enhanced the performance of the bidirectional group in one respect, as participants in this group were able to reduce significantly the number of error directions in the last path.

Influence of bidirectional perspective on learning routes and spatial layout

Clara Zancada-Menéndez¹, Qiliang He², Patricia Sampedro-Piquero¹, Laudino Lopez¹., and Timothy P. McNamara²

¹Department of Psychology, University of Oviedo, Spain

² Department of Psychology, Vanderbilt University, Nashville, USA

(Received 28 July 2015; accepted 12 January 2016)

The capacity to remain spatially oriented is an essential function in our day to day lives and it seems that the form in which we acquire the spatial information affects the way in which the spatial knowledge is represented in our memory. The goal of this research was to investigate whether the acquisition of spatial information through the learning of three routes within an immersive environment was improved or impaired when participants have access to the backward perspective in addition to the forward perspective. Participants in the unidirectional group walked three paths from start to finish and only experienced each path in the forward direction. Participants in the bidirectional group walked the same three paths but alternating forward and backward directions. Next, in a mapping task, both groups drew the paths and located the landmarks. Results, both in reproduction and drawing tasks, showed worse performance for the bidirectional perspective group. Our results suggest that the extra-effort involved in updating the spatial information trial by trial (due to the change of perspectives), was responsible for the poorer performance in the bidirectional group. However it seems that the experience enhanced the performance of the bidirectional group in one respect, as participants in this group were able to reduce significantly the number of error directions in the last path.

Keywords: multiple paths, change of perspectives, experience, interference, immersive virtual reality, environment representation.

It is common in daily life that when we have to learn a new route we take references by looking back so as not to get lost on the return. Even when we drive to a new place, we may feel more confident about not getting lost by looking at points along the way to use them as milestones when we return. We live in a world under constant spatial change (shops' locations, roads' directions, new building constructions), so we need to update frequently the spatial information (Avraamides,

2013). The environmental information can be acquired through a route perspective (e.g., focusing on landmarks & turns), survey perspective (e.g., using a map to orient ourselves) or even through verbal directions, among others. Thereby, when a flexible acquisition of the spatial information of an environment is achieved, a more complete internal representation of the environment may be created.

Correspondence should be addressed to Clara Zancada Menéndez, Department of Psychology, University of Oviedo. E-mail: zancadaclara@uniovi.es

We would like to thank all participants who gave their time. This work was supported by Ficyt 11-144 grant and PSI 2013 42704P project and by grants from the National Science Foundation (HCC 0705863, MRI 0821640; R. Bodenheimer, PI; TPM Co-PI).

No potential conflict of interest was reported by the authors.

This kind of knowledge, called *survey knowledge* or a *cognitive map*, implies a flexible internal representation of the environment, not necessarily associated with a specific orientation, where spatial relations can be inferred from any perspective (Wolbers & Hegarty, 2010).

Ittelson (1973) observed that “the environment is larger than and surrounds the human body, so that a person cannot grasp the layout of the environment in its entirety from a single viewpoint”. This observation reflects perfectly the interest that spatial cognition researchers have had in topics such as orientation, perspective in space or mental rotation in the construction of survey knowledge (Brockmole & Wang, 2003; Hanley & Levine, 1983; Rieser, 1989; Wang, 2005; Wraga et al., 2000). Some studies have questioned the distinction between mental rotation and perspective taking as they are often highly correlated (Goldberg & Meredith, 1975, Vincent & Allmandinger, 1971). More recent studies have supported a distinction between them (Hegarty & Waller, 2004; Kozhevnikov & Hegarty, 2001). Currently perspective taking is understood as the ability to imagine the appearance of a scene from different viewpoints, whereas mental rotation refers to the ability to produce a spatial transformation of a perceived object, which does not imply taking a different perspective in space (Watanabe & Takamatsu, 2014). Although usually specific tasks are used to measure this perspective taking ability such as Perspective Taking Task (Kozhevnikov & Hegarty, 2001), Piaget Three Mountain Task (Piaget & Inhelder, 1956), pointing direction task (Kozhevnikov et al. 2006) or Card Rotation Test (French et al., 1963) a way to measure it directly is through the recall of forward and backward spatial information in a route learning task. The backward information could serve as an anticipatory recall when we try to maintain the spatial information of a new route. In fact, some studies suggest that one of the most common instructions to avoid getting lost, for example during hiking, is to look back prior to the return

trip. Anthropological studies showed that in hunter-gatherer cultures novices were instructed to look back when experienced travelers pointed out a milestone on the route (Gould, 1969; Gatty, 1958; Nelson, 1969).

Previous studies in real-world environments measured the effect of bidirectionality by asking for learning of both directions of a new route (Golledge et al., 1993; Moar & Carleton, 1982). In Golledge et al.’s (1993) study, numerous photographs were taken of a real environment and participants learned two routes through the environment from these pictures presented one by one. Two experimental groups were created: unidirectional and bidirectional. In the unidirectional group, participants learned the routes from one direction (i.e., forward direction) and performed a route-sequencing task measuring route knowledge after every two learning trials. In the bidirectional group, participants learned the routes from two directions (i.e., forward and backward direction) and also performed the sequencing task after two learning trials, which always consisted of one forward-direction learning trial and one backward-direction learning trial. The number of learning trials for both groups was equalized; hence, participants in the unidirectional group experienced the routes from the forward direction twice as often as did participants in the bidirectional group. Golledge et al. (1993) showed that the unidirectional group outperformed the bidirectional group in terms of route knowledge, and their results also implied that the unidirectional group had better survey knowledge of the environment, although the advantage was not large and the authors did not report statistical results for this measurement.

Heth et al. (2002) assessed the performance of children and adults in a route reversal task in which just one group of participants was advised to find the way back. They discovered that trying to find the way back, when participants had not expected to do so, led to increased difficulty in completing the task. Nevertheless, when participants were instructed to look back in anticipation to the return, their reversal

performance was improved. Other research has also pointed to the benefits that result by using a backward chaining wayfinding program in persons with Alzheimer Disease to help them not be lost in new environments (Caffò et al., 2014). In this program, paths were divided into manageable segments and then learned in reverse order (final segment to destination, penultimate segment, etc.).

In addition to the change of perspective, many other factors may also affect spatial information acquisition. Those most relevant to the current study are working memory updating (Botto et al., 2014), experience (Fields & Shelton 2006; Baenninger & Newcombe, 1989; Bosco et al., 1996), and proactive interference (PI) (Solesio-Jofre et al., 2011). Morris and Jones (1990) pointed out that updating processes become crucial to the monitoring and selection of incoming information. A number of studies have found that increasing experience with an environment leads to more detailed and accurate spatial mental models (Kuipers et al., 2001; Lee & Tversky, 2005). Fields and Shelton (2006) found that even three trials of learning were insufficient for a successful coding of both survey and route knowledge in a virtual environment task. Recently Greenauer et al. (2013) suggested that the acquisition of spatial knowledge about important locations in our surroundings frequently does not occur during a single experience. In over a century of research, PI has been shown to be a powerful influence on memory processes, sometimes being a key factor in the acquisition of the information (Chelonis et al., 2014). However some authors consider that although these factors are important in spatial information acquisition, they do not eclipse the importance of perspective changes in the acquisition of spatial information (Watanabe & Takamatsu, 2014; Xiao et al., 2009).

Despite the involvement that the change of perspective seems to have in the acquisition of

new spatial information, as far as we know, no previous studies using immersive virtual reality have examined the acquisition of forward and backward perspectives of routes and the possible interference between them. Virtual reality (VR) techniques enable investigations in more controlled settings (e.g., prior familiarity with and structure of the environment), thereby mitigating potential methodological limitations of research in real environments (Rizzo et al., 2002, 2004; Schultheis et al., 2002). Immersive VR technology, in particular, affords users natural body-based cues to self-motion, which can be important in spatial knowledge acquisition (Chrastil & Warren, 2013; Ruddle et al., 2011). The development of these techniques has been a great advance in this field of study, as they combine methodological precision with ecological validity (Hardiess & Mallot, 2015). A principal aim of the present study was therefore to determine whether past findings on the role of perspective in route learning would be replicated in immersive virtual reality. Since those few studies that use slides or real environments had indicated that bidirectional perspectives produce lower task performance (Golledge et al., 1993; Cornell et al., 1992, 1994, 1996; Moar & Carleton, 1982). Our first aim was to assess whether this pattern of results would appear in immersive virtual reality and the role of factors, such as experience and interference which, as noted above, are relevant factors in the field of spatial cognition. To this end, we developed a route learning task composed of three routes in which one group of participants performed the routes unidirectionally and the other group performed the routes bidirectionally. Our second aim was to discover if this extra-perspective information leads to a better integration of the spatial information from the three routes or in contrast, it produces the opposite effect. Although gender differences were not the principal focus of the current project, because some research indicates that males and females may differ in spatial skills (Coluccia & Louse, 2004; Kaiser et al.

2008; Li, 2014), we included the comparison of males and females in this research.

Material and Methods

Participants

A group of 37 participants (21 females and 16 males; $M=21.05$ years, $SD=4.28$, range=18-32 years) volunteered in return for extra credit in psychology courses at Vanderbilt University. Participants were divided into two learning groups. The unidirectional group (9 females and 7 males) learned the forward direction of each path and the bidirectional group (12 females and 9 males) learned the forward and backward direction of each path.

Stimuli and design of the virtual task

The virtual maze stimuli were presented through an nVisor SX60 (from NVIS, Reston, VA) head mounted display (HMD), which presented stereoscopic images at 1280×1024 pixel resolution, refreshed at 60 Hz. The HMD field of view was 47° horizontal by 38° vertical. Graphics were rendered by a 3.0 GHz Pentium 4 processor with a GeForce 6800 GS graphics card using Vizard software (WorldViz, Santa Barbara, CA). An optical tracking system (PPTX4; WorldViz, Santa Barbara, CA) tracked head position. Drifting of the inertial sensor was corrected by optical tracking. Graphics displayed in the HMD were updated based on sensed head position and orientation. As such, participants' physical movements resulted in smooth visual movements through the virtual world.

The environment was set in a square garden, the floor was textured with gravel, the walls were textured with vegetation and the sky was light blue. The garden was 5 m (length) x 5 m (width) x 2.29 m (height). The size of the hedge, was 1 m x 1 m x 2.5 m. The environment contained a total of 9 landmarks (bench, hydrant, trash can, streetlight, soccer ball, plant, sculpture, ladder and a chainsaw), allowing

participants to take spatial references along the paths (red, blue and black). Landmarks were distributed in the environment such that participants viewed in each path almost the same number of them (6 landmarks in red and black paths, 7 in blue path). The task consisted of following three paths (red, blue, black), each of which was 9 m in length, and started and finished in a different position of the environment. All six orders of the three paths (e.g., red, blue, black; red, black, blue; blue, red, black) were used and starting point of the path was counterbalanced across participants (e.g., half started at A, half started at B) in both experimental groups, (Fig.1. A, B).

Stimuli and design of the mapping task

Each participant was given a printed map of the virtual environment that had just been experienced. This map contained the grid perimeter and the interior columns that formed the labyrinth. Due to the complexity of the task, the map also contained a painted arrow indicating where each path had begun. Each participant received the map appropriate to the counterbalancing condition to which the participant had been assigned. On a separate sheet of paper participants had the instructions and a list with all the landmarks that were in the environment.

The task was to draw inside the map the position of the landmarks, as well as paint with three different pencil colors (red, blue and black) the routes through the labyrinth.

Procedure

Each test session (lasting around 45 minutes) took place in the Learning in Virtual Environments Laboratory (LiVE Lab) at Vanderbilt University. Participants were informed about the aims of the research, questionnaires and the confidentiality of their personal data and declared informed consent. All procedures were approved by the Vanderbilt University IRB.

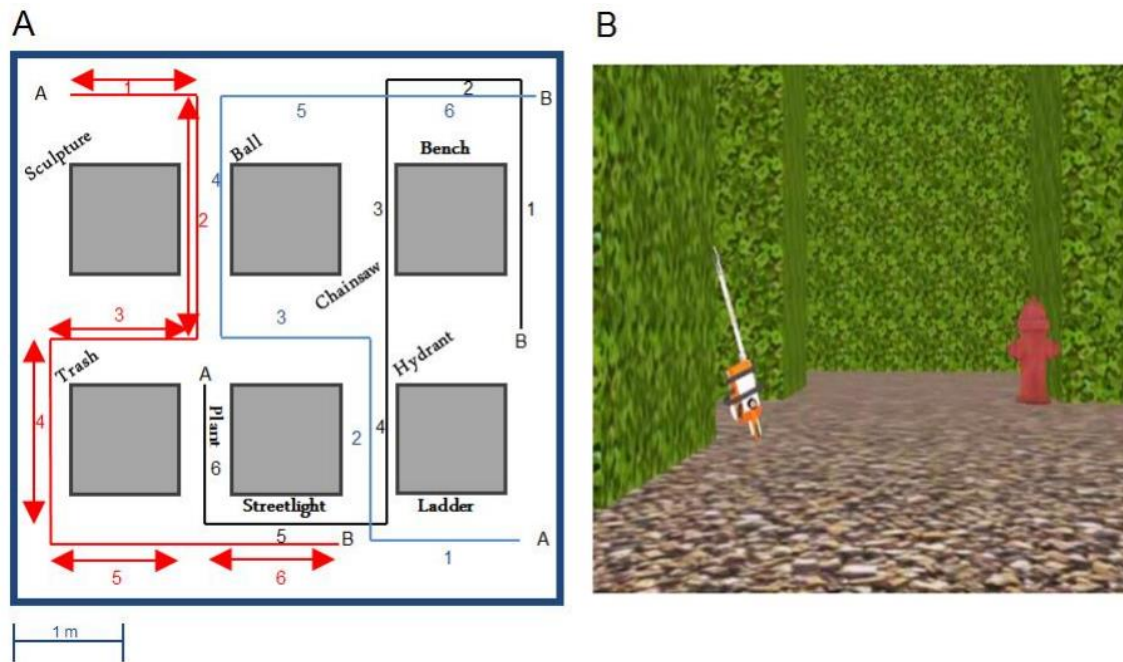


Fig. 1. A. Path segments in mapping task. The image shows how each path was divided into six segments to score the degree of path recall in the mapping task. B. Example of one virtual environment view of the participants in the red path.

Acquisition phase

First, the experimenter met the participant in front of the learning room. After providing informed consent, participants were informed about the immersive virtual reality technology, as well as about the task that they would have to perform in the environment set in a garden. Before starting the first acquisition trial, participants were instructed to follow the direction of the pointing arrows that would appear on the floor in each intersection along the route (each arrow had a different color—red, blue or black—and thus could differentiate the paths). Once the participant had followed an arrow to its end, the arrow disappeared, and a new one appeared in the next intersection, and so on. The end of the path was indicated by the experimenter once the participant reached it. The instructions given to participants were identical for both groups, to pay attention to all the elements of the environment so that they would be able to reproduce the path without arrows.

The participants of the bidirectional group were not informed that they will be asked to walk the route in the reverse direction. We were concerned that some participants might look back along the paths to perform better on the next trial and we could not control this behavior. Moreover, our aim was not to ascertain the benefit of looking back on the outbound journey (e.g., Cornell et al, 1992).

Participants in both experimental groups learned each path in the forward direction. Once the acquisition trial of the first path ended, the virtual environment was turned off (the screen became black), and the participants were guided in darkness to the start position. Then the first trial of the testing phase started (Fig.2).

Testing phase

Participants were asked to reproduce without the arrows the same path which they had just seen in the acquisition phase. The unidirectional group reproduced the path in the same direction on 4 consecutive trials. Thus in this group, once the

participant finished with one trial, the virtual environment was turned off (as in the acquisition phase) and the participant was guided by the experimenter to the start position. In the case of the bidirectional group, once the participant finished with the first trial, the environment was also turned off, and the participant was turned around, the environment was turned on again, and the participant then attempted to walk the path in reverse order. The bidirectional group therefore attempted to reproduce each path in the following sequence: forward, backward, forward, backward. If participants went in a wrong direction in a test trial, the message "incorrect direction" was displayed in the HMD, and the researcher encouraged the participant to find the right direction. These were recorded as reproduction errors.

Once the participant completed the testing trials of the first path (four trials), the acquisition phase of the second path began. Participants were positioned (with the virtual environment turned off) at another start point in the room and told to follow again the arrows to learn the next path. Learning of the 2nd path was followed by testing. The same protocol was used for the third path (Fig.2). Thus each participant took part in a total of 3 learning trials and 12 testing trials during the whole experiment.

Once participants had completed the test trials of the third route, they removed the HMD and were seated at a nearby desk to perform the mapping task (the delay between completion of test trials and starting the mapping task was not measured or controlled, but we estimate that it was on order of 5 minutes). Participants were provided with the printed map of the virtual environment, the three pencil colors (red, blue and black), and a sheet of paper on which were written the instructions as well as, in random order, the names of the landmarks that configured the environment. Participants then were instructed to draw on the paper map each of the three routes in the appropriate color

(the color of the arrows in the training trials), and write the position in the environment of all the landmarks.

Data analysis

Results were analyzed with SPSS 19.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) and were expressed as mean \pm SEM. The results were considered statistically significant if $p \leq 0.05$. The three *paths* were considered as a within-factor and *group* as a between-factor. Mixed ANOVAs were performed on total errors in each path (first, second and third), and total duration (time required to finish each path). Appropriate post hoc comparisons were conducted when significant differences were found (Bonferroni test). We introduced as co-variables the counterbalancing groups corresponding to the order in which participants learned the paths (red, blue, black; red, black, blue; etc.) and to the order in which each path was learned (A to B vs. B to A).

We also compared the mapping task performance between groups. The dependent measures were the number of path segments correctly recalled and the number of landmarks in the correct position. We divided each path into six segments (based on where there was a decision about direction of travel) to rate more accurately the drawn paths (Fig.1 A).

Thus we measured the correct segments and omitted segments (forgetting a segment, making the path shorter). For the landmarks score, we consider a landmark to be in the correct position only if it was located in the correct position with respect to the walls and corners (e.g., a landmark located at a corner had to be placed at the corner and not along one of the adjoining walls).

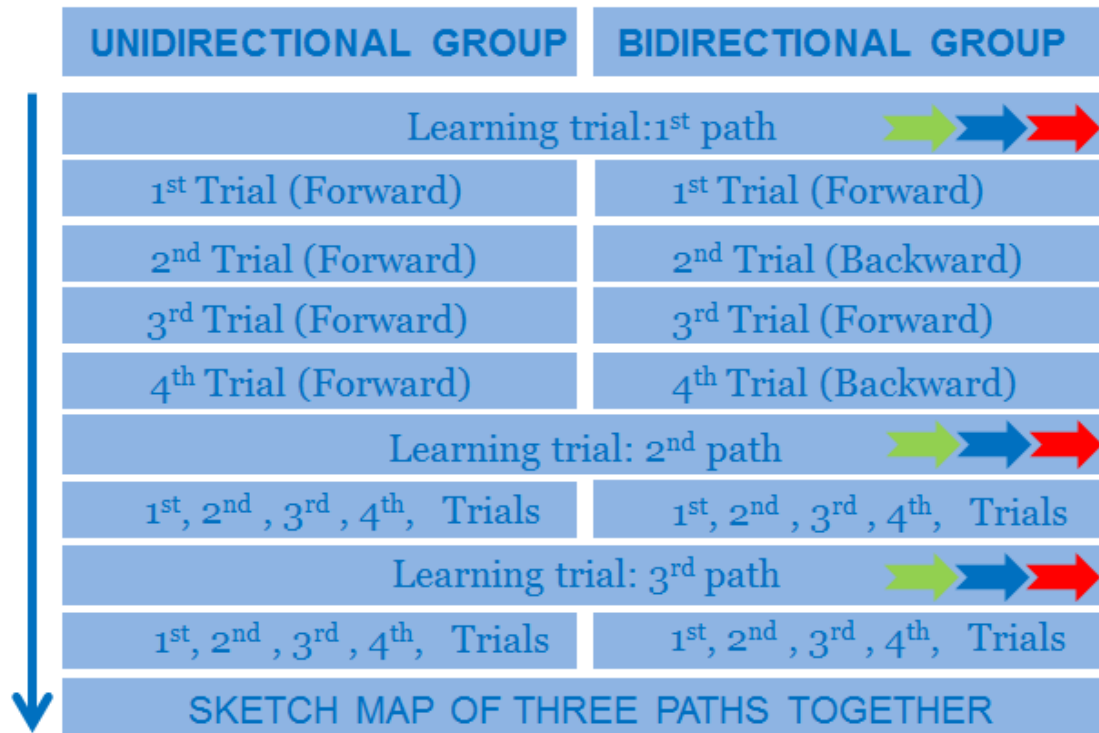


Fig. 2. Diagram of the protocol used for the two learning groups.

Results

Virtual environment results

Reproduction Errors

Repeated measures ANOVA showed that the factor path (first, second and third) was not significant ($F_{2,64}=2.28$, $p=0.12$). The effect of group was significant ($F_{1,32}=8.96$, $p=0.005$), with the unidirectional group committing fewer direction errors than the bidirectional group. The co-variables corresponding to the counterbalancing groups of path color (red, blue and black) and starting position (A, B) did not show significant differences ($F_{1,32}=0.01$, $p=0.90$; $F_{1,32}=1.06$, $p=1.31$ respectively). Finally the interaction group x path showed no significant differences ($F_{2,64}=2.38$, $p=0.1$). (Fig.3 A).

To verify that the overall worse performance in the bidirectional group was not caused by intrinsic group differences or by poorer learning,

we examined performance for the two groups on the first test trial. One-way ANOVA showed no significant differences between groups along the three paths ($F_{1,36}=2.11$, $p=0.15$; $F_{1,36}=1.93$, $p=0.17$; $F_{1,36}=0.71$, $p=0.40$) (Table 1).

We then tested the effect of change of perspective by comparing performance on the second test trial (second forward direction in the unidirectional group and the first backward direction in the bidirectional group). These analyses showed significantly better performance for the unidirectional group in the first and second paths but not in the third ($F_{1,36}=7.94$, $p=0.008$; $F_{1,36}=7.63$, $p=0.009$; $F_{1,36}=2.20$, $p=0.14$ respectively) (Table 1).

Table1. Shows the errors reproduction committed along the testing phase trials of both experimental groups along the three paths (Mean±SEM).

	First Path		Second Path		Third Path	
	UniG	BiG	UniG	BiG	UniG	BiG
First test trial	0±0	0.28±0.78	0.18 ±0.40	0.47±0.74	0.25±0.57	0.42±0.67
Second test trial	0±0	1±1.41	0±0	0.85±1.23	0±0	0.19±0.51
Third test trial	0±0	0.42±0.87	0±0	0.14±0.35	0.06±0.25	0.04±0.21
Fourth test trial	0 ±0	0.23±0.53	0±0	0.52±1.03	0±0	0.23±0.53

To determine whether performance improved across the three paths (first, second and third), we compared the average number of errors on the first two paths to the number of errors on third path. Errors decreased in the bidirectional group but not the unidirectional group ($T_{20}=2.14$, $p=0.04$; $T_{15}=-1.38$, $p=0.18$ respectively; Table1).

Finally to determine whether the backward perspective causes interference with the forward perspective, we compared the second forward test trial in both groups in each path (the second test trial in the unidirectional group; the third test trial in the bidirectional group). We found significant differences in the first path only, where again, the bidirectional group committed more mistakes ($F_{1,36}=3.85$, $p=0.05$; $F_{1,36}=2.52$, $p=0.12$; $F_{1,36}=0.75$, $p=0.39$ respectively). Thus the interference of perspectives was only in part responsible for the worse bidirectional group performance (Table 1).

Duration

Repeated measures ANOVA showed that the factor path (first, second and third) was not significant ($F_{2,54}=0.65$, $p=0.52$). The factor group was significant ($F_{1,32}=22.41$, $p=0.001$), with the unidirectional group spending less time to reach the end of the paths.

The co-variables corresponding to path color (red, blue and black) and start position (A, B) did not show significant differences ($F_{1,32}=0.004$, $p=0.94$; $F_{1,32}=0.29$, $p=0.59$, respectively). The interaction group x path showed significant differences ($F_{2,64}=3.18$, $p=0.04$). Through Bonferroni adjusted t-tests, we found that the bidirectional group spent more time in each of the three paths compared with the unidirectional group ($p=0.001$, $p=0.001$, $p=0.004$ respectively). The small effect sizes of the interaction ($\eta^2 = 0.09$) indicates that the number of participants may be responsible of such incongruence. (Fig.3 B).

Through one-way repeated measures ANOVA we examined the performance of each group along the paths (first, second and third). The unidirectional group showed no significant differences along the paths ($F_{2,30}=0.86$, $p=0.43$). However significant differences appeared in the bidirectional group ($F_{2,40}=7.05$, $p=0.002$). Bonferroni comparisons revealed that participants of this group needed less time to reach the end of the third path compared to the first path, but no significant differences appeared between the first path with the second path or the second path with the third path ($p=0.004$, $p=0.26$, $p=0.19$, respectively).

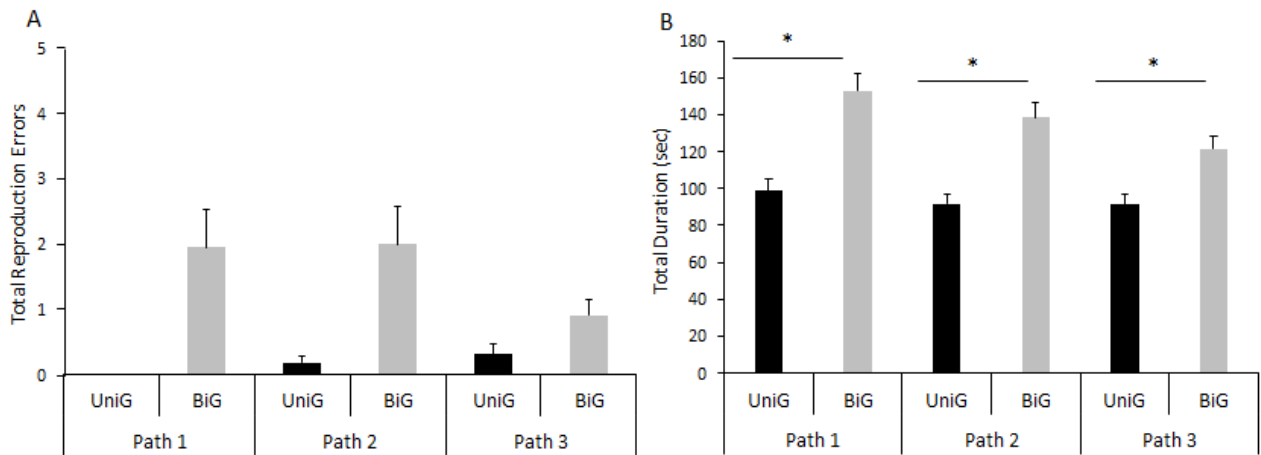


Fig. 3. A. Total reproduction error for the three paths both in unidirectional (UniG) and bidirectional (BiG) groups. B. Duration required by unidirectional (UniG) and bidirectional (BiG) groups to reach the end of each path along the four trials. These graphs show mean \pm SEM. (* $p < 0.05$).

Mapping Task

One-way ANOVA showed significant differences between groups in the correct location of landmarks, with the unidirectional group demonstrating better recall ($F_{1,36}=4.21$, $p=0.04$). Also significant differences appeared in the number of path segments drawn in the right place, with again the unidirectional group showing better performance than the bidirectional group ($F_{1,36}=4.39$, $p=0.04$). No significant differences between groups appeared in the number of omitted segments ($F_{1,36}=0.78$, $p=0.38$). (Fig. 4 A).

Gender effects

For these analyses, we compared the errors committed along the paths (first, second and third) by males and females in the unidirectional group and in the bidirectional group separately. Repeated measures ANOVA in the unidirectional group showed that neither the factor path ($F_{2,26}=2.07$, $p=0.14$) nor the factor gender was significant ($F_{1,13}=1.51$, $p=0.24$). Hence, the performance of males and females was similar in this group. The interaction gender \times path was not significant ($F_{2,26}=0.66$, $p=0.52$). For the bidirectional group, analysis showed no

significant effect of path ($F_{2,38}=1.97$, $p=0.15$) or of gender ($F_{1,19}=0.43$, $p=0.51$). However, the interaction gender \times path was significant ($F_{2,38}=3.41$, $p=0.04$). Through Bonferroni adjusted t-test, we found that males committed fewer errors in the last path compared with females ($p=0.11$, $p=0.62$, $p=0.05$, respectively).

In the mapping task, one-way ANOVA showed that in the unidirectional group males drew a larger number of path segments in the right place, but the location of landmarks did not show significant differences between groups ($F_{1,13}=6.69$, $p=0.02$; $F_{1,13}=0.56$, $p=0.46$, respectively). The bidirectional group analysis revealed no significant differences between males and females either in the correct number of paths segments or in the location of landmarks ($F_{1,19}=2.54$, $p=0.12$; $F_{1,19}=1.21$, $p=0.28$, respectively).

Discussion

To our knowledge, this experiment is the first investigation of spatial memory in which participants experienced three paths from forward and backward perspectives in an immersive virtual environment, and in which the impact of this bidirectional perspective was

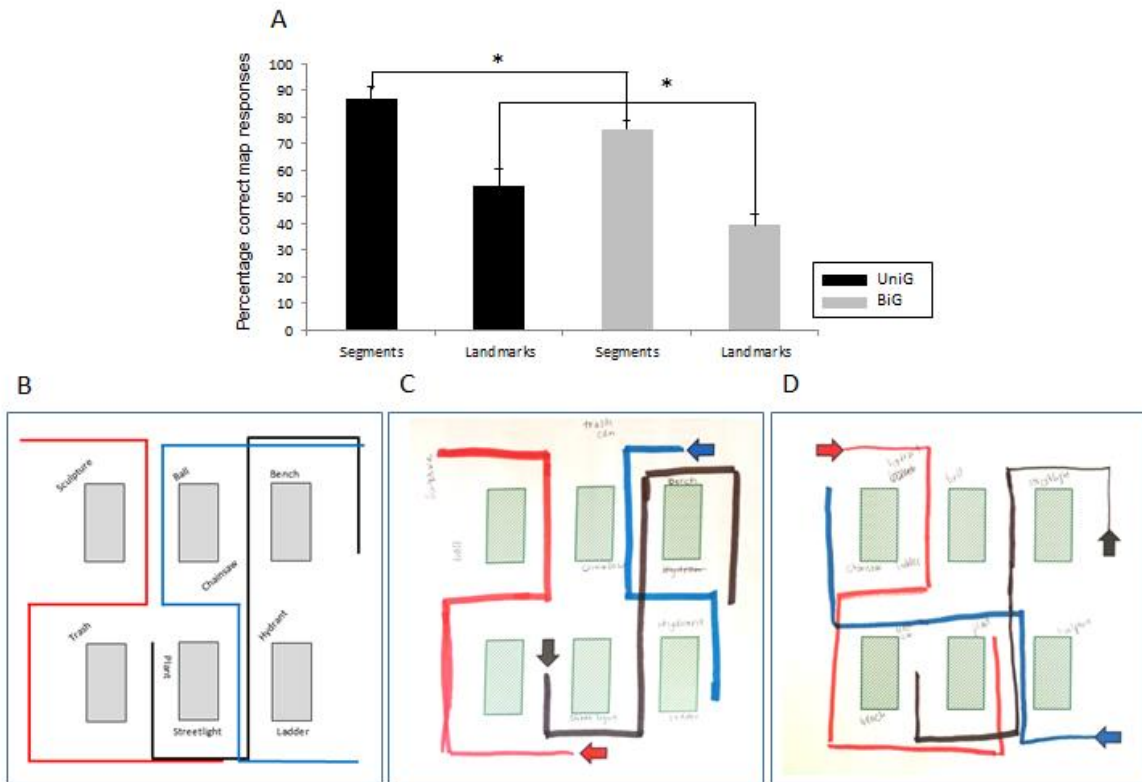


Fig. 4. Map drawing task performance. A. Percentage of correct landmarks and segments responses for unidirectional (UniG) and bidirectional (BiG) groups. B. Configuration of the environment with the correct position of routes and landmarks. C. Performance of the median participant performance in unidirectional group. D. Performance of the median participant performance in bidirectional group. These graphs show mean \pm SEM. (* $p < 0.05$).

evaluated in the formation of the mental representation of the environment. Our main results suggested that access to an extra perspective (backward) did not enhance the accuracy of route learning nor the construction of survey knowledge. In point of fact, the general performance of the bidirectional group was significantly worse compared to the unidirectional group on measures of route knowledge and the spatial layout of the environment.

With regard to the first aim, the acquisition of the routes, our results showed that the performance of the unidirectional group was significantly better than the performance of the bidirectional group, which is consistent with the findings of Golledge et al. (1993). The unidirectional group completed the trials faster and made fewer number of direction errors.

However, the differences between the unidirectional and bidirectional groups seemed to decrease across the paths, presumably due to an enhancement in performance in the bidirectional group with increasing experience in the environment. (Fig.3 A).

To better understand the causes of impairment in the bidirectional group, first we checked if both groups equally acquired the spatial information of each path in the learning trials. Our analysis showed that both groups performed at the same level in the first trial recalled in each of the three paths. Second, to determine whether the change of perspective affected performance, we compared performance on the second test trial (second forward for unidirectional; first backward for bidirectional).

Our analysis showed worse performance in the first and second paths between groups but not in the third. This result indicated that change of perspective was a plausible cause of the worse performance in the bidirectional group. In a previous study of our group, we compared the ability to change perspective along the lifespan using the Kozhevnikov and Hegarty (2001) Perspective Taking/Spatial Orientation Test. We found that the performance of young and middle-aged participants in those items that required more than 90° of perspective change worsened compared to those items that implied a change of perspective less than 90°. In fact, the performance of the younger group in those items that required more than 90° showed no differences with the aged group performance (Zancada-Menendez et al., 2015). Therefore, we consider that the worse results of the bidirectional group can be closely related to the difficulty in changing the forward view (180° perspective change). But as noted above, no differences in the third path appeared between groups, which could be explained as a practice effect with the task. Authors as Baenninger and Newcombe (1989) already pointed to the role of experience in spatial test performance. In their research they found that spatial ability test performance can be improved by training for both sexes. More recently Vidal et al. (2004) considered that it is possible that humans, with practice, may learn how to manage complex displacements as yaw and pitch turns involved in their task. When in the research of Heth et al. (2002) participants were advised to find the way back, the performance was improved compared to when participants were not so informed. Thus, we conclude that part of this improvement with experience was also due to participants being aware that they would be required to retrace the backward path.

Finally, due to the strong evidence showing the important role played by PI in the decay of information and forgetting (Berman et al., 2009, Jonides & Nee, 2006), we wanted to

ascertain if the cause of the worse performance in the bidirectional group could be the interference between forward and backward perspectives. For that purpose we compared the recall of the second forward test trial between both groups (second trial in the unidirectional group and third trial in the bidirectional group). This analysis showed significantly worse recall for the bidirectional group only in the first path, suggesting that interference was only partially responsible for the poorer performance of the bidirectional group, and leading us to think that in fact interference appeared when the forward and the backward perspective were being acquired the first time. The absence of significant differences in the second and third paths is consistent with the interference literature which indicates that the influence of practice outweighs the influence of PI (Blalock & McCabe, 2011; Lustig et al., 2001; Rowe et al., 2008), reinforcing again the relevance of experience as a key modulator of the backward view acquisition in the present research.

In summary, we conjecture that efforts to change the perspective of each route 180°, to inhibit interference between perspectives, and to update the spatial information in each trial together contributed to the worse performance of the bidirectional group compared to the unidirectional one, even when both optic flow and body-based information were available. However, if as noted in previous studies experience can improve spatial performance as well as reduce interference, we would predict additional experience with the task could enhance performance in the bidirectional group.

Regarding our second aim, we wanted to know if navigating through an environment from more than one perspective, as in the bidirectional group, would promote the integration of the spatial information, or on the contrary if the need to manage and integrate more information (especially if as in our case the information was the same but from different perspectives), disrupted such general integration.

On the one hand, our results showed that significantly worse sketch maps were drawn (both in landmarks and segments) in the bidirectional group compared with the unidirectional group (e.g., Golledge et al., 1993) (Fig. 4 B,C,D). On the other hand, specially due to the poor recall of landmarks in the correct position, we speculate that neither the unidirectional group nor the bidirectional group were able to integrate the spatial information from the three paths. This finding made us consider that perhaps the information from the three paths could be creating (even in the unidirectional group) interference in the construction of the mental representation of the environment. So, if this were the case, it makes sense that the bidirectional group performed even worse than the unidirectional group on the final map, due to the fact that they had extra perspective information in each path to integrate.

Along these lines, it is possible that similarity of spatial information could be increasing the difficulty of integrating the spatial information from the three paths in both groups. Dewar et al. (2007) as well as Amundson and Miller (2007) pointed out that the similarity between stimuli or contexts in a task will impair the acquisition of spatial information. Thus, taking into account first, that our environment was set in a garden and participants always perceived the same green wall for the whole task, and second, that landmarks also remained stable in the environment (implying that some of them were seen in more than one route but from different perspectives), leads us to hypothesize that the visual homogeneity of our virtual environment could have had a negative effect on acquiring the global configuration. Wright et al. (2009) showed significant improvement in a reversal task when competing responses occurred in different rooms rather than in the same. Moreover, Jonides et al. (2008) considered that the recent exposure to similar items could increase the noise that affects the fidelity of the

representation causing memory decay, and as Golledge et al. (1993) have argued, the more diverse the environment, the greater the likelihood of a successful integration of route into survey knowledge. This similarity influence also it would fit with the worse performance in bidirectional group due to the fact that backward view involves the recall of different but similar sequences of spatial information (e.g., the turns in the first trial in the blue path were left-left-right-left, but the backward changes to right-left-right-right, thus learning 4 new turns).

Golledge et al. (1993) found that both within- and between-route landmark pointing performances were slightly better for the unidirectional group than the bidirectional group, although this difference did not seem to reach statistical significance. In addition, participants in Golledge et al.'s study learned two instead of three routes. Map drawing performance from our study showed that the bidirectional group was significantly worse than the unidirectional group in both landmark and segment placement. Combined with the discussion above, it seems that additional learning perspective and routes have a negative effect on the mental representation of the environment when the amount of experience is limited. We do not mean to imply that extra learning perspectives or routes have no benefit at all; it is highly likely that participants in the bidirectional group would do significantly better in backward route sequencing than the unidirectional group. Furthermore, we speculate that increasing the number of trials could decrease cognitive load of the bidirectional group in later stages and therefore enable them to form a more accurate and comprehensive representation of the environment than the unidirectional group.

Finally, with respect to gender comparisons, our results are consistent with Coluccia et al. (2004), who observed that when gender performance was compared in virtual environments, males and females did not differ in 43 % of studies. The small number of gender

differences found in the present study is consistent with this finding. In our research significant differences between males and females appeared in the bidirectional group, where males had a lower number of errors of the last path. This better performance might be explained by the greater capacity that males seem to have for perspective changes of even 90° (Meneghetti et al. 2012; Zancada-Menendez et al. 2015). We also found significantly better performance for males in the drawing of segments; however no significant differences appeared in the placement of landmarks. This result may be in line with those that indicated that in sketch map tasks males are particularly aware of routes and connectors whereas females appear more sensitive to landmarks (McGuinness & Sparks, 1983). Andersen et al. (2012) pointed out that sex differences in wayfinding occurred only in environments devoid of landmarks and disappeared in environments containing multiple landmarks. We are aware of the small sample sizes of males and females in each group; hence, these results should be interpreted with caution.

Conclusions

Using immersive VR technology, in which body-based cues to self-motion were available, we showed that unidirectional learning of routes produced better performance than did bidirectional learning, replicating in VR previous studies that have been conducted in the real world or through depictions of the real world (e.g., slide shows).

Our findings further suggested that acquiring the backward perspectives of several routes within a virtual environment required extra spatial processing in order to integrate the backward perspectives with the forward perspectives.

Furthermore, this extra perspective information did not lead to accurate knowledge of the layout of the environment. However, in line with the reduction in number of errors in the bidirectional group in the last path, we hypothesize that although at the beginning trying to integrate forward and backward perspectives impaired the performance, with practice this bidirectional perspective could even enhance the spatial memory compared to the unidirectional view. This project is a first attempt to study change of perspective in the acquisition of routes using virtual environments as well as the role of factors as interference and experience.

This study suggests interesting future lines of research in the field of spatial cognition, such as whether similar findings are obtained if participants just look back in the forward paths but do not reproduce the backward perspective, or given the deterioration that seems to take place in the change of perspective with aging, whether along the lifespan our results remain stable.

References

- Andersen, N.E., Dahmani, L., Konishi, K., & Bohbot, V.D. (2012). Eye tracking, strategies, and sex differences in virtual navigation. *Neurobiology of Learning and Memory*, 97, 81-9.
- Amundson, J.C., & Miller, R.R. (2007). Similarity in Spatial Origin of Information Facilitates Cue Competition and Interference. *Learning and Motivation*, 38, 155-171.
- Avraamides, M.N., Theodorou, M., Agathokleous, A., & Nicolaou, A. (2013). Revisiting Perspective-Taking: Can people maintain imagined perspectives?. *Spatial Cognition & Computation*, 13, 50-78.

- Baenninger, M., & Newcombe, N. (1989). The role of experience in spatial test performance: A meta-analysis. *Sex Roles*, 20, 327-344.
- Berman, M.G., Jonides, J., & Lewis, R.L. (2009). In search of decay in verbal short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35, 317–333.
- Blalock, L.D., & McCabe, D.P. (2011). Proactive interference and practice effects in visuospatial working memory span task performance. *Memory*, 19, 83-91.
- Botto, M., Basso, D., Ferrari, M., & Palladino, P. (2014). When working memory updating requires updating: Analysis of serial position in a running memory task. *Acta Psychologica*, 148, 123-129.
- Bosco, A., Sardone, L., Scalisi, T.G., & Longoni, A.M. (1996). Spatial models derived from verbal descriptions of fictitious environments: The influence of study time and the individual differences in visuo-spatial ability. *Psychologische Beiträge*, 38, 451–466.
- Brockmole, J.R., & Wang, R.F. (2003). Changing perspective within and across environments. *Cognition*, 87, 59–67.
- Caffò, A.O., Hoogeveen, F., Groenendaal, M., Perilli, V.A., Damen, M., Stasolla, F., Lancioni, G.E., & Bosco, A. (2014). Comparing two different orientation strategies for promoting indoor traveling in people with Alzheimer's disease. *Research in Developmental Disabilities*, 35, 572-580.
- Chrastil, E. R., & Warren, W.H. (2013). Active and passive contributions to spatial learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19, 1-23.
- Chelonis, J.J., Cox, A.R., Karr, M.J., Prunty, P.K., Baldwin, R.L., & Paule, M.G. (2014). Comparison of delayed matching-to-sample performance in monkeys and children. *Behavioural Processes*, 103, 261-268.
- Coluccia, E., & Louse, G. (2004). Gender differences in spatial orientation: A review. *Journal of Environmental Psychology*, 24, 329–340.
- Cornell, E.H., Heth, C.D., & Alberts, D.M. (1994). Place recognition and way finding by children and adults. *Memory & Cognition*, 22, 633–643.
- Cornell, E.H., Heth, C.D., Kneubuhler, Y., & Sehgal, S. (1996). Serial position effects in children's route reversal errors: Implications for police search operations. *Applied Cognitive Psychology*, 10, 301–326.
- Cornell, E.H., Heth, C.D., & Rowat, W.L. (1992). Way finding by children and adults: Response to instructions to use look-back and retrace strategies. *Developmental Psychology*, 28, 328–336.
- Dewar, M.T., Cowan, N., & Sala, S.D. (2007). Forgetting due to retroactive interference: A fusion of Muller and Pilzecker's (1900) early insights into everyday forgetting and recent research on anterograde amnesia. *Cortex*, 43, 616–634.
- Fields, A.W. & Shelton, A.L. (2006). Individual skill differences and large-scale environmental learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32, 506–515.
- French, J., Ekstrom, R., & Price, L. (1963). *Kit of reference test for cognitive factors*. Princeton, N.J: Educational Testing Service.

- Gatty, H. (1958). *Nature is your guide how to find your way on land and sea by observing nature*. London: Collins.
- Goldberg, J., & Meredith, W. (1975). A longitudinal study of spatial ability. *Behavior Genetics*, 5, 127–135.
- Golledge, R.G., Ruggles, A.J., Pellegrino, J.W., & Gale, N.D. (1993). Integrating route knowledge in an unfamiliar neighborhood: Along and across route experiments. *Journal of Environmental Psychology*, 13, 293–307.
- Gould, R.A. (1969). *Yiwara: Foragers of the Australian desert*. New York: Scribner.
- Greenauer, N., Mello, C., Kelly, J.W., & Avraamides, M.N. (2013). Integrating spatial information across experiences. *Psychology Research*, 77, 540–554.
- Hanley, G.L., & Levine, M. (1983). Spatial problem solving: the integration of independently learned cognitive maps. *Memory & Cognition*, 11, 415–422.
- Hardiess, G., & Mallot, H.A. (2015). Allocation of cognitive resources in comparative visual search - Individual and task dependent effects. *Vision Research*, 113, 71–77.
- Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32, 175–191.
- Heth, C.D., Edward, H.C., & Tonya, L.F. (2002). Self-ratings of sense of direction and route reversal performance. *Applied Cognitive Psychology*, 16, 309–324.
- Ittelson, W.H. (1973). Environment perception and contemporary perceptual theory. In W. H. Ittelson (Ed.), *Environment and cognition* (pp. 1–19). New York: Seminar Press.
- Jonides, J., Lewis, R.L., Nee, D.E., Lustig, C.A., Berman, M.G., & Moore, K.S. (2008). The mind and brain of short-term memory. *Annual Review of Psychology*, 59, 193–224.
- Jonides, J., & Nee, D.E. (2006). Brain mechanisms of proactive interference in working memory. *Neuroscience*, 139, 181–193.
- Kaiser, S., Walther, S., Nennig, E., Kronmüller, K., Mundt, C., Weisbrod, M., Stippich, C., & Vogeley, K. (2008). Gender-specific strategy use and neural correlates in a spatial perspective taking task. *Neuropsychologia*, 46, 2524–2531.
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object-manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Memory and Cognition*, 29, 745–756.
- Kozhevnikov, M., Motes, M., Rasch, B., & Blajenkova, O. (2006). Perspective-taking vs. mental rotation transformations and how they predict spatial navigation performance. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 397–417.
- Kuipers, B., Tecuci, D.G., & Stankeiwicz, B.J. (2001). The skeleton in the cognitive map: A computational and empirical exploration. *Environment and Behavior*, 35, 81–106.
- Lee, P.U., & Tversky, B. (2005). Interplay between visual and spatial: The effect of landmark descriptions on comprehension of route/survey spatial descriptions. *Spatial Cognition and Computation*, 5, 163–185.

- Li, R. (2014). Why women see differently from the way men see? A review of sex differences in cognition and sports. *Journal of Sport and Health Science*, 3, 155–162.
- Lustig, C., May, C.P., & Hasher, L. (2001). Working memory span and the role of proactive interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 199-207.
- McGuinness, D., & Sparks, J. (1983). Cognitive style and cognitive maps: sex differences in representations of a familiar terrain. *Journal of Mental Imagery*, 7, 91-100.
- Meneghetti, C., Pazzaglia, F., & De Beni, R. (2012). Which spatial abilities and strategies predict males' and females' performance in the object perspective test?. *Cognitive Processing*, 13, 267-270.
- Moar, T., & Carleton, L.R. (1982). Memory for routes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 34, 381-394.
- Morris, N., & Jones, D.M. (1990). Memory updating in working memory: The role of central executive. *British Journal of Psychology*, 81, 111–121.
- Nelson, R.K. (1969). *Hunters of the northern ice*. Chicago: University of Chicago Press.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1956). *The Child's Conception of Space*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Rieser, J.J. (1989). Access to knowledge of spatial structure at novel points of observation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1157–1165.
- Rizzo, A.A., Buckwalter, J.G. & van der Zaag, C. (2002). Virtual environment applications in clinical neuropsychology. E: K. Stanney (Ed.), *Handbook of virtual environments* (pp. 1027-1064). New York: L.A. Erlbaum.
- Rizzo, A.A., Schultheis, M., Kerns, K.A. & Mateer, C. (2004). Analysis of assets for virtual reality applications in neuropsychology. *Neuropsychological Rehabilitation*, 14, 207-239.
- Rowe, G., Hasher, L., & Turcotte, J. (2008). Age differences in visuospatial working memory. *Psychology and Aging*, 23, 79-84.
- Ruddle, R.A., Volkova, E., Mohler, B., & Bulthoff, H.H. (2011). The effect of landmark and body-based sensory information on route knowledge. *Memory & Cognition*, 39, 686-699.
- Schultheis, M.T., Himelstein, J. & Rizzo, A.A. (2002). Virtual reality and neuropsychology upgrading the current tools. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17, 378- 394.
- Solesio-Jofre, E., Lorenzo-López, L., Gutiérrez, R., López-Frutos, J.M., Ruiz-Vargas, J. M., & Maestú, F. (2011). Age effects on retroactive interference during working memory maintenance. *Biological Psychology*, 88, 72–82.
- Vidal, M., Amorim, M.A., Berthoz, A. (2004). Navigating in a virtual three-dimensional maze: how do egocentric and allocentric reference frames interact?. *Brain Research*, 19, 244-258.
- Vincent, W.J., & Allmandinger, M.F. (1971). Relationships among selected tests of spatial orientation ability. *Journal of Motor Behavior*, 3, 259–264.
- Wang, R.F. (2005). Beyond imagination: Perspective change problems revisited. *Psicológica*, 26, 25-38.
- Watanabe, M., & Takamatsu, M. (2014). Spatial perspective taking is robust in later life. *International Journal of Aging and Human Development*, 78, 277-297.

- Wolbers, T., & Hegarty, M. (2010). What determines our navigational abilities?. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 138–146.
- Wraga, M., Creem, S.H., & Proffitt, D.R. (2000). Updating displays after imagined object and viewer rotations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 26, 151–168.
- Wright, S.L., Williams, D., Evans, J.H., Skinner, D.M., & Martin, G.M. (2009). The contribution of spatial cues to memory: direction, but not cue, changes support response reversal learning. *Journal of Experimental Psychology. Animal Behavior Processes*, 35, 177-185.
- Xiao, C., Mou, W., & McNamara, T.P. (2009). Use of self-to-object and object-to-object spatial relations in locomotion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35, 1137–1147.
- Zancada-Menendez, C., Sampedro-Piquero, P., Lopez, L., & McNamara, T.P. (2015). Age and gender differences in spatial perspective taking. *Aging Clinical and Experimental Research*, doi.org/10.1016/j.lindif.2015.01.015.

4

Estudio Complementario

I don't panic when I get lost.

I just change where I want to go.

Rita Rudner

4.1 Estudio Complementario

Mental representation derived by navigation: The role of visuo-spatial abilities and working memory. Meneghetti, C., Zancada-Menéndez, C., Sampedro-Piquero, P., Lopez, L., Martinelli, M., y Rossi, B. (2015). *Journal of Learning and individual Differences* (Under Review).

Page: 1 of 1 (1 total submissions)		Display 10 results per page.		
Manuscript Number ▲▼	Title ▲▼	Initial Date Submitted ▲▼	Status Date ▲▼	Current Status ▲▼
LEAIND-D-15-00484	Mental representation derived by navigation: The role of visuo-spatial abilities and working memory	Nov 27, 2015	Jan 09, 2016	Under Review

Page: 1 of 1 (1 total submissions) Display 10 results per page.

ABSTRACT

Which individual spatial skills are involved in learning by navigation is a matter of increasing interest because they can be a key factor in explaining how navigation performance varies across individuals. The present study examined the role of spatial skills in environment learning by navigation, focusing on rotation ability and visuo-spatial working memory (VSWM). A group of 83 females individually performed a series of spatial and verbal (control) tasks, and learned three paths through the same virtual environment. Their recall for single paths (retraced with a joystick or drawn on paper) and their mental representation of the environment as a whole was assessed (map drawing of all three paths and shortcut performance). Two path models were developed (based on single paths and whole environment measures), inputting the rotation task as the initial predictor and VSWM as the mediator. The results showed that VSWM mediates the relationship between rotation ability and environment learning accuracy. Overall, multiple individual spatial skills operate simultaneously – but on different levels – for efficient navigation learning.

Introduction

Environment learning: navigation

Planning a route and moving through a space to a destination is an everyday spatial activity completed mainly by navigation. This is a process by means of which the space is experienced from an egocentric point of view, based on sensorimotor information about the individual's position in space, self-to-object distances, and self-motion, which enables a sequence of landmarks, turns, and changes of direction to be acquired, and a set of place-action associations to be memorized (Montello, 2005). Navigation gives rise to mental representations (also called cognitive map, Tolman, 1948) that can be defined as flexible representations of the environment not necessarily associated with a specific orientation, where spatial relations can be inferred from any perspective (Wolbers & Hegarty, 2010). One way to explore how cognitive map is formed by navigation is to ask people to learn a series of paths through the same environment - paths that may be interconnected by crossroads or partially overlap - and then testing their ability to integrate spatial information about multiple paths in the same environment, for instance, to identify shortcuts, point in the direction of landmarks, or draw maps of the environment (e.g. Foo, Warren, Duchon, & Tarr, 2005; Harris & Wolbers, 2014; Ishikawa & Montello, 2006; Wiener & Mallot, 2006). The ability to integrate spatial information in the representation of an environment depends on several external factors, such as path complexity (e.g. Harris & Wolbers, 2014; Wiener & Mallot, 2006), landmark positions (e.g. Foo et al., 2005; Wan, Wang, & Crowell, 2012), number of repetitions of navigation acts (e.g. Ishikawa & Montello, 2006), and active

versus passive navigation (e.g. Chrastil & Warren, 2013; Wan et al. 2012). Another source of variability in navigation performance stems from individual factors, such as differences in individuals' spatial skills. For instance, Ishikawa and Montello (2006) tested a group that learned two outdoor paths for 10 weeks (combining the two paths in the last four weeks) and was asked to memorize the location of landmarks. Some of the participants' environment learning accuracy showed no improvement across week sessions when they were asked to draw the landmarks on sketch maps or point to locations around the environment. The authors found that the variation in the participants' ability to represent the single and combined paths correlated with differences in their individual spatial factors as measured by means of the participants' self-reported sense of direction.

Individual spatial skills can play a relevant part in explaining navigation performance (e.g. Brunyé et al., 2014; Schinazi, Nardi, Newcombe, Shipley, & Epstein, 2013; Wang, Cohen, & Carr, 2014 for a review). Although spatial abilities are recognized as being fundamental to everyday life and academic success (e.g. Uttal, Miller, & Newcombe, 2013), their contribution (considering the different spatial factors) to successful navigation has yet to be systematically explored and needs to be better understood.

Environment learning: the role of spatial abilities and working memory

Different individual cognitive factors can be identified in the spatial domain, i.e. visuo-spatial cognitive abilities, and visuo-spatial processing resources such as visuo-spatial working memory (VSWM).

Visuo-spatial abilities can be defined as the skills needed to generate, retain and transform abstract visual images (Lohman, 1988). Years of research have yielded strong evidence of these skills comprising multiple, distinct factors (see Hegarty & Waller, 2006 for a review; Uttal et al., 2013), including rotation abilities, which have been shown to affect navigation performance. Rotation abilities based on object rotations (as measured by the Mental Rotations Test [MRT; Vandenberg & Kuse, 1978], which involves identifying 3D objects in rotated views) or on bodily rotations to view an environment from another perspective (as measured with the Perspective-Taking Task [PTT; Hegarty & Waller, 2004], which consists in imagining occupying new positions within a configuration of objects) have revealed an important role in environment learning efficiency (Blajenkova, Motes, & Kozhevnikov, 2005; Fields & Shelton, 2006; Jansen, Wiedenbauer, & Hahn, 2010; Kozhevnikov, Motes, Rasch, & Blajenkova, 2006; Weisberg, Schinazi, Newcombe, Shipley, & Epstein, 2014). For instance, Weisberg et al. (2014) recently asked a group to learn the location of buildings by virtual city navigation along four different routes, and then tested their recall of spatial information by asking them to judge the direction of buildings and to locate aerial images in a blank box. They found that participants' efficiency in these tasks correlated with their performance in individual spatial tasks, such as the MRT, OPT, and sense of direction (but not in verbal tasks).

While rotation abilities have an important influence on navigation efficiency, the focus in the environment learning domain is on identifying the simultaneous role of other individual factors that might act on different levels as predictors and mediators of navigation efficiency. In a latent factor study, Allen, Kirasic,

Dobson, Long, and Beck (1996) found that the topographical knowledge acquired by city path navigation (tested with several tasks such as map placement, distance estimation, etc.) was predicted by a spatial ability factor (measured with a set of visuo-spatial tasks), and mediated by a sequential spatial memory factor (measured with a task that involved showing moves charting a course within a 6 x 6 matrix). This study was the first to demonstrate that spatial memory is a factor capable of mediating the relationship between spatial abilities and navigation learning accuracy. In a further study, Hegarty, Montello, Richardson, Ishikawa, and Lovelace (2006) showed that navigation learning accuracy of a path from direct or indirect (virtual) experience, measured using different tasks (direction and distance estimation, map drawing), was predicted directly by participants' spatial ability factor (tested with the MRT, the Embedded Figures Test [Oltman, Raskin, & Witkin; 1971], and Arrow span task, i.e. combining spatial ability and visuo-spatial working memory), and by their self-assessed sense of direction, but not by their verbal abilities. The indirect relationship was not confirmed, however, when the authors tested whether the association between spatial ability and navigation performance was mediated by perspective-taking ability (measured using tasks based on the adoption of different positions in the environment).

These studies suggest that multiple individual spatial factors simultaneously predict environment representation derived by navigation (Hegarty et al., 2006), and that some of them (e.g. spatial memory) can act as mediators between spatial abilities and navigation learning accuracy (Allen et al., 1996). A good candidate for this role as a mediator is VSWM, the memory system devoted to maintaining and processing spatial information. VSWM has been found involved

in environment learning accuracy when various sources are used, such as maps (e.g. Coluccia & Iouse, 2004), environment descriptions (e.g. Gyselinck & Meneghetti, 2011 for a review), and navigation (e.g. Labate, Pazzaglia, & Hegarty, 2014; Meilinger, Knauff, & Bulthoff, 2008).

Although spatial (rotation) ability and VSWM give the impression of being related to one another (Cornoldi & Mammarella, 2008; Miyake, Friedman, Rettinger, Shah, & Hegarty, 2001), no studies have examined whether learning by navigation is particularly influenced by spatial (rotation) ability and/or VSWM, considered separately (not as a whole factor, as in Hegarty et al., 2006), and whether VSWM can mediate the relationship between spatial abilities and learning by navigation. There are some evidences of this pattern of relations, however, using spatial descriptions. Meneghetti and colleagues (Meneghetti, De Beni, Pazzaglia, & Gyselinck, 2011; Meneghetti, Ronconi, Pazzaglia, & De Beni, 2013), indeed, showed that individuals' spatial skills (measured with the MRT) are founding elements affecting how they learn from environment (route) descriptions in which a path is described using egocentric directions (from the person's point of view), and this is mediated by their VSWM (measured with the Corsi blocks task [Corsi, 1972]). VSWM can be seen as an interface operating during the encoding and processing of visuo-spatial information, and its intervention is supported by the individual's a-priori spatial (rotation) cognitive abilities.

Although a route description can resemble what happens in navigation, the two-input modalities (visual vs verbal) is liable to differences in terms of the cognitive abilities involved (such as WM [Meneghetti, Borella, Carbone, Martinelli, & De Beni, in press]). The specific question of how spatial (rotation)

ability and VSWM work together to form an environment representation acquired by navigation is approached in the present study.

Rationale and aim of the study

This study examined how spatial (rotation) abilities and VSWM work together to model mental representations derived by navigation.

A large group of females¹ was first administered individual spatial measures, the MRT and the OPT (to assess rotation abilities), and the Corsi blocks task (to assess VSWM). Digit span was also tested as a control measure (assuming that verbal ability is uninvolved in learning by navigation; Hegarty et al., 2006; Weisberg et al., 2014). Then the group learned three paths by watching videos of a garden reproduced in a virtual environment. After watching the video, participants retraced the path with a joystick and drew it on paper (to ascertain single path learning); and after seeing all three videos they had to find a shortcut connecting two points in the garden, and they produced a sketch map, drawing all three paths (to assess their ability to integrate spatial information, as typically done in navigation studies; Allen et al., 1996, Foo et al., 2005; Hegarty et al., 2006; Weisberg et al. 2014). Multiple recall tasks were used to assess different aspects of their mental representations, which can demand a different involvement of spatial cognitive abilities (e.g. Meneghetti, Borella, Gyselinck, & De Beni, 2012; Meneghetti et al., in press).

With the aid of the path models, we tested to what degree individual spatial factors, and spatial abilities and VSWM in particular, influenced navigation accuracy, examining at the same time whether spatial abilities can initially predict (e.g. Allen et al., 1996; Hegarty et al., 2006), and memory (VSWM) can

mediate the relationship between spatial abilities and environment learning by navigation (the mediation hypothesis, as suggested by Allen et al., 1996; Meneghetti et al., 2011; Meneghetti, et al. 2013); we examined whether these spatial skills work in the same way when single or combined paths had to be recalled using different measures.

Method

Participants

The study involved 83 female undergraduates attending the School of Psychology at the University of Padua who volunteered to take part in the experiment (M age=21.95).

Materials

Measures of differences in individuals' spatial skills

Working memory tasks

The Corsi blocks task (Corsi, 1972) consists of tapping sequences of blocks arranged irregularly on a board. The Digit Span task (Wechsler, 1981) consists of repeating sequences of digits. Participants are asked to reproduce increasingly long sequences of blocks/numbers in forward or backward order. In both measures, the length of the sequences ranged from 2 to 9 blocks/digits (and two sequences were used for each length).

Spatial rotation tasks

The Mental Rotations Test (MRT; Vandenberg & Kuse, 1978) involves identifying two abstract 3D objects, from among four options, that match a target object in a rotated position (20 items; time limit 8 minutes).

The Objective Perspective Taking task (OPT; Hegarty & Waller, 2004; Kozhevnikov & Hegarty, 2001) consists of a configuration of 7 objects and asking the respondent to imagine standing at one object, facing another and pointing in the direction of a third; answers are given by drawing an arrow from the center towards the edge of a circle (12 items; time limit 5 minutes).

Both spatial tasks have a good internal consistency ($\alpha=.80-.90$; De Beni, Meneghetti, Fiore, Gava, & Borella, 2014).

Path learning measures

Encoding phase

The environment (similar to those used by Zancada-Menendez, Sampedro-Piquero, Meneghetti, Labate, Begega, & Lopez 2015) was organized in a grid of 3 x 2 blocks and set in a garden with green hedges marking an outer perimeter and corridors, and with images of 12 landmarks. Three paths (A, B and C) were identified within the garden, each of which started and ended in a different place, and all three were similar in length (mean 96.16 meters), number of segments (6 in paths A and B, and 5 in path C), number of turns (4), and number of landmarks visible when viewing the path (8 in paths A and B, and 10 in path C). There was an overlap of 3 segments and 10 landmarks between the

three paths. A map view of the environment and paths are shown in Figure 1 (panel A).

The virtual environment was modeled using Open Source Blender, rel. 2.67 (<http://www.blender.org/>). The three videos (one for each path) were prepared with F-Curves using the Blender's Game Engine, and then developed on a separate computer using the Star Tech PEXHDCAP Video Device. The final videos, shown from the participant's point of view, were saved as MPEG4 files with 1280x720 pixels and a resolution of 60 frames per second (an example of the participant's point of view is shown in Figure 1, panel b). The videos were shown on a 17-inch PC screen. Each video lasted 1.04 minutes.

A two-segment path in a similar garden setting was prepared to familiarize participants with the use of the joystick to move around the garden (forwards and backwards, and to left and right).

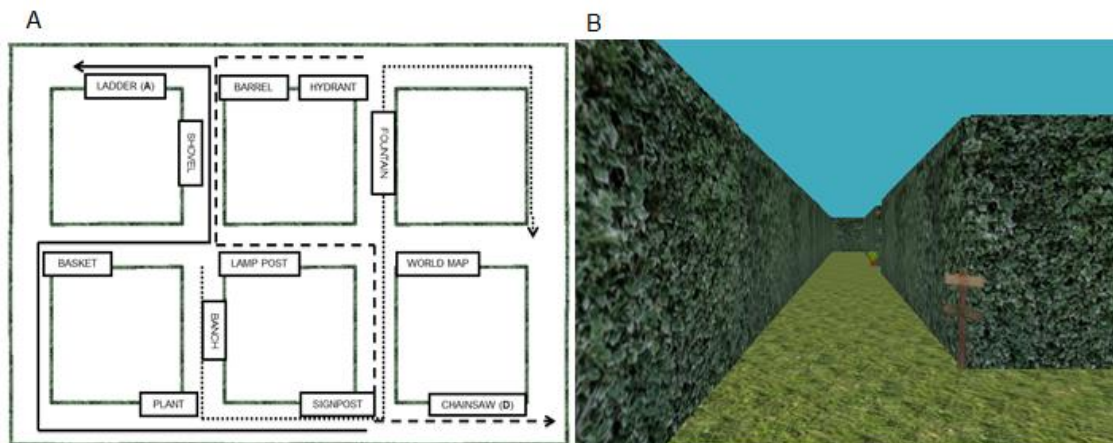


Figure 1. The map of a garden showing three paths (path A: continuous line; path B: dotted line; path C: dashed line) and several landmarks (panel a); D and A respectively mark the points of Departure and Arrival in the shortcut task; an example as seen from the participant's point of view during navigation (B).

Recall phase

Retracing paths. The task involves, using a joystick, to retrace the path previously seen in the video, starting from the same departure point. When the participant goes the wrong way, a sign appears saying “Wrong direction” and it is impossible to proceed in the wrong direction. The task ends when the arrival point is reached and a sign appears saying “The path is complete”.

Drawing paths. An A4-size sheet of paper shows an empty 3 x 2 grid (the same layout as in Figure 1 panel a) and indicates the path’s starting point with a dot. The task consists in drawing the segments of the path and locating the landmarks visible along the way (writing their name or drawing pictures of them). This task is first done separately for each of the three paths (for a total of three drawings), and then for all three paths together.

Shortcut. This task consists in using the joystick to trace the shortest way to go from one landmark to another (from the chainsaw to the ladder; see Figure 1, panel a, with the points of Departure [D] and Arrival [A]).

Procedure

Participants were individually tested at one session lasting about 90 minutes in the virtual reality lab at Padova University’s Department of General Psychology. After signing an informed consent form, participants completed the individual differences tasks (Corsi blocks, Digit span, MRT and OPT), balancing their order of administration across participants. Then they were given 2 minutes to become familiar with the virtual environment and practice with freely moving the joystick. They learned the three paths (paths A, B and C) one at a time in random order, watching each video with instructions to memorize the path and

the location of the landmarks viewed along the way. The video of each path was shown on a desktop PC with participants seated approximately 50 cm from the screen. After watching the video of the first path once, they performed the two recall tasks, with the path retracing task first, followed by the path drawing task. Then the same procedure was repeated for the second and third paths.

Participants finally completed the other two recall tasks in the following order: (i) the shortcut task, i.e. starting from the chainsaw they used the joystick to take the shortest route to the ladder; and (ii) the sketch map task, in which they had to graphically reproduce all three paths (using different colors for each one) and the location of the various landmarks.

Results

Scoring

Individual differences in spatial skills. The final scores for the two WM (Corsi blocks and digit span) tasks coincided with the number of blocks or digits in the longest sequences correctly reproduced. In the MRT, one point was given when both figures in each item were identified correctly (maximum score 20). For the OPT we calculated the mean absolute discrepancy between the correct answer and the participant's answer, and the final score was the mean degrees of error (maximum 180°).

Path learning measures. While participants retraced the paths, the Blender program recorded the number of times they paused for more than 3 seconds, and the number of errors (the times they went the wrong way).

In the path drawing task (single paths and all three together), we considered the number of segments and the number of landmarks positioned correctly on the drawing (one point for each segment and landmark located correctly), generating a maximum score of 14 for paths A and B (8 landmarks and 6 segments), 15 for path C (10 landmarks and 5 segments), and 29 for all three paths together (12 landmarks and 17 segments).

For the shortcut task, we considered the length of the path charted in meters and the number of pauses lasting more than 3 seconds; the shortest possible route was 51.85 meters long.

Preliminary analyses

To see whether paths A, B and C were recalled equally well, preliminary analyses were conducted on participants' path retracing performance and path drawing accuracy. The results showed that their recall of the three paths was comparable ($F < 1$ to $F = 1.02$).

In subsequent analyses, we considered the paths in order of their presentation—first, second and third (naming the paths as 1, 2 and 3). The mean number of pauses and wrong directions taken while retracing a path, and the number of segments and landmarks correctly located while drawing a path (as a proportion) for the separate paths 1, 2 and 3, and for all three combined are given in Table 1.

Spatial recall accuracy

Single path recall

Retracing paths. The two-way repeated measures ANOVAs comparing paths 1, 2 and 3 in terms of the number of pauses and wrong directions taken respectively, showed that the three paths were similar for both pauses ($M=1.15$, $SD=1.14$) and wrong directions ($M=.31$, $SD=.62$) ($F_s < 1$; see Table 1).

Drawing paths (separately). The 3 (path: 1, 2, 3) x 2 (type of recall: segment vs landmark) repeated measures ANOVA on the mean proportions only showed a main effect on type of recall $F_{(1, 164)}=235.49$, $p < .001$ $\eta^2=.74$, where the number of segments correctly positioned ($M=.87$, $SD=.22$) was larger than the number of landmarks correctly located ($M=.58$, $SD=.30$). No other significant differences emerged ($F_s < 1$).

Recall of all three paths combined

Shortcut. The path chosen as a shortcut was a mean 72.83 ($SD=26.92$) meters long (the best shortcut was 51.85 m long), and was completed with a mean 2.59 ($SD=2.26$) pauses.

Drawing of all three paths. The repeated measures ANOVA on type of recall (segment vs landmark) showed a main effect, $F_{(1, 82)}=37.63$, $p < .001$ $\eta^2=.32$, where the number of segments correctly recalled ($M=.49$, $SD=.25$) was larger than the number of landmarks correctly located ($M=.34$, $SD=.29$).

Table 1. Means and standard deviations (in brackets) of path retracing and path drawing measures for the first, second and third paths, separately and all three combined.

		Path 1		Path 2		Path 3		All three paths	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Path retracing	Number of pauses	1.29	1.24	1.17	1.21	.98	.98	/	/
	Number of wrong directions	.31	.68	.31	.56	.30	.62	/	/
Path drawing	Segments correctly placed ^a	.88	.22	.87	.23	.87	.22	.49	.25
	Landmarks correctly located ^a	.57	.28	.59	.31	.58	.32	.34	.29

^a Mean proportion.

Relationship between path recall accuracy and individual differences in spatial skills

Correlations

The correlations between map drawing accuracy for each path (paths 1, 2 or 3), all three paths together (mean proportion of segments and landmarks correctly located), and the shortcut (mean length of path and number of pauses) and the measures of individual differences in spatial skills, i.e. the Corsi and Digit span tasks (combining forward and backward versions), the MRT and the OPT task (see Table 2, and the descriptive statistics) showed that²: performance in the Corsi blocks task, but not in the Digit span task, correlated positively with map drawing accuracy for path 1 ($r=.30$), path 2 ($r=.27$), path 3 ($r=.40$), and all paths together ($r=.38$), and for performance in taking a shortcut ($r=-.26$), where a shorter path and/or fewer pauses correlated with a longer sequence of Corsi blocks being recalled accurately. Only map drawing accuracy for path 3 correlated significantly with the MRT ($r=.34$) and the OPT task ($r=-.26$; where a greater path drawing accuracy coincided with fewer degrees of error). Performance in the Corsi task significantly correlated with performance in the

Digit span ($r=.28$), MRT ($r=.37$) and OPT ($r=-.24$), and the latter two correlated with one another ($r=-.38$).

Table 2. Means (and standard deviations) for path drawing accuracy (paths learned first, second and third, and all three together) and shortcut performance, with measures of individual differences (Corsi blocks, digit span, MRT and OPT task), and their correlations (significant correlations in bold type).

	M (SD)	1	2	3	4	5	6	7	8
Path 1 (1) ^a	.73 (.22)								
Path 2 (2) ^a	.74 (.22)	.19							
Path 3 (3) ^a	.72 (.24)	.25*	.37**						
Paths 1, 2 and 3 (4) ^a	.41 (.24)	.32**	.38**	.52**					
Shortcut (5) ^b	75.42 (28.11)	-.12	-.10	-.08	-.18				
Corsi blocks task ^c (6)	5.69 (.80)	.30**	.27*	.41**	.38**	-.26*			
Digit span task ^d (7)	5.55 (.90)	.07	.16	.13	.03	.00	.28*		
MRT (8)	7.11 (3.92)	.19	.10	.34**	.14	-.02	.37**	.21	
OPT task (9)	47.59 (33.36)	-.06	-.11	-.26**	-.04	-.07	-.24*	-.19	-.38**

Note. N =83; * $p < .05$; ** $p < .01$; ^aPath 1, 2, 3: mean proportion combining the segments and landmarks correctly located on path drawing for the first, second and third paths learned and all three paths together. ^b Shortcut score combining path length and number of pauses; ^cCorsi blocks task: mean scores for forward and backward versions. ^dDigit span task: mean scores for forward and backward versions; MRT: Mental Rotations Test (accuracy); OPT: Object Perspective-Taking task (degrees of error).

Model estimation

Path analysis models (i.e. structural equation models using the observed variables) were computed with the LISREL 8.7 statistical package (Jöreskog & Sörbom, 1996). The data indicated a non-significant departure from normality, as shown by a Mardia measure of kurtosis (MK) of 1.03 ($-1.96 < z < 1.96$; Mardia, 1970). The following fit indices (Jöreskog & Sörbom, 1993) were considered to test the goodness of the model: the root-mean-square error of approximation (*RMSEA*, below .05); the non-normed fit index (*NNFI*, above .97); the comparative fit index (*CFI*, above .97); and a non-significant chi-square (recommended by Schreiber, Stage, King, Nora, & Barlow, 2006).

Two path models were tested: Model 1 considered the single path drawings (mean proportion of segments and landmarks correctly located on paths 1, 2 and 3) as a measure of single path learning; and Model 2 considered the drawing of all three paths together (mean proportion of segments and landmarks correctly located) and the shortcut (mean length and number of pauses) as a measure of environment representation. In both models, spatial (rotation) abilities – as measured with the MRT and the OPT task – were considered as the initial predictor and VSWM (measured with the Corsi blocks task in the forward and backward versions) as a mediator between the spatial ability factor and spatial accuracy (as previously tested, Meneghetti et al., 2011; 2014).

After ascertaining that the OPT task did not significantly predict performance in environment learning tasks or accuracy in VSWM tasks (from $\beta=-.01$, $p=.98$ to $\beta=-.16$, $p=.17$), whereas the MRT significantly predicted VSWM (from $\beta=.25$, $p=.01$ to $\beta=.41$, $p<.001$) and drawing accuracy for path 3 ($\beta=.26$, $p=.01$), only MRT was considered as an independent variable, and the Corsi blocks task as a mediator, in the initial full path models 1 and 2 (including all possible relations between the variables).

The final models only included the significant relations between the variables and both confirmed good fit indices. The final model 1 (see Figure 1, panel a) showed the following fit indices: $\chi^2(2)=2.70$, $p=.61$, $NNFI=1.00$, $CFI=1.00$, $RMSEA=.0001$, and explained 9% of the variance for path 1, 8% for path 2, and 20% for path 3. The final model 2 (see Figure 1, panel b) showed the following fit indices, $\chi^2(3)=1.28$, $p=.73$, $NNFI=1.01$, $CFI=1.00$, $RMSEA=.0001$,

and explained 14% of the variance for the drawing of all three paths together, and 9% of the variance for the shortcut.

Both the final models (1 and 2) included the significant direct relationships between MRT and VSWM, and between VSWM and recall accuracy (drawings of paths 1, 2 and 3, model 1; drawings of all paths combined and shortcuts; model 2), and the significant indirect relationship between MRT and recall accuracy mediated by VSWM. Model 1 also revealed a significant direct relationship between the MRT and drawing accuracy for path 3 (see Tables 3 and 4 for the corresponding β and p values of the direct and indirect effects).

On the whole, these results showed that accuracy in single path drawing (paths 1, 2 or 3; model 1) and environment representation as a whole (all three paths together and the shortcut) was predicted by spatial ability (measured with the MRT), and mediated by VSWM (measured with Corsi blocks task). In addition, when recall of the third path to be learned was tested, there was also a direct relationship between the MRT and recall accuracy.

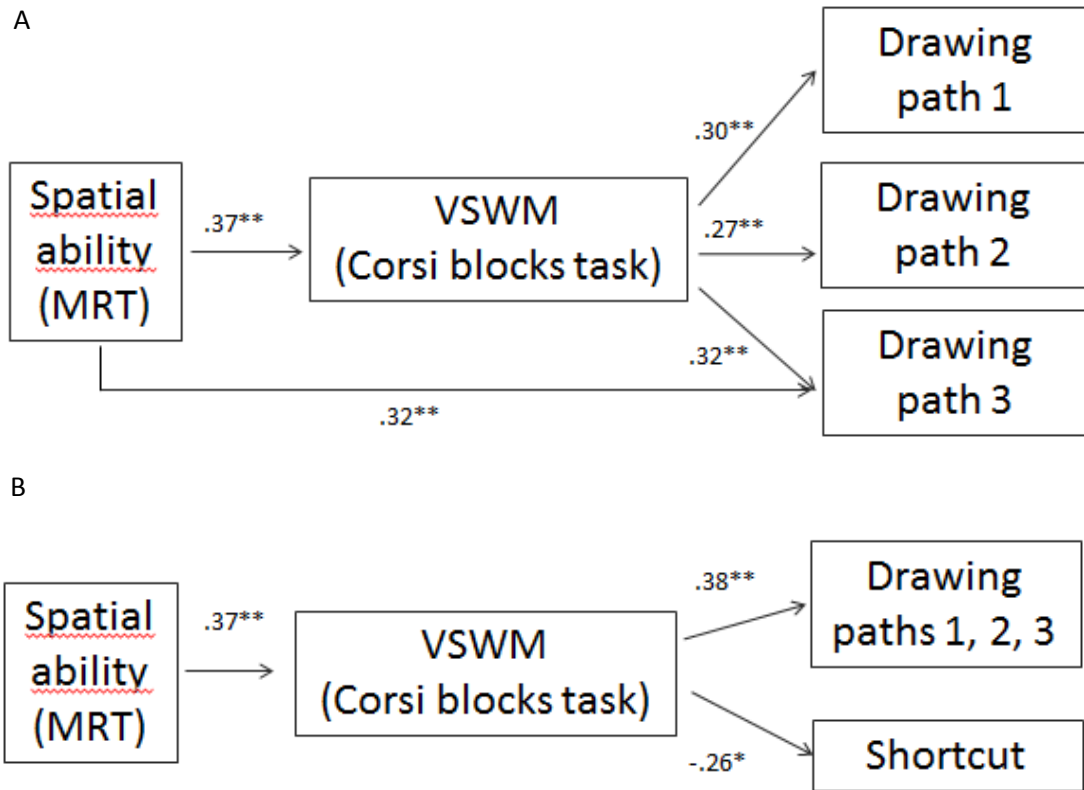


Figure 2. Final path models of drawings of single paths (paths 1, 2 or 3; model 1), panel a, and of combined paths and shortcut (model 2), panel b. The β values correspond to the direct relationships; * $p < .05$ and ** $p < .01$.

Table 3. Final path model 1 (drawing single paths 1, 2 or 3): direct and indirect effects.

Effects		Path 1			Path 2			Path3		
		β	z	p	β	z	p	β	z	p
Direct	MRT→ Corsi task	.37	3.58	.001	.37	3.58	.001	.37	3.58	.001
	MRT→ accuracy	ns ^a			ns ^a			.22	2.16	
	Corsi task → path (accuracy)	.30	2.81	.004	.27	2.56	.005	.32	3.00	.001
Indirect	MRT→Corsi task→ path accuracy	.11	2.21	.013	.10	2.08	.018	.12	2.30	.010

Note. ^aIn the initial full model the MRT → accuracy relationship was not significant so it was omitted in the final model.

Table 4. Final path model 2 (drawing all paths together and shortcuts): direct and indirect effects (significant relationships in bold).

Effects		Drawing all paths together			Shortcut		
		β	z	p	β	z	p
Direct	MRT → Corsi task	.37	3.58	.001	.37	3.58	.001
	MRT → accuracy	ns ^a			ns ^a		
	Corsi task → accuracy	.38	3.68	.001	-.26	-2.39	.008
Indirect	MRT → Corsi task → path accuracy	.14	2.57	.005	-.09	-1.99	.023

Note. ^a In the initial full model the MRT → accuracy relationship was not significant so it was omitted in the final model.

Discussion of the results and conclusions

Based on the theoretical premises that individuals vary in their navigation performance due to individual factors such as spatial skills (e.g. Hegarty et al., 2006; Ishikawa & Montello, 2006; Weisberg et al. 2014), and that the latter skills can intervene at the same time but with different roles (Allen et al 1996; Meneghetti et al., 2014), the present study aimed to explore how individual spatial factors work together to influence performance in learning by navigation.

A group of females was administered visuo-spatial and verbal control tasks, then they learned three paths in a virtual garden arranged on a 3 x 2 grid. After learning each path, participants retraced it with a joystick and drew a sketch map of it (to test their recall of the single paths), then they draw a map of all three paths together and identified a shortcut between two points (to test their overall environment representation) (e.g. Foo et al., 2005; Hegarty et al., 2006; Weisberg et al. 2014).

The results showed that individual spatial measures (MRT, OPT and Corsi blocks tasks) correlated with each other, but only the Corsi blocks task

(combining the forward and backward versions) correlated with navigation performance, both in tasks assessing single paths and when the paths were combined together or the shortcut was drawn. These findings confirm that only spatial (not verbal) abilities are related to learning by navigation (Hegarty et al., 2006; Weisberg et al. 2014), and suggest that different individual spatial skills do not take effect on the same level in influencing navigation efficiency.

Our path models help to elucidate the pattern of relations between individual spatial measures and learning by navigation. Both the models - considering the recall of paths separately (model 1) and combined (model 2) - showed that only the MRT (not the OPT task, even though the two tasks are related) has a prevalent role as an initial predictor of VSWM ability, which in turn influences performance in learning by navigation. Both models revealed indirect relationships between the MRT and environment learning mediated by VSWM. In other words, the relationship between spatial ability and environment learning by navigation is not direct, but mediated by VSWM, and this applies equally to when single paths have to be recalled (when paths 1, 2 and 3 were considered separately) and when the whole environment has to be recalled (when all three paths were drawn together or spatial relationships were inferred to identify a shortcut). Although drawing accuracy was better for single than for multiple paths, mental rotation skills and VSWM work in much the same way, as a predictor and a mediator, respectively.

It worth noting, however, that the effect of the MRT was direct for the recall of last path learned (i.e. the third). This is probably because participants knew that it was the last path to learn and that the spatial information acquired for this and the previous two paths had to be combined into a whole representation. At the

same time, the homogeneous nature of the garden (all green), its geometrical regularity (a 3 x 2 grid), and the fact that landmarks seen on the previous paths were visible from another perspective along the third path (like the “signpost” seen from opposite views on paths B and C) can make organizing the spatial information quite demanding to (as suggested by Amundson & Miller, 2007; Dewar, Cowan, & Sala, 2007). Further studies are needed to better ascertain the role of path order in the formation of mental representations.

Taken together, our results show that taking multiple spatial cognitive abilities into account at the same time, enables us to explore how they work on different levels in influencing the degree of efficiency in learning by navigation.

Good environment learning relies on an individual’s a-priori spatial (rotation) ability (as tested with the MRT) - mainly through the mediation of VSWM. The already confirmed relationship between MRT and VSWM (Cornoldi & Mammarella, 2008) indicates that rotation ability is what enables people to process promptly and retain a more or less extensive sequence of blocks in the Corsi task; proficiency in this task thus emerged as a sensitive measure of an individual’s efficiency in processing and maintaining spatial information acquired by navigation, i.e. a situation where the order in which the information is presented becomes a core factor (Van der Ham & Van den Hoven, 2014).

Therefore, these results confirm that spatial (sequential) memory has a central role in learning by navigation (Allen et al., 1996), and newly demonstrate that VSWM – based on sequential information processing - captures a core aspect of this learning process. The role of spatial memory (both long-term and WM) as a mediator, warrants further study (using different types of memory task, for instance; see Cornoldi & Vecchi, 2003).

This relationship between spatial (rotation) ability and environment learning by VSWM also merits some considerations regarding its theoretical background. This finding corroborates the assumption that spatial cognitive abilities (measured with small-scale, paper-and-pencil psychometric tasks) are not strictly associated with environment learning; this relationship is better described by considering the role of other variables involved (see Wang et al., 2014 for a review). The present study showed that, among the various factors coming into play, spatial (sequential) memory may be fundamental, and capable of mediating the relationship between environment learning and spatial skills (as found by Allen et al., 1996), newly highlighting the importance of VSWM in this mediation.

To conclude, this brief report contributes to expanding our knowledge of how individual factors influence environment learning, i.e. spatial (rotation) ability affects environment learning efficiency through the mediation of VSWM. This finding helps us to define the basis for further studies to explore other factors capable of mediating this relationship between spatial ability (on a small scale) and environment learning (on a large scale), which may include sense of direction (Brunyé et al. 2014; Hegarty et al., 2006), the specific strategies used to deal with a task (as suggested by Meneghetti et al., 2014), also age (Wang et al., 2014) and gender (Wang & Carr, 2014).

Acknowledgements: The authors wish to thank Giulia Leandro for collecting data and Lucia Ronconi for her advices on the data analysis. This work was supported by Ficyt 11-144 grant.

Footnote

¹The sample included only females because accuracy in learning by navigation is known to vary in relation to gender (e.g. Ishikawa & Montello 2006; Weisberg et al., 2014).

² The retracing of each path was not included in the final correlation analyses because it was considered as a measure for ascertaining the recall of each path and preliminary analyses had shown that the correlations with individual differences measures were quite small ($r \leq .22$).

References

- Allen, G.L., Kirasic, K.C., Dobson, S.H., Long, R.G., & Beck, S. (1996). Predicting environmental learning from spatial abilities: An indirect route. *Intelligence*, 22, 327–355. doi: 10.1016/S0160-2896%2896%2990026-4.
- Amundson, J.C., & Miller, R.R. (2007). Similarity in spatial origin of information facilitates cue competition and interference. *Learning and Motivation*, 38, 155-171. doi: 10.1016/j.lmot.2006.09.001.
- Blajenkova, O., Motes, M., & Kozhevnikov, M. (2005). Individual differences in the representations of novel environments. *Journal of Environmental Psychology*, 25, 97–109. doi:10.1016/j.jenvp.2004.12.003
- Brunyé, T.T., Holmes, A., Cantelon, J., Eddy, M.D., Gardony, A.L., Mahoney, C.R. & Taylor, H.A. (2014). Direct current brain stimulation enhances navigation efficiency in individuals with low spatial sense of direction. *Neuroreport*, 25, 1175–1179. doi: 10.1097/WNR.0000000000000214.
- Chrastil, E.R., & Warren, W.H. (2013). Active and passive spatial learning in human navigation: acquisition of survey knowledge. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 39, 1520-1537. doi: 10.1037/a0032382.
- Coluccia, E., & Iouse, G. (2004). Gender differences in spatial orientation: a review. *Journal of Environmental Psychology*, 24, 329-340. doi: 10.1016/j.jenvp.2004.08.006.
- Cornoldi, C., & Mammarella, I.C. (2008). A comparison of backward and forward spatial spans. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 674-682. doi: 10.1080/17470210701774200.

- Cornoldi, C., & Vecchi, T. (2003). *Visuo-spatial working memory and individual differences*. Hove, UK: Psychology Press. doi: 10.1002/acp.1008.
- Corsi, P.M. (1972). *Human Memory and the Medial Temporal Region of the Brain*. Unpublished doctoral dissertation. McGill University. Montreal.
- De Beni, R., Meneghetti, C., Fiore, F., Gava, L., & Borella, E. (2014). *Batteria Visuo-spaziale. Strumenti per la valutazione delle abilità visuo-spaziali nell'arco di vita adulta [Visuo- spatial Battery: Instrument for assessing visuo-spatial abilities across adult life span]*. Hogrefe: Florence, Italy.
- Dewar, M.T., Cowan, N., & Sala, S.D. (2007). Forgetting due to retroactive interference: A fusion of Muller and Pilzecker's (1900) early insights into everyday forgetting and recent research on anterograde amnesia. *Cortex*, 43, 616–634.
- Fields, A.W., & Shelton, A.L. (2006). Individual skill differences and large-scale environmental learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32, 506–515. doi: 10.1037/0278-7393.32.3.506.
- Foo, P., Warren, W.H., Duchon, A., & Tarr, M.J. (2005). Do humans integrate routes into a cognitive map? Map- vs. landmark-based navigation of novel shortcuts. *Journal of Experimental Psychology: Human Memory and Learning*, 31, 195–215. doi: 10.1037/0278-7393.31.2.195.
- Gyselinck, V. & Meneghetti, C. (2011). The role of spatial working memory in understanding verbal descriptions: a window onto the interaction between verbal and spatial processing. In A. Van Dierendonck & A. Szmalec (Eds). *Spatial Working Memory*. (pp. 159-180). Psychology Press.
- Harris, M.A., & Wolbers, T. (2014). How age-related strategy switching deficits affect wayfinding in complex environments. *Neurobiology of Aging*, 35, 1095-1102. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2013.10.086.
- Hegarty, M., Montello, R.D., Richardson, A.E., Ishikawa, T., & Lovelace, K. (2006). Spatial abilities at different scales: Individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning. *Intelligence*, 34, 151–176. doi 10.1016/J.Intell.2005.09.005.
- Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32, 175–191 doi: 10.1016/j.intell.2003.12.001.
- Hegarty, M., & Waller, D. (2006). Individual differences in spatial abilities. In P. Shah & A. Miyake (Eds.) *Handbook of Visuospatial Thinking* (pp. 121-169). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Ishikawa, T., & Montello, D.R. (2006). Spatial knowledge acquisition from direct experience in the environment: Individual differences in the development of metric knowledge and the integration of separately learned places. *Cognitive Psychology*, 52, 93–129. doi:10.1016/j.cogpsych.2005.08.003.

- Jansen, P., Wiedenbauer, G., & Hahn, N. (2010). Manual rotation training improves direction-estimations in a virtual environmental space. *European Journal of Cognitive Psychology*, 22, 6-17. doi:10.1080/09541440802678487.
- Jöreskog, K. & Sörbom, D. (1993). LISREL 8: Structural Equation Modeling with the SIMPLIS Command Language. Chicago, IL: Scientific Software International Inc.
- Jöreskog, K.G., & Sörbom, D. (1996). LISREL 8: Structural equation modeling with the SIMPLIS command language. Chicago: Scientific Software International.
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation and perspective taking spatial abilities. *Memory and Cognition*, 29, 745–756. doi:10.3758/BF03200477.
- Kozhevnikov, M., Motes, M.A., Rasch, B., & Blajenkova, O. (2006). Perspective-taking vs. mental rotation transformations and how they predict spatial navigation performance. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 397–417. doi:10.1002/acp.1192.
- Labate, E., Pazzaglia, F., & Hegarty, M. (2014). What working memory subcomponents are needed in the acquisition of survey knowledge? Evidence from direction estimation and shortcut tasks. *Journal of Environmental Psychology*, 37, 73-79. doi:10.1016/j.jenvp.2013.11.007.
- Lohman, D.F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. In R. J. Sternberg (Ed.). *Advances in the Psychology of Human Intelligence* (Vol. 4., pp. 181-248). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Mardia, K.V. (1970). Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika*, 57, 519–530. doi: 10.2307/2334770.
- Meilinger, T., Knauff, M., & Bühlhoff, H.H. (2008). Working memory in wayfinding - a dual task experiment in a virtual city. *Cognitive Science*, 32, 755-770. doi: 10.1080/03640210802067004.
- Meneghetti, C., Borella, E., Carbone, E., Martinelli, M., & De Beni, R. (in press). Environment learning using descriptions or navigation: The involvement of working memory in young and older adults. *British Journal of Psychology*. doi: 10.1111/bjop.12145.
- Meneghetti, C., Borella, E., Gyselinck, V., & De Beni, R (2012). Age-differences in environment route learning: the role of input and recall-test modalities in young and older adults. *Learning and Individual Differences*, 22, 884-890. doi:10.1016/j.lindif.2012.04.006.
- Meneghetti, C., De Beni, R., Pazzaglia, F., & Gyselinck, V. (2011). The role of visuo-spatial abilities in recall of Spatial descriptions: A mediation model. *Learning and Individual Differences*, 21, 719-723. Doi:10.1016/j.lindif.2011.07.015.

- Meneghetti, C., Ronconi, L., Pazzaglia, F., & De Beni, R. (2013). Spatial mental representations derived from spatial descriptions: the predicting and mediating roles of spatial preferences, strategies, and abilities. *British Journal of Psychology*, 105, 295-315. doi:10.1111/bjop.12038.
- Miyake, A., Friedman, N.P., Rettinger, D.A., Shah, P., Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related?. A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology. General*, 130, 621-40. doi: 10.1037//0096-3445.130.4.621.
- Montello, D.R. (2005). Navigation. In P. Shah & A. Miyake (Eds.), *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking* (pp. 257–294). Cambridge: Cambridge University Press.
- Oltman, P.K., Raskin, E., & Witkin, H.A. (1971). *Group Embedded Figures Test*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Schinazi, V.R., Nardi, D., Newcombe, N.S., Shipley, T.F., & Epstein, R.A. (2013). Hippocampal size predicts rapid learning of a cognitive map in humans. *Hippocampus*, 23, 515–528. doi:10.1002/hipo.22111.
- Schreiber, J.B., Stage, F.K., King, J., Nora, A., & Barlow, E.A. (2006). Reporting structural equation modeling and confirmatory factor analysis results: A review. *The Journal of Educational Research*, 99, 323-337. doi: 10.3200/JOER.99.6.323-338.
- Tolman, E.C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55, 189–208. doi:10.1037/h0061626.
- Uttal, D.H., Meadow, N.G., Tipton, E., Hand, L.L., Alden, A.R., Warren, C., & Newcombe, N.S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139, 352-402. doi: 10.1037/a0028446.
- Uttal, D.H., Miller, D.I., & Newcombe, N.S. (2013). Exploring and enhancing spatial thinking: Links to achievement in science, technology, engineering, and mathematics?. *Psychological Science*, 22, 367-373. doi: 10.1177/0963721413484756.
- Vandenberg, S.G., & Kuse, A.R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 599–604. doi: 10.2466/pms.1978.47.2.599.
- Van der Ham, I.J.M. & Van den Hoven, J. (2014). Lateralization of route continuation and route order. In C. Freksa, B. Nedel, M. Hegarty, T. Barkowsky (Eds.), *Spatial Cognition 2014*, LNAI 8684, pp. 137–146. doi: 10.1007/978-3-319-11215-2_12.
- Wan, X., Wang, R.F., & Crowell, J.A. (2012). The effect of landmarks in human path integration. *Acta psychologica*, 140, 7-12. doi: 10.1016/j.actpsy.2011.12.011.

- Wang, L., & Carr, M. (2014). Working memory and strategy use contribute to gender differences in spatial ability. *Educational Psychologist*, 49, 261-282. doi:10.1080/00461520.2014.960568.
- Wang, L., Cohen, A.S., Carr, M. (2014). Spatial ability at two scales of representation: A meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 36, 140-144. doi: 10.1016/j.lindif.2014.10.006.
- Wechsler, D. (1981). *Wechsler Adult Intelligence Scale - Revised (WAIS-R)*. The Psychological Corporation, New York.
- Weisberg, S.M., Schinazi, V.R., Newcombe, N.S., Shipley, T.F., & Epstein, R.A. (2014). Variations in cognitive maps: understanding individual differences in navigation. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 40, 669-682. doi: 10.1037/a0035261.
- Wiener, J.M., & Mallot, H.A. (2006). Path complexity does not impair visual path integration. *Spatial Cognition and Computation: An Interdisciplinary Journal*, 6, 333-346. doi:10.1207/s15427633scc0604_3.
- Wolbers, T., & Hegarty, M. (2010). What determines our navigational abilities?. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 138–146. doi:10.1016/j.tics.2010.01.001.
- Zancada-Menendez, C., Sampedro-Piquero, P., Meneghetti, C., Labate, E., Begega, A., & Lopez, L. (2015). Age differences in path learning: The role of interference in updating spatial information. *Learning and Individual Differences*, 28, 83-89. doi:10.1016/j.lindif.2015.01.015.

5

Discusión General

*Razonar y convencer, ¡Qué difícil, largo y trabajoso!
¿Sugestionar? ¡Qué fácil, rápido y barato!*

Santiago Ramón y Cajal

El objetivo principal de la presente Tesis fue comprobar si, al igual que sucede en otros procesos cognitivos, la capacidad de orientación espacial se ve deteriorada durante el envejecimiento (Craik y Salthouse, 2000; Gazzaley y cols., 2005), así como comprobar si factores como la interferencia de la información, los procesos de actualización, o las habilidades espaciales pueden influir en la aparición de dicho deterioro. Para ello se evaluó, por un lado, la ejecución de tres grupos de edad (jóvenes, adultos y mayores) en una tarea pura de cambio de perspectiva. Por otro, se creó un entorno de realidad virtual en el que los participantes, divididos también en tres grupos de edad, debían orientarse a lo largo de tres recorridos utilizando para ello un joystick.

A diferencia de estudios previos en los que, por lo general, los participantes tienen que recordar una única ruta del entorno (Gyselinck y cols., 2013; Head e Isom, 2010) o, en el caso de que sean múltiples, éstas tienen un punto de inicio o fin común (Brunyé y cols., 2012; Iglói y cols., 2009), en nuestras investigaciones, a fin de estudiar la influencia de la interferencia de la información y la capacidad de actualización, los participantes tenían que orientarse a lo largo de tres recorridos que comenzaban y finalizaban en distintos puntos del mismo entorno. Además, ya que algunos estudios parecen indicar que cuanto más similar es la información mayor es la interferencia entre ella (Amundson y Miller, 2007; Dewar y cols., 2007), se mantuvo la misma configuración del entorno a lo largo de las rutas. Por lo general, la interferencia, tanto proactiva como retroactiva, ha sido evaluada utilizando principalmente pruebas de memoria de trabajo, como el recuerdo de listas de palabras o la localización de la posición de objetos en el espacio (Carretti y cols., 2012;

Carroll y cols., 2010; Lustig y cols., 2001). Sin embargo, que nosotros conozcamos, ningún estudio previo ha evaluado éste fenómeno en tareas específicas de orientación espacial en entornos virtuales.

A lo largo de la literatura, tanto la memoria de trabajo visuoespacial como la rotación mental o la capacidad de cambio de perspectivas, han sido considerados factores esenciales en el marco de la cognición espacial (Hegarty y cols., 2006; Kozhevnikov y cols., 2006; Meneghetti y cols., 2013b). Por ello, los objetivos en esta Tesis Doctoral han ido encaminados a averiguar la relevancia de dichos factores en el aprendizaje de las perspectivas de ida y vuelta, así como en la representación espacial de las rutas y en la formación del mapa cognitivo.

A continuación, se discutirán los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas en esta Tesis Doctoral.

Primer objetivo: Estudiar la capacidad de orientación espacial en tres periodos diferentes del ciclo vital y el efecto de la interferencia sobre dicha función cognitiva.

El objetivo principal de este estudio fue comprobar, por una parte, si la capacidad de orientación espacial se ve alterada a medida que envejecemos y, por otra parte, averiguar en qué medida la interferencia entre información similar puede ser una variable que influya en los resultados.

En primer lugar, utilizamos diversas pruebas de corta duración (Fototest, WAIS III, VOSP, Cubos de Corsi) para comprobar que todos los participantes del estudio (jóvenes, adultos y mayores) mostraban puntuaciones normales para su edad, asegurándonos, de este modo, que ningún deterioro tanto cognitivo

como perceptivo, pudiese influir en los resultados de la investigación. Posteriormente, utilizamos una prueba de realidad virtual para valorar la capacidad de orientación espacial, ya que numerosas investigaciones han reflejado la fiabilidad y validez del uso de estas técnicas en el estudio de los procesos de orientación, al permitir medir con gran precisión la ejecución de los participantes (Koh y cols., 1999; Steinicke y cols., 2013). Las variables utilizadas a la hora de comparar la orientación de jóvenes, adultos y personas mayores a lo largo de las tres rutas que componen nuestro entorno virtual fueron el tiempo necesario para finalizar las rutas (s), la distancia recorrida (m), los errores de dirección cometidos, así como el número de veces que el participante se detuvo para decidir qué dirección tomar.

Los resultados en la tarea de orientación mostraron una ejecución general peor del grupo de personas mayores frente al de adultos y jóvenes, necesitando éstos más tiempo para finalizar las rutas, recorriendo más distancia, cometiendo más errores de dirección y realizando un mayor número de pausas durante la prueba. Aunque son numerosos los estudios que han observado un deterioro en la orientación espacial durante el envejecimiento (Harris y Wolbers, 2012; Kirasic, 2000; Sjölindera y cols., 2005), otros estudios, en cambio, no muestran tales diferencias, indicando que la aparición de éstas es dependiente del tipo de tarea o del marco de referencia espacial utilizado para la evaluación (Copeland y Radvansky, 2007; Radvansky y Dijkstra, 2007; Yamamoto y Degirolamo, 2012). Sin embargo, los estudios parecen coincidir en que si la tarea es exigente, y requiere cambiar e integrar diferentes tipos de información, las diferencias dependientes de la edad se mantienen (Aisenberg

y cols., 2014; Grewe y cols., 2014; Harris y Wolbers, 2014; Mammarella y cols., 2009). Por otro lado, aunque observamos que la ejecución de jóvenes y adultos fue bastante similar, los participantes adultos realizaron un mayor número de pausas, lo cual podría deberse a la mayor rapidez en la toma de decisiones del grupo de jóvenes, ya que ésta se ha visto afectada con el paso de la edad (Del Missier y cols., 2015; Peters y cols., 2000; Zancada-Menéndez y cols., 2013).

Con el fin de comprender mejor los resultados previos, analizamos el recuerdo verbal de giros (derecha e izquierda) y pistas (en orden y sin orden) cuando los participantes finalizaban cada ruta. En primer lugar, el análisis de los giros mostró que los jóvenes recordaban mayor número de éstos que el grupo de personas mayores, resultado que coincide con la mejor capacidad de orientación mostrada por este grupo. Igualmente, el análisis del recuerdo de las pistas sin orden mostró que el grupo de jóvenes recordaba un mayor número de pistas en comparación con el grupo de personas mayores, lo cual sigue la línea de estudios previos que muestran una reducción del *span* de memoria con el envejecimiento (Hale y cols., 2011; Myerson y cols., 2003). Cuando analizamos el recuerdo de las pistas en orden, los resultados mostraron, al igual que estudios previos, un peor recuerdo por parte del grupo de mayores en comparación con el de jóvenes y adultos (Gyselinck y cols., 2013; Kirasic, 2000). Este resultado está en consonancia con el deterioro observado en el envejecimiento respecto de la memoria de localización de objetos, información imprescindible para poder recordar el orden de presentación de las pistas en nuestro estudio (Kessels y Postma, 2006; Pertzov y cols., 2015). De hecho, el deterioro en la memoria de localización de objetos se ha visto que es uno de

los déficits cognitivos que aparecen en el transcurso de enfermedades neurodegenerativas, como el Deterioro Cognitivo Leve, la enfermedad de Alzheimer o la Corea de Huntington (Brandt y cols., 2005; Bucks y Willson, 1997; Kessels y cols., 2010).

Por otro lado, con el envejecimiento también se produce un deterioro de los procesos de inhibición e integración de información espacial cambiante (Bates y Wolbers, 2014; Fiore y cols., 2012; Hasher y cols., 2002), función que es necesaria en este estudio para poder inhibir la información de las rutas previas. Por ello, consideramos que la peor capacidad de orientación espacial del grupo de personas mayores también podría haber sido consecuencia de la interferencia de la información entre las rutas (Blank, 2005; Wright y cols., 2009). Además, ésta podría haberse visto incrementada por la similitud de la información, al mantener las pistas siempre en la misma posición (apareciendo alguna en varias rutas) y siendo la configuración del entorno exactamente igual a lo largo de las tres rutas.

Asimismo, a la hora de actualizar la información ruta a ruta, el cambio de perspectiva también podría haber sido un factor determinante. Como se indicó previamente, las tres rutas de esta tarea espacial comienzan y finalizan en distintos lugares del entorno, llegando incluso a solaparse en algunos puntos. Esto hace que algunas pistas se observen desde distintas perspectivas y, por ello, tanto el orden de aparición como la información que proporcionan de cara a la orientación es distinta de ruta a ruta (ej. en la segunda ruta la motosierra indicaría hacer un giro a la derecha, y en la tercera ruta seguir de frente). A este respecto, Inagaki y cols. (2002) muestran un deterioro en esta capacidad

de cambio de perspectiva durante el envejecimiento. No obstante, no todos los estudios muestran un deterioro de esta habilidad espacial a medida que se envejece (Meneghetti y cols., 2011b). De hecho, dados estos resultados contradictorios, el segundo objetivo de esta tesis tratará de abordar si se produce o no un deterioro en esta habilidad espacial con el envejecimiento.

Por otro lado, cuando analizamos la capacidad de orientación a lo largo de las tres rutas del entorno, sin tener en cuenta la variable edad, observamos un mayor número de errores y de paradas en la última ruta con respecto a las previas. A pesar de no haber observado diferencias significativas en la ejecución de las tres rutas en cada uno de los grupos de edad, los resultados muestran una tendencia en todos ellos hacia un peor rendimiento en la tercera ruta respecto a las anteriores, de ahí que la ejecución global, sin tener en cuenta la variable edad, sea peor en la última ruta.

Este resultado va en contra de otros trabajos previos en los que observaron una mejora a lo largo de los ensayos de la prueba (Canovas y cols., 2008; Livingstone-Lee y cols., 2014). En nuestro caso, consideramos que este resultado pudo ser debido a la interferencia de la información previa, ya que el recuerdo de pistas en orden también mostró ser significativamente peor en la última ruta con respecto a las anteriores, lo cual refuerza nuestra hipótesis de que la información de las rutas previas habría interferido en el recuerdo de las posteriores. En relación a esto, Makovski y Jiang (2008) consideraron que la eliminación por completo de la información visual de los ensayos previos es altamente compleja. Sin embargo, el recuerdo de los giros no mostró diferencias a lo largo de los recorridos y el recuerdo de las pistas sin orden

incluso mejoró a lo largo de los mismos. Resultados que indican, por un lado, que la peor orientación en la última ruta no pudo ser debida a un mal recuerdo de los giros ni a un deterioro en el *span* de memoria y, por otro lado, acentúa la importancia del orden y la localización de los objetos en la aparición del fenómeno de interferencia.

Así, en esta tarea de orientación espacial el conjunto de los resultados sugiere que tratar de recordar la secuencia de todas las pistas de cada ruta resulta una estrategia poco eficaz, necesitando una gran capacidad de actualización de la información, la cual se ve afectada con el envejecimiento en gran parte por la dificultad de inhibir la información previa. Sin embargo, recordar los giros y algunas pistas en lugares de decisión (ej. intersecciones), resultaría una estrategia mucho más eficaz y reduciría la interferencia, ya que, de hecho, en todos los grupos de edad el recuerdo de pistas sin orden mejoró y el de giros se mantuvo a un alto nivel a lo largo de las rutas.

Segundo objetivo: Analizar la influencia de la edad y del género en una tarea específica de cambio de perspectivas

A lo largo de la literatura, como se ha indicado en el marco teórico, numerosos estudios han mostrado que con el envejecimiento se produce un deterioro en la cognición espacial, provocando déficits en tareas como el recuerdo de rutas (Harris y Wolbers, 2014; Head e Isomc, 2010) el dibujo de mapas (Delpolyi y cols., 2007) o el recuerdo de pistas entre otros (Cushman y cols., 2008; Monacelli y cols., 2003). Recientemente, Marková y cols. (2015) han descubierto que la evaluación de la capacidad de cambio de perspectiva puede ser una herramienta útil a la hora de discriminar un envejecimiento no

patológico de uno que cursa con Deterioro Cognitivo Leve o probable demencia de Alzheimer. De hecho, la habilidad de cambio de perspectiva ha sido propuesta como imprescindible en los procesos de orientación espacial (Kozhevnikov y cols., 2006; Zacks y Michelon, 2005). Sin embargo, pocos han sido los estudios que han evaluado la influencia del envejecimiento en esta variable y los que lo han acometido han mostrado resultados contradictorios (Inagaki y cols., 2002; Watanabe y Takamatsu, 2014).

Por ello, y dado que la tarea que se realiza en el laberinto virtual conlleva un cambio de perspectiva en cada ruta, hemos considerado de gran interés conocer si esta habilidad podría haber influido en la peor ejecución observada en el grupo de personas mayores en el estudio previo. Para ello, tres grupos de edad (jóvenes, adultos y mayores) realizaron el test de Cambio de Perspectiva creado por Kozhevnikov y Hegarty (2001). En esta prueba los participantes observan desde una perspectiva aérea (en una hoja) una serie de dibujos a los cuales tendrán acceso a lo largo de los doce ítems que conforman la tarea. En cada ítem se les pidió a los participantes que se imaginasen posicionados en uno de esos dibujos mirando hacia otro de ellos (ej. estas situado en el coche mirando hacia el árbol). La tarea consistía en indicar en qué lugar quedaría un tercer elemento teniendo en cuenta su posición y hacia donde estaban mirando. Generalmente, las investigaciones en las que ha sido utilizado este test han evaluado como variables dependientes el número de ítems correctos efectuados en un tiempo limitado (5 min.), el grado de desviación total de los ítems o el efecto de alineamiento (Borella y cols., 2015). En nuestro estudio, con el objetivo de conocer más en detalle qué factores podrían modular la

ejecución de los distintos grupos de edad de forma más sencilla, fueron incluidas otras variables dependientes, como el error de desviación en los ítems incorrectos, los ítems que quedaban sin contestar una vez finalizado el tiempo límite y el número de respuestas opuestas a la correcta. Además, con el fin de conocer si el grado de desviación era un factor modulador de la ejecución, comparamos la actuación en ítems que requerían un cambio de perspectiva igual o menor de 90° con aquellos que requerían un cambio de perspectiva mayor de 90° . Para ello, se dividió el círculo de respuesta en 8 triángulos y a cada uno de ellos se le dio un valor del 1 al 4, siendo el 1 el valor asignado a los triángulos contiguos a la respuesta correcta y 4 el triángulo opuesto a la respuesta correcta. Así, el error de desviación fue la suma de esas puntuaciones (1-4) en el total de ítems (12), resultando el rango de error de 0 a 48.

Los resultados mostraron que el grupo de personas mayores realizó más respuestas incorrectas que el grupo de jóvenes. Además, el grado de error de desviación de esas respuestas erróneas fue también significativamente mayor en el grupo de mayores frente a jóvenes (es decir, cometen más fallos y éstos se desvían más de la respuesta correcta). Estos resultados siguen la línea de los presentados por Inagaki y cols. (2002) donde se concluye que con el envejecimiento el marco de referencia se focaliza en lo que se está observando, disminuyendo la capacidad de cambio de perspectiva. Por otro lado, el reciente estudio de Van Elk y Blanke (2014) muestra que la información vestibular y propioceptiva es imprescindible a la hora de realizar correctamente el cambio de perspectiva, al igual que ya sugerían estudios previos (Blanke,

2012; Lopez y cols., 2008) y, de hecho, Wraga y cols. (2005) indican que imaginar el movimiento del cuerpo conlleva una activación cerebral similar a la que se produce con el movimiento físico real. A este respecto, Lövdén y cols. (2005) consideran que la peor ejecución encontrada en el grupo de mayores frente al de jóvenes en una tarea de orientación espacial podría haberse debido, en parte, a un deterioro en el procesamiento de información vestibular de estos últimos, coincidiendo así con aquellos estudios que también indican que con el envejecimiento se produce un deterioro tanto estructural como funcional del sistema vestibular (Barin y Dodson, 2011; Leandri y cols., 2015; Maleki y cols., 2014).

Por otro lado, no observamos diferencias entre grupos en las respuestas opuestas ni en los ítems no contestados. Respecto a esta última variable, dado que la prueba tiene un límite de tiempo de 5 minutos y, como ya se comentó anteriormente, la velocidad en el procesamiento cognitivo y en la toma de decisiones disminuye con la edad (Del Missier y cols., 2015), esperábamos encontrar un mayor número de respuestas sin contestar en el grupo de mayores. Una posible explicación a este resultado es que tal vez la complejidad de la tarea, como veremos a continuación, haya disminuido ese efecto entre los grupos.

Cuando comparamos la ejecución exclusivamente de aquellos ítems cuya respuesta requería un cambio de perspectiva menor ($<90^\circ$) se observó que los jóvenes cometían un número de errores significativamente menor que los grupos tanto de adultos como de mayores. Sin embargo, tales diferencias desaparecían al comparar la ejecución en los ítems más exigentes ($>90^\circ$) que

conlleven un cambio de perspectiva mayor. Estos resultados parecen sugerir, por un lado, que los jóvenes únicamente muestran una superioridad en esta tarea frente a los otros grupos de edad cuando el cambio de perspectiva no es muy exigente ($\leq 90^\circ$) y, por otro lado, que el grupo de adultos mostrase una peor ejecución respecto de los jóvenes, pero no frente a los mayores en los ítems sencillos, aproximaría la ejecución de este grupo al de las personas mayores, lo cual sigue la línea del estudio de Liu y cols. (2011), donde se muestra que los deterioros en las habilidades de orientación ya aparecen en personas de mediana edad.

Asimismo, con el fin de comprender mejor la ejecución de cada grupo de edad según el ángulo de desviación requerido, se comparó la ejecución en los ítems mayores y menores de 90° en cada uno de los grupos de edad. Estos análisis mostraron que tanto jóvenes como adultos realizaban significativamente mejor los ítems con cambios de perspectiva menor ($\leq 90^\circ$) frente a los más exigentes ($>90^\circ$). Este resultado coincide con estudios previos donde participantes jóvenes mostraron una mayor velocidad y precisión en la ejecución de la tarea de cambio de perspectiva cuanto menor era la disparidad angular de los ítems (Kessler y Thomson, 2010; Zacks y Michelon, 2005). De igual modo, Kozhevnikov y Hegarty (2001) observaron que éstos cometían un mayor número de errores de reflexión (las respuestas erróneas que estando dentro del cuadrante correcto se desviaban como máximo 20° de la respuesta correcta) cuanto mayor era la desviación angular que se requería de la perspectiva a imaginar. Por el contrario, cuando analizamos los resultados del grupo de personas mayores, estos no mostraron diferencias en cuanto al grado

de desviación de los ítems. Aunque estudios como el de De Beni y cols. (2006) observaron una peor actuación con el envejecimiento a medida que la tarea se complicaba, nosotros consideramos que el no haber encontrado diferencias en nuestro estudio pudo ser resultado de un efecto suelo, es decir, la ejecución de este grupo en los ítems sencillos ya fue pobre y este peor rendimiento se sigue manteniendo cuando la tarea se vuelve más exigente.

Por último, en esta investigación también tuvimos en cuenta la variable género, ya que estudios previos han observado su influencia en tareas de cambio de perspectiva (Gardner y cols., 2012). En la extensa revisión de Coluccia y Louse (2004) sobre las diferencias de género en tareas espaciales se indica que en un 64,29% de estudios los hombres realizaron significativamente mejor las tareas que conllevan un cambio de perspectiva espacial, siendo más precisos y necesitando menos tiempo que las mujeres. Pero en esta misma revisión también se observa que en un 35,71% de los casos el rendimiento de hombres y mujeres fue similar. En nuestro estudio los resultados mostraron que los hombres realizaban menos respuestas incorrectas y con un menor error de desviación que las mujeres. Además, los hombres cometían menos errores que las mujeres cuando se comparó el grado de desviación, tanto en los ítems más sencillos como en los más complejos. Igualmente, y en concordancia con otros estudios, las diferencias de género se mantienen independientemente del grupo de edad (Borella y cols., 2015; Meneghetti y cols., 2011b).

En general los resultados obtenidos en este estudio indican por un lado que la edad y el género son factores que modulan la capacidad de cambio de perspectiva. A su vez, estos resultados nos permiten comprender un poco

mejor por qué en nuestro estudio anterior la ejecución del grupo de personas mayores fue peor en comparación al de jóvenes y adultos.

Tercer objetivo: Analizar el efecto del cambio de perspectiva en la orientación e integración de la información espacial en un entorno virtual inmersivo.

Con el fin de comprender mejor la influencia del cambio de perspectiva en la cognición espacial, el presente estudio evalúa si el hecho de acceder tanto a la perspectiva de ida como de vuelta en distintas rutas, dentro de un mismo entorno, puede beneficiar la orientación espacial y contribuir a la construcción del mapa cognitivo. Para este fin se comparó la ejecución de un grupo de participantes jóvenes que tenían acceso únicamente a la perspectiva de ida de cada ruta (unidireccional) con otro que tenía acceso tanto a la ida como a la vuelta (bidireccional). Aunque se utilizó el mismo entorno virtual que en el primer estudio de esta Tesis Doctoral, se introdujeron dos cambios metodológicos importantes. Por un lado, siguiendo la consideración de Fields y Shelton (2006) de que para adquirir con precisión la información de una ruta en un entorno virtual es necesario tener acceso a ésta un mínimo de tres ensayos, aumentamos el número de los mismos en los tres recorridos en ambas condiciones experimentales (1 ensayo de aprendizaje y 4 de ejecución en cada ruta). Por otro lado, en este estudio fue utilizado un dispositivo de realidad virtual inmersiva, permitiendo una experiencia más real de orientación con el entorno virtual (Patel y cols., 2006; Sherman y cols., 2014). Además, intentando implementar las características del entorno virtual y, aunque los análisis estadísticos realizados en el primer estudio no mostraron que la

diferente longitud de las rutas fuese una variable moduladora de los resultados obtenidos, en el presente estudio el entorno se construyó de tal manera que la longitud de todas las rutas fuese la misma. Finalmente, también se redujo el número de pistas observadas en cada recorrido para reducir la carga del span de memoria.

A lo largo de la literatura no han sido muchos los estudios que han investigado cómo influye la perspectiva de vuelta en la orientación al medio y, los que lo han hecho, han mostrado resultados contradictorios. Así, mientras que algunos estudios indican que adquirir la información extra de la perspectiva de vuelta es una buena estrategia en el aprendizaje de nuevas rutas (Caffó y cols., 2014; Gould, 1969) para otros, lejos de mejorar, empeora la capacidad de orientación (Golledge y cols., 1993; Moar y Carleton, 1982). Nuestros resultados se aproximaron a estos últimos estudios, al mostrar que el grupo de ruta bidireccional necesitó más tiempo para finalizar los recorridos y cometió un mayor número de errores de dirección a lo largo de las tres rutas en comparación al grupo con información unidireccional. Sin embargo, como analizaremos a continuación, parece que el grupo bidireccional mejora con la práctica llegando a mostrar, cosa que no sucede en el grupo unidireccional, una reducción significativa de los errores de la primera y segunda ruta con respecto a la tercera.

Para comprender el porqué de la peor ejecución del grupo bidireccional tuvimos en cuenta tres factores que podrían estar influyendo en dicho resultado: el nivel de adquisición de la información en los ensayos de aprendizaje, el cambio de

perspectivas propiamente dicho y la interferencia de la información entre la perspectiva de ida y de vuelta.

En primer lugar, el análisis de la ejecución del primer ensayo de ida en ambos grupos no mostró diferencias significativas, permitiendo descartar la hipótesis de que los peores resultados del grupo bidireccional fuesen debidos a un problema en la adquisición de la información.

En segundo lugar, para saber si el cambio de perspectiva en sí mismo era un factor modulador de la peor ejecución global del grupo bidireccional, comparamos los errores de ambos grupos en el segundo ensayo (segundo ensayo de ida en el grupo unidireccional y primero de vuelta en el bidireccional). Este análisis mostró, efectivamente, una peor ejecución del grupo bidireccional tanto en la primera como en la segunda ruta. Resultado que concordaría con los obtenidos en la segunda investigación de esta Tesis Doctoral, donde se mostró la dificultad del grupo de jóvenes en el cambio de perspectiva de aquellos ítems que requerían una desviación mayor de 90° , así como con estudios previos donde también se apunta a la relevancia del grado de desviación (Surtees y cols. 2013). Y es que el cambio de perspectiva que supone el recorrido de vuelta con respecto al de ida es de 180° . Pero también hay que recalcar que en el análisis anterior no se observaron diferencias en la tercera ruta, lo que abre la posibilidad, ya planteada a lo largo de la literatura en otras habilidades espaciales como la rotación mental (Brunyé y Taylor, 2008a), de que la experiencia en el cambio de perspectivas pudiese ser la responsable de una mejoría en la ejecución del grupo bidireccional. Para comprobar dicha hipótesis confrontamos la media del total de errores de la primera y segunda

ruta con la de la tercera ruta en cada grupo experimental. Este análisis mostró una reducción significativa de los errores únicamente en el grupo bidireccional, reforzando la hipótesis de que la práctica mejora la capacidad de cambio de perspectiva.

En tercer lugar, para conocer la posible influencia de la interferencia como factor modulador de los resultados, se comparó la ejecución de ambos grupos en el segundo ensayo de ida (segundo ensayo en el grupo unidireccional y tercero en el bidireccional) a lo largo de las tres rutas. Este análisis desveló un mayor número de errores del grupo bidireccional únicamente en el primer recorrido. Resultado que apunta, por un lado, a la aparición de interferencia entre la información de ida y vuelta del primer recorrido en el grupo bidireccional y, por otro lado, que con la práctica la influencia negativa de la interferencia se ve reducida, tal y como ya habían señalado otros investigadores (Blalock y McCabe, 2011; Rowe y cols. 2008). Además, consideramos que el aumento del número de ensayos respecto a la primera investigación de esta Tesis Doctoral, así como una percepción más real del entorno debida a la realidad virtual inmersiva, también habrían podido influir en la reducción de la interferencia general creada por el aprendizaje de las tres rutas (Berry y cols., 2009; Davidson y cols., 2003; Hötting y cols., 2013).

Este último resultado, junto con los anteriores y con el hecho de que el grupo bidireccional mostrase una mejoría en la tercera ruta, no sólo en el número de errores, sino también en el tiempo necesario para finalizar el recorrido, nos lleva a considerar que tal vez la perspectiva bidireccional pueda resultar

ventajosa en el proceso de orientación al medio si se incrementa el número de ensayos.

Otro de los objetivos de este estudio era comprobar el impacto que el acceso a una perspectiva bidireccional puede tener en la integración de la información espacial de las tres rutas. A tal fin, en la segunda fase del estudio se les pidió a los participantes que dibujasen las tres rutas y situasen todas las pistas en un mapa que contaba con el perímetro del entorno y las columnas centrales. Para facilitar la tarea se les proporcionó una lista con el nombre de todas las pistas que configuraban el entorno y se les indicó, mediante flechas dibujadas dentro del mapa, el inicio de cada ruta. Los resultados mostraron que la perspectiva de vuelta no sólo no produjo una configuración global del entorno más exacta, si no que, de hecho, ésta fue peor que cuando sólo se tenía acceso a la perspectiva de ida. Siendo la ejecución del grupo bidireccional, tanto en la localización de las pistas como en el dibujo de segmentos, significativamente peor que la realizada por el grupo unidireccional. Por ello, nuestros resultados son contrarios a los propuestos por Wang y Spelke (2000) autores que consideran que cuanto más información se adquiere de un entorno más preciso es el mapa cognitivo que se construye. A la luz de nuestros resultados, consideramos necesario matizar muy bien el tipo de información extra que resulta beneficiosa para la configuración del entorno, dado que la actualización espacial y la inhibición de la interferencia conlleva un coste que se incrementa a medida que la información disponible aumenta (Brockmole y Wang, 2005; Wang y cols., 2006).

Por otro lado, a pesar de que facilitamos el recuerdo de las pistas al entregarles un listado de las mismas, cabe destacar que ambos grupos dibujaron un número menor de pistas en el lugar correcto en comparación al de segmentos. Este resultado nos permite seguir apoyando la idea, ya planteada en el primer estudio de esta Tesis Doctoral, de que el peor recuerdo de las pistas no era debido al *span* de memoria, sino al recuerdo de su localización en el espacio. Además, estos resultados coinciden con estudios previos en los que observan que cuando la información es adquirida desde una perspectiva de ruta, como en este estudio, hay una mayor activación de regiones cerebrales que codifican la información egocéntrica (ej. lóbulo temporal medial, giro postcentral y corteza parietal superior derecho), mientras que si la información se adquiere desde una perspectiva de mapa se produciría una mayor activación de regiones cerebrales más vinculadas al procesamiento de los objetos que configuran el entorno (ej. circunvolución temporal inferior y giro fusiforme bilateral, corteza parietal superior y giro frontal superior izquierdo) (Shelton y Gabrieli, 2002, 2004). Además, como también apuntamos en el primer estudio, el mejor recuerdo de los giros podría haberse debido a la estrategia empleada por los participantes durante la prueba, tratando de recordar la información más sencilla y que menos interferencia generase.

Por último, a fin de comprender mejor la influencia del género en la capacidad de cambio de perspectiva e integración de la información espacial, comparamos la ejecución de hombres y mujeres en cada grupo experimental. Nuestros resultados parecen ir en la línea de lo apuntado por Coluccia e Iouse (2004) donde se indica que un alto porcentaje de hombres muestran mejores

resultados que las mujeres (57,14%) cuando se utilizan entornos virtuales, pero que, sin embargo, en el 42,86% de los casos estas diferencias no surgen. De este modo, las escasas diferencias de género encontradas en este estudio podrían haber sido consecuencia del uso de la realidad virtual. Concretamente, nuestros análisis mostraron una mejor ejecución de los hombres del grupo bidireccional en la capacidad de orientación de la última ruta respecto a las mujeres. Estos resultados, podrían ser explicados por la mejor capacidad de los hombres en tareas que requieren un cambio de perspectiva, como ya observamos en el segundo estudio de la presente Tesis Doctoral (incluso en los ítems que conllevan cambios menores de 90°).

Además, los hombres del grupo unidireccional también mostraron una mejor ejecución al dibujar un mayor número de segmentos correctamente, resultados que coincidirían con estudios previos que observan una mayor facilidad de los hombres para dibujar rutas y conexiones entre ellas sobre mapas, mientras que las mujeres son particularmente mejores en el recuerdo de las pistas y su localización (McGuinness y Sparks, 1983). De hecho, las tareas de dibujo de mapa son unas de las pocas, según recoge Coluccia e Iouse (2004) en su revisión, donde las mujeres muestran en un 22,2% de los casos una mejor ejecución que los hombres (Taylor y Tversky, 1992; O'Laughlin y Brubaker, 1998). Sin embargo, dado el pequeño tamaño muestral de hombres y mujeres en cada grupo, nuestros resultados a este respecto deben de ser interpretados con cautela.

Cuarto objetivo: Analizar el rol específico que cumple la memoria de trabajo visuoespacial, la rotación mental y el cambio de perspectiva en el aprendizaje e integración de la información espacial.

A lo largo de la literatura numerosos estudios han mostrado la relevancia de las diferencias individuales en la capacidad de orientación al medio (Gyselinck y cols. 2013; Wang y cols., 2014; Wen y cols., 2011). Allen y cols. ya señalaban en 1996 que el *cambio de perspectiva* podría actuar como mediador entre la capacidad de adquisición de la información espacial a pequeña escala y los conocimientos configuracionales de un entorno. Por su parte, Shelton y Gabrieli (2004) indicaron la relevancia de la *rotación mental* cuando la información espacial se adquiría desde una perspectiva de mapa y Brunyé y Taylor (2008b) mostraron una clara evidencia de participación de la *memoria de trabajo visuoespacial* en el procesamiento de textos que contenían información espacial. También el estudio de Ishikawa y Montello (2006), donde se constató que los procesos de adquisición de la estructura de un entorno seguían una pauta continua y no secuencial, recalca la relevancia de las diferencias individuales al mostrar sus resultados una gran variabilidad de ejecución entre los participantes.

En los últimos años un creciente número de investigaciones han tratado de comprender, de forma más exhaustiva, tanto el rol como la relevancia específica de cada uno de estos factores en la capacidad de adquisición de la información del entorno (Miyake y cols. 2001). Este es el caso de los estudios de Hegarty y cols. (2006) o Weisberg y cols. (2014), donde se plantea la posibilidad de que el conjunto de dichos factores (habilidades espaciales,

capacidad de actualización, habilidades verbales de memoria de trabajo visuoespacial o el sentido de dirección) puedan incluso predecir el grado de precisión con que se ejecutan las tareas espaciales. De hecho, para Weisberg y cols. (2014) la brecha más grande en la literatura actual en el marco de la cognición espacial es lo poco que se sabe sobre la relación entre la capacidad de navegación y otras habilidades cognitivas. Hegarty y cols. (2006), utilizando un modelo de ecuaciones estructurales, demostró que la visualización espacial, la rotación mental, la memoria de trabajo espacial, así como el sentido de la orientación, correlacionaban positivamente entre sí, y que el valor de dicha correlación permitía predecir el nivel de aprendizaje en las tareas espaciales. Pero, que nosotros conozcamos, únicamente los estudios de Meneghetti y cols. (2011a, 2013b) han tratado de averiguar de forma distintiva el rol de dichos factores en la capacidad de aprendizaje espacial. En dichos estudios los participantes adquirirían información espacial de un entorno a través de descripciones espaciales. Sus resultados mostraron que la capacidad de *rotación mental* cumplía un papel predictor y la *memoria de trabajo visuoespacial* un papel mediador en el grado de precisión con que realizaron las tareas espaciales los sujetos.

Este interesante resultado nos llevó a plantear, en esta cuarta investigación, si dicho modelo se cumpliría también cuando la información espacial fuese adquirida de forma visual y no verbal. Para ello, en primer lugar, se evaluó la *memoria de trabajo visuoespacial* de los participantes a través de las tareas de los Cubos de Corsi (Corsi, 1972) y dígitos de Wechsler (1981). El motivo de inclusión de esta última prueba persigue verificar que la capacidad verbal no

estaba implicada en la mejor o peor adquisición de la información espacial. Seguidamente, mediante la prueba de *rotación mental* de Vandenberg y Kuse (1978) y de *cambio de perspectiva* de Kozhevnikov y Hegarty (2001), se evaluaron las habilidades espaciales. Aunque en el modelo de Meneghetti y cols. (2011a, 2013b) no se evaluaba el *cambio de perspectiva*, nosotros hemos querido investigar si ésta podría o no formar parte de dicho modelo, dada la relevancia que a lo largo de la presente Tesis Doctoral ha mostrado tener esta habilidad espacial.

Finalmente, los participantes tenían que realizar una serie de tareas de orientación e integración de la información espacial, para lo que fue utilizado nuestro entorno de realidad virtual. A diferencia del primer estudio de esta Tesis Doctoral, donde se pedía a los participantes recordar verbalmente pistas y giros, en la presente investigación los participantes tenían que dibujar en un mapa del entorno el recorrido y localizar las pistas. Para medir la capacidad de integración de la información, una vez que finalizaba el dibujo del mapa de la tercera y última ruta, se les pedía a los participantes que efectuasen el recorrido más corto para llegar de un punto del entorno a otro (desde la motosierra hasta la escalera), así como que dibujasen en un mapa final los tres recorridos y localizasen todas las pistas. Dado que la capacidad de realizar un atajo depende en gran medida del nivel de desarrollo del mapa cognitivo, estas dos últimas tareas permiten medir con precisión el nivel de integración de la información espacial de las tres rutas. De hecho, Tolman acuñó el término de mapa cognitivo al observar que los roedores eran capaces de tomar atajos en

busca del alimento dentro de un laberinto (Tolman y Honzik, 1930, pp. 215–232; Tolman, 1948).

Los resultados en la tarea de orientación mostraron un buen recuerdo de las rutas, con un escaso número de errores y de pausas. Igualmente, en la tarea de dibujo del mapa de cada ruta los participantes fueron capaces de crear una representación bastante ajustada de cada recorrido. No se observaron diferencias significativas entre las rutas en las variables anteriormente mencionadas: errores, pausas y dibujo del mapa. Con respecto a la prueba del atajo los participantes realizaron una media de 2.59 pausas y recorrieron 72.83m, siendo la longitud mínima necesaria para llegar de un punto a otro de 51.85m. Ni el dibujo del mapa final, ni la tarea de construcción de un atajo, fueron del todo precisas. Sin embargo, cabe decir que los participantes contaban con una limitada experiencia en cada recorrido (un ensayo de muestra y otro de adquisición), siendo éste un factor modulador de relevancia en la capacidad de actualización e integración de la información espacial (Fields y Shelton, 2006). De hecho, Greenauer y cols. (2013) consideran que el conocimiento espacial de lugares importantes en nuestro entorno no suele producirse con una única experiencia.

Por otro lado, al igual que sucediera en la primera y tercera investigación de esta Tesis, el recuerdo de pistas frente al de segmentos fue peor, tanto en el recuerdo de cada ruta por separado como en el del mapa final. Resultados que reforzarían la idea de que el mayor número de pistas (8/10 pistas por ruta) frente al de segmentos (recuerdo de 4 giros por ruta) conlleva más oportunidades para el error. O que, como ya apuntamos en las investigaciones

anteriores, cuando la información espacial es adquirida desde una perspectiva egocéntrica (como en nuestro caso a través de la visualización de la ruta) se activan áreas cerebrales asociadas con la integración y actualización de la información egocéntrica (ej. recuerdo de los giros), mientras que la codificación desde un punto de vista allocéntrico (ej. a través de un mapa) parece activar preferentemente áreas de procesamiento de objetos (Shelton y Gabrieli, 2002, 2004).

El objetivo principal de este estudio era conocer el papel que la *memoria de trabajo visuoespacial*, la *rotación mental* y el *cambio de perspectiva* puedan tener en la precisión con que se adquiere e integra la información de nuevos espacios. Por ello, mediante un análisis de correlación lineal se analizó, en primer lugar, el rol de dichos factores de forma independiente. Este análisis mostró, al igual que estudios previos, una correlación positiva entre todas las variables individuales (Cubos de Corsi, Dígitos, PPT y MRT) (Miyake y cols, 2001). Pero fue únicamente la tarea de los Cubos de Corsi la que correlacionó con todas las tareas espaciales realizadas en el estudio. Estos resultados van en la línea de lo postulado previamente por Weisberg y cols. (2014), para quienes la memoria de trabajo juega un papel clave en la construcción de la representación espacial interna. Así, nuestros resultados indican, en primer lugar, que cuanto mayor es el *span* visuo-espacial, mejor es también la ejecución en todas las tareas del estudio. En segundo lugar, que únicamente las habilidades espaciales, y no las verbales, tuvieron que ver con el aprendizaje espacial de la tarea. Y, en tercer lugar, pone de relevancia que no todos los factores individuales tienen la misma importancia en la eficiencia con

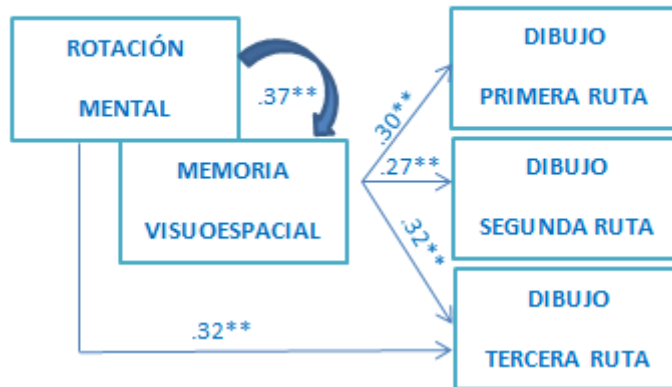
que se realizan las tareas espaciales. De hecho, la relevancia tanto de la rotación mental como del *cambio de perspectiva* sólo se vio reflejada en el dibujo de la última ruta, donde ambas habilidades correlacionan positivamente con la ejecución de la tarea. A este respecto, el estudio de Moreau (2012) indica que la ejecución en tareas de rotación mental desciende de forma dramática cuando de forma simultánea se realiza una tarea que requiere del *span* visual. Así, consideramos que tal vez el nivel de experiencia que se tiene en la tercera ruta haya podido disminuir el papel central de la *memoria de trabajo visuoespacial*, permitiendo que las habilidades espaciales cobren más peso en el grado de precisión con que es ejecutada la tarea.

A fin de comprobar la mediación de los tres factores (*memoria de trabajo visuoespacial*, *rotación mental* y *cambio de perspectiva*) en la adquisición de rutas individuales y en su integración para formar el mapa cognitivo del entorno, las tareas espaciales que realizaron los participantes fueron divididas en dos modelos. El primer modelo incluyó las medidas de aprendizaje de las rutas individuales (segmentos de pistas y localización de pistas en cada ruta) y, el segundo, las medidas de representación del entorno (proporción de segmentos y pistas correctas en el mapa final, así como la distancia y las pausas en la tarea del atajo). Los resultados obtenidos en la reproducción con el joystick de cada ruta no fueron incluidos en ninguno de los modelos, siendo utilizados únicamente para comprobar que los participantes habían adquirido la información espacial en grado suficiente como para representar ésta en el dibujo de los mapas (cada ruta de forma independiente y el mapa final). Por otro lado, aunque como apuntamos al comienzo de este apartado nuestra idea

era introducir también en el modelo el *cambio de perspectiva*, este factor finalmente no fue incluido dado que, en el modelo de regresión preliminar, esta habilidad no mostró tener un rol prevalente ni como predictor ni como mediador de la ejecución en la tarea espacial. Tal vez el hecho de que el *cambio de perspectiva* no cumpliera con dichos supuestos tenga que ver con lo postulado en el estudio de Kozhevnikov y cols. (2006), donde se observa que *el cambio de perspectiva* está más fuertemente implicado en tareas como la localización de pistas (*pointing task*), mientras que la *rotación mental* correlaciona fuertemente con tareas de dibujo de mapa.

Así, basándonos en el modelo de Meneghetti y cols. (2011a, 2013b), pasamos a comprobar si la capacidad de *rotación mental* actuaba como predictor, y la *memoria de trabajo visuoespacial* como mediador, respecto a la precisión en la ejecución de las tareas espaciales. Nuestros resultados cumplieron con las pautas de significación recomendadas por MacKinnon y cols. (2002), donde se postula que para que el modelo propuesto se cumpla, la variable considerada predictora (*rotación mental*) debe tener un efecto significativo en el mediador (*memoria de trabajo visuoespacial*) y, que el mediador debe tener un efecto significativo en las tareas espaciales realizadas después de haber controlado el efecto del predictor (Fig.6).

MODELO 1



MODELO 2

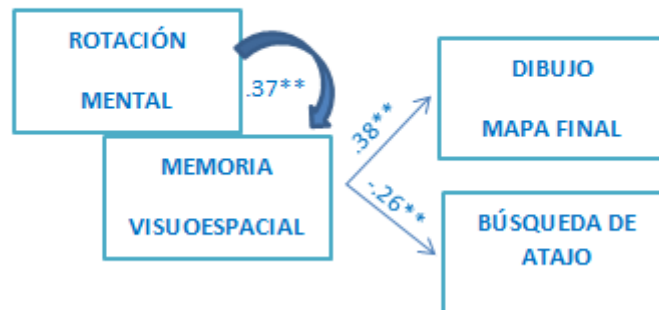


Fig.6 A) Modelo de estimación 1 con las diferencias significativas de los factores con la ejecución de los tres recorridos. B) Modelo de estimación 2 con las diferencias significativas de los factores con el dibujo de mapa y realización del atajo.

Nuestros resultados, plasmados en la Figura 6, confirman que, independientemente del formato en el cual haya sido adquirida la información del entorno (visual vs verbal) la *memoria de trabajo visuoespacial* cumple un rol mediador y la *rotación mental* predictor en cuanto a la precisión con que se realiza la tarea espacial. Así, la correlación positiva entre la rotación mental y *memoria de trabajo visuoespacial* en ambos modelos coincide con el estudio de Hyun y Luck (2007), quienes observan una clara relación entre la *rotación mental* y la *memoria de trabajo visuoespacial*, así como con otros estudios que muestran que la *rotación mental* es capaz de mejorar tanto la rapidez como el

mantenimiento de la información espacial en la tarea de los Cubos de Corsi (Cornoldi y Mammarella, 2008; Meneghetti y cols, 2009). Por otro lado, que la ejecución en los Cubos de Corsi correlacionase de forma directa con la precisión con que se ejecutaron las tareas espaciales de ambos modelos, iría en la línea de lo ya expuesto por Baddeley (1986) en su modelo de memoria de trabajo, ya que sostiene que la *memoria de trabajo visuoespacial* es un sistema dedicado a mantener y procesar la información visuoespacial.

Aunque la ejecución de las tareas del primer bloque se realizaron de forma más precisa que las del segundo bloque, el rol tanto de la *rotación mental* como de la *memoria de trabajo visuoespacial* se mantuvo. Pero cabe recalcar que en el primer modelo aparece también una correlación directa entre la *rotación mental* y la ejecución de la tercera ruta. Este resultado coincide con estudios previos donde la *rotación mental*, por si sola, permite predecir la capacidad de aprendizaje espacial en un entorno (Fields y Shelton, 2006; Pazzaglia y De Beni, 2006). Además, dicha habilidad espacial se ha visto fuertemente implicada en la construcción de la representación mental del entorno una vez percibidas las descripciones espaciales del mismo (Haenggi y cols, 1995; Pazzaglia, 2008). Lo cual nos lleva a plantearnos, de nuevo, que la experiencia en la tarea pueda haber aumentado la influencia de este factor en la precisión con que se ejecuta la tercera ruta. Esta propuesta sería coherente con el trabajo de Hyun y Luck (2007) donde se postula que la capacidad de *rotación mental* implica previamente el almacenamiento de información en el sistema de la memoria de trabajo. Dada la similitud de la información visuoespacial entre las rutas y el solapamiento entre las mismas en algunos puntos del entorno, en

la tercera ruta parte de la información espacial ya habría sido almacenada y procesada por la *memoria de trabajo visuoespacial*, lo que daría así paso a una mayor relevancia de la *rotación mental*.

En resumen, el presente estudio muestra que no sólo cuando la información espacial es adquirida verbalmente (Meneghetti y cols, 2011a, 2013b), sino que también cuando es adquirida visualmente, la *memoria de trabajo visuoespacial* tiene un rol mediador entre la capacidad de *rotación mental* y el recuerdo de la información espacial. Aunque nuestros resultados también mostraron una relación directa en el primer modelo entre la *rotación mental* y la tercera ruta, las correlaciones obtenidas en el resto de las tareas nos lleva a considerar que ésta es una habilidad espacial necesaria, pero insuficiente, como para afectar directamente el recuerdo de la información espacial o, al menos, cuando la experiencia en la tarea es limitada.

En conjunto, consideramos que conocer el rol de dichos factores en la ejecución de tareas espaciales es importante tanto en la clínica como en el desarrollo de programas de intervención, sobre todo en aquellas poblaciones donde el procesamiento de la información visuoespacial está deteriorado. De hecho, en el estudio de Gyselinck y cols. (2013) se indica que las habilidades espaciales tienen que ser consideradas seriamente para evitar cualquier confusión a la hora de analizar la ejecución en tareas espaciales de distintos grupos de edad, ya que, como muestran sus resultados, las diferencias relacionadas con la edad se atenúan cuando los individuos son diferentes en edad, pero muestran similares habilidades espaciales.

Para finalizar, cabe destacar que los trabajos que componen esta Tesis Doctoral han dado pie a nuevas preguntas que deberían ser abordadas en líneas futuras de investigación. Por ejemplo, dada la mejoría en la ejecución de la tercera ruta de nuestro entorno virtual a lo largo de las investigaciones, incluso cuando era necesario adquirir la información desde una perspectiva bidireccional, consideramos que sería interesante ampliar el número de rutas para comprobar si, efectivamente, dicha mejoría responde a un efecto de la experiencia con la tarea. Además, este aumento del número de rutas también permitiría comprobar si la relación directa entre la rotación mental y la ejecución en la tercera ruta fue debida al efecto de la experiencia.

Por otro lado, también sería interesante averiguar si un entorno con recorridos más dispares, en donde la información espacial no se solapase, mejoraría la ejecución en la tarea al reducir la interferencia generada por la similitud entre las rutas. Finalmente, dado que la capacidad del cambio de perspectivas y la rotación mental han mostrado ser factores de relevancia tanto en el proceso de orientación como en la construcción del mapa cognitivo del entorno, sería interesante conocer si dichas habilidades espaciales funcionarían como herramientas eficaces en el diagnóstico de las fases iniciales de algunas enfermedades neurodegenerativas, como la Demencia de Alzheimer, el Parkinson, la Demencia por Cuerpos de Lewy o la Corea de Huntington, en donde se ha observado una deficiente capacidad en tareas relacionadas con la cognición espacial.

6

Conclusiones

Pienso y pienso por meses y años. Noventa y nueve veces la conclusión es falsa. La centésima vez estoy en lo cierto.

Albert Einstein

Conclusiones

1. Con el envejecimiento se produce un deterioro en la capacidad de orientación espacial, siendo tanto los procesos de interferencia como la actualización de la información factores moduladores de dicho deterioro.
2. La capacidad de cambio de perspectiva se ve deteriorada con el envejecimiento, pero ese deterioro es independiente del grado de desviación angular. Sin embargo, este factor sí parece deteriorar significativamente la capacidad de cambio de perspectiva en jóvenes y adultos.
3. Las mujeres muestran una mayor dificultad en la capacidad de cambio de perspectivas frente a los hombres, independientemente del grado de desviación angular o de la edad.
4. Ante un número limitado de ensayos, tener acceso a la perspectiva de vuelta no sólo no mejora, sino que empeora la capacidad de orientación así como la formación del mapa cognitivo del entorno.
5. Aumentar el tiempo disponible para actualizar la información cambiante, así como el uso de técnicas de realidad inmersiva, podrían ayudar a reducir la influencia de la interferencia y mejorar la integración de la información espacial.

6. La capacidad de rotación mental es una habilidad espacial necesaria, pero insuficiente, para modular el grado de precisión con que se recuerda e integra la información espacial de un entorno, siendo necesaria la contribución mediadora de la memoria de trabajo visuoespacial. Sin embargo, la experiencia puede incrementar el peso de la rotación mental en el recuerdo de la información espacial.

Conclusions (bis)

1. During the aging, impairment in the spatial orientation occurs, being the interference process and the updating of information important modulators.
2. The ability of changing the spatial perspective is altered in the aging independent of the degree of angular deviation. However, this factor seems to be important in the ability of changing spatial perspective in the young and adult groups.
3. Women showed more difficulties in the spatial perspective change compared to the men, regardless of the degree of angular deviation and the age.
4. Given a limited number of trials, having access to forward and backward perspectives did not improve the performance, instead of it worsened the spatial orientation as well as, the configuration of the cognitive map.
5. Increase the time to update the information as well as, using immersive reality techniques could help to reduce the interference influence and improve the integration of spatial information.

6. The mental rotation ability is necessary, but not sufficient, to modulate the recall and integration of the spatial information in our environment. Thus, the visuospatial working memory seemed to be an important factor in this process and the experience with the environment would increase the value of the mental rotation.

7

Referencias

Bibliográficas

- Aben, B., Stapert, S., & Blokland, A. (2012). About the Distinction between Working Memory and Short-Term Memory. *Frontiers in Psychology*, 3, 1-9.
- Adolphs, R., Tranel, D. & Denburg, N. (2000). Impaired emotional declarative memory following unilateral amygdala damage. *Learning and Memory*, 7, 180-186.
- Aggleton, J.P., Dumont, J.R. & Warburton, E.C. (2011). Unraveling the contributions of the diencephalon to recognition memory: A review. *Learning and Memory*, 18, 384-400.
- Aisenberg, D., Sapir, A., D'Avossa, G. & Henik, A. (2014). Long trial durations normalise the interference effect and sequential updating during healthy aging. *Acta psychologica*, 153, 169-178.
- Allen, G.L. (1988). The acquisition of spatial knowledge under conditions of temporospatial discontinuity. *Psychological Research*, 50, 183-190.
- Allen, G.L., Kirasic, K.C., Dobson, S.H., Long, R.G. & Beck, S. (1996). Predicting environmental learning from spatial abilities: An indirect route. *Intelligence*, 22, 327-355.
- Amundson, J.C. & Miller, R.R. (2007). Similarity in spatial origin of information facilitates cue competition and interference. *Learning and Motivation*, 38, 155-171.
- Aristóteles. Trad. E. intr. Jorge A. Serrano (1993). De la memoria y la reminiscencia. Parva Naturalia. Madrid: Alianza Editorial.
- Arnold, A.E., Protzner, A.B., Bray, S., Levy, R.M. & Iaria, G. (2014). Neural network configuration and efficiency underlies individual differences in spatial orientation ability. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26, 380-394.
- Atkinson, R.C. & Shiffrin, R.M. (1968). Working memory: a proposed system and its control processes. In: Spence, K.W., Spence, J.T. (Eds.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, vol. 2. Academic Press, New York, pp. 89-195.
- Augustinack, J.C., van der Kouwe, A.J.W., Salat, D.H., Benner, T., Stevens, A.A., Annese, J., Fischl, B., Frosch, M.P. & Corkin, S. (2014). H.M.'s Contributions to Neuroscience: A Review and Autopsy Studies. *Hippocampus*, 24, 1267-1286.

- Baddeley, A.D. (1986). Working Memory. Clarendon, Oxford.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
- Baddeley, A. (2007). Working memory, thought, and action. Oxford: Oxford University Press. The most recent book on the working memory model, but fairly demanding.
- Baddeley, A., Allen, R. & Vargha-Khadem, F. (2010). Is the hippocampus necessary for visual and verbal binding in working memory?. *Neuropsychologia*, 48, 1089-1095.
- Baddeley, A.D. & Hitch, G.J. Working memory G.H. Bower (Ed.). The psychology of learning and motivation Vol. 8, Academic Press, New York (1974), 47-89.
- Baddeley, A., Jarrold, C. & Vargha-Khadem, F. (2011). Working memory and the hippocampus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23, 3855-3861.
- Baddeley, A.D. & Warrington, E.K. (1970). Amnesia and the distinction between long- and short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 9, 176-189.
- Barin, K. & Dodson, E. (2011). Dizziness in the elderly. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 44, 437-454.
- Bartlett, F.C. (1932). Remembering: A study in experimental and social psychology. New York: Macmillan.
- Bates, S.L. & Wolbers, T. (2014). How cognitive aging affects multisensory integration of navigational cues. *Neurobiology of Aging*, 35, 2761-2769.
- Bayley, P.J., Hopkins, R.O. & Squire, L.R. (2006). The fate of old memories after medial temporal lobe damage. *The Journal of Neuroscience: the official Journal of the Society for Neuroscience*, 26, 13311-13317.
- Bayley, P.J., O'Reilly, R.C., Curran, T. & Squire, L.R. (2008). New semantic learning in patients with large medial temporal lobe lesions. *Hippocampus*, 18, 575-583.
- Bechara, A., Damasio, H. & Damasio, A.R. (2000). Emotion, decision-making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 10, 295-307.

- Benton, A.L., Varney, N.R. & Hamsher, K.D.S. (1978). Visuospatial judgement: A clinical test. *Archives of Neurology*, 35, 364-367.
- Berch, D.B., Krikorian, R. & Huha, E.M. (1998). The corsi block-tapping task: methodological and theoretical considerations. *Brain and Cognition*, 38, 317-338.
- Bernstein, B., Liverence, B. & Franconeri, S. (2015). Memory routines for the transformation of visuospatial representations. *Journal of Vision*, 15, 1291.
- Berry, A.S., Zanto, T.P., Rutman, A.M., Clapp, W.C. & Gazzaley, A. (2009). Practice-related improvement in working memory is modulated by changes in processing external interference. *Journal of Neurophysiology*, 102, 1779-1789.
- Bianchini, F., Palermo, L., Piccardi, L., Incoccia, C., Nemmi, F., Sabatini, U. & Guariglia, C. (2014). Where Am I? A new case of developmental topographical disorientation. *Journal of Neuropsychology*, 8, 107-124.
- Bilge, A.R. & Taylor, H.A. (2006). Learning nested environment from maps: Is spatial updating simultaneous? Unpublished data. Tufts University.
- Bjerknes, T.L., Moser, E.I. & Moser, M.B. (2014). Representation of geometric borders in the developing rat. *Neuron*, 82, 71-78.
- Blackwell, A.D., Sahakian, B.J., Vesey, R., Semple, J.M., Robbins, T.W. & Hodges, J.R. (2004). Detecting dementia: novel neuropsychological markers of preclinical Alzheimer's disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 17, 42-48.
- Blajenkova, O., Motes, M.A. & Kozhevnikov, M. (2005). Individual differences in the representations of novel environments. *Journal of Environmental Psychology*, 25, 97-109.
- Blalock, L.D. & McCabe, D.P. (2011). Proactive interference and practice effects in visuospatial working memory span task performance. *Memory*, 19, 83-91.
- Blank, H. (2005). Another look at retroactive and proactive interference: a quantitative analysis of conversion processes. *Memory*, 13, 200-224.
- Blanke, O. (2012). Multisensory brain mechanisms of bodily self-consciousness. *Nature Reviews Neuroscience*, 13, 556-571.

- Bohbot, V.D., Iaria, G. & Petrides, M. (2004). Hippocampal function and spatial memory: Evidence from functional neuroimaging in healthy participants and performance of patients with medial temporal lobe resections. *Neuropsychology*, 18, 418-425.
- Borella, E., Meneghetti, C., Muffato, V. & De Beni, R. (2015). Map learning and the alignment effect in young and older adults: how do they gain from having a map available while performing pointing tasks?. *Psychological Research*, 79, 104-119.
- Brandt, J., Shpritz, B., Munro, C., Marsh, L. & Rosenblatt, A. (2005). Differential impairment of spatial location memory in Huntington's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 76, 1516-1519.
- Brewer, W.F. (1986). What is autobiographical memory? In D.C. Rubin (Ed.), *Autobiographical memory*. New York: Cambridge University Press.
- Broadbent, D.E. (1984). "The maltese cross: A new simplistic model for memory". *The Behavioural and Brain Sciences*, 7, 55-94.
- Brockmole, J.R. & Wang, R.F. (2005). Spatial processing of environmental representations. In L. Itti, G. Rees, & J. Tsotsos (Eds.), *Neurobiology of attention* (pp. 146-152). San Diego: Academic Press.
- Brunetti, R., Del Gatto, C. & Delogu, F. (2014). eCorsi: implementation and testing of the Corsi block-tapping task for digital tablets. *Frontiers in Psychology*, 5, 939.
- Brunetti, R., Delogu, F. & Zandvoord, M. (2013). eCorsi for digital tablets: expanding the potential uses of the most popular visuo-spatial working memory task, in *Proceedings of the XVIII ESCOP Conference*, (Budapest).
- Brunyé, T.T., Gardony, A., Mahoney, C. R. & Taylor, H.A. (2012). Going to town: Visualized perspectives and navigation through virtual environments. *Computers in Human Behavior*, 28, 257-266.
- Brunyé, T.T. & Taylor, H.A. (2008 a). Extended experience benefits spatial mental model development with route but not survey descriptions. *Acta Psychologica*, 127, 340-354.
- Brunyé, T.T. & Taylor, H.A. (2008 b). Working memory in developing and applying mental models from spatial descriptions. *Journal of Memory and Language*, 58, 701-729.

- Bucks, R.S. & Willison, J.R. (1997). Development and validation of the Location Learning Test (LLT): A test of visuo-spatial learning designed for use with older adults and dementia. *Clinical Neuropsychologist*, 11, 273-286.
- Burgess, N., Spiers, H.J. & Paleologou, E. (2004). Orientational manoeuvres in the dark: dissociating allocentric and egocentric influences on spatial memory. *Cognition*, 94, 149-166.
- Burkitt, J., Widman, D. & Saucier, D.M. (2007). Evidence for the influence of testosterone in the performance of spatial navigation in a virtual water maze in women but not in men. *Hormones and Behavior*, 51, 649-654.
- Caffò, A.O., Hoogeveen, F., Groenendaal, M., Perilli, V.A., Damen, M., Stasolla, F., Lancioni, G.E. & Bosco, A. (2014). Comparing two different orientation strategies for promoting indoor traveling in people with Alzheimer's disease. *Research in Developmental Disabilities*, 35, 572-580.
- Caissie, A.F., Vigneau, F. & Bors, D.A. (2009). What does the Mental Rotation Test Measure? An Analysis of Item Difficulty and Item Characteristics. *The Open Psychology Journal*, 2, 94-102.
- Canovas, R., Espinola, M., Iribarne, L. & Cimadevilla, J.M. (2008). A new virtual task to evaluate human place learning. *Behavioural Brain Research*, 190, 112-118.
- Carlesimo, G.A., Lombardi, M.G. & Caltagirone, C. (2011). Vascular thalamic amnesia: A reappraisal. *Neuropsychologia*, 49, 777-789.
- Carrera, E., Michel, P. & Bogousslavsky, J. (2004). Anteromedian, central, and posterolateral infarcts of the thalamus. *Stroke*, 35, 2826-2831.
- Carretti, B., Mammarella, I.C. & Borella, E. (2012). Age differences in proactive interference in verbal and visuo-spatial working memory. *Journal of Cognitive Psychology*, 24, 243-255.
- Carroll, L.M., Jalbert, A., Penney, A.M., Neath, I., Surprenant, A.M. & Tehan, G. (2010). Evidence for proactive interference in the focus of attention of working memory. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 64, 208-214.
- Castelli, L., Latini-Corazzini, L. & Geminiani, G.C. (2008). Spatial navigation in large-scale virtual environments: Gender differences in survey tasks. *Computers in Human Behavior*, 24, 1643-1667.

- Cermak, L.S. (1970). Decay of interference as a function of the intertrial interval in short-term memory. *Journal of Experimental Psychology*, *84*, 499-501.
- Chai, X.J. & Jacobs, L.F. (2009). Sex differences in directional cue use in a virtual landscape. *Behavioural Neuroscience*, *123*, 276-283.
- Chan, E., Baumann, O., Bellgrove, M.A. & Mattingley, J.B. (2013). Extrinsic reference frames modify the neural substrates of object-location representations. *Neuropsychologia*, *51*, 781-788.
- Chebat, D.R., Chen, J.K., Schneider, F., Ptito, A., Kupers, R. & Ptito, M. (2007). Alterations in right posterior hippocampus in early blind individuals. *Neuroreport*, *18*, 329-333.
- Chelonis, J.J., Cox, A.R., Karr, M.J., Prunty, P.K., Baldwin, R.L. & Paule, M.G. (2014). Comparison of delayed matching-to-sample performance in monkeys and children. *Behavioural Processes*, *103*, 261-268.
- Cherney, I.D. (2008). Mom, let me play more computer games: They improve my mental rotation skills. *Sex Roles*, *59*, 776-786.
- Ciaramelli, E. (2008). The role of ventromedial prefrontal cortex in navigation: A case of impaired wayfinding and rehabilitation. *Neuropsychologia*, *46*, 2099-2105.
- Clark, R.E., Manns, J.R. & Squire, L.R. (2001). Trace and delay eyeblink conditioning: Contrasting phenomena of declarative and nondeclarative memory. *Psychological Science*, *12*, 304-308.
- Cohen, N.J. (2015). Navigating life. *Hippocampus*, *25*, 704-708.
- Collett, T.S. & Graham, P. (2004). Animal navigation: Path integration, visual landmarks and cognitive maps. *Current Biology*, *14*, 475-477.
- Coluccia, E., Bosco, A. & Brandimonte, M.A. (2007). The role of visuo-spatial working memory in map learning: new findings from a map drawing paradigm. *Psychological Research*, *71*, 359-372.
- Coluccia, E. & Iouse, G. (2004). Gender differences in spatial orientation: A review. *Journal of Environmental Psychology*, *24*, 329-340.

- Conroy, M.A., Hopkins, R.O. & Squire, L.R. (2005). On the contribution of perceptual fluency and priming to recognition memory. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 5, 14-20.
- Cooke, B. & Laneb, R. (2014). How do amenity migrants learn to be environmental stewards of rural landscapes? *Landscape and Urban Planning*, 134, 43-52.
- Copeland, D.E. & Radvansky, G.A. (2007). Aging and integrating spatial mental models. *Psychology and Aging*, 22, 569-579.
- Corkin, S. (1984). Lasting consequences of bilateral medial temporal lobectomy: clinical course and experimental findings in H.M. *Seminars in Neurology*, 4, 249-259.
- Corkin, S. (2002). What's new with the amnesic patient H.M? *Nature Reviews*, 3, 153-160.
- Cornell, E.H., Heth, C.D. & Rowat, W.L. (1992). Wayfinding by children and adults: Response to instructions to use look-back and retrace strategies. *Developmental Psychology*, 28, 328-336.
- Cornoldi, C. & Mammarella, I.C. (2008). A comparison of backward and forward spatial spans. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 674-682.
- Correa, M. (2007). Neuroanatomía funcional de los aprendizajes implícitos: asociativos, motores y de hábito. *Revista de Neurología*, 44, 234-242.
- Corsi, P.M. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain. PhD Thesis. Montreal: McGill University.
- Couclelis, H., Golledge, R.G., Gale, N. & Tobler, W. (1987). Exploring the anchor-point hypothesis of spatial cognition. *Journal of Environmental Psychology*, 7, 99-122.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, 104, 163-191.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behavioural Brain Science*, 24, 87-114.

- Craik, F.I.M. & Salthouse, T.A. (2000). Handbook of aging and cognition, 2nd edn. Erlbaum, Mahwah.
- Creem-Regehr, S.H., Willemsen, P., Gooch, A.A. & Thompson, W.B. (2005). The influence of restricted viewing conditions on egocentric distance perception: Implications for real and virtual environments. *Perception*, *34*, 191-204.
- Curtis, C.E. & D'Esposito, M. (2003). Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 415-423.
- Cushman, L.A., Stein, K. & Duffy, C.J. (2008). Detecting navigational deficits in cognitive aging and Alzheimer disease using virtual reality. *Neurology*, *71*, 888-895.
- Dahmani, L. & Bohbot, V.D. (2015). Dissociable contributions of the prefrontal cortex to hippocampus- and caudate nucleus-dependent virtual navigation strategies. *Neurobiology of Learning and Memory*, *117*, 42-50.
- Damasio, A.R., Graff-Radford, N.R., Eslinger, P.J., Damasio, H. & Kassell, N. (1985). Amnesia following basal forebrain lesions. *Archives of Neurology*, *42*, 263-271.
- Davidson, S., Wagenaar, R., Young, D. & Cronin-Golomb, A. (2008). Impact of optic flow perception and egocentric coordinates on veering in Parkinson's disease. *Brain*, *131*, 2882-2893.
- Davidson, D.J., Zacks, R.T. & Williams, C.C. (2003). Stroop Interference, Practice, and Aging. *Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition*, *10*, 85-98.
- Davila, M.D., Shear, P.K., Lane, B., Sullivan, E.V. & Pfefferbaum, A. (1994). Mammillary body and cerebellar shrinkage in chronic alcoholics: an MRI and neuropsychological study. *Neuropsychology*, *8*, 433-444.
- De Beni, R., Pazzaglia, F. & Gardini, S. (2006). The role of mental rotation and age in spatial perspective taking tasks: When age does not impair perspective-taking performance. *Applied Cognitive Psychology*, *20*, 807-821.
- De Luca, J. (1992). Cognitive dysfunction after aneurysm of the anterior communicating artery. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *14*, 924-934.

- De Luca, J. & Chiaravalloti, N. (2002). Neuropsychological consequences of ruptured aneurysms of the anterior communicating artery. J. Harrison, A. Owen (Eds.), *Cognitive deficits in brain disorders*, Martin Duntz, London (2002), pp. 17-36.
- De Reuck, J., Vanwalleghem, I., Hemelsoet, D., De Weweire, M., Strijckmans, K. & Lemahieu, I. (2003). Positron emission tomographic study of post-ischaemic-hypoxic amnesia. *European Neurology*, 49, 131-136.
- Del Missier, F., Mäntylä, T. & Nilsson, L.G. (2015). Aging, memory, and decision making. In T.M. Hess, C. E. Loeckenhoff y J.-N. Strough (Eds.), *Aging and decision-making: Empirical and applied perspectives* (pp. 127-148). Chapter 7. Elsevier Academic Press.
- Delay, J. y Brion, S. (1969). *Le syndrome de Korsakoff*. Paris: Mason.
- Delpolyi, A.R., Rankin, K.P., Mucke, L., Miller, B.L. & Gorno-Tempini, M.L. (2007). Spatial cognition and the human navigation network in AD and MCI. *Neurology*, 69, 986-997.
- Della Sala, S. & Logie, R.H. (2002). Neuropsychological impairments of visual and spatial working memory. En: Baddeley, AD, Wilson, B., Kopelman, M. editors. *Handbook of Memory Disorders*. Chichester: John Wiley. P271-292.
- Deutschlander, A., Stephan, T., Hufner, K., Wagner, J., Wiesmann, M., Strupp, M., Brandt, T. & Jahn, K. (2009). Imagined locomotion in the blind: an fMRI study. *Neuroimage*, 45, 122-128.
- Dewar, M.T., Cowan, N. & Sala, S.D. (2007). Forgetting due to retroactive interference: a fusion of Müller and Pilzecker's (1900) early insights into everyday forgetting and recent research on anterograde amnesia. *Cortex*, 43, 616-634.
- Ehgoetz-Martens, K.A., Ellard, C.G. & Almeida, Q.J. (2013). Dopaminergic contributions to distance estimation in Parkinson's disease: a sensory-perceptual deficit?. *Neuropsychologia*, 51, 1426-1434.
- Eichenbaum, H., Yonelinas, A.P. & Ranganath, C. (2007). The medial temporal lobe and recognition memory. *Annual Review of Neuroscience*, 30, 123-152.

- Ekstrom, A.D. (2015). Why vision is important to how we navigate. *Hippocampus*, 25, 731-735.
- Ekstrom, A.D., Arnold, A.E. & Iaria, G. (2014). A critical review of the allocentric spatial representation and its neural underpinnings: toward a network-based perspective. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 803.
- Engle, R.W. (March, 2005). Working memory capacity and inhibition. Paper presented at the 2005 meeting for the Place of Inhibitory Process in Cognition, Arlington, TX.
- Engle, R.W., Tuholski, S.W., Laughlin, J.E. & Conway, A.R.A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128, 309-331.
- Epstein, R.A., Higgins, J.S., Jablonski, K. & Feiler, A.M. (2007). Visual scene processing in familiar and unfamiliar environments. *Journal of Neurophysiology*, 97, 3670-3683.
- Etchamendy, N. & Bohbot, V.D. (2007). Spontaneous navigational strategies and performance in the virtual town. *Hippocampus*, 17, 595-599.
- Etienne, A.S., Maurer, R., Georgakopoulos, J. & Griffin, A. (1999). Dead reckoning (path integration), landmarks, and representation of space in a comparative perspective. Published in Golledge, R.G. Wayfinding behavior : cognitive mapping and other spatial processes. Baltimore Md.: The Johns Hopkins University Press. 1999, p. 197-228.
- Fields, A.W. & Shelton, A.L. (2006). Individual skill differences and large-scale environmental learning. *Journal of experimental psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 32, 506-515.
- Fiore, F., Borella, E., Mammarella, I.C. & De Beni, R. (2012). Age differences in verbal and visuo-spatial working memory updating: evidence from analysis of serial position curves. *Memory*, 20, 14-27.
- Fischer, M.H. (2001). Probing spatial working memory with the Corsi Blocks task. *Brain and Cognition*, 45, 143-154.
- Fitts, P.M. & Posner, M.I. (1967). Human performance. Oxford, England: Brooks and Cole.

- Fleischman, D.A. (2007). Repetition priming in aging and Alzheimer's disease: an integrative review and future directions. *Cortex*, *43*, 889-897.
- Flöel, A., Suttrop, W., Kohl, O., Kürten, J., Lohmann, H., Breitenstein, C. & Knecht, S. (2012). Non-invasive brain stimulation improves object-location learning in the elderly. *Neurobiology of Aging*, *33*, 1682-1689.
- Foo, P., Duchon, A., Warren, W.H. & Tarr, M.J. (2007). Humans do not switch between path knowledge and landmarks when learning a new environment. *Psychological Research*, *71*, 240-251.
- Foo, P., Warren, W.H., Duchon, A. & Tarr, M.J. (2005). Do humans integrate routes into a cognitive map? Map- vs. landmark-based navigation of novel shortcuts. *Journal of Experimental Psychology: Human Memory and Learning*, *31*, 195-215.
- Fortin, M., Voss, P., Lord, C., Lassonde, M., Pruessner, J., Saint-Amour, D., Rainville, C. & Lepore, F. (2008). Wayfinding in the blind: larger hippocampal volume and supranormal spatial navigation. *Brain*, *131*, 2995-3005.
- Frank, L.M., Brown, E.N. & Wilson, M. (2000). Trajectory encoding in the hippocampus and entorhinal cortex. *Neuron*, *27*, 169-178.
- Freed, D.M., Corkin, S. & Cohen, N.J. (1987). Forgetting in H.M.: A second look. *Neuropsychologia*, *25*, 461-471.
- Fuchs, P., Moreau, G. & Papin, J.P. (2001). Le traité de la réalité virtuelle, Nantes: Les Presses de l'École des Mines, 2001, ISBN 978-2-911762-62-8. further validation. *Psychological Assessment*, *4*, 433-441.
- Fujii, T., Moscovitch, M. & Nadel, L. Memory consolidation, retrograde amnesia, and the temporal lobe. In: Boller F, y Grafman J, editors. Handbook of neuropsychology. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier; 2000. p. 223–250.
- Fukatsu, R., Yamadori, A. & Fujii, T. (1998). Impaired recall and preserved encoding in prominent amnesic syndrome: a case of basal forebrain amnesia. *Neurology*, *50*, 539-541.
- Gaffan, D. (2001). What is a memory system? Horel's critique revisited. *Behavioural Brain Research*, *127*, 5-11.

- Galati, G., Pelle, G., Berthoz, A. & Committeri, G. (2010). Multiple reference frames used by the human brain for spatial perception and memory. *Experimental Brain Research*, 206, 109-120.
- Galton, C.J., Patterson, K., Graham, K., Lambon-Ralph, M.A., Williams, G., Antoun, N., Sahakian, B.J. & Hodges, J.R. (2001). Differing patterns of temporal atrophy in Alzheimer's disease and semantic dementia. *Neurology*, 57, 216-225.
- Gardiner, J.M. (2008). Concepts and theories of memory. In: Jill Boucher and Dermot Bowler (eds.) *Memory In Autism*. pp. 3-20. [Online]. Cambridge: Cambridge University Press. Available from: Cambridge Books Online.
- Gardner, M.R., Sorhus, I., Edmonds, C.J. & Potts, R. (2012). Sex differences in components of imagined perspective transformation. *Acta Psychologica*, 140, 1-6.
- Gazzaley, A., Cooney, J.W., Rissman, J. & D'Esposito, M. (2005). Top-down suppression deficit underlies working memory impairment in normal aging. *Nature Neuroscience*, 8, 1298-1300.
- Gigg, J. (2006). Constraints on hippocampal processing imposed by the connectivity between CA1, subiculum and subicular targets. *Behavioural Brain Research*, 174, 265-271.
- Glizea., B., Rodeb, G., Klinger, E. & Josepha, P.A. (2012). Spatial cognition and virtual reality: Review and interest for rehabilitation. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 55, 196.
- Glosser, G. (2001). Neurobehavioral aspects of movement disorders. *Neurologic clinics*, 19, 535-551.
- Gold, J.J. & Squire, L.R. (2006). The anatomy of amnesia: Neurohistological analysis of three new cases. *Learning and Memory*, 13, 699-710.
- Goldenberg, G., Schuri, U., Grömminger, O. & Arnold, U. (1999). Basal forebrain amnesia: does the nucleus accumbens contribute to human memory?. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 67, 163-168.

- Golledge, R.G. (1990). "The conceptual and empirical basis of a general theory of spatial knowledge". In *Spatial choices and processes*. Edited by: Fischer, M. M., Nijkamp, P. and Papageorgiou, Y.Y. 147-68. Amsterdam: Elsevier.
- Golledge, R.G., Ruggles, A.J., Pellegrino, J.W. & Gale, N.D. (1993). Integrating route knowledge in an unfamiliar neighborhood: Along and across route experiments. *Journal of Environmental Psychology*, 13, 293-307.
- Gomez, A., Rousset, S. & Baciú, M. (2009). Egocentric-updating during navigation facilitates episodic memory retrieval. *Acta Psychologica*, 132, 221-227.
- Gontkovsky, S.T., Vickery, C.D. & Beatty, W.W. (2004). Construct validity of the 7/24 Spatial Recall Test. *Applied Neuropsychology*, 11, 75-84.
- Gould, R.A. (1969). *Yiwara: Foragers of the Australian desert*. New York: Scribner.
- Greenauer, N., Mello, C., Kelly, J.W. & Avraamides, M.N. (2013). Integrating spatial information across experiences. *Psychological Research*, 77, 540-554.
- Grewe, P., Lahr, D., Kohsik, A., Dyck, E., Markowitsch, H.J., Bien, C.G., Botsch, M. & Piefke, M. (2014). Real-life memory and spatial navigation in patients with focal epilepsy: Ecological validity of a virtual reality supermarket task. *Epilepsy and Behavior*, 31, 57-66.
- Grillner, S. & Robertson, B. (2015). The basal ganglia downstream control of brainstem motor centres-an evolutionarily conserved strategy. *Current Opinion in Neurobiology*, 33, 47-52.
- Gudden, H. (1896). Klinische und anatomische beitrage zur kenntnis der multiplen alkoholneuritis nebst bemerkungen uber die regenerationsvorgange im peripheren nervensystem. *Archiv fur Psychiatrie*, 28, 643-741.
- Guenzel, F.M., Wolf, O.T. & Schwabe, L. (2014). Sex differences in stress effects on response and spatial memory formation. *Neurobiology of Learning and Memory*, 109, 46-55.
- Gyselinck, V., Meneghetti, C., Bormetti, M., Orriols, E., Piolino, P. & De Beni R. (2013). Considering spatial ability in virtual route learning in early aging. *Cognitive Process*, 14, 309-316.

- Haenggi, D., Kintsch, W. & Gernsbacher, M.A. (1995). Spatial situation models and text comprehension. *Discourse Processes*, 19, 173-199.
- Hale, S., Rose, N.S., Myerson, J., Strube, M.J., Sommers, M., Tye-Murray, N. & Spehar, B. (2011). The Structure of Working Memory Abilities across the Adult Life Span. *Psychology and Aging*, 26, 92-110.
- Halpern, D., Benbow, C., Geary, D.C., Gur, R., Hyde, J. & Gernsbacher, M. A. (2007). The science of sex differences in science and mathematics. *Psychological Science in the Public Interest*, 8, 1-52.
- Hamann, S.B., Ely, T.D., Hoffman, J.M. & Kilts, C.D. (2002). Ecstasy and agony: Activation of the human amygdala in positive and negative emotion. *Psychological Science*, 13, 135-141.
- Hampstead, B.M., Brown, G.S. & Hartley, J.F. (2014). Transcranial direct current stimulation modulates activation and effective connectivity during spatial navigation. *Brain Stimulation*, 7, 314-324.
- Hanseeuw, B.J., Seron, X. & Ivanoiu, A. (2012). Increased sensitivity to proactive and retroactive interference in amnesic mild cognitive impairment: new insights. *Brain and Cognition*, 80, 104-110.
- Haq, S. & Zimring, C. (2003). Just down the road a piece: The development of topological knowledge of building layouts. *Environment and Behavior*, 35, 132-160.
- Hardiess, G. & Mallot, H.A. (2015). Virtual Reality and Spatial Cognition. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)*. Pages 133-137.
- Harding, A., Halliday, G., Caine, D. & Kril, J. (2000). Degeneration of anterior thalamic nuclei differentiates alcoholics with amnesia. *Brain*, 123, 141-154.
- Harrington, D.L., Liu, D., Smith, M.M., Mills, J.A., Long, J.D., Aylward, E.H. & Paulsen, J.S. (2014). Neuroanatomical correlates of cognitive functioning in prodromal Huntington disease. *Brain and Behavior*, 4, 29-40.
- Harris, M.A. & Wolbers, T. (2012). Ageing effects on path integration and landmark navigation. *Hippocampus*, 22, 1770-1780.

- Harris, M.A. & Wolbers, T. (2014). How age-related strategy switching deficits affect wayfinding in complex environments. *Neurobiology of Aging*, 35, 1095-1102.
- Hasher, L., Chung, C., May, C.P. & Foong, N. (2002). Age, time of testing, and proactive interference. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 56, 200-207.
- Hashimoto, R., Tanaka, Y. & Nakano, I. (2000). Amnesic confabulatory syndrome after focal basal forebrain damage. *Neurology*, 54, 978-980.
- Hassabis, D. & Maguire, E.A. (2009). The construction system of the brain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364, 1263-1271.
- Head, D. & Isom, M. (2010). Age effects on wayfinding and route learning skills. *Behavioural Brain Research*, 209, 49-58.
- Hebb, D.O. (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. New York: Wiley.
- Hegarty, M., Montello, D.R., Richardson, A.E. Ishikawa, T. & Lovelace, K. (2006). Spatial abilities at different scales: individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning. *Intelligence*, 34, 151-176.
- Hegarty, M., Richardson, A.E., Montello, D.R., Lovelace, K. & Subbiah, I. (2002). Development of a self-report measure of environmental spatial ability. *Intelligence*, 30, 425-447.
- Hegarty, M. & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32, 175-191.
- Hegarty, M. & Waller, D. (2005). Individual differences in spatial abilities. *The Cambridge handbook of visuospatial thinking*. Priti Shah, Akira Miyake Cambridge University Press, pp. 561.
- Hermans, E.J., Battaglia, F.P., Atsak, P., de Voogd, L.D., Fernández, G. & Roozendaal, B. (2014). How the amygdala affects emotional memory by altering brain network properties. *Neurobiology of Learning and Memory*, 112, 2-16.

- Hodges, J.R. & Graham, K.S. (2001). Episodic memory: Insights from semantic dementia. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 356, 1423-1434.
- Hodges, J.R., Patterson, K., Oxbury, S. & Funnell, E. (1992). Semantic dementia. Progressive fluent aphasia with temporal lobe atrophy. *Brain*, 115, 1783-1806.
- Holdstock, J.S., Shaw, C. & Aggleton, J.P. (1995). The performance of amnesic subjects on tests of delayed matching-to-sample and delayed matching-to-position. *Neuropsychologia*, 33, 1583-1596.
- Hötting, K., Holzschneider, K., Stenzel, A., Wolbers, T. & Röder, B. (2013). Effects of a cognitive training on spatial learning and associated functional brain activations. *BMC Neuroscience*, 20, 14-73.
- Howard, L.R., Javadi, A.H., Yu, Y., Mill, R.D., Morrison, L.C., Knight, R., Loftus, M.M., Staskute, L. & Spiers, H.J. (2014). The hippocampus and entorhinal cortex encode the path and Euclidean distances to goals during navigation. *Current Biology*, 24, 1331-1340.
- Huppert, F.A. & Piercy, M. (1979). Normal and abnormal forgetting in organic amnesia: Effect of locus of lesion. *Cortex*, 15, 385-390.
- Hyun, J.S. & Luck, S.J. (2007). Visual working memory as the substrate for mental rotation. *Psychonomic Bulletin and Review*, 14, 154-158.
- Iachini, T., Ruggiero, F., Ruotolo, F. & Pizza, R. Age and Gender Differences in Some Components of Spatial Cognition. In: *Women and Aging: New Research*. 2008. Nova Science Publishers.
- Iaria, G., Arnold, A.E., Burles, F., Liu, I., Slone, E., Barclay, S., Bech-Hansen, T.N. & Levy, R.M. (2014). Developmental topographical disorientation and decreased hippocampal functional connectivity. *Hippocampus*, 24, 1364-1374.
- Iaria, G., Petrides, M., Dagher, A., Pike, B. & Bohbot, V.D. (2003). Cognitive strategies dependent on the hippocampus and caudate nucleus in human navigation: Variability and change with practice. *The Journal of Neuroscience: the Official Journal of the Society for Neuroscience*, 23, 5945-5952.

- Iglói, K., Zaoui, M., Berthoz, A. & Rondi-Reig, L. (2009). Sequential egocentric strategy is acquired as early as allocentric strategy: Parallel acquisition of these two navigation strategies. *Hippocampus*, 19, 1199-1211.
- Inagaki, H., Meguro, K., Shimada, M., Ishizaki, J., Okuzumi, H. & Yamadori, A. (2002). Discrepancy between mental rotation and perspective-taking abilities in normal aging assessed by Piaget's Three-mountain task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 18-25.
- Insausti, R., Annese, J., Amaral, D.G. & Squire, L.R. (2013). Human amnesia and the medial temporal lobe: Neuropsychological and neurohistological findings for patient E.P. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 1953-1962.
- Irle, E., Wowra, B., Kunert, H.J., Hampl, J. & Kunze, S. (1992). Memory disturbances following anterior communicating artery rupture. *Annals of Neurology*, 31, 473-480.
- Ishikawa, T. & Montello, D.R. (2006). Spatial knowledge acquisition from direct experience in the environment: Individual differences in the development of metric knowledge and the integration of separately learned places. *Cognitive Psychology*, 52, 93-129.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York : Holt.
- Janczyk, M. (2013). Level 2 perspective taking entails two processes: evidence from PRP experiments. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 39, 1878-1887.
- Jandl, N.M., Sprenger, A., Wojak, J.F., Göttlich, M., Münte, T.F., Krämer, U.M. & Helmchen, C. (2015). Dissociable cerebellar activity during spatial navigation and visual memory in bilateral vestibular failure. *Neuroscience*, 305, 257-267.
- Jansen, P. & Heil, M. (2014). Gender differences in mental rotation across adulthood. *Experimental Aging Research*, 36, 94-104.
- Jansen-Osmann, P., Schmid, J. & Heil, M. (2007). Wayfinding Behavior and Spatial Knowledge of Adults and Children in a Virtual Environment: The Role of the Environmental Structure. *Swiss Journal of Psychology*, 66, 41-50.

- Janzen, G. & Jansen, C. (2010). A neural wayfinding mechanism adjusts for ambiguous landmark information. *NeuroImage*, *52*, 364-370.
- Janzen, G., Jansen, C. & van Turenout, M. (2008). Memory consolidation of landmarks in good navigators. *Hippocampus*, *18*, 40-47.
- Janzen, G. & van Turenout, M. (2004). Selective neural representation of objects relevant for navigation. *Nature Neuroscience*, *7*, 673-677.
- Jeneson, A., Mauldin, K.N. & Squire, L.R. (2010). Intact working memory for relational information after medial temporal lobe damage. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *30*, 13624-13629.
- Jeneson, A. & Squire, L.R. (2011). Working memory, long-term memory, and medial temporal lobe function. *Learning and Memory*, *19*, 15-25.
- Jones, C.M., Braithwaite, V.A. & Healy, S.D. (2003). The evolution of sex differences in spatial ability. *Behavioral Neuroscience*, *117*, 403-411.
- Jonides, J., Lewis, R.L., Nee, D.E., Lustig, C.A., Berman, M.G. & Moore, K.S. (2008). The mind and brain of short-term memory. *Annual Review of Psychology*, *59*, 193-224.
- Jonides, J. & Nee, D.E. (2006). Brain mechanisms of proactive interference in working memory. *Neuroscience*, *139*, 181-93.
- Kane, A.E., Festa, E.K., Salmon, D.P. & Heindel, W.C. (2015). Repetition priming and cortical arousal in healthy aging and Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *70*, 145-155.
- Kapur, N., Barker, S., Burrows, E.H., Ellison, D., Brice, J., Illis, L.S., Scholey, K., Colbourn, C., Wilson, B. & Loates, M. (1994). Herpes simplex encephalitis: long term magnetic resonance imaging and neuropsychological profile. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *57*, 1334-1342.
- Kapur, N., Crewes, H. Wise, R. Abbott, P. Carter, M., Millar, J. & Lang, D. (1998). Mammillary Body Damage Results in Memory Impairment But Not Amnesia. *Neurocase: The Neural Basis of Cognition*, *4*, 509-517.
- Kaufman, S.B. (2007). Sex differences in mental rotation and spatial visualization ability: Can they be accounted for by differences in working memory capacity?. *Intelligence*, *35*, 211-223.

- Kearns, M.J. (2003). The roles of vision and body senses in a homing task: The visual environment matters. (Doctoral dissertation, Brown University, 2003). Dissertation Abstracts International Section B, 64, 1921.
- Kelly, J.W., McNamara, T.P., Bodenheimer, B., Carr, T.H. & Rieser, J.J. (2009). Individual differences in using geometric and featural cues to maintain spatial orientation: cue quantity and cue ambiguity are more important than cue type. *Psychonomic Bulletin and Review*, 16, 176-181.
- Kessels, R.P.C. & Postma, A. (2006). Object-location memory in ageing and dementia. In: Vecchi, T., Bottini, G. (Eds.), *Imagery and Spatial Cognition. Methods, Models and Cognitive Assessment*. John Benjamins Publishing, Amsterdam, The Netherlands, pp. 223-239.
- Kessels, R.P., Rijken, S., Joosten-Weyn Banningh, L.W., Van Schuylenborgh-VAN Es, N. & Olde Rikkert, M.G. (2010). Categorical spatial memory in patients with mild cognitive impairment and Alzheimer dementia: positional versus object-location recall. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16, 200-204.
- Kessels, R.P., van Doormaal, A. & Janzen, G. (2011). Landmark recognition in Alzheimer's dementia: Spared implicit memory for objects relevant for navigation. *PLoS One*, 6, e18611.
- Kessler, K. & Thomson, L.A. (2010). The embodied nature of spatial perspective taking: Embodied transformation versus sensorimotor interference. *Cognition*, 114, 72-88.
- Kim, S.M., Ganguli, S. & Frank, L.M. (2012). Spatial information outflow from the hippocampal circuit: distributed spatial coding and phase precession in the subiculum. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 32, 11539-11558.
- Kirasic, K.C. (2000). Age differences in adults' spatial abilities, learning environmental layout, and wayfinding behavior. *Spatial Cognition and Computation*, 2, 117-134.
- Kober, S.E., Wood, G., Hofer, D., Kreuzig, W., Kiefer, M. & Neuper, C. (2013). Virtual reality in neurologic rehabilitation of spatial disorientation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 8, 10-17.

- Koh, G., van Wiegand, T.E., Garnett, R.L., Durlach, N.I. & Shinn-Cunningham, B. (1999). Use of Virtual Environments for Acquiring Configurational Knowledge about Specific Real-World Spaces: I. Preliminary Experiment. *Presence*, 8, 632-656.
- Kolb, B. & Wishaw, I.Q. (2009). *Fundamentals of Human Neuropsychology*. New York: Worth Publishers. ISBN-13: 978-0716795865.
- Kopelman, M.D. (2014). What does a comparison of the alcoholic Korsakoff syndrome and thalamic infarction tell us about thalamic amnesia?. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 54, 46-56.
- Kozhevnikov, M. & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Memory and Cognition*, 29, 745-756.
- Kozhevnikov, M., Motes, M.A. Rasch, B. & Blajenkov, O. (2006). Perspective-taking vs. mental rotation transformation and how they predict spatial navigation performance. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 397-417.
- Külzow, N., Kerti, L., Witte, V.A., Kopp, U., Breitenstein, C. & Flöel, A. (2014). An object location memory paradigm for older adults with and without mild cognitive impairment. *Journal of Neuroscience Methods*, 237, 16-25.
- Lanuza, E., Moncho-Bogani, J. & LeDoux, J.E. (2008). Unconditioned stimulus pathways to the amygdala: Effects of lesions of the posterior intralaminar thalamus on foot-shock-induced c-Fos expression in the subdivisions of the lateral amygdala. *Neuroscience*, 155, 959-968.
- Lashley, K. (1950). "In search of the engram." *Society of Experimental Biology Symposium* 4, 454-482.
- Latini-Corazzini, L., Nesa, M.P., Ceccaldi, M., Guedj, E., Thinus-Blanc, C., Cauda, F., Dagata, F. & Péruch, P. (2010). Route and survey processing of topographical memory during navigation. *Psychological Research*, 74, 545-559.
- Leandri, M., Campbell, J., Molfetta, L., Barbera, C. & Tabaton, M.R. (2015). Relationship between balance and cognitive performance in older people. *Journal of Alzheimer's Disease*, 45, 705-707.
- LeDoux, J.E. (2014). Coming to terms with fear. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, 2871-2878.

- LeDoux, A.A., Phillips, J.L., Labelle, A., Smith, A., Bohbot, V.D. & Boyer, P. (2013). Decreased fMRI activity in the hippocampus of patients with schizophrenia compared to healthy control participants, tested on a wayfinding task in a virtual town. *Psychiatry Research*, *211*, 47-56.
- Lee, P.U. & Tversky, B. (2001). Costs of switching perspectives in route and survey descriptions. In J. D. Moore & K. Stenning (Eds.), *Proceedings of the Twenty-Third Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 574–579). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Leporé, N., Shia, Y., Leporeb, F., Fortinb, M., Vossb, P., Choua, Y., Lordb, C., Lassondeb, M., Dinova, I.D., Togaa, A.W. & Thompsona, P.M. (2008). Pattern of hippocampal shape and volume differences in blind subjects. *NeuroImage*, *46*, 949-957.
- Leung, H.C. & Zhang, J.X. (2004). Interference resolution in spatial working memory. *NeuroImage*, *23*, 1013-1019.
- Liben, L.S., Myersb, L.J. & Christensen, A.E. (2010). Identifying locations and directions on field and representational mapping tasks: predictors of success. *Spatial Cognition and Computation*, *10*, 105-134.
- Linden, D.E. (2007). The working memory networks of the human brain. *Neuroscientist*, *13*, 257-267.
- Lippa, R.A., Collaer, M.L. & Peters, M. (2010). Sex differences in mental rotation and line angle judgments are positively associated with gender equality and economic development across 53 nations. *Archives of Sexual Behavior*, *39*, 990-997.
- Lithfous, S., Dufour, A. & Després, O. (2013). Spatial navigation in normal aging and the prodromal stage of Alzheimer's disease: insights from imaging and behavioral studies. *Aging Research Reviews*, *12*, 201-213.
- Liu, I., Levy, R.M., Barton, J.J. & Iaria, G. (2011). Age and gender differences in various topographical orientation strategies. *Brain Research*, *1410*, 112-119.
- Livingstone-Lee, S.A., Zeman, P.M., Gillingham, S.T. & Skelton, R.W. (2014). Navigational strategy may be more a matter of environment and experience than gender. *Learning and Motivation*, *45*, 30-43.

- Lohman, D.F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 181-248). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lopez, C., Halje, P. & Blanke, O. (2008). Body ownership and embodiment: vestibular and multisensory mechanisms. *Clinical Neurophysiology*, *38*, 149-161.
- Lövdén, M., Schellenbach, M., Grossman-Hutter, B., Krüger, A. & Lindenberger, U. (2005). Environmental topography and postural control demands shape aging-associated decrements in spatial navigation performance. *Psychology and Aging*, *20*, 683-694.
- Lustig, C., May, C. & Hasher, L. (2001). Working memory span and the role of proactive interference. *Journal of Experimental Psychology*, *130*, 199-207.
- Lyon, D.R., Gunzelmann, G. & Gluck, K.A. (2008). A computational model of spatial visualization capacity. *Cognitive Psychology*, *57*, 122-152.
- MacKinnon, D. P., Lockwood, C. M., Hoffman, J. M., West, S. G. & Sheets, V. (2002). A comparison of methods to test mediation and other intervening variable effects. *Psychological Methods*, *7*, 83-104.
- Maguire, E.A., Frackowiak, R.S. & Frith, C.D. (1996). Learning to find your way: a role for the human hippocampal formation. *Proceedings Biological Sciences*, *263*, 1745-1750.
- Maguire, E.A., Frackowiak, R.S. & Frith, C.D. (1997). Recalling routes around London: activation of the right hippocampus in taxi drivers. *The Journal of Neuroscience: the Official Journal of the Society for Neuroscience*, *17*, 7103-7110.
- Maguire, E.A., Gadian, D.G., Johnsrude, I.S., Good, C.D., Ashburner, J., Frackowiak, R.S. & Frith, C.D. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *97*, 4398-4403.
- Mair, R.G., Miller, R.L., Wormwood, B.A., Francoeur, M.J., Onos, K.D. & Gibson, B.M. (2015). The neurobiology of thalamic amnesia: Contributions of medial thalamus and prefrontal cortex to delayed conditional discrimination. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *54*, 161-174.

- Majerová, V., Kalinčík, T., Laczó, J., Vyhnálek, M., Hort, J., Bojar, M., Růžička, E. & Roth, J. (2012). Disturbance of real space navigation in moderately advanced but not in early Huntington's disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 312, 86-91.
- Makovski, T. & Jiang, Y.V. (2008). Proactive interference from items previously stored in visual working memory. *Memory and Cognition*, 36, 43-52.
- Malec, J.F., Ivnik, R.J., Smith, G.E., Tangalos, E.G., Petersen, R.C., Kokmen, E. & Kurland, L.T. (1992). Visual Spatial Learning Test: Normative data and further validation. *Psychological Assessment*, 4, 433-441.
- Maleki, M., Jafari, Z., Zarrinkoob, H. & Akbarzadeh Baghban, A. (2014). Effect of aging on saccular function. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, 28, 117.
- Mammarella, I.C., Meneghetti, C., Pazzaglia, F., Gitti, F., Gomez, C. & Cornoldi, C. (2009). Representation of survey and route spatial texts in children with nonverbal (visuospatial) learning disabilities. *Brain and Cognition*, 71, 173-179.
- Manning, J.R., Lew, T.F., Li, N., Sekuler, R. & Kahana, M.J. (2014). MAGELLAN: a cognitive map-based model of human wayfinding. *Journal of Experimental Psychology. General*, 143, 1314-1330.
- Mariën, P., Baillieux, H., De Smet, H.J., Engelborghs, S., Wilssens, I., Paquier, P. & De Deyn, P.P. (2009). Cognitive, linguistic and affective disturbances following a right superior cerebellar artery infarction: a case study. *Cortex*, 45, 527-536.
- Marková, H., Laczó, J., Andel, R., Hort, J. & Vlček, K. (2015). Perspective taking abilities in amnesic mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Behavioural Brain Research*, 281, 229-238.
- McGuinness, D. & Sparks, J. (1983). Cognitive style and cognitive maps: sex differences in representations of a familiar terrain. *Journal of Mental Imagery*, 7, 91-100.
- McNamara, T.P. (2003). How are the Locations of Objects in the Environment Represented in Memory?. *Spatial Cognition III Lecture Notes in Computer Science*, 2685, 174-191.

- Melton, A.W. (1963). Implications of short-term memory for a general theory of memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 2, 1-21.
- Meneghetti, C., Borella, E., Fiore, F. & De Beni, R. (2013a). The ability to point to well-known places in young and older adults. *Aging Clinical and Experimental Research*, 25, 203-209.
- Meneghetti, C., De Beni, R., Pazzaglia, F. & Gyselinck, V. (2011 a). The role of visuo-spatial abilities in recall of spatial descriptions: A mediation model. *Learning and Individual Differences*, 21, 719-723.
- Meneghetti, C., Fiore, F., Borella, E. & De Beni, R. (2011 b). Learning a map of environment: The role of visuo-spatial abilities in young and older adults. *Applied Cognitive Psychology*, 25, 952-959.
- Meneghetti, C., Gyselinck, V., Pazzaglia, F. & De Beni, R. (2009). Individual differences in spatial text processing: high spatial ability can compensate for spatial working memory interference. *Learning and Individual Differences*, 19, 577-589.
- Meneghetti, C., Pazzaglia, F. & De Beni, R. (2015). Mental representations derived from spatial descriptions: the influence of orientation specificity and visuospatial abilities. *Psychological Research*, 79, 289-307.
- Meneghetti, C., Ronconi, L., Pazzaglia, F. & De Beni, R. (2013b). Spatial mental representations derived from spatial descriptions: The predicting and mediating roles of spatial preferences, strategies, and abilities. *British Journal of Psychology*, 105, 295-315.
- Milad, M.R. & Quirk, G.J. (2012). Fear extinction as a model for translational neuroscience: Ten years of progress. *Annual Review of Psychology*, 63, 129-151.
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Miller, J.F., Fried, I., Suthana, N. & Jacobs, J. (2015). Repeating spatial activations in human entorhinal cortex. *Current Biology*, 25, 1080-1085.

- Millet, X., Le Goff, M., Bouisson, J., Dartigues, J.F. & Amieva, H. (2010). Encoding processes influence word-stem completion priming in Alzheimer's disease: a meta-analysis. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 32, 494-504.
- Milner, B. (1965). Visually-guided maze learning in man: Effects of bilateral hippocampal, bilateral frontal, and unilateral cerebral lesions. *Neuropsychologia*, 3, 317-338.
- Milner, B. (1968). Disorders of memory after brain lesions in man. *Neuropsychologia*, 6, 175-179.
- Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin*, 27, 272-277.
- Milner, B. (1972). Disorders of learning and memory after temporal lobe lesions in man. *Clinical Neurosurgery*, 19, 421-466.
- Mishkin, M. (1978). Memory in monkeys severely impaired by combined but not by separate removal of amygdala and hippocampus. *Nature*, 273, 297-298.
- Mitchell, A.S. (2015). The mediodorsal thalamus as a higher order thalamic relay nucleus important for learning and decision-making. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 54, 76-88.
- Mitolo, M., Gardini, S., Caffarra, P., Venneri, A. & Pazzaglia, F. (2014). Spatial cognition in normal aging: the relationship between basic spatial abilities, spatial self-efficacy, and three new environmental ecological spatial test. *Alzheimer's and Dementia*, 10, 850.
- Miyake, A., Friedman, N.P., Rettinger, D.A., Shah, P. & Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology. General*, 130, 621-640.
- Moar, T. & Carleton, L.R. (1982). Memory for routes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 34, 381-394.
- Monacelli, A.M., Cushman, L.A., Kavcic, V. & Duffy, C.J. (2003). Spatial disorientation in Alzheimer's disease: the remembrance of things passed. *Neurology*, 61, 1491-1497.

- Montello, D.R. (1998). A new framework for understanding the acquisition of spatial knowledge in large-scale environments. In: Egenhofer MJ and Golledge RG (eds.) *Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information Systems*, pp. 143-154. New York: Oxford University Press.
- Montello, D.R. (2005). Navigation. In: Shah P and Miyake A (eds.). *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*
- Montello, D.R. & Pick, H.L. (1993). Integrating knowledge of vertically aligned large-scale spaces. *Environment and Behavior*, 25, 457-484.
- Moody, T.D., Bookheimer, S.Y., Vanek, Z. & Knowlton, B.J. (2004). An implicit learning task activates medial temporal lobe in patients with Parkinson's disease. *Behavioural Neuroscience*, 118, 438-442.
- Moreau, M. (2012). The role of motor processes in three-dimensional mental rotation: Shaping cognitive processing via sensorimotor experience. *Learning and Individual Differences*, 22, 354-359.
- Murdock, B. (1967). Recent developments in short-term memory. *British Journal of Psychology*, 58, 421-433.
- Müri, R.M., Böhler, R., Heinemann, D., Mosimann, U.P., Felblinger, J., Schlaepfer, T.E. & Hess, C.W. (2002). Hemispheric asymmetry in visuospatial attention assessed with transcranial magnetic stimulation. *Experimental Brain Research*, 143, 426-430.
- Myer, C.E., Bryant, D., DeLuca, J. & Gluck, M.A. (2002). Dissociating Basal Forebrain and Medial Temporal Amnesic Syndromes: Insights from Classical Conditioning. *Integrative Physiological and Behavioral Science: The Official Journal of the Pavlovian Society*, 37, 85-102.
- Myerson, J., Emery, L., White, D.A. & Hale, S. (2003). Effects of age, domain, and processing demands on memory span: Evidence for differential decline. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 10, 20-27.
- Nadel, L., Hoescheidt, S. & Ryan, L.R. (2013). Spatial cognition and the hippocampus: the anterior-posterior axis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25, 22-28.
- Nader, K., Schafe, G.E. & Le Doux, J.E. (2000). Fear memories require protein synthesis in the amygdala for reconsolidation after retrieval. *Nature*, 406, 722-726.

- Navarro, X. (2002). Fisiología del sistema nervioso autónomo. *Revista de Neurología*, 35, 553-562.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Nelson, K. (1993). The psychological and social origins of autobiographical memory. *Psychological Science*, 4, 7-14.
- Nelson, R.E., Dickson, A.L. & Baños, J.H. (2000). An automated administration of Corsi's Block-tapping Test. *Perceptual and Motor Skills*, 91, 578-580.
- Nieuwboer, A., Rochester, L., Müncks, L. & Swinnen, S.P. (2009). Motor learning in Parkinson's disease: limitations and potential for rehabilitation. *Parkinsonism and Related Disorders*, 3, 53-58.
- O'Kane, G., Kensinger, E.A. & Corkin, S. (2004). Evidence for semantic learning in profound amnesia: An investigation with patient H.M. *Hippocampus*, 14, 417-425.
- O'Keefe, J. & Nadel, L. (1978). *The Hippocampus as a Cognitive Map*. Oxford: Oxford University Press.
- O'Laughlin, E.M. & Brubaker, B.S. (1998). Use of landmarks in cognitive mapping: gender differences in self report versus performance. *Personality and Individual Differences*, 24, 595-601.
- Olson, I.R. & Berryhill, M. (2009). Some surprising findings on the involvement of the parietal lobe in human memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 91, 155-165.
- Ostroff, L.E., Cain, C.K., Bedont, J., Monfils, M.H. & LeDoux, J.E. (2010). Fear and safety learning differentially affect synapse size and dendritic translation in the lateral amygdala. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 9418-9423.
- Oudman, E., Van der Stigchel, S., Wester, A.J., Kessels, R.P. & Postma, A. (2011). Intact memory for implicit contextual information in Korsakoff's amnesia. *Neuropsychologia*, 49, 2848-2855.
- Packard, M.G. & Knowlton, B.J. (2002). Learning and memory functions of the basal ganglia. *Annual Review of Neuroscience*, 25, 563-593.

- Palermo, L., Iaria, G. & Guariglia, C. (2008). Mental imagery skills and topographical orientation in humans: A correlation study. *Behavioural Brain Research*, 192, 248-253.
- Paller, K.A., Acharya, A., Richardson, B.C., Plaisant, O., Shimamura, A.P., Reed, B.R. & Jagust, W.J. (1997). Functional Neuroimaging of Cortical Dysfunction in Alcoholic Korsakoff's Syndrome. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 277-293.
- Parkin, A.J. (1984). Amnesic syndrome: A lesion-specific disorder. *Cortex*, 20, 479-508.
- Patel, K., Bailenson, J., Hack-Jung, S., Diankov, R. & Bajcsy, R. (2006). The effects of fully immersive virtual reality on the learning of physical tasks. In Proceedings of the 9th Annual International Workshop on Presence, Ohio, USA (pp. 87–94). Citeseer.
- Pazzaglia, F. (2008). Text and picture integration in comprehending and memorizing spatial descriptions. In J. F. Rouet & R. K. Lowe (Eds.), *Understanding multimedia documents* (pp. 43-59). New York, NY: Springer-Verlag.
- Pazzaglia, F., Cornoldi, C. & De Beni, R. (2000). Differenze individuali nella rappresentazione dello spazio e nell'abilità di orientamento: Presentazione di un questionario autovalutativo (Individual differences in spatial representation and in orientation ability: Presentation of a self report questionnaire). *Giornale Italiano di Psicologia*, 27, 627-650.
- Pazzaglia, F. & De Beni, R. (2001). Strategies of processing spatial information in survey and landmark-centred individuals. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, 493-508.
- Pazzaglia, F. & De Beni, R. (2006). Are people with high or low mental rotation abilities differently susceptible to the alignment effect? *Perception*, 35, 369-383.
- Pazzaglia, F., Meneghetti, C., De Beni, R. & Gyselinck, V. (2010). Working memory components in survey and route spatial text processing. *Cognitive Processing*, 11, 359-369.

- Pergola, G., Güntürkün, O., Koch, B., Schwarz, M., Daum, I. & Suchan, B. (2012). Recall deficits in stroke patients with thalamic lesions covary with damage to the parvocellular mediodorsal nucleus of the thalamus. *Neuropsychologia*, 50, 2477-2491.
- Persson, J., Herlitz, A., Engman, J., Morell, A., Sjölie, D., Wikström, J. & Söderlund, H. (2013). Remembering our origin: gender differences in spatial memory are reflected in gender differences in hippocampal lateralization. *Behavioural Brain Research*, 256, 219-228.
- Pertzov, Y., Heider, M., Liang, Y. & Husain, M. (2015). Effects of Healthy Ageing on Precision and Binding of Object Location in Visual Short Term Memory. *Psychology and Aging*, 30, 26-35.
- Pessiglione, M., Petrovic, P., Daunizeau, J., Palminteri, S., Dolan, R.J. & Frith, C.D. (2008). Subliminal instrumental conditioning demonstrated in the human brain. *Neuron*, 59, 561-567.
- Peters, E., Finucane, M.L., MacGregor, D.G. & Slovic, P. (2000). The bearable lightness of aging: Judgment and decision processes in older adults. In: Stern, P.C. and Carstensen, L.L. (Eds.): *The aging mind: Opportunities in cognitive research*, 144-165.
- Philbin, D.A., Ribarsky, W., Walker, N. & Hubbard, C.E. (1998). Training in virtual environments: Analysis of task appropriateness. *Proceedings of the IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium* (p. 210). Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1967). *The child's conception of space*. New York: Norton. Langdon F. J. & Lunzer J. L. (Trans.)
- Possin, K.L. (2010). Visual spatial cognition in neurodegenerative disease. *Neurocase*, 16, 466-487.
- Possin, K.L., Filoteo, J.V., Song, D.D. & Salmon, D.P. (2008). Spatial and object working memory deficits in Parkinson's disease are due to impairment in different underlying processes. *Neuropsychology*, 22, 585-595.
- Possin, K.L., Filoteo, J.V., Song, D.D. & Salmon, D.P. (2009). Space-based but not object-based inhibition of return is impaired in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 47, 1694-1700.

- Postle, B.R. (2006). Working memory as an emergent property of the mind and brain. *Neuroscience*, 139, 23-38.
- Quaiser-Pohl, C. & Lehmann, W. (2002). Girls' spatial abilities: charting the contributions of experiences and attitudes in different academic groups. *British Journal of Educational Psychology*, 72, 245-260.
- Race, E.A., Shanker, S. & Wagner, A.D. (2009). Neural priming in human frontal cortex: multiple forms of learning reduce demands on the prefrontal executive system. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 1766-1781.
- Radvansky, G.A. & Dijkstra, K. (2007). Aging and situation model processing. *Psychonomic Bulletin and Review*, 14, 1027-1042.
- Reed, J.M., Hamann, S.B., Stefanacci, L. & Squire, LR. (1997). When amnesic patients perform well on recognition memory tests. *Behavioral Neuroscience*, 111, 1163-1170.
- Reed, L.J., Lasserson, D., Marsden, P., Stanhope, N., Stevens, T., Bello, F., Kingsley, D., Colchester, A. & Kopelman, M.D. (2003). FDG-PET findings in the Wernicke-Korsakoff syndrome. *Cortex*, 39, 1027-1045.
- Richardson, A.R. & Waller, D. (2007). Interaction with an immersive virtual environment corrects users' distance estimates. *Human Factors*, 49, 507-517.
- Rizzo, A.A., Buckwalter, J.G. & van der Zaag, C. (2002). Virtual environment applications in clinical neuropsychology E: K. Stanney (Ed.), *Handbook of virtual environments* (pp. 1027-1064). New York: L.A. Erlbaum.
- Rizzo, A.A., Schultheis, M., Kerns, K.A. & Mateer, C. (2004). Analysis of assets for virtual reality applications in neuropsychology. *Neuropsychological Rehabilitation*, 14, 207-239.
- Rodrigues, J., Sauzeón, H., Wallet, G. & N'Kaoua, B. (2010). Transfer of Spatial-knowledge from virtual to real environment: Effect of active/passive learning depending on a test-retest procedure and the type of retrieval test. *Journal of Cyber Therapy and Rehabilitation*, 3, 275-283.
- Rong, L., Chunyan, G. & Chunhui, L. (2013). The Role of Proactive Interference to Working Memory: How the Brain Resolve Proactive Interference?. *Advances in Psychological Science*, 21, 48-58.

- Rösera, F., Hamburgera, K., Krumnacka, A. & Knauffa, M. (2012). The structural salience of landmarks: results from an on-line study and a virtual environment experiment. *Spatial Science*, 57, 37-50.
- Rosselli, M. & Ardila, A. (2003). The impact of culture and education on nonverbal neuropsychological measurements: A critical review. *Brain and Cognition*, 52, 226-233.
- Rowe, G., Hasher, L. & Turcotte, J. (2008). Age differences in visuospatial working memory. *Psychology and Aging*, 23, 79-84.
- Rowe, G., Hasher, L. & Turcotte, J. (2010). Interference, aging, and visuospatial working memory: the role of similarity. *Neuropsychology*, 24, 804-807.
- Ruiz-Vargas, J.M. (2000). La organización neurocognitiva de la memoria. España: Anthropos.
- Ruotolo, F., Iachini, T., Postma, A. & van der Ham, I.J.M. (2011a). Frames of reference and categorical and coordinate spatial relations: a hierarchical organization. *Experimental Brain Research*, 214, 587-595.
- Ruotolo, F., van der Ham, I.J.M., Iachini, T. & Postma, A. (2011 b). The relationship between allocentric and egocentric frames of reference and categorical and coordinate spatial relations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64, 1138-1156.
- Sack, A.T., Hubl, D., Prvulovic, D., Formisano, E., Jandl, M., Zanella, F.E., Maurer, K., Goebel, R., Dierks, T. & Linden, D.E. (2002). The experimental combination of rTMS and fMRI reveals the functional relevance of parietal cortex for visuospatial functions. *Brain Research, Cognitive Brain Research*, 13, 85-93.
- Salmon, D.P. & Heindel, W.C. Word-stem completion priming in Alzheimer's disease L.-G. Nilsson, N. Ohta (Eds.), *Dementia and Memory*, Psychology Press, New York (2014).
- Sánchez, V., Serrano, C., Feldman, M., Tufro, G., Rugilo, C. & Allegri, R.F. (2004). Musical memory preserved in an amnesic syndrome. *Revista de Neurología*, 39, 41-47.
- Sara, S.J. (2000). Retrieval and reconsolidation: Toward a neurobiology of remembering. *Learning and Memory*, 7, 73-84.

- Saucier, D.M., Green, S.M., Leason, J., MacFadden, A., Bell, S. & Elias, L.J. (2002). Are sex differences in navigation caused by sexually dimorphic strategies or by differences in the ability to use the strategies?. *Behavioural Neuroscience*, 116, 403-410.
- Schacter, D.L. & Buckner, R.L. (1998). Priming and the brain. *Neuron* 20, 185-195.
- Schacter, D.L., Wig, G.S. & Stevens, W.D. (2007). Reductions in cortical activity during priming. *Current Opinion in Neurobiology* 17, 171-176.
- Schultheis, M.T., Himmelstein, J. & Rizzo, A.A. (2002). Virtual reality and neuropsychology upgrading the current tools. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17, 378-394.
- Scoville, W.B. & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 20, 11-21.
- Sears, R.M., Schiff, H.C. & LeDoux, J.E. (2014). Molecular Mechanisms of Threat Learning in the Lateral Nucleus of the Amygdala. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, 122, 263-304.
- Segeer, C.A. (2009). "The involvement of corticostriatal loops in learning across tasks, species, and methodologies," in *The Basal Ganglia IX*, eds H. J. Groenewegen, P. Voorn, H. W. Berendse, A. B. Mulder, and A. R. Cools (New York: Springer-Verlag), 25-39.
- Segeer, C.A., Dennison, C.S., Lopez Paniagua, D., Peterson, E.J. & Roark, A.A. (2011). Dissociating hippocampal and basal ganglia contributions to category learning using stimulus novelty and subjective judgments. *Neuroimage*, 55, 1739-1753.
- Segeer, C.A. & Spiering, B.J. (2011). A critical review of habit learning and the Basal Ganglia. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 5, 66.
- Shelton, A.L. & Gabrieli, J.D.E. (2002). Neural correlates of encoding space from route and survey perspectives. *Journal of Neuroscience*, 22, 2711-2717.
- Shelton, A.L. & Gabrieli, J.D.E. (2004). Neural correlates of individual differences in spatial learning strategies. *Neuropsychology* 18, 442-449.

- Shelton, A.L. & McNamara, T.P. (2004). Orientation and perspective dependence in route and survey learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30, 158-170.
- Shepard, R.N. & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Sherman, W.R., Kinsland, G.L., Borst, C.W., Whiting, E., Schulze, P., Weber, P., Lin, A.Y.M., Chaudhary, A., Su, S. & Coming, D.S. Immersive visualization for the Geological Sciences. Chapter 47. *Handbook of Virtual Environments Design, Implementation, and Applications*, Second Edition Kelly S. Hale and Kay M. Stanney CRC Press 2014.
- Siebert, M., Markowitsch, H.J. & Bartel, P. (2003). Amygdala, affect and cognition: evidence from 10 patients with Urbach-Wiethe disease. *Brain*, 126, 2627-2637.
- Siegel, A.W. & White, S.H. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behavior* Vol. 10 (pp. 9-55). New York: Academic Press.
- Singer, J.A. & Salovey, P. (1993). *The remembered self: Emotion and memory in personality*. New York: Free Press.
- Sjölindera, M., Höökb, K., Nilssonc, L.G. & Anderssona, G. (2005). Age differences and the acquisition of spatial knowledge in a three-dimensional environment: Evaluating the use of an overview map as a navigation aid. *International Journal of Human-Computer Studies*, 63, 537-564.
- Smyth, M.M. & Pendleton, L.R. (1989). Working memory for movements. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 41, 235-250.
- Soares, F.C., de Oliveira, T.C., de Macedo, L.D., Tomás, A.M., Picanço-Diniz, D.L., Bento-Torres, J., Bento-Torres, N.V. & Picanço-Diniz, C.W. (2014). CANTAB object recognition and language tests to detect aging cognitive decline: an exploratory comparative study. *Clinical Interventions in Aging*, 10, 37-48.
- Spiers, H.J. & Maguire, E.A. (2007). A navigational guidance system in the human brain. *Hippocampus*, 17, 618-626.
- Squire, L.R. (1986). Mechanisms of memory. *Science*, 232, 1612-1619.

- Squire L.R. (1987). *Memory and brain* Oxford University Press, New York.
- Squire, L.R. (1992). Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review*, *99*, 195-231.
- Squire, L.R., Amaral, D.G. & Press, G.A. (1990). Magnetic resonance imaging of the hippocampal formation and mammillary nuclei distinguish medial temporal lobe and diencephalic amnesia. *Journal of Neuroscience*, *10*, 3106-3117.
- Squire, L.R. & Dede, A.J. (2015). Conscious and Unconscious Memory Systems. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, *7*, a021667.
- Squire, L.R., Ojemann, J.G., Miezin, F.M., Petersen, S.E., Videen, T.O. & Raichle, M.E. (1992). Activation of the hippocampus in normal humans: a functional anatomical study of memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *89*, 1837-1841.
- Squire, L.R. & Wixted, J.T. (2011). The cognitive neuroscience of human memory since H.M. *Annual Review of Neuroscience*, *34*, 259-288.
- Squire, L.R. & Zola-Morgan, S. (1991). The medial temporal lobe memory system. *Science*, *253*, 1380-1386.
- Squire, L.R. & Zola-Morgan, S. (1996). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *93*, 13515-13522.
- Stark, C.E. & Squire, L.R. (2000). Recognition memory and familiarity judgments in severe amnesia: No evidence for a contribution of repetition priming. *Behavioral Neuroscience*, *114*, 459-467.
- Steinicke, F., Visell, Y., Campos, J. & Lécuyer, A. (Eds.) (2013). *Human Walking in Virtual Environments. Perception, Technology, and Applications*. Springer.
- Stout, J.C., Jones, R., Labuschagne, I., O'Regan, A.M., Say, M.J., Dumas, E.M., Queller, S., Justo, D., Santos, R.D., Coleman, A., Hart, E.P., Dürr, A., Leavitt, B.R., Roos, R.A., Langbehn, D.R., Tabrizi, S.J. & Frost, C. (2012). Evaluation of longitudinal 12 and 24 month cognitive outcomes in premanifest and early Huntington's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *83*, 687-694.

- Surtees, A., Apperly, I. & Samson, D. (2013). The use of embodied self-rotation for visual and spatial perspective-taking. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 1-12.
- Swainson, R., Hodges, J.R., Galton, C.J., Semple, J., Michael, A., Dunn, B.D., Iddon, J.L., Robbins, T.W. & Sahakian, B.J. (2001). Early detection and differential diagnosis of Alzheimer's disease and depression with neuropsychological tasks. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 12, 265-280.
- Swinnen, S.P., Steyvers, M, Van Den Bergh, L. & Stelmach, G.E. (2000). Motor learning and Parkinson's disease: refinement of within-limb and between-limb coordination as a result of practice. *Behavioural Brain Research*, 111, 45-59.
- Szechter, L.E. & Liben, L.S. (2004). Parental guidance in preschoolers' understanding of spatial-graphic representations. *Child Development*, 75, 869-885.
- Taylor, H.A. & Tversky, B. (1992). Spatial mental models derived from survey and route descriptions. *Journal of Memory and Language*, 31, 261-292.
- Thompson, R.F. & Steinmetz, J.E. (2009). The role of the cerebellum in classical conditioning of discrete behavioral responses. *Neuroscience*, 162, 732-755.
- Thompson, W.B., Willemsen, P., Gooch, A.A., Creem-Regehr, S.H., Loomis, J. M. & Beall, A.C. (2004). Does the quality of the computer graphics matter when judging distances in visually immersive environments?. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 13, 560-571.
- Thorndyke, P.W. & Hayes-Roth, B. (1982). Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation. *Cognitive Psychology*, 14, 560-589.
- Tolman, E.C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55, 189-208.
- Tolman, E.C. & Honzik, C.H. (1930). "Insight" in rats. *University of California Publications in Psychology*, 4, 215-232.

- Tsvivilis, D., Vann, S.D., Denby, C., Roberts, N., Mayes, A.R., Montaldi, D. & Aggleton, J.P. (2008). A disproportionate role for the fornix and mammillary bodies in recall vs. recognition memory. *Nature Neuroscience*, 11, 834-842.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of Memory*, pp. 381-402. NY: Academic Press.
- Tulving, E. (1985). How many memory systems are there?. *The American Psychologist*, 40, 385-398.
- Tulving, E. (2005). Episodic memory and autoevidence: uniquely human? In: Terrace, H.S., Metcalfe, J. (Eds.), *The Missing Link in Cognition: Origins of Self-Reflective Consciousness*. Oxford University Press, New York, pp. 3-56.
- Tulving, E. & Schacter, D.L. (1990). Priming and human memory systems. *Science*, 247, 301-306.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP.241
- Uttal, D.H. (2000). Seeing the big picture: Map use and the development of spatial cognition. *Developmental Science*, 3, 247-264.
- Uttal, D.H., Meadow, N.G., Tipton, E., Hand, L.L., Alden, A.R., Warren, C. & Newcombe, N.S. (2013a). The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139, 352-402.
- Uttal, D.H., Miller, D.I. & Newcombe, N.S. (2013 b). Exploring and Enhancing Spatial Thinking: Links to Achievement in Science, Technology, Engineering, and Mathematics?. *Current Directions in Psychological Science*, 22, 367-373.
- Vacante, M., Wilcock, G.K. & de Jager, C.A. (2013). Computerized adaptation of The Placing Test for early detection of both mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 35, 846-856.

- Vaidya, C.J., Gabrieli, J.D., Verfaellie, M., Fleischman, D. & Askari, N. (1998). Font-specific priming following global amnesia and occipital lobe damage. *Neuropsychology*, 2, 183-192.
- Van Asselen, M., Fritschy, E. & Postma, A. (2006). The influence of intentional and incidental learning on acquiring spatial knowledge during navigation. *Psychological Research*, 70, 151-156.
- Van der Werf, Y.D., Scheltens, P., Lindeboom, J., Witter, M.P., Uylings, H.B.M. & Jolles, J. (2003). Deficits of memory, executive functioning, and attention following infarction in the thalamus; a study of 22 cases with localized lesions. *Neuropsychologia*, 41, 1330-1344.
- Van der Werf, Y.D., Witter, M.P., Uylings, H.B. & Jolles, J. (2000). Neuropsychology of infarctions in the thalamus: a review. *Neuropsychologia*, 38, 613-627.
- Van Elk, M. & Blanke, O. (2014). Imagined own-body transformations during passive self-motion. *Psychological Research*, 78, 18-27.
- Van Gerven, D.J.H., Schneider, A.N., Wuitchik, D.M. & Skelton, R.W. (2012). Direct measurement of spontaneous strategy selection in a virtual Morris water maze shows females choose an allocentric strategy at least as often as males do. *Behavioral Neuroscience*, 126, 465-478.
- Vandenberg, S.G. & Kuse, A.R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motors Skills*, 47, 599-604.
- Vann, S.D. (2010). Re-evaluating the role of the mammillary bodies in memory. *Neuropsychologia*, 48, 2316-2327.
- Vicari, S., Bellucci, S. & Carlesimo, G.A. (2006). Evidence from two genetic syndromes for the independence of spatial and visual working memory. *Developmental medicine and child neurology. Supplement*, 48, 126-131.
- Victor, M., Adams, R.D. & Collins, G.H. (1971). *The Wernicke-Korsakoff Syndrome and Related Neurological disorders Due to Alcoholism and Malnutrition* (1st edn). Philadelphia, PA: F., A. Davis.
- Victor, M., Adam, R.D. & Collins, G.H. (1989). *The Wernicke-Korsakoff syndrome*. Second Edition. Philadelphia: F. A. Davis, 1989.

- Voyer, D., Postma, A., Brake, B. & Imperato-McGinley, J. (2007). Gender differences in object location memory: a meta-analysis. *Psychonomic Bulletin and Review*, 14, 23-38.
- Waller, D. (2000). Individual differences in spatial learning from computer-simulated environments. *Journal of Experimental Psychology. Applied*, 6, 307-321.
- Waller, D., Knapp, D. & Hunt, E. (2001). Spatial representations of virtual mazes: The role of visual fidelity and individual differences. *Human Factors*, 43, 147-158.
- Waller, D. & Nadel, L. (2013). Introduction: frameworks for understanding Spatial thought (or wrapping our heads around space). *Handbook of Spatial cognition*.
- Wallet, G., Sauz on, H., Rodrigues, J., Larrue, F. & N'Kaoua, B. (2009). Transfer of spatial knowledge from a virtual environment to reality: Impact of route complexity and subject's strategy on the exploration mode. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, 6, 572-574.
- Wan, X., Wang, R.F. & Crowell, J.A. (2012). The effect of landmarks in human path integration. *Acta Psychologica*, 140, 7-12.
- Wang, L., Cohen, A.S. & Carr, M. (2014). Spatial ability at two scales of representation: a meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 36, 140-144.
- Wang, R.F. (2004). Between reality and imagination: When is spatial updating automatic?. *Perception and Psychophysics*, 66, 68-76.
- Wang, R.F. & Brockmole, J.R. (2003). Simultaneous spatial updating in nested environments. *Psychonomic Bulletin and Review*, 10, 981-986.
- Wang, R.F., Crowell, J.A., Simons, D.J., Irwin, D.E., Kramer, A.F., Ambinder, M.S., Thomas, L.E., Gosney, J.L., Levinthal, B.R. & Hsieh, B.B. (2006). Spatial updating relies on an egocentric representation of space: effects of the number of objects. *Psychonomic Bulletin and Review*, 13, 281-286.
- Wang, R.F. & Spelke, E.S. (2000). Updating egocentric representations in human navigation. *Cognition*, 77, 215-250.

- Watanabe, M. & Takamatsu, M. (2014). Spatial perspective taking is robust in later life. *International Journal of Aging and Human Development*, 78, 277-297.
- Watson, J.B. & Rayner, R. (1920). Conditioned emotional reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 3, 1-14.
- Waugh, N. & Norman, D. (1965). Primary memory. *Psychological Review*, 72, 89-104.
- Waxman, S.G. Neuroanatomía clínica. Mc Graw Hill, ed 26 (2011).
- Wechsler, D. (1981). Wechsler Adult Intelligence Scale- Revised manual. New York: The Psychological Corporation.
- Wegman, J. & Janzen, G. (2011). Neural encoding of objects relevant for navigation and resting state correlations with navigational ability. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23, 3841-3854.
- Wegman, J., Tyborowska, A. & Janzen, G. (2014). Encoding and retrieval of landmark-related spatial cues during navigation: An fMRI study. *Hippocampus*, 24, 853-868.
- Weisberg, S.M., Schinazi, V.R., Newcombe, N.S., Shipley, T.F. & Epstein, R.A. (2014). Variations in cognitive maps: understanding individual differences in navigation. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory and Cognition*, 40, 669-682.
- Wen, W., Ishikawa, T. & Sato, T. (2011). Working Memory in Spatial Knowledge Acquisition: Differences in Encoding Processes and Sense of Direction. *Applied Cognitive Psychology*, 25, 654-662.
- Wen, W., Ishikawa, T. & Sato, T. (2014). Instruction of verbal and spatial strategies for the learning about large-scale spaces. *Learning and Individual Differences*, 35, 15-21.
- Wickelgren, W.A. (1968). Sparing of short-term memory in an amnesic patient: Implications for strength theory of memory. *Neuropsychologia*, 6, 235-244.
- Witmer, B.G. & Kline, P. (1998). Judging perceived and traversed distance in virtual environments. *Presence*, 7, 144-167.

- Wolbers, T. & Hegarty, M. (2010). What determines our navigational abilities? *Trends in Cognitive Sciences*, *14*, 138-146.
- Wolbers, T., Hegarty, M., Büchel, C. & Loomis, J.M. (2008). Spatial updating: how the brain keeps track of changing object locations during observer motion. *Nature Neuroscience*, *11*, 1223-1230.
- Wolff, M., Alcaraz, F., Marchand, A.R. & Coutureau, E. (2014). Functional heterogeneity of the limbic thalamus: From hippocampal to cortical functions. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *54*, 120-130.
- Wraga, M., Shephard, J.M., Churcha, J.A., Inati, S. & Kosslyn, S.M. (2005). Imagined rotations of self versus objects: An fMRI study. *Neuropsychologia*, *43*, 1351-1361.
- Wright, B.A., Banai, K., Sabin, A.T. & Zhang, Y. (2009). Distinct phases of auditory learning identified by differences in vulnerability to intervening events. Poster Presentation at ARO 32nd MidWinter Meeting.
- Xiao, C., Mou, W. & McNamara, T.P. (2009). Use of self-to-object and object-to-object spatial relations in locomotion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *35*, 1137-1147.
- Yamamoto, N. & Degirolamo, G.J. (2012). Differential effects of aging on spatial learning through exploratory navigation and map reading. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *4*, 14.
- Yin, H.H. & Knowlton, B.J. (2006). The role of the basal ganglia in habit formation. *Nature Reviews Neuroscience*, *7*, 464-476.
- Zacks, J.M. & Michelon, P. (2005). Transformations of visuospatial images. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, *4*, 96-118.
- Zancada-Menendez, C., Sampedro-Piquero, P., Begega, A., Lopez, L. & Arias, J.L. (2013). Attention and inhibition in Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease. *Escritos de Psicología*, *6*, 43-50.
- Zhang, H., Zherdeva, K. & Ekstrom, A.D. (2014). Different "routes" to a cognitive map: dissociable forms of spatial knowledge derived from route and cartographic map learning. *Memory and Cognition*, *42*, 1106-1117.

Zola-Morgan, S., Squire, L.R. & Amaral, D.G. (1986). Human amnesia and the medial temporal region: enduring memory impairment following a bilateral lesion limited to field CA1 of the hippocampus. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 6, 2950-2967.

Zola-Morgan, S., Squire, L.R. & Ramus, S.J. (1994). Severity of memory impairment in monkeys as a function of locus and extent of damage within the medial temporal lobe memory system. *Hippocampus*, 4, 483-495.

