

Navegación espacial en niños en un laberinto circular: la interacción entre diferentes marcos geométricos de referencia*

Spatial Navigation in Children in a Circular Maze: The Interaction between different frames of reference

DOI: 10.11144/Javeriana.upsy15-5.nenl

Recepción: 04 Febrero 2012 | Aprobación: 02 Junio 2016

ENRIQUE MORALEDA BARRENO^a

Universidad de Huelva, España

M. SHEILA VELO RAMÍREZ

Universidad de Huelva, España

PEDRO JUAN PÉREZ MORENO

Universidad de Huelva, España

DIEGO MACÍAS BEDOYA

Unidad de Salud Mental Infanto-Juvenil, España

RESUMEN

Diversas teorías intentan explicar las estrategias de navegación que utilizan los niños menores de 6 años, siendo el uso de la geometría el principal tema de debate. El objetivo del estudio fue estudiar los sistemas de navegación espacial en niños de 3 y 6 años y su utilización de diversos marcos de referencia geométricos y de la guía proximal. Los niños emplearán la geometría como predice la teoría de la combinación adaptativa. Dos grupos de 20 niños de 6 y 3 años, respectivamente. Se utilizó un laberinto circular donde los niños tenían que buscar un objeto escondido. Se formaron dos grupos: desorientados respecto a la habitación exterior y no desorientados. Los niños de 3 años necesitaron la información geométrica de la habitación exterior; los de 6 años también son capaces de emplear la guía proximal y pueden usar la geometría del recinto experimental si su aprendizaje se ha realizado en presencia de la geometría de la habitación. Los resultados apoyan la teoría de la combinación adaptativa, en lugar de la de módulos geométricos. Por otro lado, la presencia de marcos de referencia geométricos fiables facilita la utilización de otros tipos de claves que en su ausencia no son empleadas.

Palabras clave

aprendizaje asociativo; desarrollo cerebral; desarrollo Infantil; módulo geométrico; psicobiología.

ABSTRACT

Various theories attempt to explain the strategies of navigation used by children under 6 years old, principle amongst which is the use of geometry. The aim of this study was the spatial orientation applied by 3 and 6-year-old children and their use of different geometric frames of reference and the proximal guide. Children use geometry as the theory of the adaptive combination predicts. 20 six-year-old children and 20 three-year-old children. The experimental study used a circular maze in which the children had to find a hidden object. The children were split into two groups: those who were disoriented with respect to the outer room, and those who were not disoriented. The 3-year-old children need the geometric information of the outer room, the 6-year-old are also able to use the proximal guide and can use the geometry of the experimental enclosure when their learning has made available the geometry of the room. The results support the theory of adaptive combination, rather than

* E-mail: enrique.moraleda.barreno@gmail.com

Para citar este artículo: Moraleda Barreno, E., Velo Ramirez, M. S., Pérez Moreno, P. J., & Macías Bedoya, D. (2016). Navegación espacial en niños en un laberinto circular: la interacción entre diferentes marcos geométricos de referencia. *Universitas Psychologica*, 15(5). <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.upsy15-5.nenl>

the geometric modules. Furthermore, the presence of reliable geometric frames of reference facilitates the use of other types of keys that are not used in their absence.

Keywords

associative learning; brain development; infant development; geometric module; psychobiology.

Introducción

En los últimos años se ha producido un gran interés sobre el modo en que los niños se reorientan en el espacio. La reorientación es la capacidad de los organismos para volver a determinar su posición en el espacio después de haberla perdido (Hermer & Spelke, 1994). Numerosas teorías han intentado explicar la conducta espacial de los pequeños, pero ninguna de ellas ha conseguido la aceptación general.

Los estudios modernos sobre orientación espacial comienzan con las investigaciones sobre el hipocampo como mapa cognitivo de O'Keefe y Nadel (1978). Estos autores reconocen dos grandes categorías en las estrategias de navegación espacial: las táxicas y las cartográficas. Las primeras se basan en marcos de referencia centrados en el propio participante (egocéntricos) y se explican mediante procesos asociativos simples, estando entre ellas la estrategia de clave proximal (o *guía*) en la que se utiliza una clave que marca directamente el lugar meta. Las segundas, basadas en el espacio objetivo (*aprendizaje de lugar*), son allocéntricas y permiten la localización de un lugar mediante el recuerdo de la configuración de las claves, de modo que la meta no queda marcada por una sola clave, sino por las relaciones entre ellas. Este sistema implica la creación de un auténtico mapa cognitivo que se almacena en el hipocampo y contiene las propiedades geométricas de los diferentes puntos del espacio y sus relaciones entre sí. Las principales teorías sobre navegación se han centrado en las claves allocéntricas, sobre todo en la geometría del espacio.

Cheng (1986), desde otro paradigma, propuso que el principal sistema de orientación espacial se basa en la utilización de *módulos geométricos*. En su primera acepción, los módulos geométricos planteados por Cheng eran impenetrables a

la información proporcionada por cualquier otro sistema (Cheng & Newcombe, 2005) y el autor consideraba que éste era el único modo que algunas especies como las ratas empleaban para la navegación. Estudios con niños pequeños mostraban que éstos utilizaban para orientarse las relaciones geométricas del entorno y las características generales proximales del ambiente que les rodeaba. La información no geométrica que se encuentra en la superficie de los objetos, como el brillo, textura, color u otras características, también se codificaban pero su uso para la navegación espacial parecía subordinado a la utilización de la forma del ambiente. Ratliff y Newcombe (2008) sostienen que la información no geométrica es utilizada preferentemente para reorientarse en ambientes de gran tamaño, mientras que la geometría sería la elegida en ambientes pequeños. Recientemente se ha propuesto que el módulo geométrico codifica tan solo las propiedades geométricas de distancia y dirección mientras que el no geométrico se encarga de los ángulos (Cheng, Huttenlocher, & Newcombe, 2013).

Por otra parte, la “teoría de la combinación adaptativa” propuesta por Cheng en los últimos años como revisión de su idea original, afirma que tanto la geometría como las claves no geométricas (*featural*) pueden ser utilizadas para la reorientación de un modo que depende del peso relativo de las claves, como por ejemplo su saliencia, fiabilidad o la experiencia previa del sujeto (Cheng, Shettleworth, Huttenlocher, & Rieser, 2007). El dominio de la geometría se observaría en pequeños espacios mientras que en los grandes prevalecería el empleo de otras estrategias no geométricas. Por otro lado, los sujetos utilizan un método u otro en función de su experiencia previa (Twyman, Friedman, & Spetch, 2007).

Finalmente, la “teoría asociativa” propone una competición de claves que seguiría los principios del condicionamiento clásico. Este modelo predice la aparición de bloqueo y ensombrecimiento entre claves redundantes; como por ejemplo, guía y geometría (Rescorla & Wagner, 1972).

Los estudios sobre el desarrollo de las capacidades de aprendizaje espacial en niños

aportan información contradictoria. Así, aunque algunos señalan que a edades tempranas emplean sólo una codificación egocéntrica (y no geométrica), como la guía proximal, y que más tarde adquieren también la capacidad para usar una allocéntrica (y geométrica), no hay acuerdo respecto al momento en que ocurre. Algunos autores afirman que la capacidad para el aprendizaje de lugar (usando la configuración de las claves) aparece a los 5-7 años (Overman, Pate, Moore, & Peuster, 1996), pero otros sugieren que esto ocurre entre los 18 y los 24 meses (Sluzenski, Newcombe, & Ottinger, 2004) o que ambas se desarrollan completamente a partir de los 6 o 7 años (Ruggiero, D'Errico, & Iachini, 2015).

Diferentes estudios siguiendo el paradigma original de Cheng, muestran que los niños menores de 3 años utilizan sólo información geométrica aunque estén disponibles otras claves (Hermer & Spelke, 1994; Lee, Sovrano, & Spelke, 2012; Lee & Spelke, 2011), y afirman que sólo pueden orientarse utilizando el sistema geométrico modular. Otros adelantan esta capacidad a los 4-6 meses (Lourenco & Huttenlocher, 2008). Hermer-Vazquez, Moffet y Munkholm (2001) proponen que la aparición del lenguaje espacial a los 6-7 años integraría la información geométrica y no geométrica. Sin embargo, algunos autores han observado esta integración en niños de 2 años (Smith et al., 2008). También se ha observado el empleo de información no geométrica, como el color o los dibujos de las paredes, en la reorientación de niños entre 18 y 24 meses (Lourenco, Addy, & Huttenlocher, 2009; Nardini, Atkinson, & Burgess, 2008). Algunos autores han propuesto que los niños sólo usan la geometría en espacios simétricos (Lew, Gibbons, Murphy, & Bremner, 2010).

Lee y Spelke (2010) han propuesto la existencia de dos sistemas separados de navegación. Uno sería el módulo geométrico original postulado por Cheng (1986) y el otro un sistema de claves que representan pequeños objetos móviles. Las autoras consideran que cuando las claves se encuentran aisladas (es decir, no unidas a las paredes pero formando una constelación con forma geométrica), los

niños tienen grandes problemas para usar las relaciones de distancia y ángulo formadas por la configuración de claves a la que pertenecen; es decir, no interpretan la constelación de manera geométrica, mientras que cuando se sitúan pegadas a las paredes, las propiedades geométricas de su disposición si son utilizadas para reorientarse. Numerosos autores (Hupbach & Nadel, 2005; Lee, Sovrano, & Spelke, 2012), han informado que los niños menores de 3 años son incapaces de utilizar propiedades geométricas como los ángulos, cuando se encuentran en una disposición formada por claves aisladas.

Desde la perspectiva de la teoría de la combinación adaptativa, el aprendizaje del valor relativo de cada clave se realiza durante el desarrollo a medida que los niños van acumulando experiencia en la navegación espacial (Cheng et al., 2013), de modo que a lo largo de la ontogenia mejorará su empleo de las diferentes claves y su capacidad para integrar las diferentes informaciones para mejorar su navegación espacial.

En un estudio sobre el desarrollo de los diferentes marcos de referencia, definidos por la ubicación del participante, la habitación exterior y una maqueta a pequeña escala (que proporcionaba información geométrica y además contenía una configuración de claves distales), se observó que a partir de los 3 años los niños empleaban tanto el marco de referencia egocéntrico (la meta se encuentra a su derecha o a su izquierda) como el centrado en la habitación experimental, pero no empleaban la geometría de la maqueta a pequeña escala ni la configuración de las claves distales (Nardini, Burgess, Breckenridge, & Atkinson, 2006). En este trabajo, el uso del marco de referencia de la habitación experimental se destaca como el sistema de navegación más potente. En un experimento similar, los resultados mostraron que cuando los marcos de referencia de la habitación y el sujeto entran en conflicto con el de la maqueta, la ejecución empeora respecto a una situación en que múltiples marcos de referencia cooperan para localizar la meta (Moraleda, Broglio, Rodríguez, & Gómez, 2013).

Las estrategias que hemos descrito se sustentan en diferentes bases cerebrales y han sido estudiadas ampliamente en la investigación animal; sin embargo, los estudios en niños pequeños son bastante escasos. La formación hipocampal es esencial para la orientación aloécéntrica (Best, White, & Minai, 2001) mientras que la egocéntrica depende de otras estructuras, por ejemplo la corteza parietal (Welberg, 2012), el cortex estriado (White & McDonald, 2002) y el sistema límbico (Taube, 2011). Por otra parte, Doeller y sus colaboradores (Doeller & Burgess, 2008; Doeller, King, & Burgess, 2008) proponen que el hipocampo posterior derecho codifica información geométrica y el sistema estriado codifica información no geométrica sobre las claves siguiendo procesos asociativos.

Respecto al desarrollo ontogenético de estas bases neurales, diversos hallazgos anatómicos muestran que el hipocampo y estructuras adyacentes del lóbulo temporal relacionadas con los aprendizajes aloécéntricos, alcanzan su nivel más alto de crecimiento precisamente alrededor de los 2 y 3 años (Mrzljak, Uilings, Van Eden, & Judas, 1990; Sowell et al., 1999); sin embargo, su maduración continúa hasta aproximadamente los 7 años de edad (Kretschmann, Kamradt, Krauthausen, Sauer, & Wingert, 1986; Seress, 1992).

La investigación del desarrollo ontogenético de la navegación es importante para la psicología del desarrollo y la psicobiología, ya el conocimiento del periodo en que aparecen las diferentes capacidades de orientación espacial nos permitirá establecer sus correlatos neuromadurativos. Este estudio intenta contribuir a la clarificación de nuestro conocimiento sobre el modo en que los niños de 3 y 6 años utilizan la información geométrica y no geométrica para reorientarse y el modo en que combinan los diversos sistemas de navegación espacial. Para ello empleamos un aparato ampliamente utilizado en la investigación animal; una versión seca del laberinto circular de Morris. El objetivo era analizar las diferentes estrategias que usan los niños de cada edad tanto en las condiciones en

las que estaba disponible el marco de referencia proporcionado por la habitación como en las que no y comprobar cuáles son las teorías que mejor explican los resultados obtenidos.

Hipótesis:

1. Los niños de 3 años emplearán para reorientarse la geometría tanto de la habitación como del recinto experimental, siendo preferida la geometría del entorno pequeño (recinto).
2. Los niños de 6 años podrán utilizar además la configuración de las claves distales debido a la maduración del sistema hipocampal.
3. Todos los niños serán capaces de emplear la guía proximal para encontrar la meta.

Método

Participantes

Participaron 40 niños del colegio Juan Nepomuceno de Sevilla. Los niños fueron seleccionados aleatoriamente de entre las clases de 3 y 6 años. Se seleccionaron aleatoriamente 40 participantes: 10 niños y 10 niñas de la clase de tres años, y 10 niños y 10 niñas de seis años. Cada grupo de edad fue dividido aleatoriamente en dos grupos experimentales, estando equilibrado el sexo en cada uno. Un grupo (*desorientados*) era sometido a un procedimiento de desorientación antes de entrar al recinto experimental, mientras que el otro (*no desorientados*) era introducido directamente. Fueron excluidos de la selección los participantes que presentaban algún trastorno neurológico o del aprendizaje.

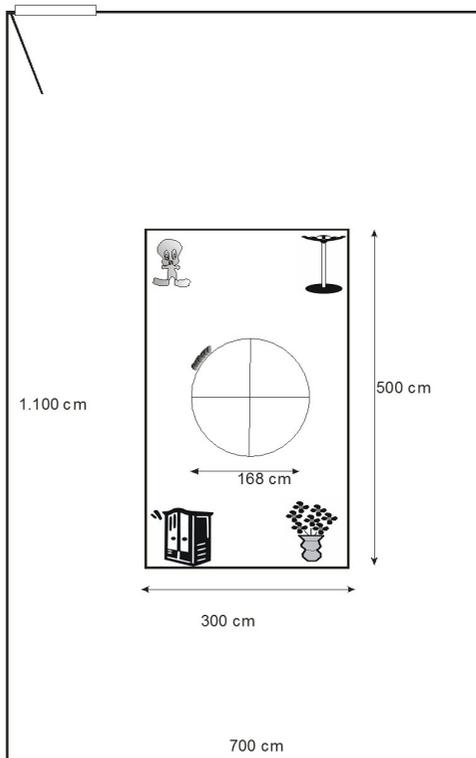
Instrumentos

El experimento se realizó en un aula de la escuela con forma rectangular cuyas medidas eran 11x7x3 metros. El aparato experimental consistió en una piscina circular de plástico azul de 168 cm de diámetro y 43 cm de altura, rellena de corcho granulado blanco de 3 mm hasta

una altura de 20 cm. La piscina se encontraba situada en el interior de una estructura metálica de 3x5x2 metros, rodeada de cortinas opacas de color marfil. Tanto el techo como el suelo de la estructura se cubrieron con lonas para mantener un entorno controlado. Se colocaron cuatro focos de luz, uno en cada una de las esquinas para homogenizar la iluminación y un altavoz situado sobre el techo del recinto experimental que emitía un ruido blanco (Figura 1).

Figura 1

Diagrama explicativo de la situación experimental



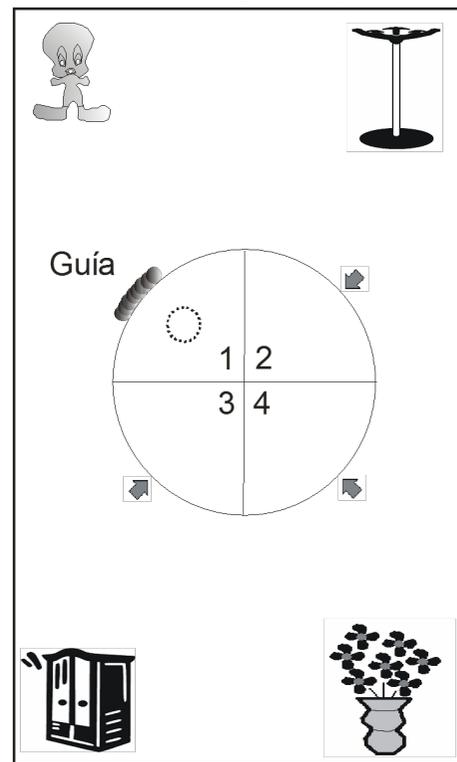
Se muestra la habitación experimental (1.100x700 cm), el recinto cerrado (500x300 cm) que contenía el laberinto circular, las claves extralaberinto y la guía proximal
Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 2, bajo el corcho, y sujeta a la base de la piscina, se ocultó una caja circular de plástico blanco de 15 cm de diámetro (caja meta), en cuyo interior se encontraban fichas canjeables por distintos reforzadores (globos y pelotas). La caja se encontraba en una posición constante de la piscina, en la zona media de uno de los

cuadrantes. Se dispusieron cuatro claves de gran volumen alrededor de la piscina, formando un rectángulo y equidistantes al centro de ésta (un perchero de pie, una caja forrada con un póster de un dibujo animado, un mueble de plástico naranja y un jarrón de flores de colores). Se utilizó como guía una guirnalda navideña plateada sobre la pared de la piscina marcando la localización de la caja meta.

Figura 2

Dibujo explicativo del recinto experimental durante los ensayos de aprendizaje



Se muestra la clave proximal (guía), las claves extralaberinto, la localización de la meta (círculo con líneas discontinuas) y las diferentes posiciones de salida (flechas). Los números señalan los diferentes cuadrantes en los que se dividió el laberinto para el análisis de los resultados
Fuente: elaboración propia

Procedimiento

Antes del experimento se realizó una sesión de pre-entrenamiento fuera de la habitación experimental para que los niños se familiarizaran con la situación experimental y aprendiesen las

reglas de la tarea. Durante esta sesión los niños fueron entrenados a buscar la caja meta situada en una posición constante de la piscina.

Posteriormente se realizó el experimento, el cual se dividió en dos fases, una de aprendizaje y otra de prueba.

El aprendizaje se realizó en la habitación experimental. Todos los niños fueron entrenados en un procedimiento mixto consistente en que la meta se encontraba en una posición constante respecto a las claves extralaberinto y además estaba marcada directamente por la guía proximal. Llamamos a este tipo de ensayos "ensayos de entrenamiento". Con el objetivo de diferenciar las respuestas de los participantes, dividimos la piscina en cuatro sectores imaginarios, de modo que el 1 correspondía al cuadrante donde se encontraba la meta. Los participantes comenzaban desde el borde de la piscina, entrando en la misma por las zonas donde se producía la intersección entre dos cuadrantes (figura 2). Se utilizaron las diferentes posiciones de salida en un orden pseudoaleatorio por lo que ninguna estrategia de giro era relevante para la solución de la tarea, ya que dependiendo de la posición de salida, los niños necesitaban girar a la derecha, a la izquierda o desplazarse en línea recta para localizar la meta. El experimentador se situaba tras el sujeto en la posición de salida que correspondiese a cada ensayo.

El procedimiento de aprendizaje para los sujetos de los dos grupos era idéntico con la única salvedad de que a los niños del grupo *desorientado*, antes de introducirlos en la habitación experimental, se les vendaban los ojos y se les desorientaba dándoles varias vueltas en una silla de ruedas. Una vez desorientados se les trasladaba al interior del recinto experimental, se les situaba en el punto de salida de espaldas a la piscina y se retiraba el vendaje de los ojos.

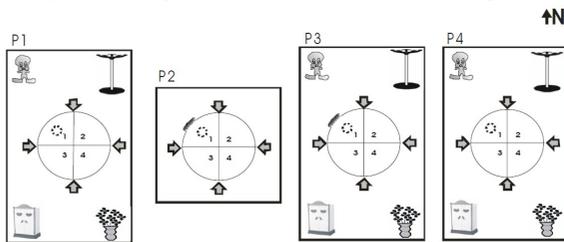
Al comenzar el aprendizaje se impartía a los sujetos la instrucción de que buscaran el objeto escondido, indicándoles que podían conseguir un globo si lo encontraban tres veces y una pelota si lo encontraban seis veces. Cada vez que encontraban la meta se les entregaban dos fichas (una con el dibujo de un globo y otra con el

dibujo de una pelota). Cuando los niños reunían las tres fichas con un globo podían canjearlas inmediatamente por el juguete y lo mismo ocurría con las seis fichas con la pelota.

Se realizó una sesión diaria que constaba de ocho ensayos de entrenamiento. Se consideraba que el ensayo era correcto cuando el niño encontraba la caja antes de que transcurrieran diez segundos y erróneo si pasado ese tiempo no había conseguido localizarlo. Si pasados 30 segundos no había encontrado la meta se daba por concluido el ensayo y se le mostraba dónde se encontraba (pero no se le daba ninguna ficha). Se permitía que el niño estuviese en contacto con la caja meta por un periodo de 15 segundos. El intervalo entre ensayos fue de 3 minutos. Durante este tiempo el niño permanecía fuera de la habitación experimental con el resto de niños que participaban en el experimento. El criterio de aprendizaje consistía en realizar 7 ensayos de entrenamiento correctos de 8 consecutivos (80% de ensayos correctos). Cuando los niños alcanzaban el criterio de aprendizaje comenzaban las sesiones postcriterio, en las cuales se realizaban ensayos de prueba.

Los ensayos de prueba fueron realizados para conocer las estrategias empleadas para resolver la tarea. Se utilizaron cuatro tipos de ensayos de prueba (P1, P2, P3 y P4) intercalados con ensayos de entrenamiento (los cuales eran idénticos a los de la fase de aprendizaje). Se realizaron dos ensayos de prueba de cada tipo. Durante las sesiones postcriterio se intercalaba un ensayo de prueba cada cuatro ensayos de entrenamiento. El orden de estos ensayos se realizaba de manera pseudoaleatoria. Los niños no eran reforzados en los ensayos de prueba pero sí en los de entrenamiento. Los ensayos de prueba concluían tras 30 segundos. En todos los ensayos se analizó el porcentaje de primeras respuestas en cada sector (Figura 3).

Figura 3
Diagramas explicativos de los ensayos de prueba



Para cada tipo de ensayo se muestra la localización de las claves periféricas y la guía, así como las proporciones del recinto experimental. Los ensayos P3 y P4 sólo se realizaron en el grupo no desorientado. Las flechas señalan las diferentes posiciones de salida. El círculo con línea discontinua señala el lugar que ocupaba la meta en los ensayos de aprendizaje
Fuente: elaboración propia

Ensayos de prueba tipo 1 (P1): Supresión de la guía. El objetivo era comprobar la relevancia de la clave proximal en la resolución de la tarea. En estos ensayos la guía intralaberinto (guirnalda) fue retirada.

Ensayos de prueba tipo 2 (P2): Cambio de proporciones del recinto experimental y supresión de las claves extralaberinto. El objetivo era comprobar si los niños podían localizar la meta sin disponer de la información geométrica del recinto ni de la proporcionada por las claves distales periféricas. Para eliminar la información proporcionada por la geometría del recinto experimental se cambiaron las proporciones de la estructura metálica rectangular que conformaba el recinto experimental, transformándola en un recinto cuadrado de 3x3 metros y se retiraban las cuatro claves situadas alrededor de la piscina.

Ensayos de prueba tipo 3 (P3): Desorientación. En estos ensayos los niños del grupo no desorientados eran desorientados (con el mismo procedimiento que los del grupo Desorientados) antes de entrar en el recinto experimental. Todas las demás características de la situación experimental permanecían igual que durante el aprendizaje. El objetivo de este ensayo de prueba era comprobar si los niños eran capaces de reorientarse utilizando la información proporcionada por el recinto experimental.

Ensayos de prueba tipo 4 (P4): Desorientación y supresión de la guía. Los niños del grupo no desorientados eran desorientados antes de entrar en el recinto experimental y además, en estos ensayos la guía intralaberinto fue retirada. El objetivo era comprobar si los niños eran capaces de reorientarse con la información proporcionada por el recinto experimental en ausencia de la guía proximal.

Resultados

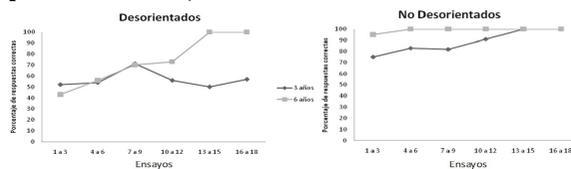
Fase de aprendizaje

Tanto los niños de 3 años como los de 6 años del grupo no desorientado dirigieron sus respuestas preferentemente hacia el sector que contenía el reforzador (t para una muestra, niños de 3 años, $p < 0.001$; niños de 6 años, $p < 0.001$). De hecho todos los participantes no desorientados consiguieron superar el criterio de aprendizaje, lográndolo los niños de 3 años en una media de dieciocho ensayos (18 ± 2.295) y los de seis en una media de dieciséis (16 ± 1.309). En el grupo desorientado, los niños de seis años eligieron preferentemente el cuadrante correcto (t para una muestra, $p < 0.001$) mientras que no se encontraron diferencias significativas entre cuadrantes en los niños de 3 años (t para una muestra, niños de 3 años, $p > 0.591$). Los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grupos empleando un análisis ANOVA univariado para muestras independientes ($F_{(3,36)} = 92.77$, $p = 0.001$). Los niños de 6 años no desorientados alcanzaron un porcentaje de ensayos correctos significativamente superior al obtenido por los niños del grupo desorientados tanto de 3 años (Bonferroni; $p < 0.001$) como de 6 (Bonferroni; $p < 0.001$), pero no se encontraron diferencias con el grupo no desorientados de 3 años (Bonferroni; $p = 0.378$). Los niños de 3 años del grupo no desorientados también realizaron el aprendizaje de una forma significativamente mejor que los de la misma edad de la condición desorientados (Bonferroni, $p < 0.001$), aunque no se encontraron diferencias

estadísticamente significativas con los niños desorientados de 6 años (Bonferroni, $p = 0.132$). Dentro del grupo desorientados, los niños de 6 años encontraron la meta con más efectividad que los de 3 años (Bonferroni; $p < 0.001$). Ningún niño de 3 años del grupo desorientados consiguió superar el criterio de aprendizaje mientras que un 75% de los niños de 6 años del mismo grupo lo alcanzaron en el ensayo dieciocho. Por ello, los ensayos de prueba no se realizaron para el grupo de niños desorientados de 3 años (Figura 4).

Figura 4

Porcentaje de ensayos correctos durante la fase de aprendizaje de los diferentes grupos de procedimiento y edad



Fuente: elaboración propia

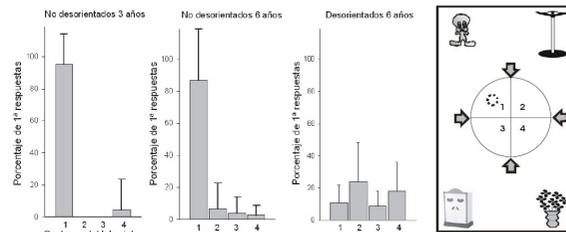
Ensayos de Prueba

Ensayos de prueba tipo 1 (P1) Supresión de la guía. En el grupo de niños no desorientados los participantes respondieron preferentemente en el sector en el que encontraban la meta durante los ensayos de aprendizaje (prueba t para una muestra, niños de 3 años: $p < 0.001$, niños de 6 años $p < 0.001$). En el grupo de participantes desorientados, los niños de 6 años no mostraron una preferencia significativa por ninguno de los sectores (prueba t para una muestra: $p = 0.223$). Existieron diferencias significativas entre los tres grupos en el número de respuestas correctas (ANOVA univariante, $F_{(2,29)} = 33.167$, $p = 0.001$). Dentro del grupo no desorientado no se observaron diferencias estadísticamente significativas en función de la edad en el porcentaje de elección del sector correcto (Bonferroni, $p = 0.979$), pero los niños del grupo desorientado de 6 años obtuvieron una puntuación significativamente inferior que los participantes no desorientados tanto de 3 años

(Bonferroni, $p = 0.001$) como de 6 (Bonferroni, $p = 0.001$) (Figura 5).

Figura 5

Porcentaje medio de elecciones de cada cuadrante en los ensayos de prueba P1 (Supresión de la guía.) para los distintos grupos

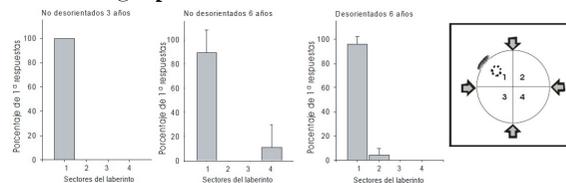


A la derecha se muestra un esquema del ensayo de prueba
Fuente: elaboración propia

Ensayos de prueba tipo 2 (P2): Cambio de proporciones del recinto experimental y supresión de las claves extralaberinto. En estos ensayos se encontró una preferencia significativa por el sector directamente marcado por la guía intralaberinto tanto para los participantes no desorientados de 3 años como para los de 6 años de los grupos desorientado y no desorientado (prueba t para una muestra, todas las $p < 0.001$). No existieron diferencias significativas entre los tres grupos en la preferencia por el cuadrante correcto (ANOVA univariante, $F_{(2,29)} = 1.00$, $p = 0.381$). (Figura 6).

Figura 6

Porcentaje medio de elecciones de cada cuadrante en los ensayos de prueba P2 (Cambio de proporciones del recinto experimental y supresión de las claves extralaberinto) para los distintos grupos



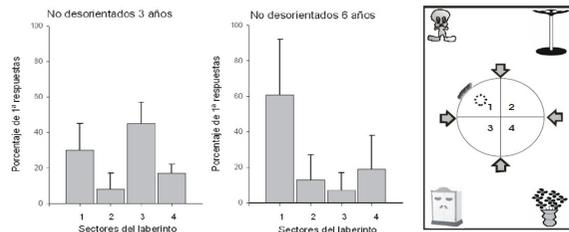
A la derecha se muestra un esquema del ensayo de prueba
Fuente: elaboración propia

Ensayos de prueba tipo 3 (P3): Desorientación. Este ensayo sólo se aplicó a los participantes del grupo no desorientado. En estos ensayos

los niños de 6 años buscaron en el sector en el que se encontraba la meta durante los ensayos del aprendizaje con preferencia respecto a los otros tres (prueba t para una muestra, $p < 0.001$). En el grupo de niños de 3 años no se encontró preferencia significativa por el cuadrante correcto (prueba t para una muestra, $p > 0.555$). Los niños de 6 años eligieron el cuadrante reforzado durante los ensayos de aprendizaje con una frecuencia significativamente superior a los de 3 años (ANOVA univariante, $F_{(1,19)} = 8.1, p = 0.011$). (Figura 7).

Figura 7

Porcentaje medio de elecciones de cada cuadrante en los ensayos de prueba P3 (Desorientación) para los distintos grupos

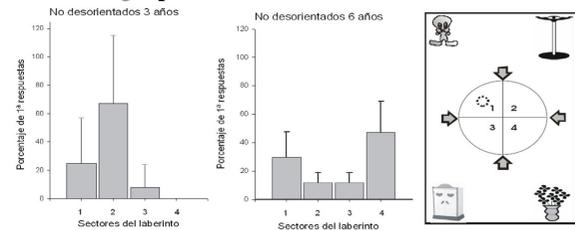


A la derecha se muestra un esquema del ensayo de prueba
Fuente: elaboración propia

Ensayos de prueba tipo 4 (P4): Desorientación y supresión de la guía. Este ensayo de prueba sólo se realizó en el grupo de niños no desorientados. No se encontró preferencia por el sector correcto ni en los niños de 3 años ni en los de 6 (prueba t para una muestra, todas las $ps > 0.555$). Sin embargo, los niños de 6 años concentraron la mayoría de sus respuestas en los sectores 1 y 4 (76%) del laberinto, es decir en el sector correcto y en el geoméricamente equivalente (sectores 1+4 vs. 2+3, prueba t para una muestra, $p < 0.001$). (Figura 8).

Figura 8

Porcentaje medio de elecciones de cada cuadrante en los ensayos de prueba P4 (Desorientación y supresión de la guía) para los distintos grupos



A la derecha se muestra un esquema del ensayo de prueba
Fuente: elaboración propia

Discusión

Nuestros resultados son interesantes puesto que contradicen los postulados de la teoría de la asociación de estímulos, matizan la de los módulos geométricos y apoyan la teoría de la combinación adaptativa. Además, nos permiten comprobar cómo la presencia de marcos de referencia geométrica fiables facilita la utilización de otros tipos de claves que en su ausencia no son utilizadas.

Tal y como cabría esperar, los resultados de los ensayos de aprendizaje muestran la superioridad de los niños de 6 años en la resolución de la tarea. No obstante, también se aprecia una gran diferencia según esté disponible o no el marco de referencia geométrico de la habitación exterior, de manera que entre los niños de 3 años sólo consiguen encontrar la meta los que no están desorientados y entre los de seis hay una mejor ejecución de los niños de este mismo grupo. Por lo tanto, los niños de 3 años tan solo consiguen encontrar la clave utilizando la geometría de la habitación exterior, que es la estrategia favorita al igual que en el experimento de Nardini y colaboradores (2006), mientras que los de 6 años pueden emplear otras estrategias. Estos resultados parecen coincidir con los estudios clásicos que afirmaban que los pequeños sólo se orientan utilizando el sistema geométrico modular y que lo adquieren antes

del tercer año (Hermer-Vazquez, et al., 2001; Lee & Spelke, 2011; Lee, Sovrano, & Spelke, 2012; Sluzenski et al., 2004), mientras que los mayores podrían integrar distintos tipos de información gracias a su dominio del lenguaje (Hermer & Spelke, 1994). Además, diversos hallazgos anatómicos muestran que el hipocampo y estructuras adyacentes del lóbulo temporal relacionadas con los aprendizajes aloécnicos alcanzan su nivel más alto de crecimiento precisamente alrededor de los 2 y 3 años (Mrzljak et al., 1990; Sowell et al., 1999).

No obstante, cabe destacar que los niños más pequeños utilizan la geometría del espacio más grande (la habitación), ignorando la del pequeño (el recinto), lo cual no concuerda con la teoría de los módulos geométricos, que predeciría la utilización de ambos tipos de geometría. Es más, la literatura informa de una destacada preferencia por el empleo de información geométrica en espacios pequeños (Cheng et al., 2007, 2013), lo cual se contradice con nuestros resultados y probablemente esté relacionado con la naturaleza de las claves, ya que la geometría de la habitación tiene más estabilidad, los niños tienen experiencia previa con claves similares y les resulta más familiar que el recinto experimental (Learmonth, Newcombe, Sheridan, & Jones, 2008).

Los niños de 3 años tampoco emplean la información de la guía que señalaba la meta. Aunque este resultado podría ser consistente con trabajos (Hermer & Spelke, 1994) que afirman que los niños de 2 años no usan una guía para reorientarse, parece más parsimoniosa otra explicación más acorde a otros hallazgos de la literatura (Hupbach & Nadel, 2005). El empleo de la guía podría depender del tamaño del entorno y de la naturaleza y estabilidad de la clave guía (Biegler & Morris, 1993; Learmonth, Newcombe, & Huttenlocher, 2001). Es posible que los niños de entre uno y dos años puedan emplear la guía cuando están orientados pero no cuando se encuentran desorientados (Lew, Foster, & Bremner, 2006). Learmonth, Nadel y Newcombe (2002) sugieren que la habilidad para emplear claves proximales es frágil en los niños menores de 6 años y depende de características

del entorno experimental, como el tamaño del mismo. Otros autores consideran que la conducta espacial es modulada por la naturaleza de las claves y que los niños de 3 años tienen dificultades para utilizar las claves del ambiente cuando se sitúan demasiado cerca de ellos (Chiandetti, Regolin, Sovrano, & Vallortigara, 2007; Smith et al., 2008).

En los ensayos de prueba P1, donde se suprimió la guía, los niños del grupo no desorientado lograron encontrar la meta ya que disponían del marco de referencia exterior. No obstante los niños de 6 años del grupo orientado (recordemos que los de 3 años no realizaron los ensayos de prueba al no conseguir superar el criterio) no lograron solucionar la tarea, lo cual indica que la clave proximal era el método empleado para localizar la meta, mientras que la geometría del recinto o la configuración de las claves proximales eran ignoradas. Estos resultados nos muestran que aparentemente los niños de 6 años, cuando no disponen de la geometría de la habitación exterior, tan sólo utilizan la guía proximal para encontrar la meta. La utilización de la guía no resulta sorprendente, pero sí lo es la incapacidad para emplear tanto la geometría del recinto experimental como la configuración de las claves, lo cual contradice los resultados de gran parte de la literatura (Hermer & Spelke, 1994; Bullens et al., 2010). Según la teoría de los módulos geométricos, la geometría del recinto debería haber sido la primera opción a utilizar por los niños del grupo desorientado, y por otra parte, el empleo de la configuración de las claves antes de los 6 años aparece en numerosos estudios (Overman et al., 1996; Sluzenski et al., 2004).

Durante el ensayo de prueba P2, se eliminó la información procedente de la geometría del recinto y de la configuración de las claves mientras que se mantenía la guía proximal. En este caso, todos los niños conseguían localizar la meta. Mientras que los niños del grupo no desorientado podían lograrlo utilizando tanto la información de la geometría exterior como la guía, parece claro que los niños de seis años del grupo no desorientado encontraban la meta utilizando la guía, ya que era la única estrategia disponible.

El ensayo P3 (desorientación), tan solo se realizaba con los niños del grupo no desorientado, ya que su objetivo era comprobar si éstos eran capaces de localizar la meta sin disponer de la información procedente de la habitación experimental. En este caso, comprobamos que los niños de 3 años son incapaces de emplear cualquier otra estrategia que no sea la de ese marco de referencia geométrico, mientras que los de 6 años consiguen utilizar alguna de las otras tres estrategias disponibles. Por lo tanto, los resultados vuelven a reforzar la idea de que los niños de tres años no emplean más estrategia que la basada en la geometría de la habitación, ignorando cualquier otra. En un principio, estos datos serían explicados por la teoría asociativa de Rescorla y Wagner (1972), ya que la presencia de la información geométrica de la habitación ensombrecería cualquier otro tipo de clave. No obstante, los resultados del experimento 4 parecen apuntar en otra dirección.

En el ensayo P4, los niños del grupo no desorientados debían solucionar la tarea después de ser desorientados y sin disponer de la guía proximal. En este caso, los niños de 3 años vuelven a ser incapaces de encontrar la meta ya que no disponían de la única estrategia que emplean durante todo el experimento. No obstante, los niños de 6 años, aunque no logran encontrar la meta, reparten sus respuestas entre el sector correcto y el geoméricamente equivalente, demostrando que emplean la geometría del rectángulo que forma el recinto experimental. La configuración de las claves parece ser ignorada, ya que al tratarse de distintos objetos, las distintas esquinas no serían idénticas, de modo que su utilización exitosa produciría que los niños de 6 años respondieran en el sector correcto y no en el geoméricamente equivalente. ¿Por qué motivo los niños de este grupo emplean la geometría del recinto experimental mientras que los del grupo desorientados no lo hacen? Según la teoría asociativa, el estímulo más saliente (la habitación) debería ensombrecer al menos saliente (el recinto); sin embargo, observamos que ocurre lo contrario ya que la presencia del primero facilita la utilización del segundo.

Por lo tanto, los resultados nos obligan a rechazar las tres hipótesis de nuestro trabajo: Los niños de 3 años emplearán para reorientarse la geometría tanto de la habitación como del recinto experimental, siendo preferida la geometría del entorno pequeño (recinto). Esta hipótesis sólo se cumple parcialmente, ya que aunque el uso de la geometría de la habitación es la estrategia más potente, casi todos los niños tienen dificultades en emplear la geometría del recinto experimental; Los niños de 6 años podrán utilizar además la configuración de las claves distales debido a la maduración del sistema hipocampal. Como hemos comprobado, esta información es ignorada por todos los grupos del estudio; Todos los niños serán capaces de emplear la guía proximal para encontrar la meta. En realidad, tan solo los niños de 6 años del estudio pueden emplear esta clave.

En conclusión, los niños de 6 años resuelven la tarea utilizando la geometría de la habitación y la del recinto experimental, así como la guía proximal, mientras que los de 3 años tan solo son capaces de emplear la geometría de la habitación. Estos resultados parecen ser concordantes con los pronósticos de la teoría de la combinación adaptativa, que predice que los sujetos variarán sus estrategias en función de la experiencia previa y el peso de las diferentes claves (Cheng et al., 2007, 2013). La preferencia por la geometría de la habitación sería consecuencia de sus características estimulares, sobre todo su fiabilidad, ya que en la experiencia de los sujetos a lo largo del desarrollo convierte a las paredes de los edificios en unas de las claves más estables para la navegación espacial. Cuando los niños de 6 años disponen de un sistema fiable para orientarse, son capaces de utilizar con habilidad la misma información que no pueden emplear cuando se encuentran desorientados, lo cual significa que el uso de diferentes modalidades de navegación es complejo y que éstas interactúan entre sí, de modo que su presencia o ausencia facilita o dificulta el manejo de otros tipos de información en lugar de ensombrecerla.

Agradecimiento

Esta investigación se ha realizado con la colaboración de la Universidad de Sevilla y el Servicio de Evaluación y Rehabilitación Neuropsicológica de Huelva. Quiero hacer constar mi agradecimiento a Antonia Gómez García y Fernando Rodríguez Fernández, sin cuya ayuda nunca hubiese podido realizar este trabajo.

Referencias

- Best, P. J., White, A. M., & Minai, A. (2001). Spatial processing in the brain: The activity of hippocampal place cells. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 459-486.
- Biegler, R. & Morris, R. G. M. (1993). Landmark stability is a prerequisite for spatial but not discrimination learning. *Nature*, 361, 631-633.
- Bullens, J., Nardini, M., Doeller, C. F., Braddick, O., Postma, A., & Burgess, N. (2010). The role of landmarks and boundaries in the development of spatial memory. *Developmental Science*, 13(1), 170-180.
- Cheng, K. (1986). A purely geometric module in the rat spatial representation. *Cognition*, 23, 149-178.
- Cheng, K. & Newcombe, N. S. (2005). Is there a geometric module for spatial orientation? Squaring theory and evidence. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(1), 1-23.
- Cheng, K., Huttenlocher, J., & Newcombe, N. S. (2013). 25 years of research on the use of geometry in spatial reorientation: a current theoretical perspective. *Psychonomic bulletin & review*, 20(6), 1033-54 doi:10.3758/s13423-013-0416-1
- Cheng, K., Shettleworth, S. J., Huttenlocher, J., & Rieser, J. J. (2007). Bayesian integration of spatial information. *Psychological Bulletin*, 133, 625-637.
- Chiandetti, C., Regolin, L., Sovrano, V. A., & Vallortigara, G. (2007). Spatial reorientation: the effects of space size on the encoding of landmark and geometry information. *Animal Cognition*, 10, 159-168.
- Doeller, C. F. & Burgess, N. (2008). Distinct error-correcting and incidental learning of location relative to landmarks and boundaries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 5909-5914.
- Doeller, C. F., King, J. A., & Burgess, N. (2008). Parallel striatal and hippocampal systems for landmarks and boundaries in spatial memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 5915-5920.
- Hermer, L. & Spelke, E. S. (1994). A Geometric Process for Spatial Reorientation in Young Children. *Nature*, 370, 77-79.
- Hermer-Vazquez, L., Moffet, A. & Munkholm P. (2001). Language, space, and the development of cognitive flexibility in humans: the case of two spatial memory tasks. *Cognition*, 79(3), 263-99.
- Hupbach, A. & Nadel, L. (2005). Reorientation in a rhombic environment: no evidence for an encapsulated geometric module. *Cognitive Development*, 20, 279-302.
- Kretschmann, H. J., Kammradt, G., Krauthausen, I., Sauer, B., & Wingert, F., (1986). Growth of the hippocampal formation in man. *Bibliotheca Anatomica*, 28, 27-52.
- Lackner, J. R. & DiZio, P. (2005). Vestibular, proprioceptive, and haptic contributions to spatial orientation. *Annual Review of Psychology*, 56, 115-47.
- Learmonth, A. E., Nadel, L., & Newcombe, N. S. (2002). Children's use of landmarks: implications for modularity theory. *Psychological Science*, 13, 337-341.
- Learmonth, A., Newcombe, N. S., Sheridan, M., & Jones, M. (2008). Why size counts: Children's spatial reorientation in large and small enclosures. *Developmental Science*, 11, 414-426.
- Learmonth, A. E., Newcombe, N. S., & Huttenlocher, J. (2001). Toddlers' use of metric information and landmarks to

- reorient. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, 225-244.
- Lee, S. A., Sovrano, V. A., & Spelke, E. S. (2012). Navigation as a source of geometric knowledge: Young children's use of length, angle, distance, and direction in a reorientation task. *Cognition*, 123, 144-161.
- Lee, S. A., & Spelke, E. S. (2010). Two systems of spatial representation underlying navigation. *Experimental Brain Research*, 206, 179-188.
- Lee, S. A., & Spelke, E. S. (2011). Young children reorient by computing layout geometry, not by matching images of the environment. *Psychological Bulletin and Review*, 18, 192-198.
- Lew, A. R., Foster, K. A., & Bremner, J. G. (2006). Disorientation inhibits landmark use in 12-18-month-old infants. *Infant Behavior and Development*, 29, 334-341.
- Lew, A. R., Gibbons, B., Murphy, C., & Bremner, J. G. (2010). Use of geometry for spatial reorientation in children applies only to symmetric spaces. *Developmental Science* 13(3), 490-498.
- Lourenco, S. F., Addy, D., & Huttenlocher, J. (2008). Location representation in enclosed spaces: What types of information afford young children an advantage? *Journal of Experimental Child Psychology*, 104, 313-325.
- Lourenco, S. F. & Huttenlocher, J. (2008). The representation of geometric cues in infancy. *Infancy*, 13(2), 103-127.
- Moraleda, E., Broglio, C., Rodríguez, F., & Gómez A. (2013). Development of different spatial frames of reference for orientation in small-scale environments. *Psicothema*, 25(4), 468-475.
- Mrzljak, L., Uilings, H., Van Eden, C., & Judas, M. (1990). Neuronal development in human prefrontal cortex in prenatal and postnatal stages. *Progress in Brain Research*, 85, 185-222.
- Nardini, M., Atkinson, J., & Burgess, N. (2008). Children reorient using the left/right sense of colored landmarks at 18-24 months. *Cognition*, 106, 519-527.
- Nardini, M., Burgess, N., Breckenridge, K., & Atkinson, J. (2006). Differential developmental trajectories for egocentric, environmental and intrinsic frames of reference in spatial memory. *Cognition*, 101, 153-172.
- O'Keefe, J. (2007). Hippocampal neurophysiology in the behaving animal. En P. Andersen, R. Morris, D. Amaral, T. Bliss & J. O'Keefe (Eds.), *The hippocampus book* (pp. 475-548). Oxford: Oxford University Press.
- O'Keefe, J. & Nadel, L. (1978). *The Hippocampus as a Cognitive Map*. Oxford: Clarendon Press.
- Overman, W. H., Pate, B. J., Moore, K., & Peuster, A. (1996). Ontogeny of place learning in children as measured in the radial arm maze, Morris search task and open field task. *Behavioral Neuroscience*, 110(6), 1205-28.
- Ratcliff, K. R. & Newcombe, N. S. (2008). Reorienting when cues conflict: Evidence for an adaptive-combination view. *Psychological Science*, 19, 1301-1307.
- Rescorla, R. A. & Wagner, A. R. (1972). A theory of pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. En A. H. Black & W. F. Prokasy (Eds.), *Classical conditioning II: Current theory and research* (pp. 64-99). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Ruggiero, G., D'Errico, O., & Iachini, T. (2015). Development of egocentric and allocentric spatial representations from childhood to elderly age. *Psychological Research*, 80(2), 259-272.
- Seress, L. (1992). Morphological variability and developmental aspects of monkey and human granule cells: differences between the rodent and primate dentate gyrus. *Epilepsy Res. Suppl.* 7. En C. E. Ribak (Ed.), *The dentate gyrus and its role in seizures* (pp. 3-28). Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Sluzenski, J., Newcombe, N., & Ottinger, W. (2004). Changes in reality monitoring

- and episodic memory in early childhood. *Developmental Science*, 7(2), 225-245.
- Smith, A. D., Gilchrist, I. D., Cater, K., Ikram, N., Nott, K., & Hood, B. M. (2008). Reorientation in the real world: The development of landmark use and integration in a natural environment. *Cognition*, 107, 1102–1111.
- Sowell, E., Thomsson, P., Holmes, C., Batth, R., Jernigan, T., & Toga, A. (1999). Localizing age-related changes in brain structure between childhood and adolescence using statistical parametric mapping. *Neuroimage*, 9, 587-597.
- Taube, J. S. (2011). Head direction cell firing properties and behavioral performance in 3-D space. *Journal of Physiology*, 589(4), 835-841.
- Twyman, A., Friedman, A., & Spetch, M. L. (2007). Penetrating the geometric module: Catalyzing children's use of landmarks. *Developmental Psychology*, 43, 1523–1530.
- Welberg, L. (2012). Spatial processing: Parietal entorhinal cortex cells in navigation. *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 223.
- White, N. R. & McDonald, R. J. (2002). Multiple parallel memory systems in the brain of the rat. *Neurobiology of Learning and Memory*, 77, 125–184.

Notas

- * Artículo de investigación.