

TESIS DOCTORAL

2019

Programa de entrenamiento en Rotación
Mental: diferencias individuales y
evolutivas en Educación Infantil

Laura María Fernández Méndez

PROGRAMA DE DOCTORADO EN PSICOLOGÍA DE LA SALUD

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Directoras:

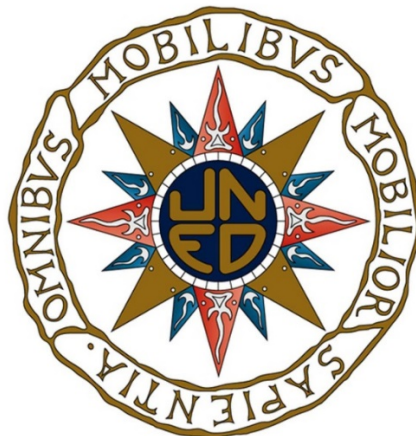
Dra. María José Contreras Alcalde

Dra. María Rosa Elosúa de Juan

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

Departamento de Psicología Básica I

Facultad de Psicología



TESIS DOCTORAL

Programa de Doctorado en Psicología de la Salud

Programa de entrenamiento en Rotación Mental: diferencias individuales y evolutivas en Educación Infantil

Laura María Fernández Méndez

Directoras

Dra. María José Contreras Alcalde

Dra. María Rosa Elosúa de Juan

Madrid, abril de 2019

FINANCIACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL

La presente tesis ha sido financiada gracias a las ayudas para la formación de doctores del Ministerio de Economía y Competitividad con referencia BES-2014-067704. Esta ayuda se contempló como parte de un Proyecto de Investigación financiado, titulado “Habilidades visoespaciales: factores evolutivos, influencia cognitiva, emocional, correlatos electrofisiológicos y beneficios de su entrenamiento”, con referencia EDU2013-46437-R. La consecución de la ayuda permitió formalizar un contrato predoctoral con la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) durante el periodo comprendido entre 2014 y 2019.

Además, la doctoranda ha conseguido dos ayudas a la Movilidad predoctoral para la realización de Estancias breves en centros de I+D, financiadas por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Concretamente, la primera Estancia fue realizada en la Universidad de Padova (Italia) por un periodo de tres meses (desde septiembre a diciembre del año 2017), bajo la dirección de la doctora Chiara Meneghetti. Referencia de la ayuda: EEBB-I-17-11926. La segunda Estancia se ha tramitado para un periodo de dos meses, abril y mayo del 2019, en la Universidad de Ratisbona (Alemania), bajo la supervisión de la doctora Petra Jansen. Referencia de la ayuda: EST2019-013082-I.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis ha sido posible gracias a la aportación de muchas personas, que me han ayudado y apoyado en todo el camino recorrido desde que este trabajo era solo una idea y a la vez, un sueño lejano. En las siguientes líneas quiero expresar mi agradecimiento a algunas de ellas.

En primer lugar, quiero agradecer a mis directoras de tesis, M^a José Contreras y M^a Rosa Elosúa su apoyo y entrega absoluta a mi formación. Ellas han sido mis guías y mi referente en todas las etapas de este largo, arduo y a la vez sumamente estimulante trabajo que es la investigación. Nunca tendré palabras de agradecimiento suficientes por abrirme esta puerta, y acompañarme en mis primeros pasos, así como en las caídas. M^a José, contigo he crecido a todos los niveles y tengo el inmenso orgullo de considerar nuestra relación mucho más allá de esta tesis y de la UNED, a ti te llamo amiga y maestra a la vez.

Seguidamente, a mis compañeros de equipo. Gracias Toño, por compartir juntos paso a paso la etapa predoctoral, de forma casi simétrica, las charlas, las preocupaciones, y, por supuesto, los logros. A Pedro, porque su simpatía, buen hacer y sabios consejos siempre me han animado e impulsado, y porque siento que su mano amiga siempre está tendida para ayudarme. A Patri y María, por apoyarme y ser miembros de esta gran familia investigadora de la que me siento muy orgullosa de pertenecer.

También quisiera agradecer la formación recibida a mis tutoras en las estancias internacionales. En Italia, (Padova), gracias Chiara por tu guía, tu impulso y tu cariño en esa especial etapa que viví allí y en la que tanto aprendí. En Alemania (Ratisbona), gracias

Petra, por permitirme aprender tanto de ti y del equipo que lideras, ha sido sumamente enriquecedor para mi.

Gracias a todo el equipo humano del Instituto Veritas, a Olga, Manoli, Pablo y a todas las profesoras de Infantil por abrirme las puertas del centro escolar y acogerme de manera tan cálida que pude sentir ser una más. A todos los padres y madres de los/as peques que autorizaron a sus hijos/as a participar en el estudio, y por supuesto, a todos los niños y niñas que aguantaron mis evaluaciones siempre sonriendo y jugando. Vosotros sois la parte más importante de esta tesis.

A mi familia. Dani, por ser un ejemplo a seguir de trabajo, esfuerzo y valentía. A mis padres, por apoyarme, reconfortarme, por sufrir conmigo, por el amor incondicional que cada día siento, y por enseñarme siempre desde la paciencia y el cariño. Sois piezas fundamentales en mi vida, sin vosotros, nada hubiera sido posible.

Y por último y más importante. Gracias Hugo, gracias Nora. Mi pequeña familia, mi pequeño gran mundo. A ellos, solo gracias por existir en mi vida, porque el amor no entiende de razones.

A todos vosotros, gracias.

ÍNDICE

Lista de Símbolos, Abreviaturas y Siglas

Lista de tablas y figuras

ABSTRACT

PRÓLOGO

1. Justificación de la tesis	23
2. Objetivos de la tesis	27
3. Estructura de la tesis	28

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

1. Introducción.....	35
2. Definición y clasificación de las habilidades espaciales	38
3. Definición y evaluación de la Rotación Mental	43
4. Enfoques teóricos que explican el surgimiento de las habilidades espaciales	47
4.1. Enfoque neoconstructivista: teoría de la combinación adaptativa	48
4.2. Teoría de los sistemas dinámicos: la cognición corpórea	51
5. Desarrollo de las habilidades espaciales en la infancia: el caso de la Rotación Mental	59
6. Rotación Mental: desarrollo en el Ciclo de Infantil	65
7. Discrepancias entre la competencia mostrada por bebés y por preescolares en tareas de Rotación Mental.....	73
8. Entrenamiento de las habilidades espaciales: la Rotación Mental en el Ciclo de Infantil	76
9. Diferencias medias entre grupos de sexo en capacidad espacial.....	84

9.1. Enfoque teórico biopsicosocial	84
9.2. Variables relacionadas con las diferencias de sexo en capacidad espacial	86
9.2.1. Características de la tarea.....	86
9.2.2. Características de los/as participantes.....	90
9.2.3. Factores ambientales	94
9.3. Diferencias medias entre grupos de sexo en Rotación Mental.....	97
10. Mejora diferencial en función de las habilidades espaciales iniciales.....	101
11. Relación de las habilidades espaciales con las disciplinas STEM: Rotación Mental y matemáticas	103
12. Objetivos generales de la tesis.....	113

CAPÍTULO II. SECCIÓN EXPERIMENTAL

1. Estudio 1: Efectividad sobre mejora de la capacidad espacial de un programa de entrenamiento en Rotación Mental en Educación Infantil: impacto en la competencia matemática y diferencias entre grupos de sexo y de la capacidad inicial de Rotación Mental	119
1.1. Introducción.....	119
1.2. Objetivos específicos e hipótesis.....	123
1.3. Método.....	124
1.4. Resultados	134
1.5. Discusión.....	139
2. Estudio 2: Análisis de la configuración angular de un programa de entrenamiento en Rotación Mental en Educación Infantil: efecto de la edad y el sexo.....	143
2.1. Introducción.....	143
2.2. Objetivos específicos e hipótesis.....	146
2.3. Método.....	147

2.4. Resultados	148
2.5. Discusión	150

CAPÍTULO III. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

1. Discusión general	159
2. Conclusions	172
3. Main limitations	175
4. Future research	177

REFERENCIAS	181
--------------------------	-----

ANEXOS

Anexo I. Tarea de rotación de imágenes abreviada.....	223
Anexo II. <i>Picture Rotation Test</i>	236
Anexo III. Láminas añadidas (Tarea de rotación de imágenes extendida)	279

Lista de Símbolos, Abreviaturas y Siglas

E	Imágenes en espejo
MRT	<i>Mental Rotation Test</i>
NCTM	<i>National Council of Teachers of Mathematics</i>
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PIAAC	Programa Internacional para la Evaluación de la Competencia de los Adultos
PISA	Programa para la Evaluación Internacional de los Alumnos
PSVT: R	<i>Purdue Spatial Visualization Test: Rotations</i>
R	Imágenes rotadas
RM	Rotación Mental
STEM	<i>Science, Technology, Engineering, and Mathematics</i>

Lista de Tablas y Figuras

Tabla 1. <i>Distribución de las imágenes en espejo (E) y rotadas (R) de los dos bloques de la primera sesión. El primer bloque se encuentra a la izquierda y el segundo a la derecha.</i>	109
Tabla 2. <i>Medias (desviaciones típicas) y tamaño del efecto (d de Cohen) de las medidas en la fase pretest, posttest y las diferencias post-pretest (incrementos) de los grupos control y experimental de los tres cursos de Educación Infantil en RM.</i>	111
Tabla 3. <i>Medias (desviaciones típicas) y tamaño del efecto (d de Cohen) de las medidas en la fase pretest, posttest y las diferencias post-pretest (incrementos) de los grupos control y experimental de los tres cursos de Educación Infantil en Matemáticas.</i>	114
Tabla 4. <i>Comparaciones por parejas de las diferencias de medias del rendimiento en el programa de entrenamiento por cada curso, en función de la disparidad angular (porcentaje de aciertos).</i>	126
Figura 1. <i>Clasificación de las habilidades espaciales y ejemplos de cada proceso espacial. Figura adaptada de Uttal et al. (2013a).</i>	18
Figura 2. <i>Tareas usualmente utilizadas para evaluar la rotación mental en adultos. A) Tarea de rotación mental de Shepard y Metzler (1971); B) Tarea de rotación mental de Vandenberg y Kuse (1978); C) Subprueba de rotación de la prueba de visualización espacial de Purdue (Purdue Spatial Visualization Test: Rotations, PSVT: R, Guay (1977).</i>	24

Figura 3. Imagen basada en los ensayos de entrenamiento (arriba) y evaluación (abajo) de Frick et al. (2013a).	57
Figura 4. Imagen basada en la tarea de entrenamiento y evaluación de RM de Ehrlich et al. (2006). Arriba, la matriz de elección. Abajo, las dos partes que forman una de las figuras presentadas arriba.	58
Figura 5. Distribución de las puntuaciones espaciales medias (desviaciones estándar) por ocupación 11 años después de que el rendimiento espacial fuese evaluado (adaptado de Wai et al., 2009).	83
Figura 6. Porcentaje de mujeres que ingresan en carreras universitarias, en función del campo de estudio. Figura adaptada de OECD (2017).	90
Figura 7. Ejemplos de láminas del test PRT adaptado. A la izquierda, la Lámina de práctica n° 3 y a la derecha, la Lámina de evaluación n° 3.	105
Figura 8. Ejemplo de ensayo de práctica.	107
Figura 9. Medias de los incrementos en las medidas de RM por sexo y curso de infantil de los grupos control y experimental.	113
Figura 10. Porcentaje de aciertos en cada una de las disparidades angulares de primer, segundo y tercer curso de Educación Infantil.	127

ABSTRACT

Mental Rotation training program: Individual and developmental differences in Early Childhood Education

The present thesis analyzes the development of Mental Rotation (MR) and the possible improvement of this ability through its training in Early Childhood Education (3-6 years of age), considering factors such as age, sex or the initial MR level of the child. In addition, the degree of improvement of the basic mathematical competence of preschoolers as a result of training their MR ability is evaluated. Several studies show the malleability of spatial abilities among different age groups, although studies that contemplate MR training among preschool children are scarce and their results are inconsistent. This may be partly due to the controversy surrounding the emergence of this ability in development, with certain studies pointing towards an early emergence of mental transformation skills even in babies, and other studies establishing that up to 5 years of age there are no clear signs of mental rotations. Regarding sex differences, previous studies have shown the superiority of males with respect to females in spatial skills. In particular, the greatest effects have been found in tasks that contemplate MR processes. However, the age at which these differences become evident has not been established, thus posing an essential question as to the moment in which both sexes begin to differ in their ability to mentally rotate representations and its possible social implications. In the same way, studying the impact that training can have on those students who have poor spatial skills is of vital importance to develop adapted training programs whose purpose is to enhance different spatial abilities in these students. Moreover, and given that there is empirical evidence that a MR training can improve certain mathematical skills in other age groups, it is necessary to investigate whether training can have an impact on a basic level of mathematical competence during the early

childhood education stage. Thus, analyzing sex differences, the different performance of students according to their initial rotation ability and the possible improvement in basic mathematical competence are fundamental issues due to the close relationship between spatial skills and academic disciplines such as sciences, mathematics, technology or engineering observed in later stages of the development. In this way, within the academic context, the malleability of spatial abilities can be considered a very useful resource to reduce the sex gap that usually occurs in these disciplines where generally the females are underrepresented. Therefore, it is essential to study the possibility of intervening at early stages with the aim of reducing the difference between students who show high and low scores in spatial tasks such as MR. In order to address these issues, analyze the effectiveness of a training program in MR, examine the differences according to age, sex and level of spatial ability of MR, as well as the possibility of improving the basic mathematical ability as a result of this training, two complementary studies were carried out.

Study 1 focused on analyzing the effect of a MR training program, measured through a test and different stimuli than those used in the program. This study also analyzed the improvement in the basic mathematical competence of the students due to the effect of the training. In addition, the possible sex differences and the initial level of MR that the participants showed were assessed in order to evaluate the possible differential impact derived from the training. The sample consisted of preschool children from the first, second and third year of Early Childhood Education with ages ranging between 3 and 6 years. Each course was divided into two groups, the experimental group and the control group. A training program with increasing difficulty, both inter and intra-session, was developed and administered only to the experimental group. The results showed a significant training effect in Second and Third courses (4-6 year-olds children),

while in younger preschoolers, although its effectiveness was not proven, a tendency towards significance was evidenced. However, there were no improvements in the mathematical competence of either the control group or the experimental group for any of the age groups studied. Regarding sex differences, there was no differential performance in MR ability, neither before, nor after training, nor was any differential benefit from it observed. In addition, those students with lower scores in the pretest benefited to a greater extent from the training program, but only for those in the last two courses (4-6 year-olds), as none of the groups (either high or low level of initial MR ability) showed greater benefit from the effect of training in the youngest children (3-4 year-olds) of Early Childhood Education.

Study 2 evaluated the performance in the training program based on the year, of Early Childhood Education, considering the possible sex differences and the different angular disparities that were contemplated in the program. The sample was composed of the experimental group from Study 1. The results showed a differential performance according to the year of education, with clear improvements as the age of the preschoolers increased. In contrast with other studies, the mean performance of the younger group was much higher than that indicated in previous studies, showing a clear decrease in the accuracy of the response as the angular disparity increased, evidencing a clear pattern as to the existence of MR processes at this age. Analyzing the performance in the training for each course, it seems to be adequate for first and second year, whereas third year students had very high scores in almost all angular disparities. This suggests that, for the older age group, a program aimed at training more angular disparities with a greater angle of rotation could enhance to a greater extent the effectiveness of a training of these characteristics. In line with Study 1, no sex differences were observed in the execution of the training, nor in the total score nor in each angular disparity.

Considering the results of both studies, we can confirm that preschoolers between 4 and 6 years of age can increase their MR ability with a brief 3-day training program designed specifically for this age range. Although the effectiveness of the program across first-years was not confirmed, the trend towards significance and the analysis of the training program supports the idea that not only preschoolers between 3 and 4 years of age can perform mental rotations, but that it is possible to train this ability. Regarding the evaluation of the training program, there is a clear evolutionary development in the MR ability of preschool children from 3 to 6 years of age. However, the results in terms of mathematical competence do not allow to establish improvements in mathematical performance due to the effect of training at these age groups. Furthermore, we can assert the emergence of sex differences must occur at later stages than those studied in the present thesis, in light of the absence of differences observed with the tasks used. It seems that the influence of the environment and the social context is a determining factor in the subsequent emergence of better MR skills in males, which, together with the impact that spatial abilities have within the academic context, is a factor that seems important to predispose girls and women to have less access to academic disciplines such as science or mathematics. However, as the greatest increases in the training program have been observed in preschoolers with low initial spatial abilities, it may be assumed that already at such early stages of development we can encourage spatial thinking, which may affect academic success in later years.

PRÓLOGO

1. Justificación de la tesis

En la sociedad actual las habilidades espaciales están adquiriendo gran relevancia debido, en parte, a su relación con disciplinas académicas conocidas como disciplinas STEM (acrónimo en inglés de *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*), ya que se han considerado que subyacen al desarrollo económico de un país. Sin embargo, son las disciplinas que menos eligen las/os estudiantes, con un 5% de estos que se decantan por las ciencias naturales, la estadística o las matemáticas; un 4% en tecnologías de la información y comunicación; y un 17% en ingenierías, construcción o manufacturas (OECD, 2017). Uno de los factores que puede estar influyendo en estas tasas reducidas de estudiantes que eligen una carrera relacionada con dominios o campos STEM es el nivel de capacidad espacial. De hecho, se ha asociado que aquellos/as estudiantes con mayores capacidades espaciales tienden a elegir con una mayor probabilidad carreras STEM (Wai, Lubinski y Benbow, 2009). Dada esta relación, varios trabajos se han enfocado en investigar las posibilidades de impulsar el éxito en estas disciplinas a través de promocionar el pensamiento espacial (Cheng y Mix, 2014; Sorby, Casey, Veurink y Dulaney, 2013; Rodán, Contreras, Elosúa y Gimeno, 2016; Rodán, Gimeno, Elosúa, Montoro y Contreras, 2019), abriendo un campo de estudio encaminado a indagar la maleabilidad de las habilidades espaciales en todas las etapas educativas como una posible vía para potenciar las disciplinas STEM.

La mayoría de los/as niños/as tienen su primer contacto en el ámbito educativo antes de la educación obligatoria, al iniciarse en Educación Infantil. Esta constituye una etapa educativa con identidad propia que atiende a niños y niñas desde el nacimiento hasta

los seis años y tiene carácter voluntario. Se ordena en dos ciclos, el primero comprende desde el nacimiento hasta los tres años y el segundo, desde los tres hasta los seis años de edad, también denominada etapa preescolar. El Ministerio de Educación y Formación Profesional del Gobierno de España establece la iniciación en las habilidades lógico-matemáticas, en la lectoescritura y en el movimiento, el gesto y el ritmo como uno de los objetivos básicos dentro del currículum en el Segundo Ciclo de Educación Infantil, donde una de las áreas delimitadas comprende la iniciación temprana de habilidades numéricas básicas, en las tecnologías de la información y la comunicación, y en la expresión plástica y musical. Los contenidos de este área implican que el/la niño/a deba desarrollar habilidades espaciales relacionadas con el establecimiento de la situación de sí mismo y de los objetos en el espacio, identificación de posiciones relativas, establecer referencias espaciales en relación con el propio cuerpo, identificación de formas planas y tridimensionales de objetos en el entorno, realización de desplazamientos orientados desde el conocimiento del propio cuerpo y de su ubicación espacial, o aprender nociones básicas de orientación y coordinación de movimientos (LRJSP 2/2006, de 3 de mayo; RDL 1630/2006, de 29 de diciembre).

Además, el Segundo Ciclo de la Educación Infantil es el periodo que antecede a la educación obligatoria, donde los/as niños/as empiezan a adquirir competencias clave en el contexto académico. Una de estas competencias, contempladas dentro del currículum básico de la Educación Primaria en España, es la Competencia matemática y Competencias básicas en ciencia y tecnología (RDL 126/2014, de 28 de febrero) en las que ya se ponen en práctica habilidades espaciales más complejas como representar posiciones relativas de formas geométricas, ángulos, describir posiciones y movimientos por medio de coordenadas o distancias, realizar escalas y gráficas sencillas para hacer representaciones elementales en el espacio, realizar ampliaciones y reducciones,

interpretar y elaborar representaciones espaciales (planos, croquis de itinerarios, maquetas), utilizando las nociones geométricas básicas (situación, movimiento, paralelismos, perpendicularidad, escala, simetría, perímetro, superficie), indicar una dirección, explicar un recorrido o la orientación en el espacio, entre otras. Por ello, investigar las habilidades espaciales en la etapa en la que la/el niña/o empieza a desarrollarlas es fundamental, además de ser el periodo que inmediatamente antecede al uso y manipulación de conceptos espaciales como parte de la instrucción obligatoria, así como ahondar en la posibilidad de mejorar ciertas habilidades espaciales que estarían relacionadas con la adquisición y desarrollo de competencias relacionadas con las matemáticas, la ciencia y la tecnología en el contexto escolar. A este respecto, es especialmente relevante desarrollar prácticas que puedan repercutir en una mejora de la capacidad matemática, máxime tomando en cuenta los últimos resultados del informe PISA (Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos) sobre el rendimiento de los alumnos y alumnas en esta materia, donde la media se sitúa 4 puntos por debajo de la media de la OCDE. Más específicamente, las/os alumnas/os españoles tienen en matemáticas una proporción de alumnos/as excelentes por debajo de la media, teniendo una mayor proporción de estas/os con bajo rendimiento en comparación con la media de los países de la OCDE (OCDE, 2016). Dado que otras investigaciones han encontrado que un entrenamiento en RM puede mejorar la capacidad aritmética matemática en niños/as de 6 a 8 años de edad con un entrenamiento breve de una sesión (Cheng y Mix, 2014), es importante observar si esto puede extenderse a otras edades más tempranas como la edad preescolar. A pesar de la abundante literatura que investiga sobre la posibilidad de mejorar la RM, los estudios enfocados en entrenar la capacidad de rotación mental en la edad preescolar han sido escasos y los resultados de estos no han permitido consensuar la edad en la que un/a estudiante pueda beneficiarse de un entrenamiento,

cuestionando además la edad en la que las/os niñas/os pueden realizar rotaciones mentales de forma efectiva. Debido a esta falta de consenso, es importante investigar la efectividad de un entrenamiento en RM en estudiantes del Segundo Ciclo de Educación Infantil.

Otro de los puntos que justifican esta tesis es el análisis de las diferencias entre grupos de sexo¹ en las capacidades espaciales, que, a su vez, puede ser uno de los motivos por los cuales se han observado una baja representación del sexo femenino en las disciplinas STEM. Este hecho unido a que las habilidades espaciales son capacidades que pueden mejorarse (Uttal et al., 2013a; Wright, Thompson, Ganis, Newcombe y Kosslyn, 2008), lleva a la idea de que, al aumentar las capacidades espaciales, pueda potenciar el éxito académico de las disciplinas STEM, y por lo tanto mejorar sus tasas de ingreso, así como impulsar al sexo femenino en estos campos. Sin embargo, la investigación relativa a la emergencia de estas diferencias en la capacidad de RM en el ciclo vital no ha arrojado resultados claros, no pudiendo establecer la edad en la que estas diferencias se hacen evidentes. Analizar las diferencias de sexo en etapas tan tempranas del desarrollo como es la etapa preescolar es esencial para poder, junto con otros estudios, delimitar la edad adecuada en la que promocionar la equidad entre ambos grupos de sexo diseñando intervenciones específicas y adaptadas para reducir estas diferencias, incluso con anterioridad a que estas se hagan patentes.

¹ En la presente tesis se utilizará el término “diferencias de sexo” para referirse tanto a aspectos biológicos como psicológicos en cuanto a las diferencias entre el grupo de hombres o niños y el grupo de mujeres o niñas, en lugar del término “género”, siguiendo a una investigadora de referencia en el campo, Diane Halpern (2012). En esta tesis, se categorizará a los niños y niñas siguiendo su fenotipo masculino o femenino, sin preguntar a los participantes a qué sexo pertenecen.

El hecho de indagar en las diferencias de sexo en una habilidad espacial que ha mostrado consistentemente un rendimiento superior de los varones con respecto a las mujeres en la etapa adulta como es la RM (Hegarty, 2017; Voyer, Voyer y Bryden, 1995), subraya la necesidad de observar y potenciar las capacidades espaciales del grupo considerado con menores capacidades espaciales. Por ello, independientemente de las diferencias entre grupos de sexo, es importante señalar que la posibilidad de fomentar el pensamiento espacial se ha de dirigir en mayor medida a los/as estudiantes que exhiban unas capacidades espaciales bajas, e investigar la edad en la que un entrenamiento en RM pueda potenciar esta capacidad en los/as estudiantes que muestren un rendimiento bajo inicialmente en tareas que requieran transformaciones espaciales.

2. Objetivos de la tesis

La presente tesis pretende aumentar el conocimiento relativo a la maleabilidad de las habilidades espaciales desde un punto de vista evolutivo y su impacto en la capacidad matemática básica, haciendo especial énfasis en las diferencias individuales relativas a la edad, el sexo y a la capacidad espacial inicial. Específicamente, el objetivo principal será evaluar la efectividad de un entrenamiento en RM en estudiantes de primer (3-4 años de edad), segundo (4-5 años de edad) y tercer curso (5-6 años de edad) del Segundo Ciclo de Educación Infantil, así como el rendimiento diferencial en el programa de entrenamiento administrado en función de la edad y la disparidad angular. También se evaluará el grado de mejora en el rendimiento matemático por el efecto del entrenamiento en RM. Además, se analizarán las diferencias entre grupos de sexo en cada uno de los cursos, antes y después del entrenamiento, así como el efecto del entrenamiento. Debido a que las diferencias entre sexos pueden no estar presentes o no detectarse en niños/as de

Educación Infantil, se realizará un análisis de las diferencias en la mejora de la RM en función de la capacidad inicial mostrada en el pretest. Esto permitiría constatar el grado de mejoría de aquellos/as que exhiben una menor capacidad inicial al realizar rotaciones mentales, en comparación con los/as estudiantes que tienen de partida una alta capacidad, como resultado de su práctica.

3. Estructura de la tesis

La presente tesis se ha dividido en tres capítulos. En el primer capítulo se desarrollará pormenorizadamente el estado de la cuestión relativo a las habilidades espaciales desde un punto de vista descriptivo y evolutivo. Concretamente, se explicará un marco introductorio que versa sobre la importancia de las capacidades espaciales en diferentes contextos, así como la definición del concepto de capacidad espacial y las diferentes clasificaciones de los componentes que se han propuesto en la literatura previa, con especial atención a la RM y su evaluación. Seguidamente, se detallarán los enfoques teóricos actuales que explican el surgimiento de las habilidades espaciales en el desarrollo típico y se describirán las investigaciones enfocadas a la evaluación de la RM desde el nacimiento hasta la etapa de Educación Infantil. Posteriormente, se hará una descripción de los estudios enfocados a entrenar la capacidad de RM, detallando en mayor medida aquellos dirigidos a preescolares. Para finalizar este capítulo, se detallarán los diferentes estudios que han investigado las diferencias entre grupos de sexo en tareas de RM, así como las variables relacionadas con las características de la tarea y de las/os participantes, y los factores del ambiente que subyacen a estas diferencias. Además, se describirán los estudios que evalúen la mejora diferencial en función del nivel de capacidad de RM inicial, y se expondrá la importancia y la relación de las habilidades espaciales en el

contexto académico con especial relevancia en las disciplinas STEM, en concreto entre la RM y las matemáticas elementales.

El segundo capítulo está dedicado a la sección experimental, donde se desarrollará en profundidad los estudios contemplados en esta tesis. Se presentarán dos estudios. El Estudio 1: Efectividad sobre mejora de la capacidad espacial de un programa de entrenamiento en Rotación Mental en Educación Infantil: impacto en la competencia matemática y diferencias entre grupos de sexo y de la capacidad inicial de Rotación Mental; y el Estudio 2: Análisis de la configuración angular de un programa de entrenamiento en Rotación Mental en Educación Infantil: efecto de la edad y el sexo. Ambos estudios contarán con una breve introducción teórica, las hipótesis de las que se parte, una descripción exhaustiva de los materiales, la muestra utilizada y el procedimiento llevado a cabo, los resultados encontrados y una breve discusión derivada de los principales resultados.

En el tercer y último capítulo se desarrollarán varios puntos. En primer lugar, se discutirán de forma específica los resultados encontrados por ambos estudios en relación con la literatura previa, subrayando la importancia de los hallazgos encontrados en el presente trabajo. Seguidamente, se detallarán las principales conclusiones resultantes de los estudios. Además, se expondrán las principales limitaciones de estos trabajos y, por último, se propondrán líneas futuras de investigación y recomendaciones para estudios posteriores que busquen realizar un entrenamiento en RM en preescolares.

En los Anexos de la presente tesis podrán encontrarse parte de los materiales que se utilizaron para evaluar la capacidad de RM en los preescolares. La tarea de rotación de imágenes abreviada para la evaluación de preescolares de 3 a 4 años de edad y la hoja de

respuestas se especificará en el Anexo 1. *The Picture Rotation Test* se encontrará en el Anexo 2 y las láminas añadidas al test original para evaluar a niñas/os con edades comprendidas entre 4 y 6 años de edad se integrarán en el Anexo 3, como parte de la tarea de rotación de imágenes extendida.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

1. Introducción

La capacidad del ser humano para realizar procesos internos complejos nos permite representar escenas espaciales completas desde varias perspectivas y visualizar objetos sometidos a una transformación rotacional (Newcombe y Huttenlocher, 2006). Estos mecanismos simbólicos pueden ser usados para estructurar nuestro pensamiento ayudándonos a realizar tareas de la vida cotidiana, desde actividades muy básicas como el hecho de moverse por el espacio que nos rodea, lo que involucra un procesamiento de la información espacial, hasta aquellas tareas que presentan retos cognitivos más complejos como, por ejemplo, montar un mueble, una tarea que requiere la transformación de relaciones espaciales entre las diferentes partes de los objetos. Otras tareas espaciales que nos encontramos habitualmente conllevan la orientación y localización de objetos en entornos que no son familiares, como encontrar la mejor ruta en un vecindario o encontrar el coche en un aparcamiento de grandes dimensiones. Esto son claros ejemplos de cómo las personas usamos la cognición espacial (Vasilyeva y Lourenco, 2010; Waller y Nadel, 2013).

Además de utilizar la cognición espacial para realizar una variedad de actividades diarias, esta capacidad está presente en muchas ocupaciones y vocaciones que implican el uso de las habilidades espaciales, como por ejemplo diseñar un edificio, conducir o pilotar un avión. La investigación en cognición espacial está siendo aplicada para diseñar y evaluar programas educativos y procedimientos en esos campos (Hsi, Liin y Bell, 1997). Además, los procesos de selección para acceder a un puesto de trabajo pueden hacer uso de técnicas de evaluación para escoger aquellos/as aspirantes con una mayor capacidad espacial para la correcta ejecución de un oficio que requiera de esta, ejemplo de ello es la evaluación de la orientación espacial dinámica que compañías aéreas utilizan para

seleccionar controladoras/es de tráfico aéreo (Contreras, Colom, Shih, Álava y Santacreu, 2001).

En el contexto escolar, el interés en las habilidades espaciales se ha visto incrementado gracias a su estrecha relación con el rendimiento académico, especialmente en áreas como las ciencias y las matemáticas (Höffler, 2010; Lubinski, 2010; Wai et al., 2009). De esta forma, se ha establecido cómo unas habilidades espaciales altas se relacionan tanto con la elección de la carrera como con el éxito en campos tecnológicos (Humphreys y Yao, 2002; Newcombe y Frick, 2010). En el caso de las matemáticas, las habilidades espaciales se han relacionado con la aritmética (Kyttälä y Lehto, 2008), la resolución de problemas (Hegarty y Kozhevnikov, 1999), la geometría (Delgado y Prieto, 2004), el álgebra (Tolar, Lederberg y Fletcher, 2009), además de matemáticas altamente avanzadas, que incluyen teoría de funciones, lógica matemática y matemáticas computacionales (Wei, Yuan, Chen y Zhou, 2012). Parece que las habilidades espaciales desempeñan un papel activo en el desarrollo de la conceptualización y visualización en los/as niños/as (por ejemplo, véase Sella, Berteletti, Lucangeli y Zorzi, 2017). De esta forma, las habilidades espaciales también cobran especial relevancia en el contexto académico.

Dada la importancia de las capacidades espaciales en muchos aspectos de la vida diaria, en el desempeño de ciertas ocupaciones y la relevancia en el currículum académico, es de especial interés conocer cómo estas capacidades se desarrollan desde la infancia. Concretamente, el estudio del desarrollo espacial se preocupa por identificar los puntos de partida y los cambios posteriores en los que surge el razonamiento sobre las propiedades de los objetos y el entorno que nos rodea, así como entender los mecanismos subyacentes a los cambios en el desarrollo (Vasilyeva y Lourenco, 2010). En siguientes

apartados se expondrán las diferentes teorías que contemplan el desarrollo de la capacidad espacial en la infancia.

2. Definición y clasificación de las habilidades espaciales

La cognición espacial es una rama de la ciencia cognitiva que busca entender cómo los humanos y otros animales perciben, interpretan, representan mentalmente e interactúan con las características espaciales de su entorno. Estas características incluyen propiedades de los objetos y entornos tales como forma, tamaño, dimensiones, así como relaciones entre objetos como distancia, dirección, orientación y localización (Waller y Nadel, 2013). El término habilidad espacial es un término general que engloba un conjunto de habilidades que incluyen información sobre objetos en el entorno y en los espacios físicos en los cuales nos movemos (Uttal y Meadow, 2013). Esta definición intenta dar cabida a todos aquellos procesos de pensamiento que de alguna forma están involucrados en el pensamiento espacial. Sin embargo, esta y otras definiciones (Hard y Moore, 1973; Lohman, 1996) no se hayan libres de controversia, puesto que en la actualidad no hay una definición consensuada del término habilidad espacial, ni de los componentes que la integran (Hegarty y Waller, 2005; Mix et al., 2016, 2017).

Tanto los trabajos que contemplan el análisis factorial exploratorio (Carroll, 1993; Eliot, 1987; Lohman, 1988; Thurstone, 1947), como aquellos centrados en el meta-análisis (Linn y Petersen, 1985) han intentado establecer una tipología de los subprocesos que integran la habilidad espacial. Como consecuencia, una variedad de subcomponentes espaciales distintos ha surgido dependiendo del enfoque al que atendamos. Estas divisiones no parecen claras o estables entre los estudios, existiendo una superposición entre las categorías, sin disponer de límites claros entre ellas, donde cambian en la medida que se incluyen o excluyen tareas específicas (Carroll, 1993; Höffler, 2010; Lohman, 1988; Miyake, Friedman, Rettinger, Shah y Hegarty, 2001). Las revisiones de estudios factoriales han sugerido que la habilidad espacial puede ser caracterizada como una

configuración libre de sub-habilidades que se superponen (Hegarty y Waller, 2005; Mix y Cheng, 2012; Miyake et al., 2001). Por lo tanto, los investigadores no han llegado a un consenso sobre el número de factores o categorías independientes, qué comprende cada factor y la denominación de cada uno (Carroll, 1993; Höffler, 2010; Kelley, 1928; Lohman, 1979; Michael, Guilford, Fruchter y Zimmerman, 1957; Thurstone, 1944). La falta de una teoría subyacente en estos estudios parece ser el motivo por el cual no se ha consensuado una clara distinción entre los componentes de la habilidad espacial (Uttal et al., 2013a). A pesar de ello, la visualización espacial, la orientación espacial, la percepción espacial y la rotación mental son algunos de los subcomponentes que han tenido una mayor aceptación partiendo de diferentes estudios centrados en el análisis factorial exploratorio. Más recientemente, una nueva tipología ha sido propuesta (Newcombe y Shipley, 2015; Uttal et al., 2013a) basándose en estudios que contemplan investigaciones en los dominios cognitivos, neuronales y lingüísticos (Chatterjee, 2008; Palmer, 1978; Talmy, 2000). Esta tipología se basa en dos distinciones fundamentales. La primera distinción se realiza entre representaciones intrínsecas y extrínsecas, y la segunda entre representaciones dinámicas y estáticas (véase Figura 1). Con respecto a la primera distinción, las representaciones intrínsecas son aquellas que se relacionan con el tamaño y la dirección de un objeto, sus partes y las relaciones entre estas. Las representaciones extrínsecas se refieren a la relación entre los objetos de un grupo, entre ellos o con sus marcos de referencia. Para ejemplificar esta distinción, la información espacial que nos permite distinguir entre un coche, una furgoneta y una moto sería información intrínseca, mientras que las relaciones espaciales entre los vehículos (por ejemplo, la moto se encuentra entre la furgoneta y el coche) es información extrínseca, así como las relaciones de cada objeto con el resto del mundo (por ejemplo, todos los vehículos están en la parte sur de la casa). La distinción extrínseca-intrínseca es apoyada

por varias líneas de investigación (Hegarty, Montello, Richardson, Ishikawa y Lovelace, 2006; Huttenlocher y Presson, 1979; Kozhevnikov y Hegarty, 2001; Kozhevnikov, Motes, Rasch y Blajenkova, 2006). Con respecto a la clasificación dinámica-estática, el primer tipo de representaciones requieren movimientos como doblar, mover, plegar, escalar o girar, mientras que las representaciones estáticas no requieren de ningún tipo de movimiento. De igual forma, esta distinción cuenta con numerosas investigaciones que la sustentan (Kozhevnikov, Hegarty y Mayer, 2002; Kozhevnikov, Kosslyn y Shephard, 2005).



Figura 1. Clasificación de las habilidades espaciales y ejemplos de cada proceso espacial. Figura adaptada de Uttal et al. (2013a).

Considerando estas dos dimensiones conjuntamente, las tareas espaciales pueden clasificarse como: intrínseca-dinámica, intrínseca-estática, extrínseca-dinámica y

extrínseca-estática. De esta forma, las diferentes tipologías surgidas de otras perspectivas (por ejemplo, Carroll, 1993; Linn y Petersen, 1985) pueden encuadrarse en esta clasificación realizada por Uttal et al., (2013a). Por ejemplo, la visualización espacial (Linn y Petersen, 1985) o la velocidad perceptiva viso-espacial (Carroll, 1993) pueden delimitarse dentro de la categoría intrínseca y estática, donde tareas como figuras enmascaradas (*Embedded Figures Test*) o los laberintos sirven de ejemplo, puesto que se requiere percibir objetos, rutas, o configuraciones espaciales con información distractora. Otras tareas que requieren unir objetos en configuraciones más complejas, visualizar y transformar mentalmente objetos, o rotar objetos en dos o tres dimensiones, usualmente englobadas en categorías como rotación mental o relaciones espaciales (Linn y Petersen, 1985; Carroll, 1993) pueden ser clasificadas en la categoría intrínseco y dinámico. Así, estas distinciones basadas en la teoría ofrecen un enfoque alternativo para analizar y categorizar las habilidades espaciales. Aun así, no se especifica si estas distinciones reflejan la estructura latente subyacente al rendimiento espacial, como sí podría mostrar un análisis factorial exploratorio. Esto no quiere decir que esta distinción no refleje estructuras latentes, sino que la dimensionalidad de la habilidad espacial no está clara. De hecho, la naturaleza de estas distinciones teóricas se encuentra actualmente en pleno debate (Mix et al., 2016). En un reciente estudio Mix, Hambrick, Satyam, Burgoyne y Levine (2018) evaluaron, a través de un análisis factorial confirmatorio, la clasificación propuesta por Newcombe y Shipley (2015) en estudiantes de edad preescolar, tercero y sexto de Educación Primaria, dadas las recientes conclusiones sobre la no dimensionalidad de la habilidad espacial (Mix et al., 2016, 2017), lo que determinaría la capacidad espacial como un constructo unitario. Mix et al., (2018) establecieron que el modelo de dos factores era el que mejor se ajustaba a los datos, con la dimensión intrínseca y extrínseca como factores bien delimitados tanto en estudiantes de tercero de

primaria como en preescolares. Estos resultados muestran cómo la dimensión estática/dinámica (donde se diferenciaría la RM de otras habilidades como por ejemplo la percepción de la configuración de características espaciales de un objeto) no estaría respaldada en este modelo en etapas tempranas del desarrollo. En los estudiantes más mayores, el modelo de un factor y de dos factores tuvieron un buen ajuste, aunque los/as autores/as se decantan por el modelo de un factor, por ser más parsimonioso. Estos resultados sugieren que la tipología 2 x 2 propuesta por Newcombe y Shipley (2015) no determina con precisión la estructura subyacente del rendimiento espacial, al menos en la etapa preescolar o en primaria. Puede ser que los subcomponentes de las habilidades espaciales se diferencien con el desarrollo, evidenciando una separación de estos subcomponentes en etapas posteriores (Mix et al., 2018), aunque la literatura previa no evidencia una separación clara entre estos aún en etapa adulta, sugiriendo un factor único que podría explicar gran parte del rendimiento en distintas tareas que involucren una variedad de demandas cognitivas de tipo espacial (Colom, Contreras, Botella y Santacreu, 2002).

3. Definición y evaluación de la Rotación Mental

La presente tesis está orientada a la evaluación y entrenamiento de uno de los subcomponentes de las habilidades espaciales más estudiado en la cognición espacial, la rotación mental. La RM se ha definido como un proceso dinámico donde se requiere rotar mentalmente un estímulo para alinearlo con otro de referencia, haciendo un juicio para valorar si los dos estímulos son iguales (Linn y Petersen, 1985). Hay que destacar un considerable aumento de las investigaciones de esta capacidad desde principios de los años 70 (Cooper y Shepard, 1973; Shepard y Metzler, 1971).

Uno de los trabajos más influyentes en la literatura sobre la evaluación de la RM fue el realizado por Shepard y Metzler (1971). Este experimento ha sido replicado y modificado, siendo un referente para todas las investigaciones sobre RM. La tarea requería a los participantes la realización de juicios de igualdad entre pares de estímulos, siendo uno de ellos una rotación del otro estímulo o una imagen en espejo rotada (véase Figura 2). Se mostró un aumento lineal de los tiempos de reacción al aumentar la disparidad angular, es decir, el tiempo que conlleva rotar un estímulo 20 grados fue menor que el empleado para rotar el mismo a 40 grados, siguiendo este patrón hasta los 180 grados, tanto para rotaciones en dos dimensiones como en tres dimensiones. Con estos resultados, los autores interpretaron que el proceso de transformación mental necesario para realizar rotaciones mentales era análogo al acto físico de rotar un objeto en el mundo real al intentar alinear ambos objetos. Esta interpretación tuvo fuertes implicaciones en el entendimiento de la naturaleza de las imágenes mentales indicando que las representaciones mentales tienen algún grado de isomorfismo con los objetos del mundo real al asumir que transformaciones mentales de estas representaciones involucran procesos análogos. A este respecto, las imágenes mentales se definen como

representaciones mentales de estados sensoriales, perceptivos y afectivos donde la persona es consciente y que existen en ausencia de la condición estimular producida por su homólogo perceptual o afectivo (Coon y Mitterer, 2011; Richardson, 1969).

Las conclusiones del trabajo de Shepard y Metzler (1971) influyeron en investigaciones posteriores dando lugar al famoso *Mental Rotation Test* (MRT) de Vandenberg y Kuse (1978). Estos autores crearon esta nueva tarea usando los estímulos (dibujos de cubos en tres dimensiones) de Shepard y Metzler (1971) de forma que se mostraba un estímulo objetivo que tenía que ser comparado con 4 estímulos, siendo dos de ellos una rotación del estímulo objetivo y las restantes una rotación en espejo de este o figuras estructuralmente diferentes, llamados distractores. La tarea del participante era decidir qué estímulos eran iguales que el estímulo objetivo, los cuales presentaban algún grado de rotación. El MRT ha sido uno de los test más usados para medir la capacidad de RM en la literatura (Meneghetti, De Beni, Pazzaglia y Gyselinck, 2011; Ruthsatz, Neuburger y Quaiser-Pohl, 2012; Voyer et al., 2006) mostrando ser un test idóneo para evaluar la capacidad de RM en diferentes edades (Titxe, Jansen y Heil, 2010) y evidenciando las mayores diferencias encontradas entre grupos de sexo (Cherney, Bersted y Smetter, 2014; Voyer et al., 2006; Wilson et al., 1975).

Desde los trabajos de Shepard y Metzler (1971) como los de Vandenberg y Kuse (1978), se ha demostrado que el patrón lineal de aumento del tiempo de reacción a medida que aumenta la disparidad angular entre dos imágenes que han de ser evaluadas como iguales o diferentes es un resultado clásico en tareas de RM. Esto generalmente es interpretado como un signo de que los adultos tienen una representación de una imagen visual de una figura rotando que se corresponde con la otra figura para decidir si ambas coinciden (Gardner, 1985). Se asume que este proceso lleva más tiempo cuanto más

discrepancia angular haya entre las dos figuras, lo que da cuenta del característico patrón lineal de los tiempos de reacción en estas tareas. Este patrón lineal ha sido una medida frecuente en tareas de RM como un índice bien aceptado en el que se asume la existencia de procesos de RM. Además, se ha establecido que el incremento de las tasas de error a medida que aumenta la disparidad angular como patrón de respuesta es generalmente aceptado como un buen indicador de la rotación mental en adultos (Shepard y Cooper, 1982) y en niños/as (Estes, 1998).

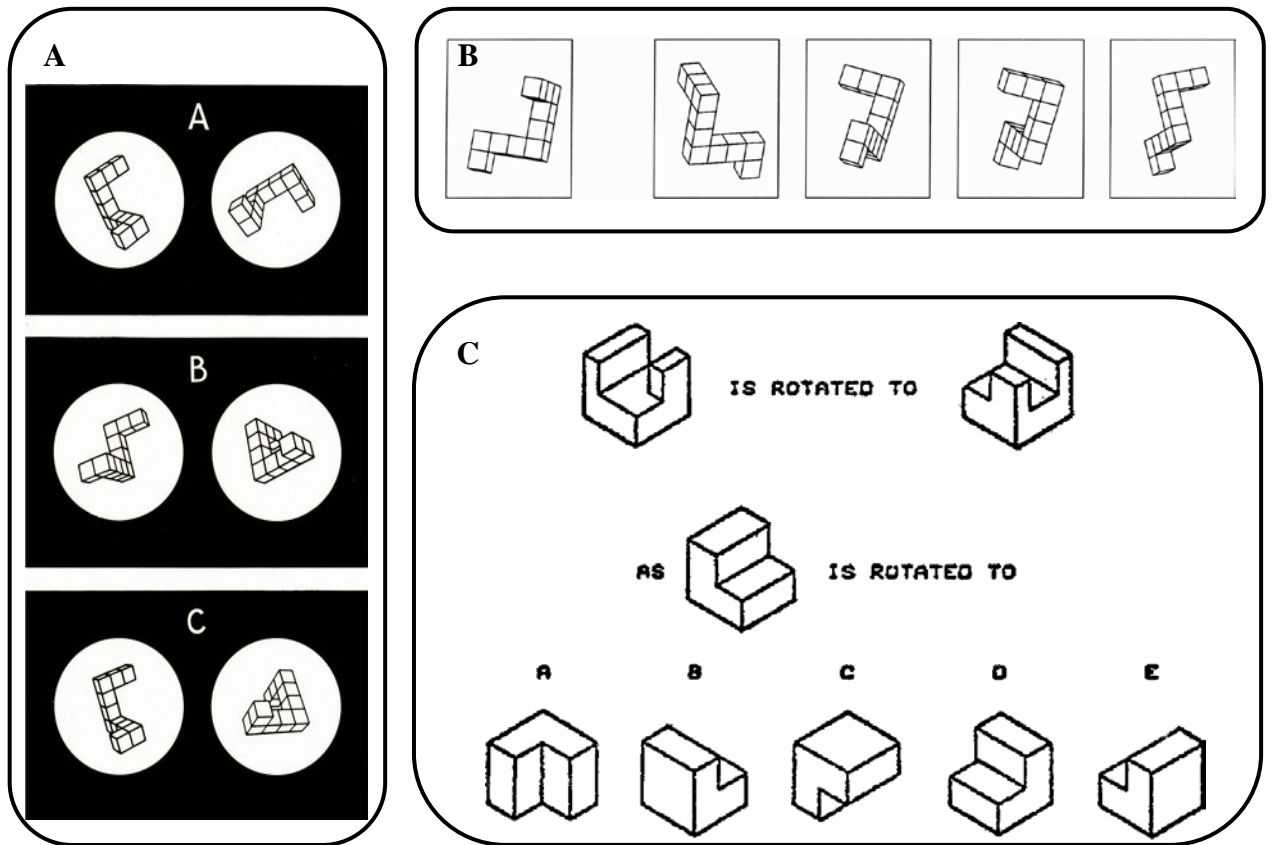


Figura 2. Tareas usualmente utilizadas para evaluar la rotación mental en adultos. A) Tarea de rotación mental de Shepard y Metzler (1971); B) Tarea de rotación mental de Vandenberg y Kuse (1978); C) Subprueba de rotación de la prueba de visualización espacial de Purdue (*Purdue Spatial Visualization Test: Rotations, PSVT:R*, Guay, 1977).

4. Enfoques teóricos que explican el surgimiento de las habilidades espaciales

Existen diferentes enfoques que explican el desarrollo de la capacidad espacial, dentro de un marco más general del desarrollo de la cognición (Newcombe, 2011). Los enfoques más tradicionales sobre el desarrollo cognitivo en la infancia, como el constructivismo, el nativismo o el empirismo, han propiciado el surgimiento de varias teorías debido a los problemas surgidos de los clásicos debates sobre la naturaleza de cómo una persona aprende y se desarrolla. No es el objetivo de este capítulo cubrir la extensa formulación de teorías actuales sobre el desarrollo cognitivo, sin embargo, sí se profundizará en los enfoques que explican más pormenorizadamente el desarrollo de la capacidad espacial en la infancia y la niñez.

Partiendo del enfoque constructivista, Jean Piaget postuló que el/la niño/a nace sin el conocimiento del espacio ni el concepto de la permanencia del objeto, desarrollándose éstos a través de la “construcción” que realiza mediante la exploración manual y visual durante los primeros 18 meses de vida (Piaget, 1952). Por otro lado, el enfoque nativista defendió la existencia de una comprensión espacial innatamente disponible en los bebés (Spelke y Newport, 1998), otorgando un papel secundario a los estímulos del entorno (Newcombe, 2002). Aunque haya que reconocer que el punto de partida en el que los bebés empiezan a desarrollar las capacidades espaciales es anterior de lo que Piaget sugirió, se produce un cambio conceptual más profundo de lo que las ideas nativistas sostenían, pues éstas dan por supuesto una comprensión espacial innata; sin embargo, existe una fuerte evidencia de que los estímulos del entorno son fundamentales para el desarrollo cognitivo (Newcombe, 2002).

4.1. Enfoque neoconstructivista: teoría de la combinación adaptativa

En la actualidad, no hay un enfoque dominante sobre el desarrollo de las capacidades espaciales consolidado, aunque la posición neoconstructivista ha ido tomando relevancia en los últimos años. Esto implica un retorno parcial a la concepción fundamental de Piaget sobre la construcción del conocimiento, donde emerge la siguiente idea: “una mente preparada biológicamente interactúa en formas evolucionadas biológicamente con un entorno predecible que, sin embargo, incluye una variación significativa” (Newcombe, 2011, p. 158). Este enfoque interaccionista implica superar uno de los problemas por el que Piaget fue más criticado, la competencia inicial del niño/a para aprender del ambiente que le rodea. A continuación, se expondrán los principios más relevantes de esta teoría.

Un concepto clave en el enfoque neoconstructivista es la experiencia predecible. Este conlleva que el individuo está dotado de una red neuronal preparada para aprender de una entrada perceptual que necesita ser aprendida, es decir, la construcción del conocimiento se deriva del impacto de una entrada estimular en una red preparada para aprehenderla. Otro principio fundamental de esta teoría es la acción del niño/a sobre el entorno; este tiene un papel esencial en el aprendizaje y el desarrollo. Las conductas activas no solo crean la ocasión de experimentar, sino que permiten situaciones que contienen más información que la simple observación (Sommerville, Woodward y Needham, 2005). En concreto, la exploración tanto manual como visual del bebé se ha relacionado con la mejora de las habilidades de RM (Möhring y Frick, 2013) o tener una mejor memoria espacial (Oudgenoeg-Paz, Leseman y Volman, 2014). La generación de la autoexperiencia motora (autolocomoción) se ha asociado con el éxito en tareas de RM (Frick y Möhring, 2013; Schwarzer, Freitag, Buckel y Lofruchte, 2013), así como su

temprana adquisición se ha relacionado con una mejor habilidad de procesamiento espacial en etapas posteriores del desarrollo (Oudgenoeg-Paz, Leseman y Volman, 2015).

En este punto conviene mencionar que el mundo en el que un individuo se desarrolla está ricamente estructurado y bien equipado con redundancias perceptuales y correlaciones que apoyan el aprendizaje de la experiencia predecible, donde incluso se puede especificar cómo la información es seleccionada más que simplemente asegurar qué información es la que maneja el individuo. Con todo ello, este enfoque, más allá de la mera interacción entre individuo y entorno, se basa en la premisa de que un mundo bien estructurado interactúa con unas excelentes capacidades de razonamiento probabilístico del individuo para seleccionar e integrar aquellas claves del entorno típicamente disponibles y así, establecer conclusiones sobre la causalidad, recordar localizaciones espaciales, etc. (Newcombe, 2011).

La teoría de la combinación adaptativa es un ejemplo de neoconstructivismo, desde un punto de vista del desarrollo, siendo de igual forma un ejemplo de teorías bayesianas, en el marco de la cognición espacial. Este enfoque teórico es propuesto por Newcombe y Huttenlocher (2000, 2006; Newcombe, 2002a), quienes ofrecen una perspectiva general del desarrollo espacial, unificando las ideas más importantes del constructivismo, de las teorías de Vygotsky y el nativismo, mientras que se descartan aquellas propuestas menos defendibles de cada enfoque.

En el desarrollo de la cognición espacial, la teoría de la combinación adaptativa establece la existencia de varias fuentes de información espacial, que se combinan de una manera en la que se pondera la fuente de información más exacta con un mayor peso que una fuente de información variable, y por lo tanto conduce a una máxima precisión

(Newcombe y Huttenlocher, 2006). Sin embargo, el punto en el que el individuo empieza a realizar estas ponderaciones, es decir, desarrolla esta combinación adaptativa aún no se ha establecido. Podría ser que este sistema derive desde la experiencia previa, aunque también es posible que, al menos ciertos aspectos de este mecanismo de codificación estén innatamente especificados. La influencia empirista en esta teoría se advierte al asumir que lo más natural es suponer que la ponderación en un proceso integrativo está afectada por la experiencia. Sin embargo, hay elementos potencialmente nativistas también. La ponderación inicial, podría ser, al menos en parte, innatamente especificada, desde qué fuentes de información son tratadas como relevantes a qué tipo de acciones pueden necesitar establecerse como competencias innatas. También es posible que un proceso de aprendizaje bayesiano sea en sí mismo una base más que un atributo adquirido de un organismo (Elman et al., 1996).

Independientemente de cómo se inicia el proceso de ponderación, esta teoría sugiere que la dependencia de cada fuente de información se modifica en función de factores como la relevancia y la competencia, y lo que es más importante, acumula evidencia sobre la validez relativa de las diferentes fuentes de información. Es decir, la experiencia en la interacción con el mundo físico proporciona retroalimentación sobre la utilidad de los diversos métodos de codificación. Por ejemplo, el acto de gatear en los bebés o sentarse mientras se tuerce el tronco afectará lo que el bebé ve con un cierto grado de giro de la cabeza, o lo que un agarre en cierta dirección llevará a tocar, y estas experiencias pueden afectar a la ponderación de varias fuentes de información en un proceso de combinación adaptativa (Newcombe y Huttenlocher, 2006).

El neoconstructivismo cobra relevancia desde los trabajos de Xu y Carey (1996) con bebés menores de 12 meses, que parecen depender exclusivamente de principios

espacio-temporales determinados por la presencia y el número de objetos en el mundo. Estos bebés parecían creer que había un objeto en lugar de dos detrás de una pantalla cuando cada uno de los dos objetos era perceptual y conceptualmente distinto al otro, pero aparecían en oscilaciones regulares (Newcombe, Huttenlocher y Learmonth, 1999; Xu, Carey y Quint, 2004). La evidencia sugiere que los factores que delimitan los objetos son construidos por los bebés en el curso de una interacción con un mundo predecible, de acuerdo con los principios del enfoque de la combinación adaptativa.

La teoría neoconstructivista de la combinación adaptativa se ha perfilado con fuerza como un enfoque emergente para explicar el desarrollo de la capacidad espacial en particular; sin embargo, otros enfoques derivados de la tradición empirista están tomando relevancia para explicar el surgimiento de cognición.

4.2. Teoría de los sistemas dinámicos: la cognición corpórea

Los actuales enfoques que descienden del empirismo sitúan el foco de atención en explicar cómo surge el cambio entre la adquisición de habilidades y/o conocimientos que el/la niño/a alcanza en su desarrollo. La teoría de los sistemas dinámicos tiene un enfoque de corte interaccionista que enfatiza de la misma manera el rol del individuo como las características del entorno en el que este se desarrolla.

La teoría de los sistemas dinámicos que originalmente se deriva de las matemáticas, la física y la química, fue aprehendida por investigadores dentro del campo de la biología para estudiar las dinámicas complejas que ocurren en el mundo natural, encontrándose su aplicación en la psicología del desarrollo a finales del siglo XX (Thelen y Smith, 1996). Su principal premisa es que el bebé y el/la niño/a en desarrollo pueden

ser vistos como un sistema dinámico complejo, en el que múltiples influencias externas e internas interactúan continuamente (Smith y Thelen, 2003). Dentro de este modelo, ningún factor específico, como la maduración biológica, se considera aisladamente para impulsar un cambio. Más bien, se piensa que el desarrollo ocurre como función de un proceso llamado auto-organización. En el proceso de auto-organización, nuevas estructuras se forman y las previas se disuelven a través de una interacción continua entre las partes individuales del sistema. Las nuevas estructuras resultantes pueden seguir reglas complejas, pero, según los teóricos de los sistemas dinámicos, no existen tales principios organizativos de orden superior. Kelso (1997) describe la auto-organización como la formación de patrones espontáneos, es decir, el sistema se organiza a sí mismo, pero no existe un agente dentro del sistema que tiene el papel de organizar. De esta forma, las partes individuales del sistema son las que crean conjuntamente un todo integrado mayor y más complejo. Según Thelen y Smith (1996) esta organización emergente es totalmente diferente de sus elementos constituyentes y el patrón no puede predecirse a través de las características de sus elementos individuales.

El concepto de las escalas de tiempo que se anidan unas en otras es un concepto clave en las teorías de los sistemas dinámicos. Los cambios y avances observados en los primeros años de vida resultan de pequeñas variaciones que ocurren durante las interacciones segundo a segundo, cada día entre la/el niña/o y su entorno. La teoría enfatiza las escalas de tiempo anidadas y las pequeñas modificaciones que llevan a grandes cambios en el desarrollo en el tiempo, lo que proporciona una visión diferente de las tradicionales teorías que establecen etapas cerradas y bien delineadas de hitos logrados a una edad característica, como por ejemplo la sedestación o la bipedestación. En las teorías que establecen etapas en el desarrollo, este es contemplado como una sucesión de etapas de complejidad incremental, donde un hito del desarrollo es logrado gracias a la

consolidación de otros logros bien establecidos previamente. De hecho, según estos enfoques, los nuevos comportamientos son adquiridos de forma abrupta, en los que la/el niña/o de repente ha adquirido un nuevo conocimiento o habilidad. Sin embargo, esta brusquedad en el desarrollo raramente es vista en la vida real. Por ejemplo, hay un momento en el segundo año de vida en el que las/os niñas/os empiezan a caminar. Desde la visión de las teorías centradas en las etapas, el/la niño/a o ya puede caminar o todavía no camina, no hay un espacio entre las dos opciones. Sin embargo, cuando se observa detalladamente el comportamiento de los bebés, de hecho, no es así como el desarrollo ocurre. Aunque la mayoría de los bebés darán sus primeros pasos en algún momento, no significa que vayan a caminar hacia donde quieran ir después de eso. Más bien, después de dar sus primeros pasos, muchas/os niñas/os volverán a gatear antes de dar los siguientes y así sucesivamente hasta que utilicen la marcha como su principal método para moverse por el entorno (Adolph, Robinson, Young y Gill-Alvarez, 2008). Esta regresión temporal a anteriores etapas acompañado de progresiones temporales a una etapa más avanzada es vista como ruido en las teorías tradicionales. Sin embargo, en realidad, esta variabilidad intraindividual es una regla más que una excepción. La teoría de los sistemas dinámicos ofrece una perspectiva alternativa de esta cuestión. El desarrollo a través de las etapas ocurre cuando uno observa una escala de tiempo mayor (Adolph y Robinson, 2013; Thelen y Smith, 1996). En la microescala, las regresiones y progresiones temporales son perfectamente lógicas y se derivan de las condiciones cambiantes del entorno y de los/as niños/as. El sistema en desarrollo se está reorganizando constantemente, y el desarrollo es infinitamente más complejo de lo que sugieren las teorías que se basan en etapas. Es esta complejidad y variabilidad la que se considera una de las principales características del desarrollo infantil en la teoría de los sistemas dinámicos (Mulder, Oudgenoeg-Paz, Hellendoorn y Jongmans, 2017).

Dentro de la teoría de los sistemas dinámicos, el enfoque de la cognición corpórea es particularmente importante en la comprensión del desarrollo de la cognición espacial en bebés y niños/as pequeños/as. Las representaciones mentales abstractas han sido centrales en teorías que han explicado la cognición, de tal forma que los sistemas sensoriales y motores únicamente proporcionan las entradas y salidas perceptuales desde y hacia el sistema cognitivo (Wilson, 2002). En el enfoque de la cognición corpórea, los sistemas sensoriales y motores forman parte fundamental del procesamiento cognitivo. De esta forma, la interacción de información motora y sensorial con el entorno juegan un papel clave en el desarrollo de habilidades cognitivas de alto nivel (Wheeler y Clark, 2008). Desde esta perspectiva, los procesos cognitivos están íntimamente ligados en la interacción del cuerpo con el mundo, y los recursos sensoriales y motores se utilizan para realizar actividades cognitivas como el razonamiento (Voyer y Jansen, 2017).

El enfoque de la cognición corpórea se asienta sobre la perspectiva ecológica del desarrollo. Eleanor Gibson propuso que los bebés aprenden cada vez más sobre el mundo que les rodea a través de la exploración activa. A través de la exploración, los bebés aprenden sobre las posibilidades de acción que ocurren en su entorno (Gibson, 1979, 1988). La exploración se refiere a ciclos de percepción-acción continuos, donde percibir cierta información fomenta las acciones que, a su vez, conllevan nueva información que es percibida, especificando nuevas acciones (Gibson, 1979, 1988; Gibson y Pick, 2000). Por ejemplo, un vaso con agua ofrece la oportunidad de beber, o una bicicleta ofrece la oportunidad de montar en ella. Alrededor de los 9 meses, los bebés aprenden a gatear. Con esta nueva habilidad, llega la oportunidad de explorar un mundo más grande a su alrededor. Los bebés ahora no solo pueden buscar objetos para la exploración que están más allá de la distancia de alcance, sino que también aprenden a navegar a través del espacio de forma independiente, lo que les permite aprender sobre las relaciones

espaciales básicas entre ellos mismos, los demás y los objetos, así como comprender la distancia y la profundidad (Gibson, 1988).

Siguiendo la teoría de Eleanor Gibson, la exploración ocupa un lugar central en el desarrollo de la cognición. La forma en la que las/os niñas/os pueden explorar su entorno, a su vez, cambia con el desarrollo como una función de los avances tanto en la capacidad perceptiva visual como el aumento de las habilidades motoras, entre otros factores. Por ejemplo, con la adquisición de nuevas habilidades de motricidad gruesa, como sentarse erguido, los bebés obtienen acceso a toda una nueva gama de oportunidades para obtener información perceptiva del mundo que los rodea y descubrir nuevas posibilidades de acción. Así, a través de la exploración los bebés aprenden sobre las propiedades físicas y sociales del mundo que los rodea. Con respecto a la cognición viso-espacial, el logro motor del desplazamiento, como gatear o caminar, parece especialmente importante (Mulder et al., 2017). Varios estudios sugieren que la exploración de objetos y espacios está íntimamente relacionada con el desarrollo de la cognición espacial (Oudgenoeg-Paz, Lesema y Volman, 2014, 2015). Las investigaciones actuales también están en línea con las teorías neurocognitivas que sugieren que el desarrollo cerebral y el funcionamiento cognitivo resultante dependen en gran medida de las interacciones sensoriomotoras en la vida real (Assaiante, Barlaam, Cignetti, y Vaugoyeau, 2014; Samuelson, Smith, Perry y Spencer, 2011).

La RM ha recibido mucha atención en el contexto de la cognición corpórea. En este sentido, se ha demostrado que el rendimiento en RM es facilitado cuando el cuerpo humano es usado como estímulo (Amorim, Isableu y Jarraya., 2006) y que las restricciones anatómicas dificultan la RM de las partes del cuerpo (Pellizzer y Georgopoulos, 1993; Sekiyama, 1982). De hecho, parece que tanto la RM como otras

tareas espaciales involucran un componente motor significativo (Moreau, Mansy-Dannay, Clerc y Guerrien, 2011). En este contexto, las actividades que requieren la manipulación mental de movimientos motores favorecerían unas buenas habilidades espaciales ya que ambas reclutarían recursos necesarios para procesar objetos en el espacio. Por ejemplo, Moreau et al., (2011) mostraron cómo los atletas de alto nivel que necesitan de habilidades motoras complejas para la manipulación mental de procesos motores (p.ej. la que se da en los deportes de combate), tuvieron un mejor rendimiento en tareas espaciales que aquellos que se dedicaban a otros deportes (por ejemplo, corredores) o los que tenían poca experiencia en el ámbito deportivo. Además, no solo se ha reflejado en la etapa adulta, sino que son varias las investigaciones que establecen que el sistema motor está involucrado en tareas de RM en un amplio abanico de edades incluyendo tanto bebés en su primer año de vida (Frick y Wang, 2014; Mohring y Frick, 2013; Schwarzer et al., 2013; Schwarzer, Freitag, y Schum, 2013) como niños/as más mayores (Frick, Daum, Walser y Mast, 2009; Wiedenbauer y Jansen-Osmann, 2008).

Además, se ha observado una activación de las áreas motoras del cerebro durante tareas que requieren rotar mentalmente objetos, con una activación específica del área motora suplementaria (Zacks, 2008; Zacks y Michelon, 2005). Esta área está asociada con el control motor y la simulación, sugiriendo que los participantes pueden realizar simulaciones mentales en cubierta durante la RM. De hecho, estudios que usan el paradigma de la doble tarea mostraron que los movimientos manuales compatibles o incompatibles con la dirección en tareas de RM (Sack, Lindner, y Linden, 2007; Wohlschläger y Wohlschläger, 1998) o incluso únicamente planear tales movimientos manuales (Wohlschläger, 2001) tenían un efecto diferencial en la RM de objetos, sugiriendo que las rotaciones mentales y manuales comparten procesos comunes (Frick, Möhring y Newcombe, 2014). De esta forma, se comprobó tanto en adultos (Chu y Kita,

2011) como en niños/as (Goldin-Meadow et al., 2012) que realizar gestos con las manos de movimientos llevados a cabo al realizar tareas de RM mejoraban el rendimiento. En contraposición, si el movimiento entra en conflicto con el sentido de la rotación en la tarea, el rendimiento se ve disminuido en niñas/os de 5 y 8 años, pero no en 11 años de edad, lo que plantea que los procesos motores pueden ser más relevantes al realizar transformaciones mentales para los más pequeños (Frick et al., 2009). En preescolares, Levine, Goldin-Meadow, Carlson y Hemani-Lopez (2018) mostraron una mejora significativa en los/as participantes entrenados en una tarea de RM cuando se incorporaban tanto la acción física de rotar el objeto como cuando únicamente debían realizar el gesto sin el objeto, en comparación con la condición control, que únicamente debía resolver la tarea de RM. Hay que apuntar que esta mejora fue mantenida en el tiempo una semana después del entrenamiento en las dos condiciones que involucraban procesos motores. Puede ser hipotetizado que, no solo hay un proceso común entre el movimiento al rotar las manos y la representación mental de objetos, sino también entre procesos de todo el cuerpo y procesos de RM (Pietsch y Jansen, 2012). Así lo corroboró el estudio de Krüger y Ebersbach (2017), al demostrar un aumento del rendimiento en una tarea de RM cuando los estímulos se asemejaban al cuerpo humano en posiciones anatómicamente posibles en comparación con el rendimiento al rotar únicamente figuras de cubos en preescolares y niñas/os. Ambos grupos de edad evaluados tuvieron el mismo efecto que se encuentra en los adultos (Amorim et al., 2006) en una tarea de RM, apoyando la asunción de que las representaciones de imágenes mentales se basan en procesos sensoriomotores tempranos.

Las teorías de los sistemas dinámicos y la cognición corpórea plantean que los cambios en la cognición se establecen sobre la interacción de los bebés y los/as niños/as con su entorno y esto ocurre segundo a segundo y día tras día a través de ciclos continuos

de percepción-acción. A medida que los bebés crecen y aprenden a sentarse, gatear y caminar, son cada vez más capaces de explorar el mundo que les rodea, lo que les permite descubrir nuevas posibilidades de acción y conocimiento sobre las relaciones espaciales, en el caso de la cognición espacial.

En conclusión, los actuales enfoques que explican el desarrollo de la capacidad espacial están lejos de las teorías que explicaban el surgimiento de la cognición únicamente a través de la mera experiencia o suponiendo un conocimiento innato en los bebés. En la actualidad, los enfoques interaccionistas han tomado ventaja al poner en relevancia tanto al individuo como al entorno en el que este se mueve, y una sinergia que surge en la combinación de ambos, tomando en cuenta factores del propio individuo, de su experiencia anterior, así como de las posibilidades de acción que ofrece el mundo que le rodea y en el que se desarrolla.

5. Desarrollo de las habilidades espaciales en la infancia: el caso de la Rotación Mental.

Recogidos en la sección anterior los enfoques teóricos más relevantes del desarrollo cognitivo espacial en la infancia, en esta sección se realizará una descripción detallada de los estudios que investigan el desarrollo de las capacidades espaciales, con especial énfasis en la RM durante el periodo comprendido entre el nacimiento y la edad preescolar.

El uso de los paradigmas de fijación de la mirada fomentó el estudio del desarrollo espacial en la infancia, ya que a través de esta metodología se abrió una oportunidad de estudiar cómo los bebés procesan la información espacial sin necesidad de tener habilidades de manipulación y/o coordinación de objetos. Esta metodología se basa en que a los bebés se les muestra repetidamente la misma presentación de estímulos y, después de que se familiaricen con ellos (ensayos de habituación), se presenta otro nuevo conjunto de estímulos (ensayos experimentales). Un mayor incremento de tiempo en la fijación de la mirada en el nuevo conjunto de estímulos, en comparación con el anterior, indica que el/la niño/a se ha dado cuenta y ha reaccionado a la diferencia entre esos dos conjuntos de estímulos. Lourenco y Huttenlocher (2008) examinaron la capacidad de bebés de 4.5 a 6.5 meses de edad para distinguir diferentes ángulos de un triángulo. Para ello, el estímulo, un triángulo que tenía un punto en uno de los tres ángulos, aparecía en diferentes orientaciones en los ensayos de habituación, así se aseguraba que solo la clave relacionada con el triángulo podría ser usada para diferenciar los ángulos. En los ensayos experimentales, los bebés incrementaron el tiempo de fijación de la mirada cuando el punto aparecía en un ángulo diferente, demostrando así la capacidad de distinguir entre

ángulos, el tamaño angular o ambos. Estos resultados sugieren que los/as niños/as muestran sensibilidad a la información métrica, incluyendo los ángulos.

Varias investigaciones han mostrado que los bebés son capaces de distinguir objetos y sus imágenes en espejo rotadas a pesar de las diferencias en orientación (Frick y Möhring, 2013; Möhring y Frick, 2013; Moore y Johnson, 2011; Quinn y Liben, 2014), lo que sería una evidencia de que los bebés pueden realizar el proceso de transformación espacial que implica una rotación mental. Por ejemplo, dos estudios llevados a cabo por Frick y Möhring (Frick y Möhring, 2013; Möhring y Frick, 2013) implicaban mostrar a los bebés objetos asimétricos (con forma de “P”) que posteriormente movían detrás de una pantalla opaca fuera de la vista de los bebés. Cuando se bajaba la pantalla, aparecía el mismo (condición congruente) o una imagen en espejo (condición incongruente) del objeto visto previamente en una de cinco diferentes orientaciones. A los bebés se les había mostrado anteriormente que la parte trasera del objeto tenía un aspecto diferente (con distintos colores), por lo que cuando se mostraba la imagen en espejo era un evento imposible. Los bebés de 6 meses de edad tuvieron tiempos de fijación de la mirada más largos en la condición incongruente en comparación con la congruente, incluso cuando se rotaban los objetos de forma oculta. Estos resultados se han replicado con bebés más mayores, de 14 a 16 meses (Frick y Wang, 2014) y de edad similar (Rochat y Hespos, 1996). La mayor crítica a este método se centra en el hecho de que el paradigma de fijación de la mirada conlleva capacidad perceptiva, y diferentes tiempos pueden no decir nada sobre las representaciones conceptuales en bebés ni revelan mecanismos perceptuales subyacentes (Bogarts, Shinsky y Speaker, 1997; Dunn y Bremner, 2017; Haith, 1998; Schöner y Thelen, 2006).

Las tareas que conllevan alcanzar objetos, sin embargo, sí pueden explicar elementos de la cognición espacial tales como la capacidad de estimar la distancia, considerar las características físicas del objeto como el tamaño, la forma y la orientación, la coordinación visomotora y el posterior plan de acción que se ejecuta para llegar finalmente a realizar un agarre efectivo del objeto.

En cuanto a la capacidad de alcanzar objetos, entre los 4 y 5 meses, los bebés empiezan a exhibir la habilidad de anticipar y coger un objeto que se mueve lateralmente, son capaces de ajustar la medida del movimiento de sus brazos cuando van a alcanzar un objeto en su localización actual y anticipadamente (von Hofsten y Lindhagen, 1979). Con respecto al agarre, los bebés deben de alinear sus manos con las características del objeto para realizar un agarre adecuado. Esto implica que necesitan tener coordinación visomotora en cuanto a la dirección y la distancia del objeto, además de tener en cuenta la información de las características espaciales del objeto ya que han de ajustar sus manos en relación con estas características, incluso antes de hacer contacto con el objeto (Lockman, Fears y Lewis, 2018). Con respecto a las características espaciales en cuanto a la orientación del objeto, algunos estudios han sugerido que los bebés mientras van a alcanzar algo, prealinean la orientación de sus manos con el polo vertical u horizontal en la mitad del segundo año de vida (Lockman, Ashmead y Bushnell, 1984; McCarty, Clifton y Collard, 1999; Witherington, 2005).

En lo que respecta a la investigación realizada en bebés sobre procesos que conllevan transformaciones espaciales como la RM, son especialmente importantes las tareas que implican insertar objetos en aberturas de diferente forma. En este tipo de tareas está involucrada la planificación espacial, que se refiere a la capacidad de anticipar, coordinar y ejecutar transformaciones espaciales que permiten relacionar objetos con

otros objetos, superficies o aberturas (Lockman et al., 2018). Mientras que, en las tareas de alcance de objetos, el/la niño/a debe realizar transformaciones sobre su propio cuerpo en relación con las características físicas del objeto, en las tareas que contemplan introducir un objeto en una abertura, además, se han de aplicar las transformaciones en otro objeto, lo que varía de forma significativa el agente sobre el que es ejercido la transformación. Street, James, Jones y Smith (2011) mostraron que las/os niñas/os de 24 meses eran capaces de alinear un objeto con su abertura. Para realizar esto, el/la niño/a necesitaba relacionar las propiedades geométricas de un objeto tridimensional (el que tenía en la mano) con las propiedades geométricas bidimensionales en el que ese objeto debe ser introducido, la abertura, de forma que anticipaban los movimientos necesarios para ajustar el objeto en su hueco. Para realizar con éxito esta tarea, se deben realizar dos tipos de transformaciones espaciales, de forma secuencial o simultánea; se ha de mover o trasladar el objeto a la abertura y se ha de rotar el objeto para alinearlo con esta (Jung, Kahrs y Lockman, 2015). La transición entre un enfoque secuencial de dos pasos (primero mover el objeto y posteriormente rotarlo para encajar este con la abertura) a uno que integra ambos simultáneamente (realizar el movimiento de rotación mientras se produce la translación) es crucial para el rendimiento eficiente en las tareas de aberturas. Jung et al. (2015) encontraron que los niños/as de 17 meses normalmente realizan la tarea de forma secuencial, mientras que los niños/as de 24 meses lo hacen de forma simultánea. Estas afirmaciones se plantean teniendo en cuenta que los objetos que los/as niños/as manejaban son bastantes simples como discos o cilindros, estímulos usados tanto por Street et al. (2011) como por Jung et al. (2015). Objetos más complejos pueden tener un mayor número de lados y esquinas, teniendo que realizar transformaciones adicionales al colocar los objetos en las aberturas, requiriendo no solo trasladar y rotar objetos sino orientar sus características específicas en relación con las aberturas (Fragaszy, Kuroshima

y Stone, 2015; Örnkloo y von Hofsten, 2007, 2009; Shutts, Örnkloo, von Hofsten, Keen y Spelke, 2009). Örnkloo y von Hofsten (2007) encontraron una fuerte relación entre la complejidad de un objeto que ha de ser encajado en una abertura y la edad en la que las/os niñas/os preorientaban los objetos correctamente. La tarea requería coger una pieza (que estaba dispuesta en vertical u horizontal), manipularla y encajarla en un hueco de la misma forma que la pieza en una caja cerrada. El acierto radicaba en encajar la pieza (con la consiguiente rotación) directamente en el hueco en el primer intento, no siendo correcta la respuesta si lograba encajar la pieza por medio de aproximaciones. Para ello la/el participante debía anticipar el movimiento de la pieza. Este experimento tuvo cuatro rangos de edad: 14, 18, 22 y 26 meses. Los menores de 18 meses no intentaban preorientar los objetos complejos a las aberturas, mientras que niñas/os de 18 a 22 meses fueron capaces de preorientar objetos complejos como secciones transversales de triángulos equiláteros, triángulos isósceles, triángulos rectángulos y rectángulos. Pero no es hasta los 26 meses de edad que los niños/as fueron capaces de preorientar todos los objetos complejos incluidos las secciones de cuadriláteros y elipsoidales a las aberturas (Örnkloo y von Hofsten, 2007). En un estudio posterior de este mismo grupo de investigación (Shutts et al., 2009), se amplió el rango de edad de los participantes con tres grupos de edad (15, 20 y 30 meses de edad) en una tarea similar. Se comprobó una mejora considerable en el rendimiento de la tarea desde los 15 a los 30 meses de edad. Estos resultados indican una comprensión temprana de los eventos que implican la rotación y ponen en duda si el rendimiento relativamente bajo observado entre los niños/as en edad preescolar obtenido en estudios previos refleja su competencia en RM real o son simplemente el resultado de tareas que implican una exigencia elevada para el nivel conceptual de las/os más pequeñas/os. Así, incluso al comenzar el tercer año de vida, las niñas/os experimentan dificultades cuando deben integrar múltiples transformaciones

espaciales puesto que han de considerar los lados y las esquinas de los objetos en tareas que requieren alinear estos objetos y ajustarlos a los huecos (Lockman et al., 2018).

6. Rotación Mental: desarrollo en el ciclo infantil

En este apartado se considerarán aquellos estudios que involucren explícitamente tareas que requieran la realización de procesos de RM en niños y niñas de edades comprendidas entre los 3 y los 6 años, con un interés especial dado que es la franja de edad objeto experimental de la presente tesis.

Generalmente las tareas destinadas a evaluar la RM de las/os preescolares han implicado que las/os participantes efectúen predicciones activas que derivan de un proceso de transformación mental donde se involucra la rotación o giro de uno o varios objetos, además de hacer explícito este proceso a través de juicios que se requieren a los/as participantes. Las diferentes tareas de RM llevadas a cabo para evaluar a los preescolares se detallarán a continuación al describir detalladamente los estudios que han investigado la RM en el ciclo de Educación Infantil.

Piaget e Inhelder (1971) sugirieron que no era posible desarrollar la capacidad de RM hasta los 7 u 8 años de edad; sin embargo, varios estudios han evidenciado que los preescolares tienen esta capacidad (Frick et al., 2009; Funk, Brugger y Wilkening, 2005). Aunque ha quedado establecido que la edad en la que un/a niño/a puede realizar rotaciones mentales es anterior a lo que las teorías constructivistas defendían, existe controversia sobre la edad en la que la capacidad de RM surge en la etapa de Educación Infantil. A este respecto, diversos estudios muestran la existencia de procesos de RM en niños/as a partir de 5 años de edad (Frick et al., 2009; Funk et al., 2005) e incluso con 4 años y 6 meses (Marmor, 1977), mientras que otros estudios no encuentran signos de RM a los 4 años o sólo encuentran una pequeña proporción de niñas/os que parecen aplicar estrategias de RM (Estes, 1998; Frick, Ferrara y Newcombe, 2013a; Frick, Hansen y

Newcombe, 2013b; Noda, 2010). De forma similar, varios trabajos evidencian transformaciones mentales que involucran procesos de RM en niños/as de 3 años de edad (Krüger, 2018; Krüger, Kaiser, Mahler, Bartels y Krist, 2014). Estos hallazgos nos muestran cómo la capacidad de RM está cambiando en edades tan tempranas, teniendo resultados inconsistentes y constatándose diferencias individuales.

Concretamente, Frick et al. (2013b) evaluaron la capacidad de RM en preescolares de 3 a 5 años de edad en una tarea donde las/os participantes debían elegir la figura, de entre dos posibilidades (una de ellas era una rotación respecto a un hueco donde había que encajar la figura mientras que la otra era una imagen en espejo de ese molde), que encajaba en un hueco o molde de idéntica forma a la figura rotada. En este experimento los/as niños/as, previamente a los ensayos de evaluación, tuvieron 6 ensayos de prácticas con diferentes disparidades angulares: 0° , 45° , 135° y 180° . En los ensayos de evaluación, diferentes figuras (dibujos de fantasmas) fueron presentadas en 7 disparidades angulares diferentes: 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° y 180° ; cada una de estas fue presentada 3 veces, dando como resultado un total de 21 ensayos de evaluación. Los resultados mostraron claras mejoras en el rendimiento de la RM entre los 3 y los 5 años de edad, con un aumento del 54% al 83%, respectivamente en el porcentaje de respuestas correctas. Sólo el 10% de las/os niñas/os de 3 años, el 40% de 4 años y el 95% de 5 años de edad tuvieron un rendimiento por encima del nivel de azar, indicando procesos de RM. Además, el mayor indicio de procesos de RM se muestra en que el rendimiento disminuyó de forma progresiva al aumentar la disparidad angular, mostrando una menor precisión en aquellas disparidades angulares mayores. Sin embargo, aunque se pudo observar que este efecto era más pronunciado para los/as más mayores, la falta de interacción significativa entre los grupos de edad y la disparidad pudo deberse al efecto techo mostrado en las niñas/os de 5 años en las disparidades angulares más sencillas. La

observación de los patrones de respuesta a nivel individual permitió a las investigadoras constatar que los/as preescolares más jóvenes, de 3 años, tuvieron patrones perseverativos en las respuestas sin signos de RM al exhibir una tendencia de respuesta y seleccionar en más de 14 ocasiones una figura en la misma localización. Sin embargo, solo unos/as pocos/as niños/as de edades superiores mostraron esta tendencia. Este estudio muestra cómo los preescolares más jóvenes no parecen realizar rotaciones mentales. En contraposición, el estudio de Krüger et al. (2014) mostró procesos de transformación mental que involucraban rotaciones mentales en preescolares de 3 a 6 años de edad análogos a los de niños/as más mayores o adultos. La tarea consistía en la presentación de dos imágenes iguales, solo que una de ellas era una rotación de la otra, que aparecía sin rotar. El/la participante debía girar la imagen rotada hacia la dirección que requiriese menos recorrido hasta que se alineara con la imagen sin rotar. Esto implicaba que la/el niña/o debía predecir el recorrido de la figura en ambos sentidos, por lo que implícitamente se requería rotar los estímulos en ambas direcciones, estimar cuál era la ruta más corta y finalmente realizar una elección. Se evaluó la RM a través de la presentación de 7 disparidades (45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° y 315°) en dos bloques, teniendo un total de 14 ensayos de evaluación. Los resultados mostraron que todos los grupos de edad tuvieron un rendimiento medio superior al esperado por azar, incluidos los grupos 3 y 4 años de edad. En los más pequeños/as, además, se observó que su rendimiento era superior al esperado por azar a un nivel individual. En cuanto a los tiempos de reacción, se constató que todos los grupos de edad exhibieron un patrón lineal en el que a medida que aumentaba la disparidad angular, también lo hacían los tiempos de reacción. Sin embargo, hay que apuntar que estos resultados se realizaron excluyendo del análisis a aquellas/os niñas/os que mostraron un rendimiento próximo al nivel de azar.

Esto significaría, que una vez que el/la niño/a ha adquirido la capacidad de RM, exhibe un aumento de la latencia de la respuesta al aumentar la dificultad en la rotación.

En lo referente a niños/as de 3 años, mientras que en el estudio de Frick et al. este grupo de edad no mostró signos de RM, el estudio de Krüger et al. (2014) los niños/as sí fueron capaces de realizar transformaciones mentales que involucraban procesos de RM. Ambos estudios se contraponen al suponer diferentes procesos mentales en niños/as de 3 años de edad, aunque estos resultados hay que tomarlos con cautela, ya que las tareas utilizadas por ambas investigaciones son muy diferentes y pueden llegar a explicar tales diferencias. Parece que las demandas de la tarea de Krüger fueron menores al no tener la necesidad de representar dos objetos al mismo tiempo para compararlos, ni realizar juicios explícitos sobre esta comparación. En esta tarea, una vez que el camino más corto era elegido a través de la realización de la transformación mental análoga, no se tenía que mantener la representación mental (Krüger, 2018). Se podría argumentar que las altas demandas de la tarea son una de las razones por las cuales las/os niñas/os más pequeñas/os fallan en tareas clásicas de RM (Frick et al., 2014). En la tarea de Krüger et al. (2014) no había figuras en espejo ni los/as niños/as tuvieron que decidir si el objeto era igual o diferente, lo que supone el conocimiento de estos conceptos en niños/as de edad preescolar.

Otro de los trabajos que evaluaban la capacidad de RM en prescolares de 4 y 5 años de edad fue el realizado por Marmor (1977). En este experimento se presentaban dos figuras, una de ellas, era una imagen rotada o una imagen en espejo rotada de la otra imagen. La tarea consistía en decidir si ambas figuras eran iguales o diferentes al tener que presionar una palanca situada a la izquierda o a la derecha del participante cuando eran iguales o diferentes, respectivamente. Las imágenes podían aparecer en cinco

disparidades angulares diferentes: 0, 30, 60, 120 y 150; cada una era presentada 6 veces, dando como resultado un total de 30 ensayos de evaluación. Previamente a la fase de evaluación, a la mitad de los participantes se les administró un entrenamiento en RM, consistente en 7 ensayos. Dado que los resultados no mostraron diferencias en cuanto al grupo entrenado y no entrenado, los análisis sobre el rendimiento en la fase de evaluación se realizaron conjuntamente teniendo en cuenta ambos grupos (entrenado y no entrenado). De esta forma, los resultados revelaron un aumento del tiempo de reacción y de la tasa de error a medida que se incrementaba la disparidad angular entre dos estímulos, en ambos grupos de edad, lo que supone una evidencia de la existencia de procesos de RM.

Resultados similares se mostraron en el trabajo de Estes (1998), quien evaluó la RM en preescolares de 4, 5 y 6 años de edad, y adultos en una tarea en la que se requería poner en marcha procesos de RM de forma espontánea en un juego de ordenador sin instrucción explícita de realizar rotaciones. En esta tarea se presentaban dos imágenes al mismo tiempo de dos monos idénticos (con el mismo brazo levantado) o diferentes (con un brazo diferente levantado cada uno). La/el niña/o debía decidir si las dos imágenes presentadas conjuntamente estaban levantando el mismo brazo (presionando la tecla Intro del ordenador) o un brazo diferente (presionando la tecla espaciadora). La imagen de la derecha podía aparecer rotada a 0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 grados, 4 veces, contando con 28 ensayos en dos bloques. La tarea en total tuvo 56 ensayos de evaluación. Los resultados mostraron una disminución de la tasa de error con la edad, con 60% de precisión en la respuesta en el rendimiento de preescolares de 4 años, un 74% en 5 años, llegando hasta el 83% en niñas/os de 6 años de edad. Un análisis más pormenorizado permitió identificar solo a 5 de 20 niños/as como aquellos/as que rotaban en 4 años, 10 de 30 en 5 años y 15 de 20 en 6 años. De esta forma, en términos de rendimiento medio

grupal e individual, los/as preescolares de 6 años y adultos tuvieron un rendimiento similar en el uso de rotaciones mentales espontáneas sin instrucción.

Wimmer, Robinson y Doherty (2017) utilizando la misma tarea que Estes (1998) en niñas/os de 4 años y medio, 6 años y medio, 8 y 10 años, y adultos, estableció que la precisión de la respuesta aumentaba con la edad, mostrando que los de 4 años tuvieron menos errores que los de 6, pero no había diferencias en otros grupos de edad próximos en cuanto rendimiento (no hubo diferencias significativas entre los grupos de 6 y 8, entre 8 y 10 años, ni entre 10 y adultos). Todos los grupos de edad rindieron por encima del nivel esperado por azar, incluido el de 4 años. De forma similar los tiempos de reacción disminuyeron a medida que aumentaba la edad, aunque esto solo se cumplió para una minoría en niños/as de 4 años de edad.

El reciente estudio de Krüger (2018) con preescolares de 3 años de edad sugirió que las capacidades de RM de este grupo de edad podrían haber sido subestimadas en estudios anteriores al comprobar que estos/as niños/as podían realizar rotaciones mentales después de dos sesiones de entrenamiento. Sin embargo, el análisis de los tiempos de reacción en función del ángulo de rotación no respaldó esta aseveración, pues no se evidenció el típico patrón lineal que normalmente es observado en tareas de RM. En concreto, se presentaban, tanto en las sesiones de entrenamiento como en la evaluación final, una imagen central y dos imágenes de comparación debajo de esta (una de ellas era idéntica y la otra una imagen especular de la imagen central sin rotar). La imagen central podía presentarse en 9 disparidades angulares diferentes: 45, 90, 135, 165, 195, 225, 270 y 315 grados de rotación. La tarea consistía en identificar la imagen de comparación que se correspondía con la imagen central. Mientras que en las sesiones de entrenamiento la imagen central podía ser girada antes de realizar el juicio de igualdad, en la sesión de

evaluación la imagen central no podía rotar, obligando a los/os niños/as a realizar rotaciones mentales. Las sesiones de entrenamiento tuvieron un total de 117 ensayos. Los resultados revelaron que, a nivel grupal, el rendimiento medio de los niños/as de 3 años de edad en la sesión de evaluación era mejor que el esperado por azar. Un análisis más minucioso del rendimiento individual confirmó que únicamente 16 de un total de 41 niños/as tuvieron un rendimiento por encima del azar. En cuanto al análisis de la precisión de la respuesta y los tiempos de reacción en función de la disparidad, contrariamente a un estudio similar (Krüger et al., 2014), los resultados no revelaron el típico patrón encontrado con tareas de RM al no aumentar la tasa de error ni la latencia de la respuesta a medida que aumentaba la disparidad angular. Los resultados de este estudio son opuestos si se considera la existencia de ambos como indicios de procesos RM. Por un lado, el rendimiento medio del grupo superaba el esperado por azar, pero, por otro lado, al no aumentar los tiempos de respuesta al aumentar la disparidad angular no se puede establecer claramente una transformación mental análoga a la que se efectuaría con el objeto en el mundo real, lo que significaría una falta de evidencia de procesos de RM.

Tomando en cuenta todas las investigaciones planteadas, no parece que haya un claro consenso sobre la edad en que la capacidad de RM está bien establecida en preescolares, aunque tomando en consideración todas ellas, se establecen claras mejoras en el rendimiento en este tipo de tareas a lo largo del desarrollo en el Segundo Ciclo de Educación Infantil. A este respecto, Hawes, LeFevre, Xu y Bruce (2015) desarrollaron una tarea de RM con objetos tridimensionales tangibles para evaluar las diferencias en el desarrollo de niños/as de 4 a 8 años de edad. Aunque sus resultados no mostraron un rendimiento superior al esperado por azar en preescolares de 4 y 5 años de edad, el patrón de respuesta observado indicó que las/os niñas/os a lo largo del desarrollo en estas edades progresaban desde aquellos que respondían por azar, a confundir las imágenes en espejo

de las rotaciones y finalmente a rotar de forma efectiva. Esto sugiere la existencia de una secuencia natural que se sigue cuando se aprende o se entrena la RM en los más pequeños/as.

7. Discrepancias entre la competencia mostrada por bebés y por preescolares en tareas de Rotación Mental.

En los dos apartados inmediatamente anteriores se han explicado una variedad de estudios cuyo objetivo principal ha sido evaluar la capacidad de RM en bebés desde el nacimiento hasta la etapa preescolar (hasta los 3 años de edad) y aquellos realizados en el Segundo Ciclo de Educación Infantil, que engloba las edades de 3 a 6 años. Todos ellos han buscado observar la competencia mostrada en tareas que implicaban poner en práctica procesos de RM en distintas edades, sin embargo, lejos de observar un aumento de esta capacidad a lo largo del desarrollo, parece que los resultados de las tareas aplicadas en bebés estiman un mayor entendimiento de los procesos de RM cuando se comparan con la ejecución de tareas de RM en niños/as más mayores.

De esta forma, los estudios que evalúan la RM a través del paradigma de fijación de la mirada indican una comprensión temprana de los eventos que implican la RM y ponen en duda si el rendimiento relativamente bajo observado entre los niños/as en edad preescolar obtenido en estudios previos refleja su competencia en RM real o son simplemente el resultado de tareas que implican una exigencia elevada para el nivel conceptual de las/os más pequeñas/os. Esta cuestión ya ha sido planteada por Frick et al. (2013b), quienes pensaban que los estudios que exigían juicios sobre la igualdad de estímulos, como el trabajo de Marmor (1977), requerían a los preescolares diversas demandas conceptuales aparte de la tarea de rotación. Estas tareas implicaban el conocimiento sobre el significado de “igual” y “diferente”, además de recordar qué palanca presionar en función de la respuesta, generar una imagen mental del objeto y mantenerla mientras se realizan las transformaciones necesarias (Frick et al., 2013b). De acuerdo con la perspectiva que implica que estas discrepancias se atribuyen a diferentes

demandas de tareas (Aschersleben, Henning y Daum, 2013; Keen, 2003), los/as niños/as no fallan porque carecen de la competencia crítica, sino por las demandas resultantes de otros aspectos de las tareas.

Se ha debatido mucho sobre por qué las tareas que contemplan el acto de señalar o simplemente mirar pueden producir patrones de comportamiento tan diferentes en niñas/os pequeñas/os (Thelen, Schöner, Scheier y Smith., 2001). Una posible explicación se basa en que, además de la diferencia en términos del modo de respuesta requerido, hay una diferencia en los requisitos sobre la expectativa de la novedad y tareas que implican juicios de igualdad entre pares de estímulos: mientras que en las primeras se deduce que el bebé juzga sobre un estado final del objeto como correcto o incorrecto, en las segundas se pide expresamente a los/as niños/as que predigan activamente el resultado (Frick et al., 2014; Keen, 2003).

En este punto es necesario definir el concepto de competencia, es decir, cuándo podemos entender qué un individuo ha adquirido una competencia o ha adquirido la comprensión de un fenómeno dado. Desde una perspectiva amplia, podemos establecer la primera emergencia de la versión más simple de una competencia en la circunstancia más favorable como la fecha en la cual se observa ese proceso, y podemos distinguir la edad en la cual una competencia es evidente en la circunstancia más desafiante como una segunda fecha (Newcombe y Huttenlocher, 2006). De manera similar, podemos definir la competencia relativa a un estándar ecológico de lo que normalmente se requiere en la vida cotidiana o lo que normalmente es posible para el normal funcionamiento de los adultos (Newcombe y Huttenlocher, 2000). Atendiendo a este concepto de competencia, podemos catalogar el rendimiento de los bebés en los estudios cuyos resultados indican una comprensión temprana de la RM como una competencia emergente en su estado

inicial, mientras que podemos decir que la ejecución en tareas que indican la existencia de procesos de RM en preescolares es una competencia bien establecida.

Para resumir, es probable que el desempeño en tareas de RM de los/as niños/as y bebés se base en las exigencias exactas de la tarea, por lo que los resultados de los estudios que usaron diferentes paradigmas para evaluar lo que se considera la misma habilidad, la RM, son muy difíciles de comparar (Mulder et al., 2017). A este respecto es importante señalar la afirmación de Acredolo (1990) en su revisión sobre la orientación espacial en la infancia, los patrones (de comportamiento) “se obtuvieron en un paradigma particular, con un entorno particular y con procedimientos de capacitación particulares” (p. 603). Mulder et al., (2017) advierten que las mejoras en el desarrollo solo se pueden describir con precisión cuando a diferentes grupos de edad se les asigna exactamente la misma tarea, lo que rara vez ocurre en diferentes estudios.

8. Entrenamiento de las habilidades espaciales: El caso de la Rotación Mental

Dado que la RM es considerada un componente nuclear en el procesamiento espacial, hay un gran interés respecto a la medida en que la habilidad de RM puede ser mejorada y las técnicas o entrenamientos mediante los cuales se puede lograr un mayor rendimiento en esta capacidad (Provost, Johnson, Karayanidis, Brown y Heathcote, 2013).

Para poder entender el efecto de la práctica, primero es necesario realizar una descripción detallada del proceso de RM, es decir, cuáles son los pasos que se siguen al realizar la rotación mental de un objeto. El proceso de realizar juicios de igualdad en tareas de RM consiste en, al menos, 4 procesos distintos que se realizan de forma serial: se codifica el estímulo, se intenta transformar el estímulo para alinearlo con el estímulo de referencia, se compara el estímulo y el objetivo para decidir si ambos son el mismo y finalmente se responde (Cooper y Shepard, 1973; Shepard y Metzler, 1971; Wright et al., 2008). Cada uno de estos componentes podría ser entrenado y cualquiera de ellos podría conllevar un decremento de los tiempos de reacción, así como un aumento de la precisión de la respuesta.

Existen varios mecanismos que pueden explicar la mejora en habilidades espaciales observada después de llevar a cabo un entrenamiento. A continuación, se considerarán tres propuestas para explicar el aumento del rendimiento en tareas de RM. La primera propuesta establece que el entrenamiento podría estar influenciando factores específicos de la tarea o del proceso, como una mejora de la codificación de los estímulos del test (Sims y Mayer, 2002), procesos de transformación más eficientes (Kail y Park,

1992) o estrategias más adaptativas (Stieff, 2007). Sin embargo, con respecto a la transferencia, Uttal et al. (2013a) establecieron que no era únicamente específico de la tarea o test ya que las/os participantes no podrían mejorar en una tarea espacial distinta de la entrenada si únicamente se mejorara la codificación del estímulo específico de la tarea de entrenamiento. Por tanto, cualquier modelo que pretenda explicar el efecto del entrenamiento espacial debe tener en cuenta que la mejora puede ser entendida como una mejora de los procesos que tienen lugar (Wright et al., 2008).

Una segunda propuesta gira en torno a la posibilidad de que mejorando los procesos cognitivos básicos como son la atención espacial o la memoria pueda repercutir en una mejora de las capacidades espaciales debido a su práctica intensiva. Un ejemplo de ello serían todas las investigaciones que han mostrado cómo jugar a videojuegos de ordenador puede mejorar la capacidad de atender a diferentes localizaciones simultáneamente (Feng, Spence y Pratt, 2007) o pueden codificar y procesar más rápidamente la información visoespacial (Dye, Green y Bavelier, 2009). Por lo tanto, mejorar la memoria operativa o los recursos de tipo atencional implicaría mejorar la codificación o la transformación de la información representada (Chein y Morrison, 2010). Por último, el efecto del entrenamiento puede ir asociado a la interacción con variables psico-sociales tales como la ansiedad espacial (Ramirez, Gunderson, Levine y Beilock, 2012), el nivel de confianza (Estes y Felker, 2011) o los estereotipos de género (Campbell y Collaer, 2009; Moè y Pazzaglia, 2006) que pueden influir en el rendimiento en tareas espaciales. Esto sugiere que la continua exposición a actividades de tipo espacial puede suponer que estas tareas sean contempladas de forma menos amenazante o provocar menos ansiedad. Los tres mecanismos no son mutuamente excluyentes, e incluso la mejora de las habilidades espaciales por el efecto de la práctica puede deberse a su interacción (Uttal, Miller y Newcombe, 2013b).

Independientemente de cómo se explica la mejora en habilidades espaciales, el meta-análisis de Uttal et al. (2013a) ha mostrado la alta maleabilidad de las habilidades espaciales, cuyo entrenamiento comprende una mejora efectiva, duradera y transferible con un tamaño del efecto de 0.47 ($SE = 0.04$). Por otro lado, Wright et al., (2008) observaron el efecto de la práctica intensiva tanto en tareas de RM como en tareas de plegado mental, y en una tarea control de tipo verbal. Tras 21 sesiones, con 114 ensayos de entrenamiento los/as participantes mejoraron en ambas tareas espaciales (con la mitad conteniendo estímulos ya vistos y la mitad nuevos). Este resultado indica que la transferencia entre tareas es posible, independientemente de la tarea practicada y sugiere que el efecto de entrenamiento encontrado en la RM no es debido a las transformaciones espaciales requeridas en la RM *per se* sino a otros elementos de la tarea. En línea con estos resultados, Provost et al. (2013) argumentaron que la experiencia de los/as participantes en un entrenamiento en RM con una gran variedad de imágenes estructurales bidimensionales llevaba a desarrollar experiencia en la extracción de información tridimensional de forma general. Esto, a su vez, facilitó un inicio más temprano y rápido de la RM y, por ello, se redujo el efecto del ángulo en las tareas de comparación de igualdad de estímulos.

Con respecto a las acciones que pueden fomentar las habilidades espaciales en las/os más pequeñas/os, se ha comprobado que las experiencias tempranas relacionadas con actividades o juegos espaciales como la construcción de bloques de 4 a 6 años (Casey et al., 2008) y los puzles de 2 a 4 años (Levine et al., 2012) pueden modificar el pensamiento espacial. De hecho, Levine et al., (2012) mostraron que las/os niñas/os que jugaron con puzles tuvieron un mejor rendimiento en la tarea de transformación espacial que aquellos que no tuvieron esta experiencia, independientemente del sexo. Además, se comprobó que la frecuencia del juego estaba significativamente relacionada con sus

puntuaciones de transformación espacial. Estos resultados sugieren que las capacidades espaciales pueden ser mejoradas y potenciadas, y, por lo tanto, ser susceptibles de ser entrenadas.

Según la revisión realizada en la presente tesis, los estudios que contemplan un entrenamiento de la RM en el Segundo Ciclo de la Etapa Infantil son escasos y sus resultados no han llegado a establecer a qué edad un entrenamiento puede ser efectivo. Concretamente, en el estudio de Frick et al. (2013a) se entrenaron niñas/os de 4 y 5 años de edad en una tarea que consistía en decidir si una pieza (rotada o en espejo) situada en la parte superior de un tablero encajaba o no con el hueco de la parte inferior (véase la Figura 3). Se evaluaron 48 niños y niñas, que se distribuyeron en tres condiciones: entrenamiento manual, entrenamiento observacional y sin entrenamiento. El grupo que no realizó el entrenamiento pasó directamente a la fase de evaluación con una tarea distinta a la entrenada.

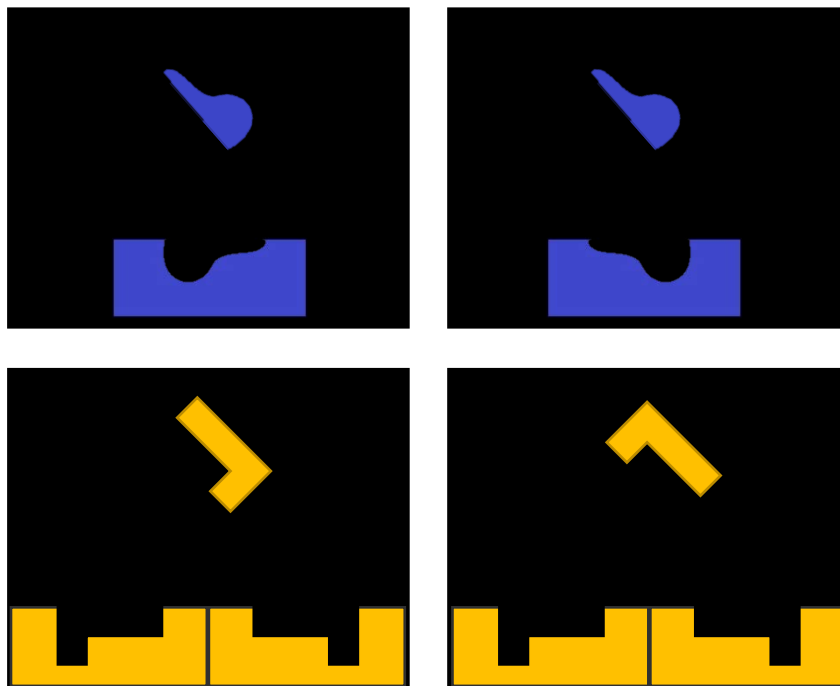


Figura 3. Imagen basada en los ensayos de entrenamiento (arriba) y evaluación (abajo) de Frick et al. (2013a).

Las/os participantes fueron entrenados con 18 ensayos y los resultados mostraron un efecto del entrenamiento sólo en 5 años (tanto en el entrenamiento manual como observacional), no hallándose mejoras en niños/as de 4 años, quienes no se beneficiaron del entrenamiento. Resultados parecidos fueron obtenidos por Ehrlich, Levine y Goldin-Meadow (2006), quienes encontraron mejoras en niños/as de 5 años de edad. Las/os participantes fueron distribuidos en tres grupos en función de las instrucciones empleadas en la fase de entrenamiento. Se realizaban dos evaluaciones de la RM (fase pre y postest). El primer grupo debía imaginarse el movimiento de rotación, el segundo observar el movimiento realizado por el/la experimentador/a y el tercero debía únicamente practicar la tarea (de idéntica forma a la fase pre y postest). La tarea del entrenamiento contenía 12 ítems (de los cuales sólo 6 fueron de RM). El/la participante observaba las dos partes de una forma para después señalar cuál de las cuatro figuras representaba la forma completa (véase la Figura 4).

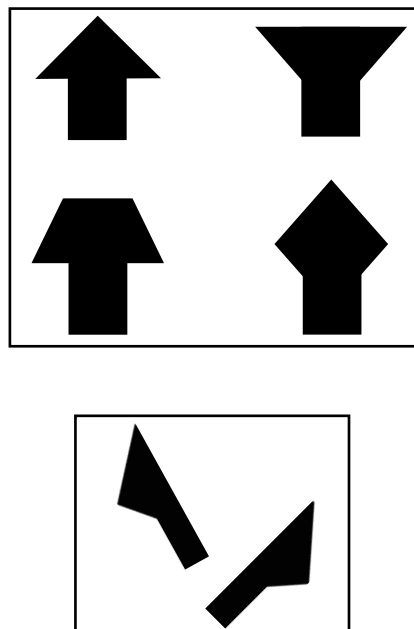


Figura 4. Figura basada en la tarea de entrenamiento y evaluación de RM de Ehrlich et al. (2006). Arriba, la matriz de elección. Abajo, las dos partes que forman una de las figuras presentadas arriba.

Sin embargo, Marmor (1977) no encontró efecto de entrenamiento en niñas/os de 4 y 5 años de edad. El experimento tenía dos grupos, un grupo control y otro experimental. El grupo experimental recibió 7 ensayos de entrenamiento en rotación que consistía en realizar juicios sobre si dos figuras eran iguales o diferentes. Una de las dos figuras era una imagen en espejo rotada o una rotación de la otra. Se destaca que sólo los últimos tres ensayos de entrenamiento requerían al participante realizar una rotación mental, ya que en los anteriores se realizaba el juicio sobre la igualdad de las imágenes con posterioridad a la rotación (se presentaba la imagen rotada, posteriormente se rotaba delante de la/el niña/o y ésta/e señalaba si ambas imágenes eran iguales o distintas). Además, el grupo control realizó una tarea análoga, aunque ligeramente diferente a la del grupo experimental, en la que se le mostraron 7 pares de estímulos; sin embargo, en este grupo control se presentaban ambas imágenes sin rotar y el experimentador las rotaba delante de la niña/o para que seguidamente decidiese sobre la igualdad de las imágenes. Ambos grupos realizaban tareas parecidas de rotación en la etapa del entrenamiento, la diferencia radicaba en la forma de presentación y que la rotación se realizaba presencialmente o no delante del participante. El no encontrar un efecto de entrenamiento en el grupo experimental con respecto al grupo control pudo ser debido a que éste también realizó una tarea parecida con estímulos en rotación que pudiera ser considerado un tipo de entrenamiento. Estos resultados aumentan el debate relativo a la edad en la que un entrenamiento en RM puede lograr resultados efectivos; por ello son necesarias más investigaciones que ahonden en esta cuestión.

En cuanto a los estudios que evalúan el efecto de la práctica con la misma tarea de RM que la utilizada en la fase de entrenamiento (Ehrlich et al., 2006; Krüger et al., 2014; Marmor, 1977), estos no pueden mostrar evidencia de la transferencia a otros estímulos no entrenados, pudiendo encontrar solamente una mejora en aquellos que sí se

entrenaron, lo que podría explicarse tanto por el efecto de la práctica como por la familiaridad de la tarea. Como Frick et al. (2013a), la presente tesis plantea la necesidad de evaluar los efectos del entrenamiento en RM con diferentes tareas a las usadas en la fase de entrenamiento, como un punto clave de gran novedad e interés en la investigación relativa a la maleabilidad de las capacidades espaciales entre las/os más pequeñas/os.

Para finalizar, el meta-análisis de Uttal et al. (2013a) planteó la cuestión de la falta de estudios que examinen diferentes grupos de edad con la misma metodología, disminuyendo así la oportunidad de detectar diferencias significativas entre edades. Esta afirmación fue señalada dado que el análisis que se llevó a cabo en cuanto al efecto de entrenamiento contempló estudios muy heterogéneos considerando diferentes rangos de edad. Además, este estudio mostró mayores tamaños del efecto en el entrenamiento de niños/as menores de 13 años en comparación con edades comprendidas entre los 13 a 18 años o adultos, aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Esto sugiere que podría haber un periodo sensible en la infancia en el que el entrenamiento en habilidades espaciales tuviera un mayor impacto, si se compara con otras edades. Sin embargo, esta cuestión todavía no ha sido planteada tomando en cuenta una variedad de rangos edad. Por ello, y en línea con el planteamiento de Uttal et al. (2013a), dos estudios con metodología similar a la empleada en esta tesis complementan los trabajos abordados al involucrar un entrenamiento en RM de tres días de duración en diferentes rangos de edad, concretamente niños/as de Educación Primaria (Rodán et al., 2019) y adolescentes (Rodán et al., 2016). Los resultados de ambos estudios apoyan la posibilidad de mejorar la capacidad de RM en varios rangos de edad con un entrenamiento breve. Concretamente, esta tesis pretende extender estos resultados, utilizando la misma metodología en el periodo comprendido entre los 3 y los 6 años de edad, etapa preescolar que antecede al inicio de la Educación Primaria, periodo crítico en la adquisición de una

variedad de competencias y habilidades que marcarán el desarrollo del logro académico de los/as más pequeños/as.

9. Diferencias medias entre grupos de sexo en capacidad espacial

Es abundante la literatura que evidencia un rendimiento medio superior de los hombres con respecto a la media de las mujeres en tareas en las que se involucra la transformación mental de la información espacial, particularmente de información tridimensional (Halpern, 2012; Voyer et al., 1995).

9.1. Enfoque teórico biopsicosocial

Actualmente la cuestión de las diferencias de sexo en habilidades espaciales se ha abordado desde un enfoque interaccionista biopsicosocial (Halpern, Wai, y Saw, 2005; Hausmann, Schoofs, Rosenthal y Jordan, 2009) donde, tanto los factores biológicos como los procesos socioculturales por los que el individuo se ve afectado en el entorno que le rodea, son factores que delimitan y moldean las capacidades espaciales (Casey, 1996). Con respecto a este enfoque, las diferencias individuales en las habilidades espaciales implican que individuos con una disposición biológica específica expuestos a experiencias espaciales concretas se pueden beneficiar en mayor medida de esta experiencia comparados con individuos con una predisposición biológica diferente (Casey, Colon y Goris, 1992; Quaiser-Pohl, Geiser y Lehmann, 2006). Varios estudios han mostrado un débil (aunque dependiente de la experiencia espacial) efecto en el rendimiento de pruebas espaciales (Baenninger y Newcombe, 1989) evidenciando que tanto mujeres como niñas tienen menos probabilidad de adquirir una alta competencia en la capacidad espacial debido a su menor exposición a experiencias espaciales comparado con el grupo de hombres y niños (Sander, Quaiser-Pohl y Stigler, 2010). A este respecto, Jirout y Newcombe (2015) observaron que el juego de tipo espacial, como puzzles, bloques y juegos de mesa, estaba positivamente relacionado con las habilidades espaciales en

niños/as de 4 a 7 años de edad, y que, además, los niños tuvieron una mayor frecuencia de juego en comparación con las niñas. Otros estudios sitúan el foco de atención en las hormonas sexuales (Courvoisier et al., 2013; Pintzka, Evensmoen, Lehn y Håberg; 2016; van Hemmen et al., 2016), el pensamiento cazador-recolector (Eals y Silverman, 1994; Silverman, Choi y Peters, 2007), un patrón cortical asimétrico (Gur et al., 2000; Jaušovec y Jaušovec, 2012; Hahn, Jansen y Heil, 2010) o el uso de diferentes estrategias para resolver tareas de RM (Arendasy, Sommer y Gittler, 2010; Boone y Hegarty, 2017) como posibles explicaciones contempladas en la literatura en cuanto a las diferencias de sexo observadas en las habilidades espaciales.

A pesar de la cantidad de estudios e investigaciones dirigidas a desentrañar los factores o causas que subyacen a las diferencias de sexo en capacidad espacial, los investigadores no han sido capaces de integrar estos resultados para dar una explicación psicológica completa para tales diferencias de sexo (Contreras, Martínez-Molina y Santacreu, 2012). Dada la cantidad de literatura que versa sobre esta cuestión, se intentará, en los próximos apartados, realizar una división de estudios que han investigado las diferencias de sexo en relación con las características de la tarea empleada, las características de los/as participantes y los factores del entorno. Nótese que algunas variables con respecto a las características de la tarea o de los participantes estarán relacionadas en los estudios, dado que es complicado aislar cada una de ellas sin tener en cuenta las demás, que de hecho pueden estar relacionadas. Por ejemplo, la estrategia seguida por un/a participante para resolver una tarea espacial estará relacionada con la naturaleza de la tarea en sí, haciendo complicado distinguir si tal estrategia hubiera sido empleada por el/la mismo/a participante en otra tarea similar. Por ello, es importante tener cuenta que todas las variables que se estudian en el contexto de la tarea tienen repercusión en el rendimiento, haciendo difícil comparar las conclusiones derivadas de estudios que

tengan procedimientos distintos, aunque el fin que persigan sea el mismo, encontrar las causas de las diferencias entre grupos de sexos en habilidades espaciales.

9.2. Variables relacionadas con las diferencias de sexo en capacidad espacial

Debido a la gran variabilidad de estudios, este apartado se centrará en distinguir entre dos grandes categorías principales: variables relacionadas con la naturaleza de la tarea administrada como por ejemplo el tiempo límite, la instrucción dada o los estímulos utilizados; y las variables relacionadas con el/la participante derivado de cómo se enfrenta este a la tarea, como la velocidad de procesamiento o las estrategias utilizadas, como otros estudios han hecho (Contreras, Rubio, Peña, Colom y Santacreu, 2007). Además, se añadirá un tercer apartado relacionado con los factores del ambiente (como los estereotipos) que pueden estar influyendo de forma desigual en el rendimiento en los tests espaciales dependiendo del sexo al que se pertenezca.

9.2.1. Características de la tarea

Parece que las características de la tarea son una gran fuente de diferencias entre sexos, cuya manipulación puede mitigar tales diferencias, llegando incluso a desaparecer. Específicamente, Goldstein, Haldane y Mitchell (1990) mostraron que tanto hombres como mujeres llegaban a tener un rendimiento similar en el MRT cuando la tarea se puntuaba atendiendo la relación entre los intentos realizados y los aciertos más que al número de respuestas correctas, o cuando no se establecía un tiempo límite para terminar la tarea. En esta línea, Voyer et al. (1995) sugirieron que las diferencias en cuanto al

procedimiento utilizado son una importante fuente de varianza en la magnitud de las diferencias de sexo.

Los tests que evalúan la RM con restricción de tiempo, como el MRT, son los que muestran mayores diferencias entre grupos de sexo en comparación con los tests donde se aumenta de forma considerable el tiempo disponible o carecen de él, reduciendo notablemente el tamaño del efecto de las diferencias (Goldstein et al., 1990). Mientras que Goldstein et al. (1990) mostraron que las diferencias entre sexos se eliminaban cuando se aumentaba el tiempo para realizar la tarea, otros han mostrado que el aumento del tiempo al realizar el MRT no reducía las diferencias de sexo (Delgado y Prieto, 1996; Masters, 1998; Peters, 2005; Resnick, 1993). A este respecto, el meta-análisis llevado a cabo por Voyer (2011) que contempló 36 tamaños del efecto de diferentes estudios, mostró un tamaño del efecto bastante superior en tareas que incluían límite de tiempo ($d = 1$) en comparación con tareas que carecían de él ($d = 0.5$). Parece que la variable de restricción de tiempo en tareas de RM, aunque no elimina por completo las diferencias de sexo, sí las atenúa.

Con respecto a las diferentes pruebas para medir la RM, Peters (2005) mostró que mientras que las diferencias de sexo se replicaban en el MRT, en el mismo grupo de participantes no parecía existir esta diferencia cuando realizaban una tarea de rotación mental con límite de tiempo en el que tenían que realizar juicios de igualdad de estímulos entre dos imágenes en vez de cuatro, resultados replicados por Jansen-Osmann y Heil (2007). Titze, Heil y Jansen (2008) mostraron que las diferencias de sexo se mantenían, aunque forzaran a los participantes a realizar comparaciones dos a dos en el MRT cubriendo 3 de los 4 ítems de comparación para simular las tareas de comparación de dos estímulos. Parece que las diferencias en el rendimiento entre sexos de ambas tareas, el

MRT y las tareas que realizan juicios de igualdad de estímulos por parejas, no reside en la comparación por pares.

Otra fuente de diferencias estudiadas que pueden explicar el rendimiento diferencial en tareas de RM entre ambos sexos es el tipo de estímulos utilizados en estas tareas. A este respecto, los resultados del estudio de Ruthsatz, Neuburger, Rahe, Jansen y Quaiser-Pohl (2017) mostraron un efecto de sexo en niños/as de 7 a 9 años de edad en una tarea de RM dependiendo del tipo de objetos que debían rotar, con estereotipos típicamente catalogados como femeninos (una muñeca) y masculinos (un tractor), evidenciando que con estos últimos los varones tendían a tener mejores puntuaciones, no replicándose este resultado en las niñas, quienes no se beneficiaban de ítems catalogados como femeninos. En este sentido, Koriar y Norman (1985) postularon que una alta familiaridad con los objetos tiende a generar una representación de memoria que permite un mejor reconocimiento de los estímulos en una amplia gama de disparidades angulares, lo que ofrece una explicación del éxito de los niños con estímulos congruentes con su género siendo estos familiares. En esta línea, Alexander y Evardone (2008) encontraron que los hombres tenían un mejor resultado con ensayos que involucraban figuras masculinas en comparación con las figuras femeninas, lo que apoya la idea de que el rendimiento puede depender de las características específicas del material usado en el test. Esto confirmaría la afirmación propuesta por Doyle, Voyer y Lesmana (2015), quienes establecen una relación entre el tipo de estímulos y la confianza. Aparentemente, los estímulos congruentes con el sexo proporcionan la posibilidad de aumentar la confianza, lo que podría llevar a un procesamiento más eficiente y por lo tanto a un mayor número de respuestas correctas. En cambio, los estímulos no congruentes con el sexo parecen inducir un efecto de amenaza en el estereotipo provocando una menor confianza y por lo tanto un menor rendimiento, al menos en niños con estímulos catalogados como

típicamente femeninos (Ruthsatz et al., 2017). Estas explicaciones dan cuenta del resultado encontrado en niños con estímulos masculinos y femeninos, pero no explican el resultado encontrado en niñas, quienes no tenían un mejor rendimiento con estímulos congruentes con su género. Sin embargo, la afirmación de que los estímulos congruentes con el sexo llevan a tener un mejor rendimiento en tareas de RM en niños/as no se ve respaldado por otras investigaciones, quienes no han encontrado este efecto con el mismo tipo de estímulos (Ruthsatz, Neuburger, Jansen y Quaiser-Pöhl, 2015), mostrando que los resultados no son concluyentes en cuanto al efecto de la congruencia entre el género del tipo de estímulos utilizados y el de las/os participantes, y su impacto en el rendimiento en tareas de RM en función del sexo.

Dado que el MRT es el test que mayores tamaños del efecto produce en las diferencias de sexo, diversas investigaciones han analizado los tipos de estímulos utilizados y su relación con estas diferencias. Por un lado, Voyer y Hou (2006) establecieron que las figuras de cubos que incluían partes ocultas, es decir, eran parcialmente tapadas por otras partes de la figura, producían mayores diferencias de sexo que aquellas que no mostraban partes ocultas, sugiriendo que la naturaleza tridimensional de los estímulos probablemente acentúe las diferencias de sexo vistas en el MRT. Por otro lado, el MRT dispone de ensayos en los cuales hay figuras distractoras que pueden ser un espejo de la figura de comparación u objetivo, (donde necesariamente se ha de realizar el proceso de RM para comparar la figura) y otras figuras distractoras que son estructuralmente diferentes, con un extremo de la figura en otra dirección o con un número de bloques diferentes. Estas últimas, las figuras de bloques estructuralmente diferentes, pueden ser resueltas con otra estrategia distinta a la RM, con lo que, si las diferencias de sexo radican en el proceso de RM exclusivamente, el rendimiento de ambos sexos tendría que ser similar con las figuras estructuralmente diferentes. Sin

embargo, la magnitud de las diferencias de sexo es la misma para figuras en espejo o estructuralmente diferentes, por lo que se sugiere que la RM no es una variable crítica para el efecto del sexo observado en este test (Voyer y Hou, 2006).

9.2.2. Características de los/as participantes

Para explicar las diferencias entre grupos de sexo encontradas en tareas de RM, algunos estudios han apuntado que, más que en el proceso de rotar imágenes *per se*, las diferencias se encontrarían en los procesos que acompañan a las tareas de RM, como la codificación del estímulo que tiene que ser rotado o el proceso de toma de decisiones (Levine, Foley, Lourenco, Ehrlich y Ratliff, 2016). Esta idea es apoyada por las investigaciones que sugieren que, en realidad, la pendiente de los tiempos de reacción a medida que aumenta la disparidad angular, indicador de la existencia de procesos de RM, está presente en el rendimiento de ambos grupos de sexo y lo que difiere es el intercepto. Esto lleva a la conclusión de que tales diferencias pueden deberse a la codificación de las formas, la preparación de la rotación, las tareas de decisión o la respuesta más que en el proceso de RM en sí mismo (Boone y Hegarty, 2015). Puede extraerse que el uso de cierto tipo de procesos, que son más eficientes en solventar tareas espaciales, explicaría el rendimiento en este tipo de tareas más que las diferencias de sexo de por sí (Casey, Nuttal y Pezaris, 1999; Peña et al., 2008). De hecho, diversos estudios muestran que las mujeres tienen una mayor dificultad al formar representaciones en tres dimensiones basadas en imágenes en dos dimensiones (Voyer y Doyle, 2010). A este respecto, los hallazgos de Contreras et al. (2007) mostraron que las diferencias encontradas en una tarea espacial dinámica no pudieron ser atribuidas a factores de rendimiento como la latencia de la respuesta, la frecuencia de la respuesta o el tiempo total invertido en resolver cada ensayo,

pues incluso controlando todos estos factores, las diferencias de sexo permanecían. En la misma línea, Contreras et al. (2012) evidenciaron que el porcentaje de varianza del rendimiento en una tarea espacial dinámica no era explicado por el sexo, y sí por otros factores como la rotación mental, la orientación espacial o el tiempo empleado, puesto que estos sí tenían valor predictivo.

Una fuente de diferencias entre grupos de sexo ampliamente estudiada en la literatura es el uso de diferentes estrategias para resolver tareas de naturaleza espacial. En una tarea espacial dinámica, Peña, Contreras, Shih y Santacreu (2008) encontraron tres estrategias diferentes que las/os participantes usaban para resolver la tarea: segmentada (donde se resolvía la tarea usando uno o más elementos de forma separada, sin relacionarlos), holística planificada (la tarea se resolvía invirtiendo más tiempo en planificar la primera respuesta) y holística dependiente de la retroalimentación dada (los/as participantes no planificaban la respuesta inicialmente, sino que estas dependían del efecto que la respuesta inmediatamente anterior tenía en los elementos de la tarea y sus relaciones). En general, la estrategia holística planificada (relacionada con un mejor rendimiento) era usada de forma más frecuente por el grupo de hombres, mientras que la estrategia segmentada era asociada al grupo de mujeres en mayor medida.

En la misma línea que apuntaban Peña et al. (2008), diversas investigaciones han apuntado a un uso más frecuente de estrategias holísticas en varones en procesos de RM, quienes rotarían la representación del objeto de forma global, mientras que las mujeres tienden a usar estrategias analíticas como rotar partes de la figura o contar los cubos (Boone y Hegarty, 2017; Hegarty, 2017). La estrategia holística, en contraposición con la estrategia de rotar la figura pieza por pieza, correlaciona con el éxito en tareas de RM (Bethell-Fox y Shepard, 1988; Hegarty, 2017; Khooshabeh, Hegarty y Shipley, 2013),

sugiriendo que la capacidad de mantener una imagen holística de una estructura tridimensional bajo una transformación espacial es una fuente de diferencias individuales que explicaría parte del rendimiento en la tarea. El uso de diferentes estrategias también parece explicar por qué las diferencias de sexo aumentan a medida que aumenta la complejidad del estímulo, mostrando una disminución de la velocidad en tareas de RM en mujeres, mientras que, en el grupo de los hombres, la complejidad del estímulo no supone ninguna variación en cuanto a la velocidad, teniendo por lo tanto un mejor rendimiento (Heil y Jansen-Osmann, 2008). Los autores sugirieron que la ausencia de cambios en la velocidad en función del nivel de complejidad de los estímulos para los hombres podría ser el resultado de usar estrategias holísticas de rotación, mientras las mujeres usaban una estrategia analítica, caracterizada esta estrategia por rotar la figura por partes. Esta estrategia podría dificultar la rotación de formas complejas ya que involucraría codificación, rotación y comparación de más características individuales (Geiser, Lehmann y Eid, 2006; Heil y Jansen-Osmann, 2008; Hugdahl, Thomsen y Ersland, 2006). Es probable que las diferencias de sexo en la RM puedan surgir, al menos en parte, debido a diferencias perceptivas, de modo que las mujeres se centran en los detalles de las figuras y usan estrategias poco sistemáticas como el conteo de bloques, mientras que los hombres se centran más en la forma global y son más capaces de detectar diferencias de la forma como un conjunto (Heil y Jansen-Osmann, 2008).

Tal y como se apuntaba anteriormente, los ensayos del MRT involucran figuras de cubos que pueden ser resueltas sin realizar procesos de RM (Voyer y Hou, 2006). Boone y Hegarty (2017) llevaron a cabo un estudio en el que diferentes experimentos fueron realizados para comprobar las estrategias utilizadas por ambos sexos en diferentes condiciones experimentales con una variedad de figuras de cubos y con diferentes instrucciones de la tarea. En este sentido y en línea con otras investigaciones (Voyer y

Hou, 2006), los resultados indican que las/os participantes pudieron resolver los ensayos en tareas de RM a través de estrategias que no implicaban el uso de la RM, sino estrategias independientes de la orientación. A pesar de eso, se seguían encontrando diferencias de sexo en la precisión (siendo los hombres como grupo de media más veloces) tanto para ensayos que necesariamente tenían que poner en marcha procesos de RM, como aquellos que se podían resolver con otro tipo de estrategias. Sin embargo, es interesante apuntar que cuando las/os participantes fueron instruidos para usar estrategias independientes de la orientación, las diferencias de sexo desaparecieron. Estos resultados indican que las diferencias de sexo en el rendimiento de tareas de RM no solo son debidas al proceso de RM en sí, sino también en descubrir y aplicar estrategias de solución alternativas. Además, parece que, dependiendo del grado de rotación entre los estímulos de comparación y el objetivo, así como la configuración de las figuras de cubos, los/as participantes ajustaron sus estrategias basándose en la relativa eficiencia y facilidad de estas, donde la rotación de las figuras era la más eficiente y útil para ángulos pequeños, mientras que otras son más eficientes para ángulos mayores.

Los interesantes resultados del estudio de Boone y Hegarty (2017) plantean que ambos sexos utilizan diferentes estrategias para resolver los ensayos en tareas de RM, aunque los hombres tienen a descubrirlas y aplicarlas de forma más efectiva, cambiando de una a otra dependiendo del estímulo utilizado, aumentando así su precisión con respecto al grupo femenino. Sin embargo, es interesante apuntar que cuando se insta a los participantes a realizar una determinada estrategia considerada más eficaz, como examinar si las partes finales de los bloques son paralelas o perpendiculares en ensayos donde ambas imágenes son estructuralmente distintas (no siendo necesaria la RM para solucionar correctamente el ensayo), las diferencias de sexo desaparecían. Es importante tener en cuenta que la mitad de los ensayos del test de rotación mental de Vandenberg y

Kuse (1978) pueden ser resueltos de esta manera. Esto sugiere que las mujeres pueden ser entrenadas en el uso de diferentes estrategias en el pensamiento espacial. Por ello, es razonable esperar que a medida que las estudiantes adquieran una mayor familiaridad, experiencia y confianza con tareas de RM, sus estrategias podrían ser más automáticas, disminuyendo las diferencias de sexo en cuanto al rendimiento en esta tarea en concreto (Okamoto, Kotsopoulos, McGarvey y Hallowell, 2015).

9.2.3. Factores ambientales

Los factores del entorno en el cual se desarrolla el individuo también pueden influenciar el desarrollo de las habilidades espaciales de forma diferencial en función del sexo como las experiencias de juego, los estereotipos de género o la ansiedad espacial (Levine et al., 2016). De hecho, un estudio de Moè (2016) demostró que el tipo de escuela a la que los/as estudiantes acudían era un factor relevante en cuanto a las diferencias de sexo en RM en adolescentes. Las chicas tuvieron un rendimiento similar a los chicos en una escuela donde se promocionaba el pensamiento espacial con asignaturas que implicaban la visualización, las relaciones espaciales o la RM (como el arte o el diseño), en contraposición al rendimiento mostrado por las chicas que acudían regularmente a una escuela que no promocionaba el pensamiento espacial, quienes tenían peores puntuaciones que sus compañeros. Además, el grupo de chicas en la escuela de alto nivel espacial mejoraron sus puntuaciones en RM cuando en las instrucciones de la tarea se les explicaba que el rendimiento superior de los chicos en capacidad espacial era producto de los estereotipos, aunque este no se replicó para el grupo de chicas de la escuela de baja capacidad espacial. Puede ser hipotetizado que tanto las chicas como los chicos pueden desarrollar habilidades de RM de forma similar cuando están expuestos a actividades

espaciales relevantes y se les anima a realizar tales actividades (Nazareth, Herrera y Pruden, 2013).

En cuanto al juego, actividad que se desarrolla ya en los primeros meses de vida, se ha demostrado que los niños a menudo juegan a actividades típicamente catalogadas como masculinas que están asociadas con un alto rendimiento en tareas de RM (Nazareth et al., 2013), como por ejemplo jugar con bloques, juegos de construcción o determinados tipos de videojuegos (Baenninger y Newcombe, 1989; Terlecki y Newcombe, 2005). Diversos estudios han mostrado que los niños tienden a jugar con mayor frecuencia a este tipo de juegos considerados espaciales, en mayor medida que las niñas, implicándoles en un mayor número de experiencias que involucran la manipulación y transformación de información espacial (Saracho, 1995; Tracy, 1987). Por ejemplo, se ha observado que las puntuaciones en el MRT estaban parcialmente mediadas por la experiencia en videojuegos, mostrando un rendimiento superior en los varones, quienes jugaban más a videojuegos que las chicas, pero, además, las chicas con mayor experiencia mostraron mayores puntuaciones en el MRT que aquellas que no tenían experiencia (Terlecki y Newcombe, 2005).

Es probable que, gracias a la inmersión de las nuevas generaciones con las nuevas tecnologías, como las tabletas o los teléfonos inteligentes, las niñas hayan experimentado un mayor acercamiento a los videojuegos, acortando las distancias entre ambos sexos en cuanto al rendimiento en tareas espaciales debido a un uso más igualitario de estas tecnologías. A este respecto, el estudio de Rodán et al. (2016) no mostró una diferencia entre grupos de sexo en capacidad espacial en un entrenamiento en RM en adolescentes, donde sí pudo encontrarse una correlación significativa entre la experiencia con videojuegos y la capacidad espacial.

Otro factor a tener en cuenta son los estereotipos, ya que se ha establecido que los estereotipos sociales influyen en el desempeño de tareas espaciales, de forma que el estereotipo social que determina que las mujeres tienen peor capacidad espacial que los hombres provocaría una tendencia de las mujeres a sentirse menos capaces cuando se enfrentan a una tarea espacial, lo que a su vez puede provocar ansiedad, sobrecargar la memoria operativa, y por lo tanto comprometer el rendimiento en la tarea espacial (Beilock, 2008). Por otro lado, la ansiedad es un factor que hay que considerar para explicar las diferencias en el rendimiento en tareas de RM, puesto que altos niveles de ansiedad espacial se han relacionado con bajas puntuaciones en tareas que involucran la RM en niños/as de 6 a 8 años de edad (Ramirez et al., 2012). En adultos se ha constatado esta relación y, además, se ha asociado con niveles altos de ansiedad matemática (Ferguson, Maloney, Fugelsang y Risko, 2015), lo que, a su vez, se ha relacionado con bajas puntuaciones al rendimiento matemático (Ashcraft y Kirk, 2001; Hembree, 1990; Ramirez, Gunderson, Levine y Beilock, 2013). En relación con las diferencias de sexo, Ferguson et al. (2015) encontraron que las mujeres informaron de niveles de ansiedad espacial altos en mayor medida que los hombres en tres diferentes muestras de participantes. Sin embargo, otros estudios que han aplicado el cuestionario adaptado de Ramirez et al., (2012) relacionándolo con el rendimiento en puntuaciones espaciales en una muestra de adolescentes no han encontrado una vinculación entre la ansiedad espacial y la capacidad espacial, ni ningún nexo en cuanto al sexo (Rodán et al., 2016). Así, se puede observar poca consistencia, hasta el momento, en los resultados de los estudios que investigan sobre la ansiedad espacial y el impacto negativo que esta puede provocar en tareas espaciales.

Como se ha demostrado, el entorno puede jugar un papel esencial en cuanto a las oportunidades que cada individuo tiene para disponer de experiencias de tipo espacial que

puedan potenciar las habilidades espaciales de las que disponga. De esta forma, los juegos o videojuegos pueden marcar la diferencia en cuanto al desarrollo de habilidades espaciales, así como las diferentes creencias sobre el rendimiento que tanto el entorno social (padres, madres, profesores/as) como los propios niños/as tengan en cuanto a tareas espaciales. Así, el mero conocimiento de los estereotipos por sí solo obstaculiza significativamente el rendimiento cuando a los estudiantes les preocupa que puedan validar el estereotipo (Spencer, Steele y Quinn, 1999).

9.3. Diferencias medias ente grupos de sexo en RM

En cuanto a la RM, existen numerosos estudios previos que han mostrado de forma consistente diferencias de sexo, con un mayor rendimiento promedio grupal de los hombres con respecto a las mujeres en población adulta (Debelak, Gittler y Arendasy, 2014; Hegarty, 2017; Heil, Krüger, Krist, Johnson y Moore, 2018; Reilly y Neumann, 2013; Stransky, Wilcox y Dubrowski, 2010; Voyer et al., 1995). Aunque se ha de señalar que las diferencias de sexo se producen a nivel de grupo. En un nivel individual de comparación, muchas estudiantes rinden mejor que los chicos en estas tareas (Okamoto et al., 2015). Sorprendentemente, en un reciente estudio de Scheer, Maturana y Jansen (2018) que implicaba la comparación de respuestas conductuales junto con la observación de los movimientos oculares y medidas de electroencefalograma al realizar una tarea de RM, se comprobó que, mientras se mostró un patrón de activación cortical distinto entre ambos sexos y diferentes fijaciones de la mirada, los análisis conductuales no mostraron diferencias en tiempos de reacción ni en la precisión de la respuesta, entre hombres y mujeres. Esto sugiere que ambos grupos de sexo probablemente tengan diferentes mecanismos de búsqueda visual y de toma de decisiones, aunque similares procesos de

RM. Este estudio puede ser considerado un estudio piloto ya que únicamente participaron 30 personas, la mitad de cada sexo. A pesar de este novedoso resultado, es más amplia la literatura que muestra un rendimiento diferencial entre sexos. A este respecto, Linn y Petersen (1985), en su meta-análisis, establecieron importantes diferencias medias entre grupos de sexo en cuanto a la RM únicamente en adultos en el MRT teniendo un tamaño del efecto consistente de 0.94 (estadístico d de Cohen), ya que no se incluyeron estudios con niños/as menores de 10 años. Sin embargo, en un meta-análisis posterior (Voyer et al., 1995), que contempló estudios de RM con niños/as menores de 10 años, no se encontraron diferencias significativas entre grupos de sexo en tres de las cuatro investigaciones (Caldwell y Hall, 1970; Jahoda, 1979; Kaess, 1971). Los resultados del meta-análisis de Voyer et al. (1995) indicaron una ventaja del sexo masculino con $d = 0.33$ en menores de 13 años, mientras que para los estudios que contemplaron edades de 13 a 18 años era de $d = 0.45$, y para los adultos $d = 0.66$. Estos resultados y otros trabajos anteriores (Caldwell y Hall, 1970; Kaess, 1971; Jahoda, 1979) han mostrado una relación positiva entre la edad cronológica y el tamaño del efecto, sugiriendo que las diferencias entre sexos aumentan con la edad.

En lo que respecta al desarrollo temprano, se ha mostrado que los bebés varones podrían diferenciar entre imágenes y sus homólogos especulares a la edad de 5 meses, en comparación con los bebés de sexo femenino en tareas de fijación de la mirada (Constantinescu, Johnson, Moore y Hines, 2018; Moore y Johnson, 2008; Quinn y Liben, 2008). Sin embargo, como se ha descrito en anteriores apartados (véase Capítulo 1, apartado 7), hay que tener cautela al interpretar los resultados de las tareas de fijación de la mirada en cuanto a la competencia en RM, puesto que no se puede concluir que las niñas pequeñas no puedan discriminar entre las imágenes rotadas y espejo por sus tiempos de fijación de la mirada (Levine et al., 2016). En cuanto a la etapa preescolar, existen

evidencias en ambos sentidos, con estudios que muestran diferencias de sexo a los 4 años y medio (Levine, Huttenlocher, Taylor y Langrock, 1999; Levine, Ratliff, Huttenlocher y Cannon, 2012) y aquellos que no encuentran estas diferencias en preescolares (Estes, 1998; Frick et al., 2009; Frick et al., 2013b; Kosslyn, Margolis, Barret, Goldknopf y Daly, 1990; Platt y Cohen, 1981). Concretamente, el estudio de Levine et al. (1999) involucraba la transformación mental de formas en dos dimensiones con rotaciones y translaciones en plano, mostrando un rendimiento superior en niños a partir de los 4 años y medio de edad cuando se comparaba con la ejecución de las niñas. La tarea consistía en decidir qué forma, de entre cuatro posibilidades, era la unión de dos mitades mostradas si estas se uniesen. Los participantes varones con edades comprendidas de 4.5 a 7 años evidenciaron mejores puntuaciones que las niñas con un tamaño del efecto $d = 0.25$. Utilizando la misma tarea, Levine et al., (2012) replicó los resultados del estudio anterior mostrando que los niños a edad de 4 años y medio obtuvieron un mejor rendimiento que las niñas. Sin embargo, Frick et al. (2009) no encontraron diferencias de sexo ni en los tiempos de reacción ni en la precisión en niños/as de 5, 8, 11 años de edad, y adultos en una tarea en la que era necesario rotar una figura para decidir si encajaba en un molde mostrado en la parte inferior de la pantalla. En una tarea parecida, los resultados del estudio de Frick et al. (2013b), no mostraron diferencias de sexo en preescolares de 3 a 5 años de edad. En la misma línea, Estes (1998) tampoco encontró diferencias entre grupos de sexo al evaluar la RM en niños/as de 4, 5, 6 años de edad y adultos en una tarea en la que se requería juzgar la igualdad de pares de estímulos, siendo uno de ellos una rotación o una imagen en espejo de la otra imagen.

En conclusión, no se establece un consenso en cuanto a qué edad aparecen las diferencias entre grupos de sexo en la capacidad de RM, aunque son más numerosos los estudios que establecen que estas emergen después de la Etapa de Infantil (Johnson y

Meade, 1987; Titze, Jansen y Heil, 2010), lo que podría indicar la influencia decisiva del ambiente y contexto social, así como las posibilidades de cambiar ese rumbo en una dirección que no sea discriminativa para el sexo femenino. De esta manera surge una cuestión crucial en cuanto al momento del desarrollo en el que emergen estas diferencias.

10. Mejora diferencial en función de las habilidades espaciales iniciales

Varios estudios han mostrado, en dominios cognitivos diferentes de la habilidad espacial, que las personas con una baja capacidad inicial pueden beneficiarse en mayor medida de un entrenamiento cognitivo (Baniqued et al., 2014; García-Madruga et al., 2013; Karbach, Stroback y Schubert, 2015). En discrepancia con estos estudios y referido a las habilidades espaciales, parece que el meta-análisis llevado a cabo por Baenninger y Newcombe (1989) no indicó una mejora diferencial de los menos capaces. Este estudio contempló diferentes trabajos que comprendían un entrenamiento espacial. En general, no se observó que el grupo catalogado con bajas habilidades espaciales en el pretest (en este caso el grupo de mujeres) obtuvieran una mejora significativamente mayor, cuando se comparaba con el grupo catalogado con altas capacidades espaciales (el grupo de varones). Las autoras sugirieron que la mejora del grupo masculino se debía al margen de mejora que ellos todavía tenían, sin alcanzar la asíntota, por ello ambos grupos mostraron una mejora similar en el posttest. En línea con estos resultados, el meta-análisis de Uttal et al. (2013a) no evidenció que el grupo con menores capacidades espaciales al inicio (las mujeres) se beneficiaran más del entrenamiento espacial, puesto que ambos grupos de sexo respondieron de forma similar al entrenamiento con un tamaño del efecto $g = 0.54$ para el grupo de hombres, y $g = 0.53$ para mujeres (se utilizó la g de Hedges para informar de los tamaños del efecto encontrados). Resultados similares fueron encontrados por Terlecki, Newcombe y Little (2008), cuyos resultados apuntaron que ambos grupos (de alta y baja capacidad espacial al inicio) mejoraron después de 12 semanas de entrenamiento en RM. Sin embargo, cabe señalar que se observó una mayor mejora en el grupo con peores puntuaciones en el pretest. Otros estudios (Cherney et al., 2014) mostraron cómo un entrenamiento breve, de una hora de duración, mejoró el rendimiento del grupo que tuvo unas puntuaciones menores en el test inicial (mujeres) en el MRT

hasta igualar al grupo con mayores capacidades espaciales iniciales (hombres) en el postest. A este respecto, David (2012) evaluó a una muestra en diferentes habilidades espaciales (incluyendo la RM) antes y después de una exposición a diferentes juegos de ordenador que involucraban procesamiento viso-espacial. Los resultados revelaron que aquellos con unas bajas capacidades espaciales iniciales tuvieron un incremento significativamente mayor después de la práctica con este tipo de videojuegos, en comparación con aquellos que mostraron un buen nivel inicial.

La mayoría de los estudios apuntan hacia una mejora más pronunciada en aquellos participantes que inicialmente exhiben unas pobres capacidades espaciales cuando se les administra un entrenamiento. No tenemos constancia de ningún estudio que haya evaluado la mejora diferencial en función del nivel de capacidad espacial inicial después de un entrenamiento en RM en preescolares. Por ello, es necesario determinar si los participantes que muestran una peor y/o mejor habilidad en el pretest son capaces de tener un mayor incremento gracias a un entrenamiento en RM de forma significativa. Detectar niños/as con bajas capacidades espaciales en etapas tan tempranas del desarrollo es esencial para poder mejorar estas habilidades que pueden, a su vez, tener un gran impacto en su vida académica posterior. De hecho, construir y visualizar representaciones lingüísticas y espaciales es un potente soporte en la reflexión e integración de información (Liben, Kastens y Stevenson, 2002; Uttal, 2000) y, por lo tanto, también esencial para el éxito académico en todas las etapas educativas.

11. Relación entre las habilidades espaciales y las disciplinas STEM

La capacidad espacial ha sido relacionada a través de estudios correlacionales con el éxito académico, específicamente en las disciplinas STEM (Höffler 2010; Lubinski 2010; Wai, Lubinski y Benbow. 2009). De hecho, la innovación en los dominios STEM es un factor que subyace a la prosperidad de un país y es crucial para mantener la competitividad en la economía internacional (Friedman, 2007; Friedman y Mandelbaum, 2011; Rindermann y Thompson, 2011). Por ello, la instrucción en tareas espaciales se ha convertido en una prioridad en la educación en etapas tempranas del desarrollo (*National Council of Teachers of Mathematics* [NCTM], 2007), de forma que en 2010 el NCTM incorporó el razonamiento espacial dentro del currículo de las matemáticas elementales. En las directrices sobre los “principios y criterios para las matemáticas escolares” (*Principles and Standards for School Mathematics*, PSSM), publicadas por el NCTM en el 2000, se ha definido que:

“Los objetivos generales para el aprendizaje de la geometría son analizar las características y propiedades de formas geométricas en 2 y 3 dimensiones, especificar ubicaciones y describir relaciones espaciales, aplicar transformaciones y utilizar la simetría para analizar situaciones matemáticas, y requerir la visualización, el razonamiento espacial y la modelización geométrica para resolver problemas” (p. 60).

Aparte de los estudios correlacionales, los estudios longitudinales nos dan información de cómo el nivel espacial de los estudiantes en un determinado momento está relacionado con la carrera que posteriormente cursan. Ejemplo de ello es el estudio de Shea, Lubinski y Benbow (2001) mostrando que la capacidad espacial a los 13 años

de edad predecía la elección de carreras relacionadas con disciplinas STEM 20 años después, es decir, a mayor capacidad espacial a esta edad, mayor probabilidad de terminar una carrera STEM. Varios estudios longitudinales han enfatizado la importancia de las habilidades espaciales en el éxito de las disciplinas STEM (Austin y Hanisch 1990; Gohm, Humphreys y Yao, 1998; Humphreys, Lubinski y Yao, 1993; Humphreys y Yao, 2002; Wise, McLaughlin y Steel, 1979) cuyos hallazgos están basados en los datos de un proyecto llamado *TALENT* (Flanagan et al., 1962). Este proyecto incluía aproximadamente a 400.000 estudiantes de Estados Unidos distribuidos entre el noveno y duodécimo grado (lo que implica a estudiantes de entre 14 y 18 años de edad), de los que se tomaron diferentes medidas cognitivas recogidas en estas edades y 1, 5 y 11 años después de la graduación (acto que sucede después de superar el duodécimo grado). Wai et al. (2009) compararon estos datos con otros datos longitudinales más recientes con el objetivo de determinar en qué medida la habilidad espacial ha influido en la predicción de criterios educativos y ocupacionales con un particular énfasis en las disciplinas STEM en las últimas décadas (véase Figura 5). También intentaron determinar en qué medida las manifestaciones tempranas de una alta habilidad espacial conllevan el desarrollo de la experiencia STEM así como demostrar cómo no contemplar la importancia de capacidad espacial conlleva la no explotación del talento en las disciplinas STEM pertinentes. Sus hallazgos consolidan la importancia de la capacidad espacial en las disciplinas STEM e ilustran su menor importancia en las humanidades y las ciencias sociales. Específicamente encontraron que:

“La capacidad espacial es una característica psicológica sobresaliente entre los adolescentes que posteriormente obtienen logros educativos y ocupacionales en STEM ... [esa] capacidad espacial desempeña un papel fundamental en la estructuración de los resultados educativos y ocupacionales en la población

general, así como entre los individuos que tienen un mayor talento intelectual ... [y que] las búsquedas de talento contemporáneo extrañan a muchos estudiantes con talento intelectual al restringir los criterios de selección a las medidas de capacidad verbal y matemática” (Wai et al. 2009, p. 827).

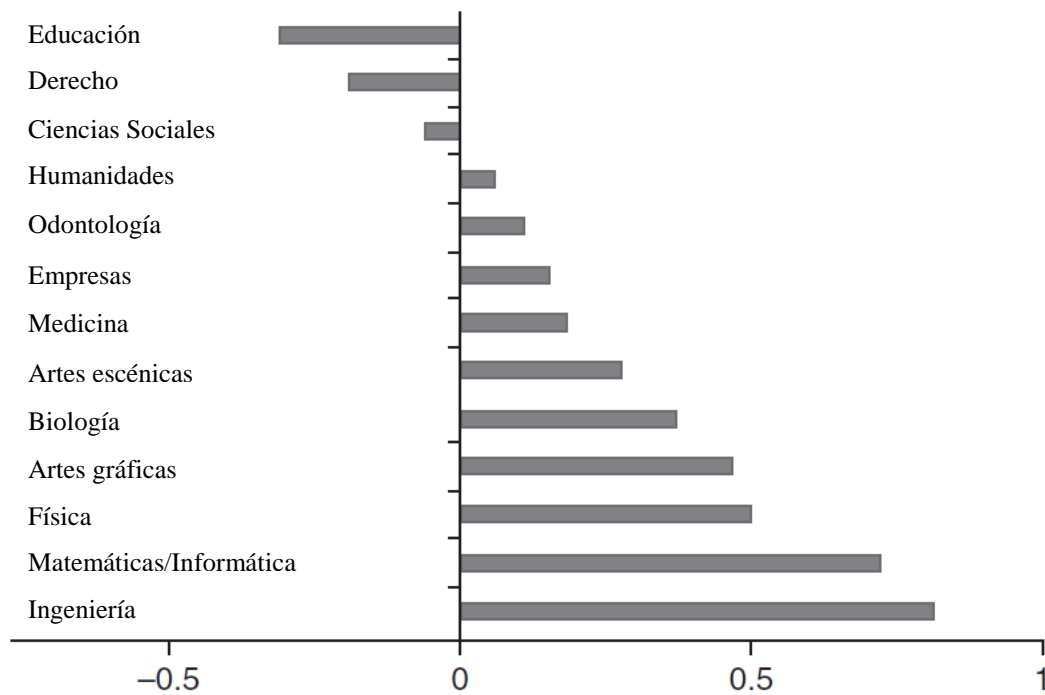


Figura 5. Distribución de las puntuaciones espaciales medias (en desviaciones estándar) por ocupación 11 años después de que el rendimiento espacial fue evaluado (adaptado de Wai et al., 2009).

Es probable que los estudiantes con buenas habilidades espaciales tiendan a sobresalir en asignaturas como las STEM, y posiblemente estén más interesados en cursar carreras que se relacionan con las STEM (Achter, Lubinski, Benbow y Eftekhari-Sanjani, 1999). Uno de los motivos que estaría explicando esta relación sería, según Newcombe y Frick (2010), que el pensamiento espacial ayuda a razonar en áreas que no son estrictamente de dominio espacial. Por ejemplo, se pueden usar metáforas y diagramas

espaciales para entender relaciones de orden (p.ej. la posición del producto nacional bruto entre países en desarrollo) o el uso de los diagramas de Venn para resolver problemas lógicos. Los mapas, siendo estos una representación espacial del espacio, nos ayudan a entender el entorno en el que nos movemos, pero, además, los usamos para entender diferentes conceptos como la densidad de población o los recursos naturales.

En concreto las matemáticas han de tener una particular consideración, dado que la capacidad matemática en los primeros años predice el logro matemático en etapas posteriores, así como el logro académico en general, y está relacionada con el estatus socioeconómico y el bienestar personal a lo largo de la vida (Duncan et al., 2007; Parsons y Bynner, 2005; Ritchie y Bates, 2013). Esto subraya la importancia de estudiar la relación existente entre la capacidad espacial y las matemáticas en etapas tempranas. A este respecto, varias investigaciones han señalado que las habilidades de construcción mostradas en los primeros años de vida (aquellas que involucran copiar, dibujar, y construir bloques) juegan un importante papel en el aprendizaje de las matemáticas (Casey et al., 2008; Casey, Erkut, Ceder y Young, 2008; Tzurriel y Egozi, 2010). Por ejemplo, Wolfgang, Stannard y Jones (2001) llevaron a cabo un estudio longitudinal en el que participaron niñas/os en edad preescolar hasta que fueron adultos (comprendiendo un periodo de 16 años). Los resultados mostraron que la complejidad de construir bloques a la edad de 5 años era un predictor significativo del rendimiento en matemáticas de los/as mismos/as participantes en el instituto. Con el objetivo de indagar en esta relación, el trabajo de Mix et al. (2016) evaluó en un estudio transversal a 854 niños/as con edades comprendidas entre los 5 y los 13 años de edad en 13 tareas espaciales y matemáticas (más otra tarea verbal). Los resultados mostraron que las capacidades espaciales y las matemáticas eran dos constructos bien diferenciados, pero altamente correlacionados en todas las edades estudiadas. Este estudio mostró que las asociaciones espacio-

matemáticas en edades más tempranas se daban en los procesos de razonamiento espacial considerados más complejos, como el requerido para la formación, el mantenimiento y la manipulación de información visoespacial (como la RM) para resolver problemas matemáticos. En concreto, la RM era el mejor predictor del rendimiento en matemáticas en preescolares. Resultados similares fueron encontrados por Hawes, Moss, Caswell, Seo y Ansari (2019), quienes estudiaron la relación espacio-matemática en niños/as de 4 a 11 años de edad, donde los factores espaciales y numéricos predijeron el logro en matemáticas, pero además las relaciones observadas entre ambas capacidades se mantuvieron estables en diferentes edades, experimentando trayectorias de crecimiento paralelas en el desarrollo. En este estudio la capacidad espacial era el único predictor del rendimiento en geometría. Acotando la edad de preescolar, el estudio de Farmer et al. (2013) evaluó a niños desde los 3 hasta los 5 años de edad, sugiriendo que la capacidad espacial a los 3 años de edad era un potente predictor del rendimiento en matemáticas de estos mismos niños/as dos años después, mejor que el rendimiento en vocabulario e incluso que la misma competencia matemática. En la misma línea, Verdine et al. (2014) evaluaron a niños/as de 3 años de edad y un año después, mostrando que las habilidades espaciales predijeron el 27% de la variabilidad en el rendimiento matemático, además, controlando la contribución de diversas funciones ejecutivas.

Sin embargo, hay que apuntar que la matemática no es un constructo unitario, más bien implica una variedad de tareas distintas de diferente complejidad. Por esta razón, se sugiere que cualquier intento de predecir el rendimiento en matemáticas debe, necesariamente, considerar primero las demandas de una determinada tarea matemática en particular (véase Mix y Cheng, 2012). En este sentido, un buen rendimiento en habilidades espaciales está relacionado con el desarrollo de la línea mental de números (LeFevre et al., 2013) y la representación y manipulación eficiente de estos (Boonen, van

der Schoot, van Wesel, de Vries y Jolles, 2013), donde además, el procesamiento básico de números, como comparar qué dígito es numéricamente más grande (7 vs. 2), está estrechamente asociado con las habilidades de visualización espacial, como la rotación mental (Thompson, Nuerk, Moeller y Kadosh, 2013; Viarouge, Hubbard y McCandliss, 2014). Hay aspectos de tipo espacial involucrados en el razonamiento sencillo relacionado con las matemáticas en los más pequeños/as. A este respecto, Gunderson, Ramirez, Beilock y Levine (2012) informaron que las habilidades espaciales en niños/as en edad preescolar y en la escuela primaria juegan un papel importante en el desempeño de estos en una tarea relacionada con la línea mental numérica entre 6 meses y 1 año después.

Con respecto a la RM, Wu y Shah (2004) describen cómo rotar mentalmente piezas geométricas bidimensionales podría ser importante en la geometría ya que los estudiantes tienen que realizar estas rotaciones para identificar polímeros. En la misma línea, varios estudios han mostrado como rotar figuras en tres dimensiones mentalmente se relaciona con la visualización de la longitud de las líneas o el tamaño de las figuras tridimensionales en geometría (Delgado y Prieto, 2004), o el mantenimiento simultáneo de representaciones numéricas mentales (Kyttälä y Lehto, 2008; Thompson et al., 2013). Recientemente, Frick (2018), a través modelos de ecuaciones estructurales, confirmó que las transformaciones espaciales aloécnicas como la RM, estaban relacionadas estrechamente con funciones numérico-lógicas y espaciales, y con la geometría, mientras que aquellas que involucraban transformaciones egocéntricas (tareas de toma de perspectiva) estaban relacionadas con operaciones aritméticas.

Estos resultados evidencian que la capacidad espacial y las matemáticas están relacionadas desde los primeros años en la infancia, donde unas altas habilidades

espaciales tempranas pueden proporcionar una base sobre la cual se construyen las matemáticas (Hawes, Tepylo y Moss, 2015). Dada esta evidencia crítica de una asociación entre el uso temprano de habilidades espaciales y las matemáticas, el siguiente paso es investigar la forma en la que unas habilidades espaciales tempranas podrían impactar en las habilidades matemáticas (Casey y Fell, 2018). Para ello, seguidamente se considerarán diferentes estudios que han realizado una intervención en habilidades espaciales con el objetivo de observar el efecto en la competencia matemática.

Varios estudios han demostrado que el entrenamiento espacial da como resultado mejoras en el rendimiento del cálculo de los estudiantes (Sorby et al., 2013) y otras disciplinas relacionadas con las matemáticas, incluida la ingeniería (Hsi et al., 1997), física (Miller y Halpern, 2013), y química (Small y Morton, 1983). Parece que el entrenamiento espacial previo a la realización de cursos relacionado con disciplinas STEM puede mejorar las calificaciones en estos cursos (Sorby, 2009), donde la mejora en el aprendizaje fue evidente incluso 2 meses y medio después del entrenamiento (Miller y Halpern, 2013). Con respecto a los/as niños/as, Hawes, Moss, Caswell, Naqvi y Mackinnon (2017) realizaron una intervención de 32 semanas de duración dirigida a desarrollar el pensamiento espacial y geométrico de niños/as con edades comprendidas entre los 4 y 7 años. La intervención consistió en llevar a cabo lecciones y actividades diseñadas principalmente para poner en práctica habilidades de visualización espacial (es decir, formación, mantenimiento y manipulación de información visoespacial). Los resultados mostraron que, en comparación con el grupo de control activo, las/os niñas/os del grupo experimental tuvieron mejores puntuaciones en tres medidas espaciales independientes: lenguaje espacial, geometría, y RM. Además, aquellos/as pertenecientes al grupo de intervención tuvieron mejoras significativas en habilidades numéricas básicas, en concreto en una tarea de comparación simbólica de números con un tamaño

de efecto sustancial. Se señala que esta intervención fue implementada por los/as profesores del centro escolar como parte de la instrucción matemática básica de los primeros años y proporcionando una gran cantidad de oportunidades para desarrollar el pensamiento espacial.

Varios estudios han examinado el efecto que un entrenamiento en RM podría tener en el rendimiento en matemáticas en niñas/os de Educación Primaria (Cheng y Mix, 2014; Hawes, Moss, Caswell y Poliszczuk, 2015). Cheng y Mix (2014) observaron un aumento del rendimiento en matemáticas en niños/as de entre 6 y 8 años de edad, específicamente en tareas algebraicas, en el grupo al que previamente se administró un entrenamiento en RM en comparación con el grupo control. Sin embargo, Hawes et al. (2015), con el mismo grupo de edad, no encontró mejoras en el rendimiento en matemáticas a partir de un entrenamiento en RM cuando el postest fue realizado una semana después de la intervención. Hay que apuntar que este estudio sí encontró correlaciones significativas entre las medidas pretest de la RM y las matemáticas con un coeficiente $r = 0.4$ a 0.63 . De forma similar, varios estudios posteriores no permiten afirmar que un entrenamiento en RM pueda mejorar las puntuaciones de matemáticas ni en niñas/os de Educación Primaria (Rodán et al., 2019), ni en adolescentes de Educación Secundaria (Rodán et al., 2016). Tomando en consideración los resultados de los estudios que han intentado evaluar la transferencia de un entrenamiento en RM en otras tareas relacionadas con las matemáticas, hay que señalar que la duración del entrenamiento, el tipo de entrenamiento, y la tarea de matemáticas que se evalúa, así como la edad de los/as participantes son importantes variables que pueden explicar que se hayan encontrado tales diferencias. De esta forma, futuros estudios deberían evaluar este tipo de transferencia con diferentes condiciones experimentales que permitiesen

evaluar bajo qué condiciones esta transferencia puede suceder, así como la edad adecuada en la que esta puede darse de forma efectiva.

Un punto importante que merece una consideración independiente es la diferente representación que existe en las carreras universitarias por grupos de sexo, donde existe una brecha entre hombres y mujeres en cuanto al desarrollo de una carrera STEM (*National Science Foundation*, 2011). El Programa Internacional para la Evaluación de la Competencia de los Adultos (PIAAC) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) encontró que las frecuencias con que cada sexo está representado son diferentes y acusadas en carreras relacionadas con las disciplinas STEM, como muestra gráficamente la Figura 6. Por ejemplo, los hombres son más propensos a estudiar una ingeniería, producción industrial o carreras dedicadas a la construcción (31%) y, en cambio, estos estudios solo los cursaron un 7% de mujeres (OCDE, 2017). Con estos datos se evidencia que la paridad de sexo en las disciplinas que son consideradas más tecnológicas está aún lejos de alcanzarse.

En conjunto, la posibilidad de potenciar el éxito de las disciplinas STEM a través de una mejora de las habilidades espaciales es una fuente potencial de recursos que podemos aprovechar para mejorar la tasa de egresados en estas disciplinas y, además, disminuir la brecha de sexo que habitualmente se da en estas ramas de conocimiento, procurando una mayor equidad en la elección de estas carreras sin que las habilidades espaciales puedan estar influyendo sesgando esta elección.

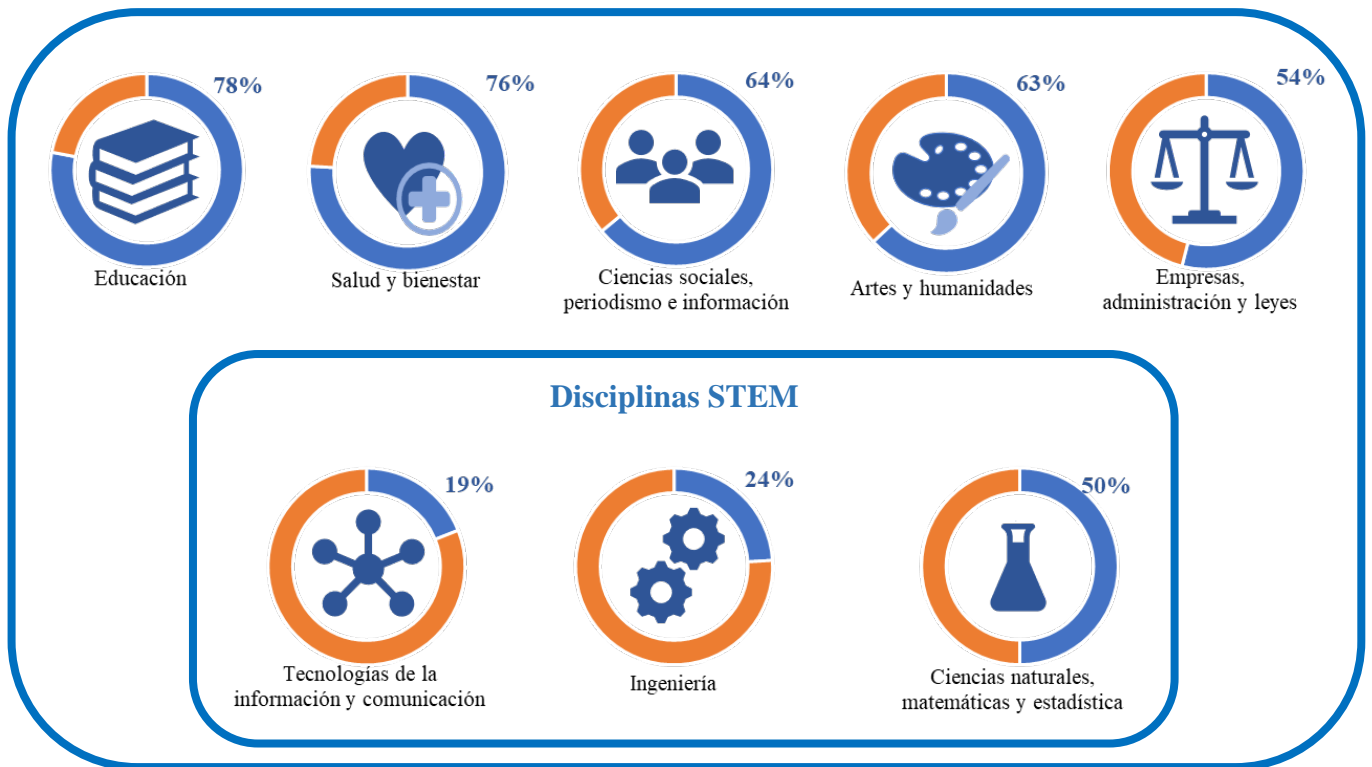


Figura 6. Porcentaje de mujeres que ingresan en carreras universitarias en función del campo de estudio. Figura adaptada de la OCDE (2017).

12. Objetivos generales

Tras la revisión teórica realizada, pasamos a explicar el propósito general de esta Tesis Doctoral, que ha sido investigar si la capacidad espacial de la RM es susceptible de mejora a través de un programa de entrenamiento aplicado a un grupo de niños/as con edades comprendidas entre los 3 y 6 años, es decir, edades correspondientes al Segundo Ciclo de Educación Infantil. Los objetivos generales se pueden resumir esquemáticamente de la siguiente manera:

- Examinar el efecto de un entrenamiento en RM en Educación Infantil.
- Estudiar el desarrollo de la RM en Educación Infantil.
- Analizar las diferencias en la ejecución del entrenamiento en RM en función del curso de infantil.
- Examinar el impacto en la competencia matemática básica de un entrenamiento en RM en Educación Infantil.
- Explorar las posibles diferencias de sexo en RM en Educación Infantil.
- Estudiar el impacto de un entrenamiento en RM en niños/as en función de la capacidad inicial de RM.

A continuación, pasamos a la Sección experimental de la tesis, donde presentaremos dos estudios. Los objetivos e hipótesis específicos se detallarán en los capítulos correspondientes a cada estudio.

CAPÍTULO II. SECCIÓN EXPERIMENTAL

1. Estudio 1: Efectividad sobre mejora de la capacidad espacial de un programa de entrenamiento en rotación mental en Educación Infantil: impacto en la competencia matemática básica y diferencias entre grupos de sexo y de la capacidad inicial de Rotación Mental.

1.1. Introducción

Dada la importancia de las habilidades espaciales en muchas actividades de la vida diaria (Uttal et al., 2013b), en el aprendizaje del entorno (Pazzaglia y Meneghetti, 2012), en el éxito académico como las ciencias y las matemáticas (Laski et al., 2013) o en las habilidades motoras (Moreau, Mansy-Dannay y Guerrien, 2012; Oudgenoeg-Paz et al., 2014), parece particularmente relevante establecer si estas habilidades pueden modificarse, la edad en la que se desarrollan y en qué momento durante el desarrollo pueden ser susceptibles de entrenamiento. A este respecto, el meta-análisis llevado a cabo por Uttal et al., (2013a) mostró la maleabilidad de las habilidades espaciales, cuyo entrenamiento comprende una mejora efectiva, duradera y con capacidad de transferencia a otras habilidades no entrenadas. Sin embargo, únicamente 53 estudios de 206 fueron realizados con menores de 13 años. En la etapa preescolar, varios estudios han mostrado que las experiencias tempranas con juegos de contenido viso-espacial como por ejemplo la construcción de bloques en niñas/os entre 4 y 6 años de edad (Casey et al., 2008) o jugar con puzles entre los 2 y los 4 años de edad pueden modificar las habilidades espaciales (Levine et al., 2012). Con respecto al entrenamiento en RM, desde la revisión realizada, solo tenemos constancia de tres estudios que involucren un entrenamiento en etapa preescolar y cuyos resultados son inconsistentes. El estudio de Ehrlich et al. (2006) mostró que a la edad de 5 años los niños/as pueden ser entrenados en una tarea de RM, al

igual que los resultados encontrados por Frick et al. (2013a), que además establecen que esta mejora no es extensible a los menores de 5 años, puesto que no se encontró efecto del entrenamiento en niños/as de 4 años de edad. Sin embargo, el estudio de Marmor (1977) no reveló efectos del entrenamiento en preescolares ni en 4 ni en 5 años de edad. Por lo tanto, establecer la edad en la que un entrenamiento en RM puede mejorar esta capacidad permanece en debate al encontrarse resultados contradictorios. Es importante señalar que para evaluar el efecto del entrenamiento en diversas edades es recomendable realizar el mismo procedimiento, lo que llevará a realizar apreciaciones sobre el desempeño de la tarea en cada grupo de edad, puesto que diferentes tareas o procedimientos pueden llevar a resultados diferentes por la naturaleza de la tarea, no pudiendo establecer un desempeño diferencial entre edades.

Debido al creciente interés concerniente a las disciplinas STEM y la importancia que estas tienen en el currículum académico (Höffler 2010; Lubinski 2010; Wai et al., 2009), es relevante investigar si un entrenamiento en RM puede provocar mejoras en la competencia matemática en la etapa donde normalmente la/el niña/o empieza su andadura en la educación, como es la etapa preescolar. En concreto, dentro de las disciplinas STEM, diversas investigaciones han demostrado la estrecha relación entre la capacidad espacial y las matemáticas desde la etapa de Educación Infantil (Farmer et al., 2013; Gunderson et al., 2012; Hawes et al., 2019; Mix et al., 2016; Verdine et al., 2014), aunque actualmente no hay consenso en cuanto a la potencialidad que el tipo de entrenamiento en capacidades espaciales puede tener en otras disciplinas como las matemáticas. A este respecto, mientras que algunos estudios han tenido éxito en demostrar cómo un entrenamiento breve en RM provoca mejoras en la competencia matemática en niños/as (Cheng y Mix, 2014) y adultos (Sorby et al., 2013), otros no han encontrado este resultado (Hawes et al., 2015; Rodán et al., 2016, 2019). Por ello, el presente estudio está dirigido

a evaluar el grado de mejora en la competencia matemática básica por el efecto del entrenamiento en RM en estudiantes de Segundo Ciclo de Educación Infantil.

Otro objetivo del presente estudio fue analizar las posibles diferencias entre grupos de sexo en etapas tan tempranas del desarrollo como la etapa preescolar. Un rendimiento superior a favor de los varones ha quedado establecido en números estudios que evalúan la RM en adultos (Debelak et al., 2014; Reilly y Neumann, 2013; Voyer y Jansen, 2016). Varios meta-análisis han confirmado que el rendimiento medio de los hombres es superior con respecto a las mujeres (Linn y Petersen, 1985; Voyer et al., 1995), aunque se ha establecido que existe una relación positiva entre la edad cronológica y el tamaño del efecto (Caldwell y Hall, 1970; Kaess, 1971; Jahoda, 1979), lo que sugiere que las diferencias en rendimiento entre ambos grupos de sexo se incrementa con la edad. Aunque varias investigaciones han mostrado un rendimiento superior de bebés de sexo masculino en comparación con bebés de sexo femenino en tareas precursoras de la RM (Constantinescu et al., 2018; Moore y Johnson, 2008; Quinn y Liben, 2008), no existe consenso en cuanto a la edad en la que las diferencias entre grupos de sexo empiezan a ser notables en la etapa de Educación Infantil. Mientras que algunos estudios han encontrado un mejor rendimiento de niños con respecto a las niñas a la edad de 4 años y medio (Levine et al., 1999), otros no han encontrado diferencias entre ambos sexos (Estes, 1998; Frick et al., 2009; Platt y Cohen, 1981).

Además, se ha establecido que un incremento de las tasas de error a medida que aumenta la disparidad angular como patrón de respuesta es generalmente aceptado como un buen indicador de la rotación mental en adultos (Shepard y Cooper, 1982) y en niños/as (Estes, 1998). En varios estudios se ha comprobado, considerando diferentes grupos de edades, que tanto los errores como los tiempos de reacción disminuyen

cuando incrementa la edad (Frick et al., 2009; Kosslyn et al., 1990; Marmor, 1975). Dado que las disparidades angulares más amplias son consideradas más difíciles, es probable que las/os niñas/os más pequeñas/os empiecen a realizar rotaciones mentales simples para, progresivamente, resolver disparidades angulares cada vez más complejas a medida que avanza el desarrollo espacial.

Por último, se analizará la mejora en RM en relación con el nivel de capacidad inicial (alta y baja capacidad) para determinar si los participantes que muestran peores habilidades en el pretest son capaces de tener un mayor beneficio como consecuencia del entrenamiento en RM. Diversos estudios han mostrado cómo los/as participantes que puntúan bajo en el pretest son capaces de tener una mejora significativamente mayor al grupo que inicialmente tiene de base una buena habilidad después de un entrenamiento o prácticas con tareas que involucran el uso de las capacidades espaciales (Cherney et al., 2014; David, 2012). Sin embargo, hay que considerar que el meta-análisis de Baenninger y Newcombe (1989), que involucró diversos estudios en los que se administraba un entrenamiento de tipo espacial, no mostró que el grupo de mujeres (siendo este el que obtuvo puntuaciones bajas en capacidad espacial) mejorara en mayor medida que el grupo de hombres, quienes obtuvieron un mejor rendimiento en el pretest. Es decir, ambos grupos se beneficiaron de forma similar del entrenamiento. Estos resultados se encuentran parcialmente respaldados por Terlecki et al. (2008), quienes mostraron, después de un entrenamiento de 12 semanas de duración en procesos de RM, una mejora en ambos grupos, de alto y bajo rendimiento inicial en RM. Sin embargo, hay que señalar que el grupo que puntuó peor en el pretest obtuvo una mejora mayor que el grupo que contaba con una buena capacidad de RM inicial. Desde la revisión realizada, no tenemos constancia de ningún estudio que haya evaluado el efecto de un entrenamiento en RM en función de la capacidad espacial inicial en preescolares.

1.2. Objetivos específicos e hipótesis

Objetivos específicos

- Evaluar la efectividad de un programa de entrenamiento en RM en preescolares de 3 a 6 años de edad.
- Examinar la mejora en la competencia matemática como resultado del entrenamiento.
- Analizar las posibles diferencias entre grupos de sexo en RM, antes y después del programa de entrenamiento.
- Evaluar el grado de mejora de los/as estudiantes en el programa de entrenamiento en función de su capacidad de RM inicial.

Hipótesis:

- Se espera un aumento del rendimiento significativamente mayor de la capacidad de RM en aquellos/as preescolares a los que se administra un programa de entrenamiento en RM en comparación con el grupo no entrenado.
- Se pueden o no encontrar diferencias en la competencia matemática en los/as niños/as entrenados con respecto a los/as no entrenados/as.
- Se pueden o no encontrar diferencias entre grupos de sexo antes o después del entrenamiento.
- Se espera un aumento del rendimiento significativamente mayor de la capacidad de RM en los/as estudiantes con bajo nivel de RM tanto en primero, segundo y tercer curso de Educación Infantil.

1.3. Método

Participantes

El estudio se llevó a cabo con 179 participantes, de los cuales 59, 71 y 62 estudiantes pertenecían a primer, segundo y tercer curso del Segundo Ciclo de Educación Infantil, respectivamente. Debido a que en cada curso de preescolar había 3 clases, se asignó al azar las clases a cada grupo, de forma que una de ellas fue asignada al grupo control, otra al grupo experimental y la tercera fue dividida, asignando la mitad del alumnado al grupo control y la otra mitad al grupo experimental. En el transcurso de la realización del estudio quedaron excluidos 13 participantes por no realizar alguna de las pruebas, problemas comportamentales o porque la experimentadora detectó alguna dificultad en el rendimiento de las pruebas. Finalmente, en el primer curso, el grupo experimental estuvo compuesto por 29 participantes (15 niños y 14 niñas; $M = 3.68$ años de edad y $DT = 0.28$) y el grupo control 29 participantes (16 niños y 13 niñas; $M = 3.58$ años de edad y $DT = 0.32$). En el segundo curso, el grupo experimental tuvo 30 participantes (14 niños y 16 niñas; $M = 3.90$ años de edad y $DT = 0.36$) y el grupo control contó con 31 participantes (15 niños y 16 niñas; $M = 3.90$ años de edad y $DT = 0.35$). Para finalizar, en el tercer curso, el grupo experimental tuvo 30 participantes (14 niños y 16 niñas; $M = 5.13$ años de edad y $DT = 0.24$) y el grupo control 30 participantes (14 niños y 16 niñas; $M = 5.16$ años de edad y $DT = 0.29$). Antes de comenzar el estudio, se facilitó a las familias y/o tutores una hoja de consentimiento informado por escrito.

Materiales

Test de inteligencia no verbal

Se utilizó el test de las *Escalas de Inteligencia de Reynolds o Reynolds Intellectual Assessment Scales* (RIAS; Reynolds y Kamphaus, 2003) para medir la capacidad general de razonamiento no verbal (inteligencia fluida). La tarea consta de 47 elementos y está diseñada para poder aplicarse a un rango de edad de 3 a 94 años.

La tarea consistió en la presentación de una serie de láminas que tienen entre cinco y siete figuras o dibujos cada una. Una de estas figuras o dibujos tiene una característica distintiva, con respecto al resto, que la hace diferente. El participante debía decidir y señalar cuál es la figura o dibujo diferente al resto. Para ello se facilitan dos intentos. Se concedió dos puntos si señalaba la respuesta correcta en el primer intento (con un límite de tiempo máximo de 30 segundos) y un punto si lo hacía en el segundo intento (con un límite de tiempo máximo de 20 segundos). La prueba finalizó cuando el participante obtuvo una puntuación de cero puntos en tres elementos consecutivos. La puntuación máxima de la prueba es de 94 puntos. Se transformaron las puntuaciones directas en puntuaciones típicas. Esta prueba tiene un índice de fiabilidad de 0.91 (Santamaría, 2007).

Test de Competencia Matemática Básica

El test que se utilizó para medir la competencia matemática fue el TEMA-3 o *Test of Early Mathematics Ability* (Ginsburg y Baroody, 2003). Esta prueba evalúa la habilidad matemática infantil en niños/as con edades comprendidas entre los 3 años y 8 años más 11 meses. Se compone de 72 ítems que valoran diferentes aspectos de la competencia matemática básica, como la evaluación de conceptos y habilidades formales e informales

en diferentes campos (el conteo, la comparación de números, lectura de los números y los signos, dominio de los hechos numéricos, habilidades de cálculo y comprensión de conceptos). Esta prueba tiene un índice de fiabilidad de 0.80 (Sattler, 1988).

En la prueba se concedió un punto por cada ítem correctamente contestado y finalizó cuando el participante obtenía 0 puntos en 5 ítems consecutivos. No hay un tiempo de aplicación determinado, pero se estiman 30 minutos para la aplicación de esta prueba.

Tarea de rotación de imágenes abreviada

Esta tarea fue una prueba adaptada *del Picture Rotation Test* (PRT, Marke, 2008; Quaiser-Pöhl, 2003). Se modificó esta prueba para ajustarla al nivel de 3-4 años de edad. La tarea original consistía en 16 láminas que contenían imágenes en color de animales y personas, con tres opciones de respuesta. Como la versión original del PRT estaba orientada a la evaluación de la RM en las/los niñas/os de 4 a 6 años, se tuvo que modificar la tarea para disminuir su dificultad. Esto se abordó siguiendo las sugerencias de la autora, la Dra. Claudia Quaiser-Pöhl, reduciendo el número de ensayos, las opciones de respuesta y los ángulos de rotación para aplicarlo a niñas/os desde 3 años de edad. De esta forma, la versión adaptada del PRT tuvo cinco ensayos de práctica y ocho de evaluación con dos opciones de respuesta. La adaptación se puso a prueba a través de dos estudios piloto en los que se evaluó la adecuación de esta prueba a las edades de 3 y 4 años. En los ensayos de práctica, las piezas que se debían rotar mentalmente también eran manipulables por la experimentadora (en el caso del primer ensayo) o directamente por los participantes (los restantes), mientras que en los ensayos de evaluación las figuras de las láminas no eran

manipulables. Los ángulos de rotación de las figuras eran de 45° y 180° , con la mitad de los ensayos para cada una de las rotaciones.

El diseño de la lámina presentó una figura no rotada en la zona izquierda, separada con una línea negra de otras dos situadas en la zona derecha, siendo éstas una rotación en plano o una imagen en espejo rotada de la figura situada en la parte izquierda (véase la Figura 7). La tarea del participante consistió en elegir cuál de las dos figuras coincidía con la figura de la izquierda. La duración aproximada de la tarea fue de 10 a 15 minutos. Se obtuvo un punto por cada elección correcta, siendo la puntuación máxima de 8 puntos. Esta tarea obtuvo un índice de fiabilidad test-retest de 0.52 y 0.59 en los grupos experimental y control, respectivamente. Puede consultarse el test completo en el Anexo I.

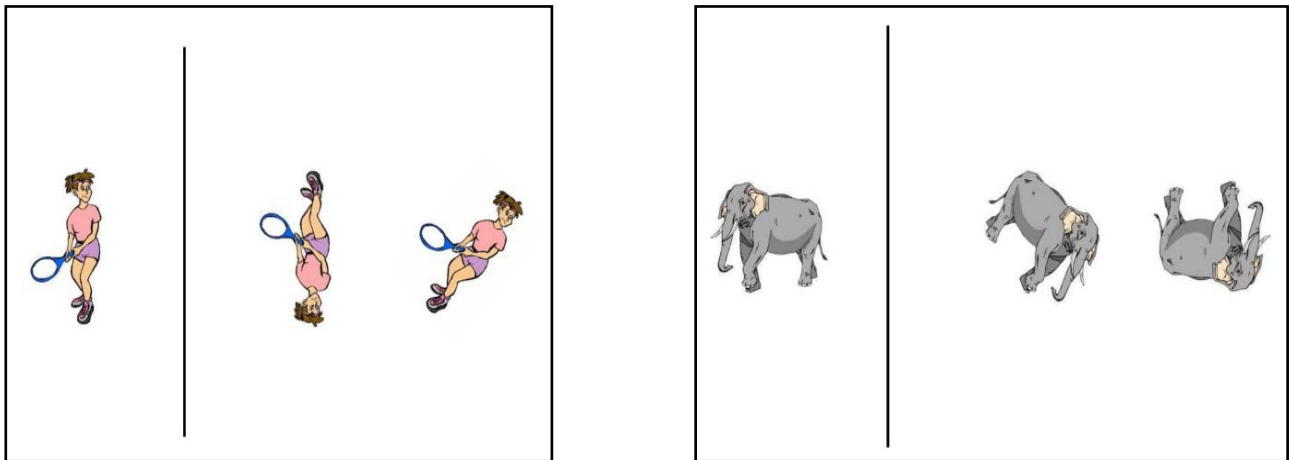


Figura 7. Ejemplos de láminas del test PRT adaptado. A la izquierda, la Lámina de práctica n° 3 y a la derecha, la Lámina de evaluación n° 3. Se puede consultar el test completo en el Anexo I.

Test de rotación de imágenes extendido

De la misma forma que la prueba anterior, esta fue una adaptación del *Picture Rotation Test* (PRT, Marke, 2008; Quaiser-Pöhl, 2003). Esta prueba fue usada para evaluar la rotación mental en el segundo y tercer curso de Educación Infantil. El test original fue el mismo que el descrito en el párrafo anterior. Aunque esta prueba fue creada originalmente para evaluar la capacidad de RM en niños/as con edades comprendidas entre 4 y 6 años, se observó un efecto techo en el rendimiento de las/os participantes. Por ello, se añadieron 6 ítems más a la prueba original con el objetivo de aumentar la dificultad. De esta forma, la versión extendida del PRT contó con 3 ensayos de práctica y 22 ensayos de evaluación. Los ángulos de rotación de las figuras fueron 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° y 315°. La duración aproximada de la tarea fue de 10-15 minutos, obteniendo un punto por cada respuesta correctamente contestada. La puntuación máxima fue de 22 puntos. El índice de fiabilidad test-retest fue de 0.70 y 0.74 en los grupos experimental y control, respectivamente. Puede consultarse el test original en el Anexo II y las láminas añadidas al original, completando el test de rotación de imágenes extendido en el Anexo III.

Entrenamiento en rotación mental

Para la realización del entrenamiento se partió del material utilizado en varios estudios previos relacionados con la RM en preescolares (Frick et al., 2013b), aunque ligeramente modificado. Se utilizaron los mismos tipos de figuras (fantasmas) presentados por Frick et al. (2013b); sin embargo, en el presente estudio se diseñó una configuración específica de rotación para cada una de las sesiones de entrenamiento, distintas a las de las autoras originales.

El entrenamiento consistió en tres sesiones de dificultad creciente intra e inter-sesiones, aplicadas en días consecutivos. El incremento de la dificultad estuvo determinado por la disparidad angular, de manera que una mayor dificultad se asoció con mayor ángulo de rotación de los estímulos presentados. El entrenamiento estuvo compuesto por 62 láminas. En la primera sesión se entrenaron los ángulos 0°, 30°, 60° y 90°; en la segunda sesión se entrenaron los ángulos 30°, 60°, 90° y 120°; en la última sesión se entrenaron los ángulos 90°, 120°, 150° y 180°.

Cada lámina (tamaño 215 x 315 mm) contenía tres figuras, dos de ellas se situaron en la parte inferior de la lámina y se nombraron como “1” y “2” dependiendo de su disposición con respecto al margen, siendo “1” la más próxima al margen izquierdo de la página y “2” la más próxima al margen derecho. La tercera figura, situada en la parte superior de la lámina, fue un círculo negro que contenía una figura blanca como molde (sólo el contorno) de idéntica forma a “1” y “2”, llamada figura de comparación. Las figuras “1” y “2” tenían el mismo grado de rotación, siendo una la imagen rotada (R) y otra la imagen en espejo rotada (E) de la figura de comparación. Las figuras de las láminas de práctica eran objetos comunes (por ejemplo, un martillo), mientras que las figuras de las láminas de entrenamiento eran fantasmas con diferentes formas, dibujos creados por Frick et al. (2013b). Véase en la Figura 8 un ejemplo de las láminas de práctica.

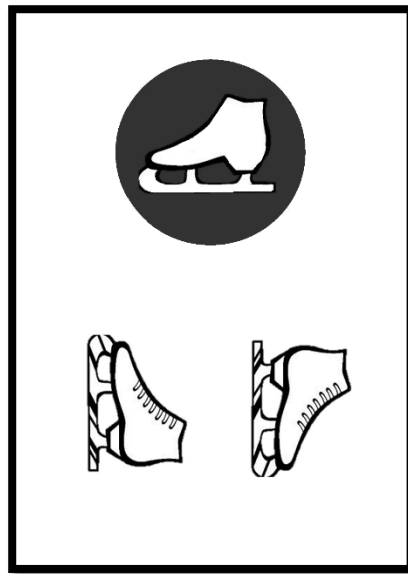


Figura 8. Ejemplo de ensayo de práctica.

Cada sesión del entrenamiento tenía 21 ensayos, de los cuales 5 fueron de práctica y 16 de entrenamiento. Durante el desarrollo de cada sesión, los ensayos de entrenamiento fueron divididos en 2 bloques (de 8 ensayos cada uno); cada bloque presentaba 4 disparidades angulares que aparecían 2 veces, de forma intercalada.

Con el fin de ejemplificar la configuración angular del entrenamiento, la primera sesión se describe a continuación. Las disparidades angulares del primer bloque de la primera sesión (0° , 30° , 60° y 90° , cada rotación se orientó en el sentido horario) mantuvieron una dificultad creciente a través de intercalar ángulos con mayor o menor disparidad, por ejemplo: $0^\circ-30^\circ-0^\circ-60^\circ-30^\circ-90^\circ-60^\circ-90^\circ$. Las figuras rotadas (R) y en espejo rotadas (E) se localizaron en la posición “1” de la siguiente forma: R-E-E-R-E-R-R-E, mientras que para la posición “2”, la configuración fue la siguiente: E-R-R-E-R-E-E-R.

La configuración del segundo bloque fue idéntica a la del primero, con la variante de tener una configuración inversa en cuanto a la disposición de los estímulos y la dirección de la rotación: las figuras previamente rotadas se convirtieron en espejo-rotadas y viceversa (véase la Tabla 1).

Tabla 1. *Distribución de las imágenes en espejo (E) y rotadas (R) de los dos bloques de la primera sesión. El primer bloque se encuentra a la izquierda y el segundo a la derecha.*

	Posición 1	Posición 2	Ángulo
Ensayo n° 1	R	E	0
Ensayo n° 2	E	R	30
Ensayo n° 3	E	R	0
Ensayo n° 4	R	E	60
Ensayo n° 5	E	R	30
Ensayo n° 6	R	E	90
Ensayo n° 7	R	E	60
Ensayo n° 8	E	R	90

	Posición 1	Posición 2	Ángulo
Ensayo n° 1	E	R	0
Ensayo n° 2	R	E	30
Ensayo n° 3	R	E	0
Ensayo n° 4	E	R	60
Ensayo n° 5	R	E	30
Ensayo n° 6	E	R	90
Ensayo n° 7	E	R	60
Ensayo n° 8	R	E	90

Procedimiento

La aplicación de las pruebas se distribuyó en tres fases: fase pretest, entrenamiento y fase posttest. La tarea de rotación de imágenes abreviada fue administrada a todas/os las/os preescolares de primer curso y la tarea de rotación de imágenes extendida fue administrada a los/as preescolares de segundo y tercer curso de Educación Infantil, tanto en la fase pretest como en la fase posttest. En la fase de entrenamiento, mientras que el grupo experimental fue entrenado, el grupo control realizó sus tareas diarias de forma rutinaria. El tiempo transcurrido entre el pre y el posttest fue aproximadamente dos meses. Todas las pruebas se realizaron individualmente (debido a la edad de los participantes) para evitar distracciones y aumentar la concentración, en un aula habilitada para este trabajo.

La fase de entrenamiento estuvo compuesta por tres sesiones administradas en días consecutivos de aproximadamente 15 minutos cada una, por lo que se estima una duración total del entrenamiento de 45 minutos. La aplicación se hizo de forma individual y manipulativa, donde la/el niña/o una vez que hubiera elegido la figura que consideraba correcta, debía rotarla y encajarla en el molde (figura de comparación), recibiendo así retroalimentación en cuanto al acierto o no de sus respuestas, confirmado de forma oral por la experimentadora. Si la figura encajaba con el molde, se pasaba al siguiente ensayo; si erraba, debía manipular la otra figura para encajarla. Se pidió a los/as participantes que eligieran de forma correcta antes de manipular la figura elegida y se registró la respuesta una vez movida la figura, pues se advirtió que algunos/as de los/las participantes movían levemente la figura dándose cuenta del error y cambiaban rápidamente a la figura correcta. La respuesta fue recogida únicamente cuando el/la niño/a tocaba la figura.

1.4. Resultados

Los resultados de las puntuaciones de RM en los grupos control y experimental correspondientes a los tres cursos de preescolar en el pre y en el postest se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. *Medias (desviaciones típicas) y tamaño del efecto (d de Cohen) de las medidas en la fase pretest, postest y las diferencias post-pretest (incrementos) de los grupos control y experimental de los tres cursos de Educación Infantil en RM.*

Test de RM	Grupo control			Grupo experimental			d
	Pretest	Postest	Incremento	Pretest	Postest	Incremento	
1° Curso	4.75 (1.17)	5.32 (1.25)	0.57* (1.1)	4.96 (1.02)	6.11 (1.4)	1.15* (1.23)	0.50
2° Curso	11.42 (3.93)	15.17 (4.07)	3.26* (3.64)	11.20 (3.85)	17.07 (3.05)	5.87* (3.14)	0.77
3° Curso	16.93 (2.99)	18.34 (2.32)	1.41* (2.6)	16.45 (3.41)	19.48 (2.20)	3.03* (2.58)	0.61

* $p < .05$ ** $p < .01$ RM = Rotación Mental

Se comprobó que ambos grupos fueran similares tanto en nivel de inteligencia como en capacidad de RM. No se observaron diferencias significativas en la fase pretest entre los grupos control y experimental en inteligencia en primer curso, $t(54) = .244, p = .81$, segundo curso, $t(59) = -.083, p = .93$ ni tercer curso, $t(58) = -.864, p = .39$; tampoco se observaron diferencias significativas en RM en primer curso, $t(53) = .717, p = .48$, segundo curso, $t(59) = -.220, p = .83$ ni tercer curso, $t(56) = -.574, p = .57$.

Los datos de la prueba para medir la mejora de la RM utilizada tanto en el pretest como en el posttest fueron analizados usando un ANOVA de medidas repetidas, con tres factores inter-sujeto: el grupo (control, experimental), el año de preescolar (primero, segundo, tercero) y el sexo (niño, niña), y como factor intra-sujeto, el tiempo (RM en el pretest y RM en el postest). En los efectos intra-sujetos, se encontró un efecto principal del tiempo, $F(1,161) = 196,589, p = .001, \eta^2_p = .550$, una interacción significativa entre tiempo y grupo, $F(1,161) = 16,147, p = .001, \eta^2_p = .091$, y una interacción significativa entre tiempo y año de infantil $F(2,161) = 37,942, p = .001, \eta^2_p = .320$. En los efectos inter-sujetos se encontró un efecto principal del año de infantil, $F(2,161) = 350,022, p = .001, \eta^2_p = .813$. Para explorar en efecto del entrenamiento por cada curso, el mismo análisis fue realizado por cada uno individualmente. Con respecto a primero de infantil, los resultados mostraron un efecto principal del tiempo, $F(1,51) = 28.631, p = .001, \eta^2_p = .36$, y una interacción no significativa entre tiempo y grupo, $F(1,51) = 3.53, p = .073, \eta^2_p = .062$, aunque este resultado refleja una tendencia a la significación. Este análisis mostró una interacción significativa entre grupo y sexo, $F(1,51) = 4.99, p = .030, \eta^2_p = .098$ para los efectos inter-sujetos. Este efecto no está presente entre los efectos intra-sujeto, por lo que el sexo no tiene influencia en el entrenamiento. No obstante, esta interacción se explica debido a un rendimiento superior de las chicas respecto a los chicos en el grupo control, mientras que estos muestran el patrón inverso en el grupo

experimental, es decir, muestran un rendimiento superior con respecto a las chicas en la fase pretest (dentro del grupo control, chicos con $M = 4.47$, $SD = .99$, y chicas con $M = 5.08$, $SD = 1.32$; dentro del grupo experimental, chicos con $M = 5.31$, $SD = 1.18$, y chicas con $M = 4.64$; $SD = .75$) y en la fase post-test (dentro del grupo control, chicos con $M = 5.13$, $SD = 1.19$, y chicas con $M = 5.54$, $SD = 1.33$; dentro del grupo experimental, chicos con $M = 6.54$, $SD = 1.33$, y chicas con $M = 5.71$; $SD = 1.38$). Referido a segundo de infantil, los resultados mostraron un efecto principal debido al tiempo, $F(1,56) = 145.118$, $p = .001$, $\eta^2_p = .72$, así como una interacción significativa entre tiempo y grupo, $F(1,56) = 8.337$, $p = .006$, $\eta^2_p = .13$. En tercero de infantil, se encontró un efecto principal del tiempo $F(1,56) = 42.960$, $p = .001$, $\eta^2_p = .434$, y una interacción significativa entre tiempo y grupo, $F(1,56) = 5.703$, $p = .02$, $\eta^2_p = .092$. Los demás efectos no fueron significativos. Véase Figura 9.

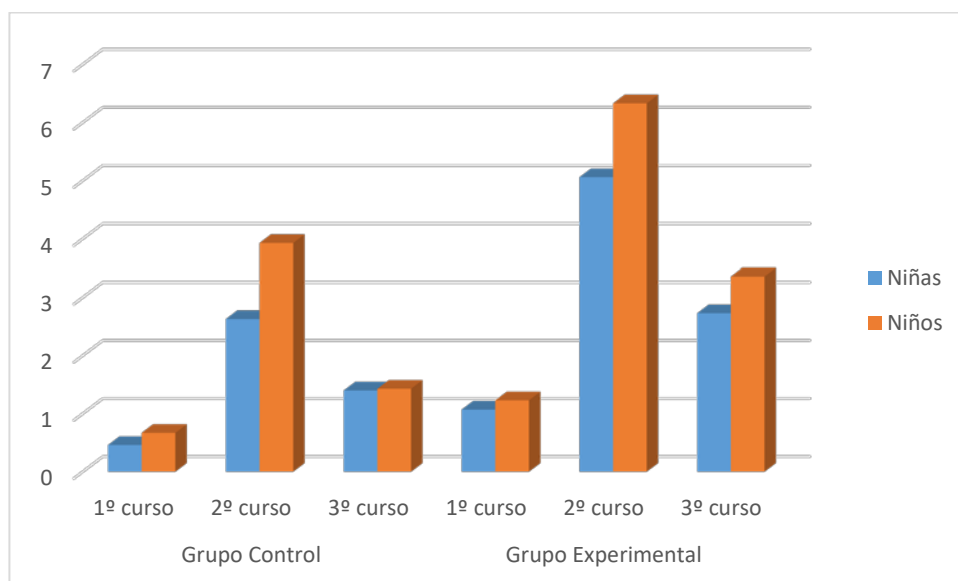


Figura 9. Medias de los incrementos en las medidas de RM por sexo y curso de infantil de los grupos control y experimental.

Los resultados de las puntuaciones de matemáticas en los grupos control y experimental correspondientes a los tres cursos de preescolar en el pre y en el postest se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. *Medias (desviaciones típicas) y tamaño del efecto (d de Cohen) de las medidas en la fase pretest, postest y las diferencias post-pretest (incrementos) de los grupos control y experimental de los tres cursos de Educación Infantil en matemáticas.*

Test de matemáticas	Grupo control			Grupo experimental			d
	Pretest	Postest	Incremento	Pretest	Postest	Incremento	
1° curso	101.03 (16.85)	100.55 (17.04)	-0.48 (11.9)	104.76 (16.98)	104.55 (15.09)	-0.21 (10.93)	0.02
2° curso	103.9 (15.98)	104.17 (15.20)	0.27 (9.70)	100.17 (13.29)	104.37 (14.14)	4.20 (11.80)	0.36
3° curso	104.03 (14.24)	105.83 (14.164)	1.80 (11.78)	106.77 (16.29)	108.70 (16.05)	1.93 (9.56)	0.01

* $p < .05$ ** $p < .01$

Con el objetivo de evaluar la mejora en el rendimiento de la competencia matemática como resultado del entrenamiento, se realizó el mismo procedimiento que el utilizado para medir la mejora en RM utilizando un ANOVA de medidas repetidas, con tres factores inter-sujeto: el grupo (control, experimental), el año de preescolar (primero,

segundo, tercero) y el sexo (niño, niña), y como factor intra-sujeto, el tiempo (competencia matemática en el pretest y competencia matemática en el postest). Los resultados no arrojaron ningún efecto, lo que se traduce en que ningún grupo obtuvo mejoras en matemáticas en el postest con respecto al pretest.

Finalmente, para analizar la efectividad del programa de entrenamiento, en relación con la capacidad de RM inicial, los tres grupos experimentales fueron divididos de acuerdo con su rendimiento observado en el pretest usando la mediana como punto de corte. Para el primer curso de preescolar, los niños/as con puntuaciones de menos de 5 puntos fueron clasificados con baja capacidad y aquellos/as con puntuaron más de 5 puntos se consideró que tenían una alta capacidad espacial. Los niños/as con una puntuación de 5 puntos fueron aleatoriamente distribuidos entre los dos grupos. De esta forma, 13 y 14 niños/as fueron clasificados con baja y alta capacidad espacial, respectivamente. Se siguió el mismo procedimiento para los demás cursos; la muestra fue dividida por la mediana, siendo el punto de corte de 11 y 17 puntos en segundo y tercer curso, respectivamente. Los/as alumnos/as que puntuaron por debajo de estos valores fueron etiquetados con baja capacidad y los que lo superaban, con alta capacidad. Aquellos/as que obtuvieron estos valores en el pretest fueron aleatoriamente distribuidos en ambos grupos. Así, los grupos de baja capacidad tuvieron un total de 15 y 14 participantes, y los grupos de alta capacidad, 15 y 15 participantes, en segundo y tercer curso de infantil, respectivamente. Se observó una diferencia en el incremento del rendimiento entre los grupos de alta y baja capacidad de RM inicial únicamente en preescolares de segundo curso, $t(28) = 3.594$, $p = .001$, y de tercer curso, $t(27) = 5.002$, $p = .001$.

1.5. Discusión

El principal objetivo del Estudio 1 fue evaluar la efectividad de un entrenamiento en RM, a través de una tarea diferente de la usada en el programa de entrenamiento en preescolares de 3 a 6 años de edad. En contra de lo esperado en la primera hipótesis con respecto a los preescolares más jóvenes, los resultados sugieren que no es posible aseverar la efectividad del entrenamiento en niños/as de 3 a 4 años de edad, aunque sí se observa una tendencia a la significación. En este sentido, el entrenamiento puede haber sido insuficiente o no se ajustaba al nivel de este grupo de edad en relación con los grados de rotación que pueden ser aprendidos en estas edades. Es posible que un entrenamiento más específico o intensivo pudiera haber mejorado el rendimiento en la tarea de rotación de imágenes abreviada. Sin embargo, también es posible que esta tarea no haya tenido un índice alto de discriminación, puesto que únicamente evaluaba dos disparidades angulares (45 y 180 grados). Es probable que algunas/os niñas/os hayan adquirido la habilidad de rotar mentalmente imágenes mientras otros no muestran signos de RM. De esta manera, gracias a este entrenamiento los/as niños/as que estaban empezando a realizar rotaciones sencillas han podido ver impulsado este aprendizaje con la práctica intensiva. También puede suponerse que aquellos/as que no mostraran ningún signo de RM, empezaran a rotar las imágenes cuya discrepancia angular con la imagen de referencia fuera menor.

Sin embargo, nuestra hipótesis sí se cumplió en lo que respecta a los/as participantes de 4 a 6 años de edad, puesto que los resultados reflejan mejoras evidentes en el grupo experimental en comparación con el grupo control. El tamaño de efecto encontrado en segundo curso de preescolar indica que el entrenamiento ha sido más efectivo en esta edad en comparación con el grupo más mayor. Este estudio demuestra que es posible mejorar la capacidad de RM en preescolares de 4 a 6 años de edad a través

de un entrenamiento adaptado a este grupo, en contraposición a los estudios que no muestran que a estas edades pueda ser efectivo un entrenamiento (Frick et al., 2013a; Marmor, 1977).

En relación con la competencia matemática, la variedad de resultados de estudios previos no ha permitido operativizar la hipótesis en una única dirección. Los resultados arrojados por este estudio sugieren que un entrenamiento en RM de tres días de duración no mejora el rendimiento de la competencia matemática en niños/as de 3 a 6 años edad. Sin embargo, otros estudios han mostrado cómo un entrenamiento en RM puede mejorar la capacidad matemática de estudiantes de entre 6 y 8 años de edad, en concreto en problemas aritméticos, en tareas donde falta un elemento en operaciones de adición ($4 + _ = 11$) o sustracción ($_ - 3 = 7$) (Cheng y Mix, 2014). Los resultados del presente estudio son conservadores en cuanto a la capacidad que tiene un entrenamiento breve en habilidades espaciales de mejorar las capacidades matemáticas. Sin embargo, esto no significa que un entrenamiento en capacidades espaciales con un mayor número de sesiones aplicadas en un periodo de tiempo mayor y/o en otras edades pueda mejorar determinados procesos que tengan un efecto en el rendimiento matemático o incluso en otras disciplinas como las ingenierías (Sorby, Veurink y Streiner, 2018).

Con respecto a las diferencias de sexo, y dado que nuestra hipótesis inicial no apuntaba a una única dirección debido a la poca consistencia en la literatura previa, únicamente se señala que los datos no reflejan un rendimiento diferencial entre el grupo de niños y el grupo de niñas, ni antes ni después del entrenamiento, en ninguno de los tres cursos. Considerando que el entrenamiento podría modificar estas diferencias dependiendo del grupo, niños y niñas fueron comparados de forma independiente en cada grupo, como anteriores estudios han hecho (Sanz de Acedo Lizarraga y García Ganuza,

2003). Nuestros resultados van en línea con estudios previos que no muestran diferencias de sexo en edad preescolar (Estes, 1998; Frick et al., 2009; Platt y Cohen, 1981). Parece que estos resultados irían en la línea de que las diferencias de sexo emergen en etapas posteriores del desarrollo (Frick et al., 2009, 2013a).

El último objetivo del Estudio 1 fue analizar la efectividad diferencial del entrenamiento en función de la capacidad espacial de RM inicial medida en el pretest. Acorde con la hipótesis de partida, los resultados muestran que, tras un entrenamiento en RM, los/as preescolares que tuvieron menores puntuaciones de partida en la tarea de evaluación de procesos de RM exhibieron una mejora significativamente superior con respecto a las/os preescolares que en el pretest tuvieron un rendimiento catalogado como alta capacidad, tanto en segundo curso como en tercer curso de Educación Infantil. Este resultado apoya la idea de que los menos capaces visoespacialmente pueden beneficiarse en mayor medida de una mayor exposición a contenido de tipo viso-espacial, en línea con resultados previos (Cherney et al., 2014; David, 2012; Terlecki et al., 2008). Sin embargo, y en contra de lo esperado, este efecto no fue observado en los más jóvenes, cuya mejora en los menos capaces no se diferenciaba de los que más capacidad de RM mostraron en el pretest, después del programa de entrenamiento. Es posible que la tarea de rotación de imágenes abreviada no detecte la diferencia en la mejora de preescolares con alta y baja habilidad de RM, ya que, como se ha comentado previamente, este test estaba compuesto por 8 ítems que evaluaban 2 disparidades angulares, 45° y 180° , lo que podría resultar o muy fácil o muy difícil, no permitiendo discriminar la mejora entre ambos grupos en otras disparidades angulares.

Es importante considerar el nivel inicial de los estudiantes cuando comienzan un entrenamiento, puesto que aquellos con un nivel menor tienen un mayor rango de mejora,

como varios estudios han mostrado (Cherney et al., 2014; David, 2012). La implicación de estos resultados para el rendimiento académico y la educación es relevante, dado la relación establecida entre la capacidad de RM y el éxito en las disciplinas STEM (Newcombe y Frick, 2010; Wai et al., 2009). De esta forma el entrenamiento puede ser un recurso útil que es relativamente fácil de implementar en los colegios y, además, puede ser usado para reducir la brecha entre los/as estudiantes con pobres habilidades espaciales y aquellos que muestran una mayor habilidad en niños/as a partir de 4 años de edad.

2. Estudio 2: Análisis de la configuración angular de un programa de entrenamiento en Rotación Mental en Educación Infantil: efecto de la edad y el sexo.

2.1. Introducción

El meta-análisis de Uttal et al. (2013a) confirmó que las habilidades espaciales eran susceptibles de mejora a través de su práctica, pero además este estudio reveló la falta de estudios con una metodología similar que permitiera la comparación directa en diferentes edades. Los trabajos que se han llevado a cabo con población preescolar e involucran un entrenamiento en RM (Ehrlich et al., 2006; Frick et al., 2013a; Marmor, 1977) han utilizado tareas de entrenamiento muy variadas con diferentes demandas cognitivas, número de ensayos y disparidades angulares. Frick et al. (2013a) entrenaron a participantes de 4 y 5 años en una tarea en la que se presentaban una figura (simétrica o asimétrica) en la parte superior de un tablero y un hueco en la parte inferior en el que podría o no encajarse esta figura. Se administró una única sesión de entrenamiento con 18 ensayos, de los cuales, los tres primeros fueron figuras que encajaban en el hueco sin ninguna rotación, es decir, el movimiento requerido era solo de translación. Posteriormente, 5 ensayos se presentaron por cada una de las tres disparidades angulares entrenadas (45, 90 y 180). De estos 5 ensayos por ángulo, dos de ellos no necesitaban la RM, bien porque era una figura con forma simétrica la que debía encajar (por lo que siempre encajaba) o bien porque la figura y el hueco no se correspondían (por ejemplo, una figura triangular y un hueco en forma de la letra b). Estos ensayos se realizaron para aumentar la motivación de los/as niños/as al ser muy fáciles de resolver y no requerir de procesos de RM. Por todo ello, finalmente este entrenamiento contó con 9 ensayos reales

de 3 disparidades angulares en los que se requería realizar rotaciones mentales. El estudio de Ehrlich et al. (2006) mostró un efecto de entrenamiento en participantes de 5 años de edad en una tarea que requería identificar la forma, de entre cuatro posibilidades, que fuera la unión de dos formas presentadas. En este caso el entrenamiento estuvo compuesto por una única sesión de 12 ensayos, donde solo 6 de ellos incluían una rotación de 45 grados para unir ambas formas. En los otros 6 ensayos únicamente era necesario realizar movimientos de translación. El último estudio que se contempla como entrenamiento en RM en preescolares fue el realizado por Marmor (1977). La tarea requería al participante decidir si dos figuras (una de ellas era una rotación o una imagen en espejo rotada de la imagen presentada a la izquierda) eran iguales o diferentes presionando una palanca situada en la izquierda o a la derecha, respectivamente. El entrenamiento tuvo un total de 7 ensayos y no se especificaba qué rotaciones angulares tenían estos. En el primero de ellos, después de realizar el juicio de igualdad, el experimentador rotó manualmente la figura rotada hasta alinearla con la otra figura. En los siguientes tres ensayos, el/la participante pudo rotar manualmente la figura antes de decidir si ambas eran iguales o diferentes, y en los últimos tres ensayos, se requería rotar mentalmente la figura sin realizar rotaciones manuales antes o después. Como se puede comprobar, los tres estudios descritos muestran menos de 10 ensayos de entrenamiento que requieran al participante rotaciones mentales antes de responder, con pocas disparidades angulares entrenadas. Por ello, estudiar el rendimiento de niños/as de tres cursos diferentes, comprendidos dentro de la misma etapa escolar, con la misma metodología permite contrastar sus ejecuciones partiendo de las mismas tareas y aseverar diferencias entre ellos asegurándonos que tales diferencias no son debidas a la naturaleza de las distintas tareas empleadas para medir el mismo constructo, la RM, lo que sí puede suceder en el conjunto de estudios previos. De esta forma, el mismo entrenamiento administrado es recomendable a la hora de

discriminar el rendimiento de cada etapa en función de la disparidad angular, así como seleccionar aquellos ángulos que han de entrenarse dependiendo de la edad para conseguir un entrenamiento más específico que persiga potenciar el efecto de este.

Con respecto a las diferencias evolutivas encontradas en estudios que evalúan la RM, varios han mostrado un incremento de la capacidad de RM cuando se compara el rendimiento entre preescolares (generalmente entre 4 y 6 años de edad) y otros niños/as más mayores, e incluso adultos (Dean y Harvey, 1979; Frick et al., 2009; Kosslyn et al., 1990; Platt y Cohen, 1981). Sin embargo, hay pocos estudios que analizan las diferencias entre preescolares de diferentes edades, los cuales apuntan hacia un gran incremento de la capacidad de rotar mentalmente a lo largo de la etapa preescolar. Concretamente, los resultados de Frick et al. (2013b) mostraron una mejora significativa en el porcentaje de aciertos en una tarea de RM entre los 3 y los 5 años de edad. En este estudio, participantes con edades comprendidas entre 3, 4 y 5 años fueron evaluados con 21 ensayos donde tuvieron que rotar mentalmente dos figuras (una de ellas era una rotación, mientras que la otra era una figura en espejo rotada) y elegir la figura, en posición vertical, que se ajustaba a un molde de la misma forma que presentaba la figura. El porcentaje de respuestas correctas se incrementó de 54% en 3 años de edad hasta un 83% en 5 años. Además, las/os niñas/os de 3 años, en algunos casos, no realizaron correctamente algunos movimientos que solo requerían translación y no rotación. Varios estudios sugieren un aumento progresivo de la precisión de 54%, 64%, 66% y 74% de ensayos correctos en 48, 56, 60 y 66 meses de edad, respectivamente (Estes, 1998; Frick et al., 2013b).

Además, se asume un decremento de la tasa de acierto a medida que aumenta la disparidad angular, como un buen indicador de que se están llevando a cabo procesos de RM (Estes, 1998; Shepard y Cooper, 1982). Al comparar estudios que evalúan la

capacidad de RM en distintas edades, se evidencia que tanto los errores como el tiempo de reacción disminuyen a medida que incrementa la edad (Frick et al., 2009; Kosslyn et al., 1990; Marmor, 1975). En este sentido, Platt y Cohen (1981) entrenaron a niños/as de 5 y 8 años edad en una tarea que involucraba varias disparidades angulares: 0, 30, 60, 90, 120 y 150. Los resultados mostraron que los/as niños/as entrenados podían realizar rotaciones mentales, aunque sus tiempos de reacción eran significativamente mayores que los referidos a niños/as de 8 años. En cuanto al número de errores, tuvo un importante incremento entre 60 y 90 grados para los/as estudiantes de 5 años y entre 120 y 150 para los estudiantes de 8 años de edad.

2.2 Objetivos específicos e hipótesis

- Analizar las diferencias en la ejecución del programa de entrenamiento en RM en función del curso de Educación Infantil.
- Examinar el rendimiento en cada disparidad angular en función del curso de Educación Infantil.
- Analizar las diferencias entre grupos de sexo en el programa de entrenamiento en función de la disparidad angular.

Hipótesis del estudio 2:

- Se espera un rendimiento superior de las/os niñas/os en los cursos superiores en comparación con los preescolares de los cursos inferiores en el programa de entrenamiento. De esta forma el rendimiento aumentará a medida que aumente el año de infantil en la tasa total de aciertos.

- El rendimiento se diferenciará en función del curso de infantil a medida que las disparidades angulares aumenten, de forma que, a mayor disparidad angular, mayor diferencia en la tasa de acierto de cada grupo de edad con respecto a los otros.
- Se pueden o no esperar diferencias entre grupos de sexo en el programa de entrenamiento.

2.3 Método

Participantes

Este estudio se llevó a cabo con los/as mismos participantes del grupo experimental del Estudio 1, a quienes se les administró el entrenamiento en RM. Por lo tanto, este estudio tuvo un total de 89 participantes. La información relativa a la distribución por grupos de sexo, así como la media de edad de cada grupo puede ser consultada en la sección 1.2 del Estudio 1.

Dado que los materiales usados y el procedimiento realizado son idénticos al Estudio 1, se remite al lector/a de la presente tesis al apartado del método de la sección 1.2 para la consulta del Método del Estudio 2.

2.4 Resultados

Con el objetivo de evaluar el programa de entrenamiento en RM en función de los grupos de edad y del sexo, se realizó un análisis de la varianza múltiple (ANOVA) de medidas repetidas, con el año de preescolar (primer, segundo y tercero) y el sexo (niños y niñas) como variables inter-sujeto, y la disparidad angular (0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° y 180°) como factor intra-sujeto. Los resultados mostraron un efecto principal de la disparidad angular, $F(6,498) = 849.934$, $p = .001$, $\eta^2_p = .911$, y una interacción significativa entre la disparidad angular y el año de preescolar, $F(12,498) = 9.812$, $p = .001$, $\eta^2_p = .191$. Entre los efectos inter-sujeto, se pudo observar un efecto principal del año de infantil $F(2,83) = 31.190$, $p = .001$, $\eta^2_p = .429$. Las pruebas post-hoc de Bonferroni mostraron que el grupo de primero de infantil tuvo un peor rendimiento que el segundo curso y este a su vez, junto con el primer curso, presentaron un rendimiento inferior en comparación con el tercer curso de preescolar. Estas diferencias en rendimiento entre todos los cursos en el programa de entrenamiento fueron estadísticamente significativas, $p \leq .001$. No se observaron otros efectos.

Dados los efectos encontrados, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias entre los tres cursos en función de la disparidad angular, tomando en cuenta el sexo. De esta manera, el año de preescolar (primero, segundo y tercero) y el sexo (niños y niñas) fueron las variables independientes y la proporción de ensayos correctos en cada una de las disparidades angulares (0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° y 180°) fue la variable dependiente. Se observó una diferencia significativa entre las puntuaciones de los tres cursos en 30° , $F(2,83) = 4.720$, $p = .011$, $\eta^2_p = .102$; en 60° , $F(2,83) = 8.166$, $p = .001$, $\eta^2_p = .164$; en 90° , $F(2,83) = 30.382$, $p = .001$, $\eta^2_p = .423$; en 120° , $F(2,83) = 24.262$, $p = .001$, $\eta^2_p = .369$; en 150° , $F(2,83) = 14.087$, $p = .001$, $\eta^2_p =$

.253; y en 180°, $F(2,83) = 8.887, p = .001, \eta^2_p = .176$. También se encontró un efecto del sexo en la disparidad angular de 90°, $F(1,83) = 3.985, p = .049, \eta^2_p = .046$. Concretamente, en esta disparidad angular, los niños mostraron un rendimiento ligeramente superior ($M = 88.37\%, SD = 11.66$) a las niñas ($M = 84.60\%, SD = 16.77$). La Tabla 4 muestra las diferencias que se dieron en cada disparidad angular entre los tres cursos a partir de los análisis post-hoc de Bonferroni.

Tabla 4. Comparaciones por parejas de las diferencias de medias del rendimiento en el programa de entrenamiento por cada curso en función de la disparidad angular (porcentaje de aciertos).

Grados	Curso (I) (% aciertos)	Curso (J)	Diferencia de medias (I-J)	Grados	Curso (I) (% aciertos)	Curso (J)	Diferencia de medias (I-J)
30	1 (84%)	2	-.102*	120	1 (70%)	2	-.139**
		3	-.051			3	-.251**
	2 (94%)	1	.102*		2 (84%)	1	.139**
		3	.051			3	-.112*
	3 (88%)	1	.051		3 (95%)	1	.251**
		2	-.051			2	.112*
60	1 (81%)	2	-.047	150	1 (70%)	2	.088
		3	-.136**			3	-.186*
	2 (86%)	1	.047		2 (61%)	1	-.088
		3	-.088*			3	-.275**
	3 (94%)	1	.136**		3 (88%)	1	.186*
		2	.088*			2	.275**
90	1 (74%)	2	-.175**	180	1 (60%)	2	.043
		3	-.212**			3	-.231*
	2 (91%)	1	.175**		2 (56%)	1	-.043
		3	-.037			3	-.275**
	3 (94%)	1	.212**		3 (83%)	1	.231*
		2	.037			2	.275**

* $p < .05$ ** $p < .01$

La Figura 10 muestra la proporción de respuestas correctas por cada disparidad angular en los tres cursos de Educación Infantil.

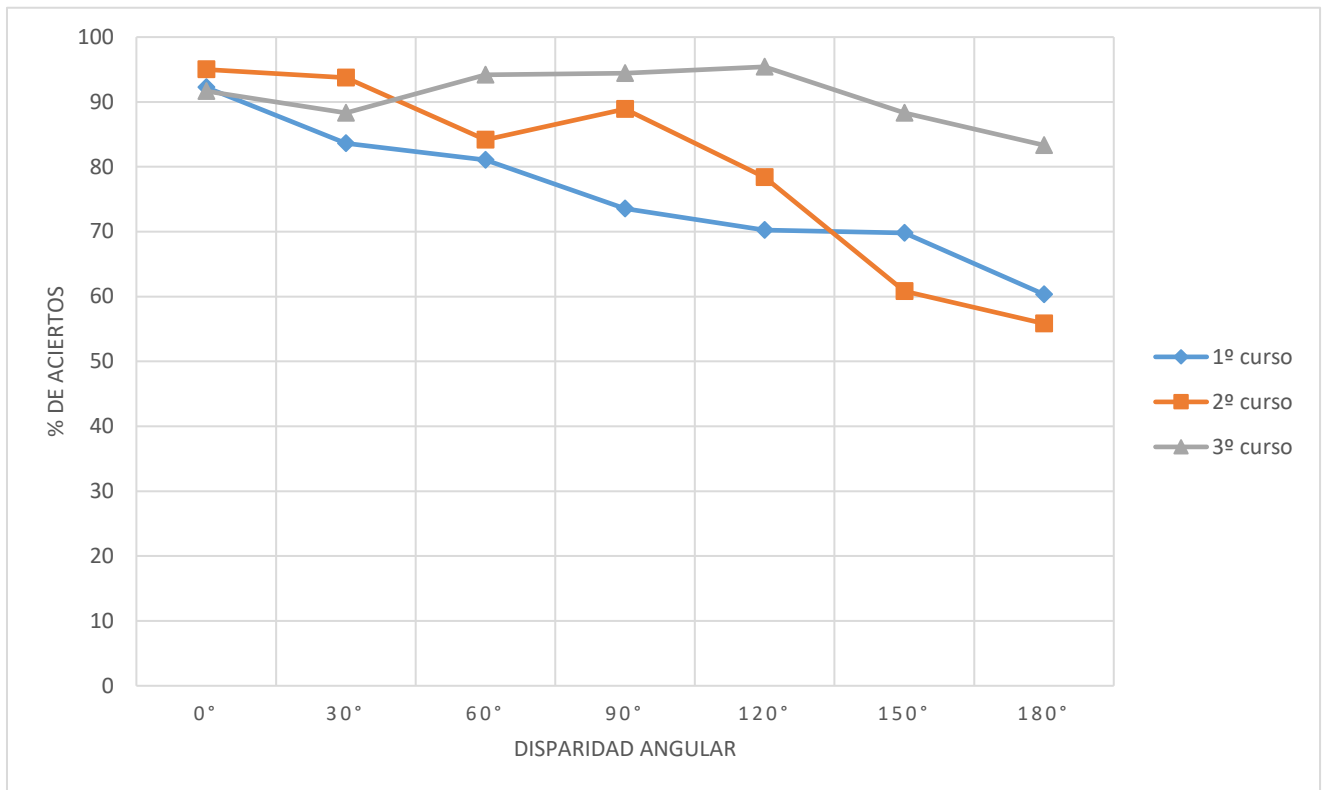


Figura 10. Porcentaje de aciertos en cada una de las disparidades angulares de primer, segundo y tercer curso de Educación Infantil.

2.5 Discusión

Analizar el rendimiento en el programa de entrenamiento de RM en estudiantes de primer, segundo y tercer curso de Segundo Ciclo de Educación Infantil fue el principal objetivo del Estudio 2; además, se analizaron las posibles diferencias en cuanto a grupos de sexo en la ejecución del entrenamiento.

Los resultados indican que el rendimiento en el programa de entrenamiento fue diferente en los tres cursos de preescolar. Como se esperaba en la primera hipótesis de este estudio, la puntuación media del entrenamiento en conjunto era progresivamente mejor a medida que aumentaba la edad de los/as preescolares, con un 76%, 80% y 91% en primero, segundo y tercero de infantil. El análisis del porcentaje de respuestas correctas en función de la disparidad angular indica que los/as preescolares mostraron un decremento en la precisión de la respuesta al aumentar el ángulo de rotación. En la misma línea que el Estudio 1, este patrón es un indicador de la existencia de procesos de RM tanto en adultos como en niñas/os (Estes, 1998; Shepard y Cooper, 1982). Específicamente, se observó este patrón de forma evidente en primer curso de infantil, desde un 83% de éxito en la disparidad angular menor, 30°, hasta llegar al 60% de respuestas correctas en la disparidad angular considerada más difícil, 180°. Estos resultados parecen reforzar la idea de que en esta edad los/as niños/as pueden realizar rotaciones mentales, aunque con disparidades angulares mayores de 60° los preescolares muestran tasas de error elevadas. Respecto a segundo de infantil, se evidenció una disminución del rendimiento de 94% en 30° hasta 56% en 180° grados, además, el porcentaje de respuestas correctas hasta los 90 grados fue bastante bueno con una media de 90% de aciertos. Sin embargo, se observó una disminución del rendimiento a partir de los 120° con una caída mucho más pronunciada en 150°. Por último, en tercero de infantil no pudo observarse una disminución del rendimiento en función de la disparidad, puesto que el rendimiento tuvo prácticamente un efecto techo, con un alto porcentaje de respuestas acertadas en casi todas las disparidades excepto en las consideradas más difíciles de 150 y 180 grados, en donde sí se observó un claro descenso del rendimiento. Se sugiere que, aunque los resultados del Estudio 1 apuntan que el programa de entrenamiento resultó efectivo mejorando las puntuaciones del posttest en este grupo de

edad, el análisis pormenorizado del programa de entrenamiento mostró que las disparidades angulares menores resultaron muy fáciles a los/as preescolares de 5 y 6 años de edad.

Los resultados de la tasa de aciertos, en función de la disparidad angular en cada año de infantil, confirman la segunda hipótesis de este estudio, dado que la precisión de la respuesta se fue diferenciando al aumentar la disparidad angular en cada curso, de forma que los niños más mayores tenían estadísticamente mayores tasas de aciertos en los ángulos más difíciles en comparación con los más jóvenes. Concretamente, al comparar el rendimiento en cada disparidad angular en función del año de infantil se muestra que, en 0 grados, no hay diferencia entre los tres cursos, sugiriendo que todos/as los/as niños/as pudieron realizar movimientos que requerían únicamente translaciones. Los preescolares más jóvenes y más mayores se diferenciaron en su rendimiento en todas las disparidades angulares, con una mayor tasa de acierto estadísticamente significativa de los niños/as de tercer curso. Sin embargo, el rendimiento entre primer y segundo curso se diferenció en 90 y 120 grados, mientras que, con las disparidades angulares más difíciles, el rendimiento volvió a asemejarse. Con respecto a segundo y tercero de infantil, fue en la disparidad angular de 120° cuando ambos cursos tuvieron un rendimiento diferencial que se mantuvo en las demás disparidades angulares de 150 y 180 grados. Los resultados sugieren que la disparidad angular más discriminativa fue 120, puesto que el porcentaje de respuestas correctas de los tres cursos fue estadísticamente diferente entre todos ellos. En resumen, podemos argumentar que el programa de entrenamiento en RM presentado en esta tesis indica que los procesos de transformación mental que permiten rotar mentalmente representaciones de estímulos están en pleno desarrollo, mostrando que, a medida que los/as preescolares crecen, pueden realizar rotaciones mentales cada vez más complejas. De esta forma, considerando el rendimiento en cada una de las

disparidades angulares, el presente programa parece ser adecuado para potenciar la capacidad de RM en niñas/os de primer y segundo curso, pero parece que las disparidades angulares entrenadas son muy fáciles para el grupo de mayor edad. Esta asunción indica que, para potenciar la mejora de la RM en niños/as de 5 a 6 años, un programa centrado en entrenar en mayor medida disparidades angulares más difíciles (por ejemplo 150 y 180 grados) podría mostrar mayores efectos que los encontrados en el Estudio 1.

Los resultados de primero de infantil de este estudio apoyan la idea de que, a estas edades, las niñas/os pueden tener un rendimiento bastante más elevado que el esperado por azar, de hecho, mucho mayor que la media encontrada en otros estudios que establecieron una ausencia de signos de RM, con un porcentaje de respuestas no superior al esperado por azar un 54% en 3 años (Frick et al., 2013b) y en 4 años (Frick et al., 2013a). Hay que apuntar que el rendimiento fue similar a prescolares de 5 años y 6 meses, según el estudio de Estes (1998). Considerando otros estudios (Estes, 1998; Frick et al., 2013a) que evaluaron la RM en prescolares con un porcentaje de respuestas correctas de un 54%, 60%, 66% y 74% en niños/as de 4, 4 años y medio, 5 y 5 años y medio, respectivamente, nuestros resultados parecen mostrar una competencia bastante superior al tener un 76%, 80% y 91% en niños/as de 3, 4 y 5 años de edad, respectivamente. La diferencia puede ser explicada por las características de la tarea. El presente entrenamiento tuvo una dificultad incremental tanto dentro de la misma sesión como entre sesiones, lo que pudo favorecer que aquellos/as que no rotaban, empezaran a hacerlo, así como que potenciar la RM en disparidades angulares más difíciles en los/as niños/as que ya tuvieran inicialmente cierta competencia.

En cuanto a las diferencias de sexo, dado que la hipótesis de trabajo no establecía dirección en cuanto a que se podían encontrar o no estas diferencias, se ha de apuntar que

el Estudio 2 apoya los resultados del Estudio 1, puesto que los niños y las niñas no se diferenciaban en su rendimiento en el programa de entrenamiento en ninguna de las disparidades angulares evaluadas, excepto en 90° , donde el rendimiento de los chicos era superior en comparación con el rendimiento de las chicas. De nuevo, estos resultados sugieren que las diferencias encontradas en etapas posteriores del desarrollo pueden ser consecuencia de factores independientes al sexo dado que en estas etapas este y otros estudios no han encontrado diferencias de sexo en RM en preescolares (Estes, 1998; Frick et al., 2009; Platt y Cohen, 1981).

CAPÍTULO III. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

1. Discusión General

El objetivo general de la presente tesis ha sido investigar si la capacidad de RM es susceptible de mejora a través de un programa de entrenamiento aplicado a un grupo de niñas/os con edades comprendidas entre los 3 y 6 años de edad, periodo que se corresponde con el Segundo Ciclo de Educación Infantil. Los resultados relativos al Estudio 1 permiten afirmar, como se establecía en la primera hipótesis, que es posible entrenar a los/as preescolares de segundo y tercer curso, mientras que los niños/as de primer curso, con edades de 3 a 4 años, que realizaron el entrenamiento tuvieron una mejora marginal sin ser estadísticamente significativa. Estos resultados contrastan con anteriores investigaciones que no observaron un efecto del entrenamiento en niñas/os con edades de 4 (Frick et al., 2013a) o incluso en 5 años (Marmor, 1977). La presente tesis no solo establece que los preescolares pueden ser entrenados para mejorar sus capacidades de RM, además, los datos del Estudio 2 permiten aseverar que incluso los/as más pequeños/as, a nivel grupal, pudieron realizar rotaciones mentales de forma exitosa dado el patrón de rendimiento observado al aumentar la disparidad angular, índice bien aceptado de existencia de procesos de RM (Estes, 1998; Shepard y Cooper, 1982). Este hallazgo contrasta con varios estudios anteriores que no han encontrado este patrón que indicarían indicios de procesos de RM en niños/as tan pequeños/as (Krüger, 2018), con rendimientos que no superaron el esperado por azar (Frick et al, 2013b; Hawes et al., 2015). Sin embargo, tanto este trabajo como el realizado por Krüger et al. (2014), sí muestran que los/as niños/as de 3 años de edad realizan procesos de RM, hecho que acortaría la distancia en términos de rendimiento entre la competencia observada en tareas de fijación de la mirada de niños/as menores de 3 años (Frick y Möhring, 2013; Frick y Wang, 2014) y la mostrada en tareas en las que se debe hacer una predicción activa de la rotación como la realizada en este entrenamiento.

Varias características de la tarea utilizada para entrenar a los participantes pueden haber sido importantes para ayudar a los preescolares a realizar rotaciones mentales, lo que puede explicar las diferencias con los trabajos que no han encontrado tales efectos. Como punto decisivo, la dificultad incremental tanto inter como intrasesión, con ensayos que pivotaban entre una mayor y menor dificultad en cada bloque de cada sesión, ha podido aumentar la confianza de los preescolares y motivación, y además de empezar siempre con disparidades angulares sencillas e ir incrementando la dificultad, volviendo a una rotación sencilla en el segundo bloque. Este patrón de dificultad pudo impulsar a los/as preescolares que no disponían de esa capacidad en el momento de empezar el entrenamiento para que comenzasen a realizar rotaciones, así como potenciar estos procesos en las disparidades más complejas en aquellos/as que ya realizaban rotaciones más simples. Desde la revisión realizada no tenemos constancia de ningún entrenamiento en niños/as con estas características. Además, y en línea con Levine et al. (2018), el hecho de que los niños/as tuvieran que ajustar el fantasma correcto manualmente al molde ha podido contribuir a la mejora de los procesos de RM al involucrar procesos motores de rotación y posterior ajuste. Estas acciones quizá son más necesarias en niños/as en edad preescolar, puesto que parece que hay una mayor influencia de los procesos motores en etapas más tempranas del desarrollo como la edad preescolar o los primeros años de primaria que en etapas más tardías como en educación secundaria (Frick et al., 2009). Esta idea apoyaría el enfoque de la cognición corpórea ya que el acto motor de rotación y ajuste sería una manera de explorar de forma activa la forma y sus posibilidades de rotación lo que se traduce en una interacción sensoriomotora que impactaría en su funcionamiento cognitivo facilitando posteriores rotaciones mentales, suponiendo que las representaciones de imágenes mentales se basen en procesos sensoriomotores tempranos tal y como apuntan algunas investigaciones (Amorim et al., 2006; Krüger y Ebersbach,

2017). Por último, el total de ensayos, 62 (distribuido en tres días), fue muy superior al estudio de Frick et al. (2013a), Ehrlich et al. (2006) y Marmor (1977) puesto que contaban con 18, 12 y 7 ensayos de entrenamiento, respectivamente, aplicados en una sesión individual. Quizá los preescolares necesitan un mayor número de ensayos de entrenamiento para mostrar una mejora.

Hay que apuntar que no encontrar un efecto de entrenamiento en las/os niñas/os de 3 años de edad puede ser debido a la tarea de evaluación, la tarea de rotación de imágenes abreviada, utilizada para medir el efecto de entrenamiento. Esta tarea únicamente evaluaba 2 disparidades angulares, 45 y 180 grados de rotación, lo que pudo contribuir a no detectar la mejora en otras disparidades angulares que sí fueron entrenadas. Además, los ensayos tenían únicamente dos opciones de respuesta con el riesgo de que el rendimiento pudiera ser debido al azar. Otras explicaciones tienen que contemplar la posibilidad de que a esta edad no se puedan entrenar los procesos de RM o la necesidad de implementar sesiones de entrenamiento de mayor duración o con una configuración angular diferente.

En cuanto a la ejecución del programa de entrenamiento según la edad, como se esperaba en la primera hipótesis del Estudio 2, el rendimiento aumentó significativamente a medida que aumentaba la edad de los preescolares, como han mostrado otros trabajos previos (Frick et al., 2009; Kosslyn et al., 1990; Marmor, 1975) evidenciando que la capacidad de RM está en pleno desarrollo a lo largo del ciclo de Educación Infantil. Según los resultados de los estudios incluidos en la presente tesis, el entrenamiento diseñado tuvo un mayor efecto en los preescolares de 4 a 5 años de edad, con un tamaño del efecto de $d = 0.77$. Sin embargo, aunque el efecto del entrenamiento para el grupo de más edad fue igualmente significativo ($d = 0.61$), en el análisis del programa del entrenamiento,

este grupo mostró poco margen de mejora en la mayoría de las disparidades angulares entrenadas. Como se ha comentado en cuanto a los resultados de primer curso de infantil, aunque el efecto del entrenamiento no fue significativo, el análisis del rendimiento en el entrenamiento revela una ejecución bastante buena con margen de mejora, lo que apuntaría que el entrenamiento administrado pudo haber sido efectivo en esta edad pese a que no se reflejó en la tarea de evaluación que valora la mejora. El análisis pormenorizado del rendimiento en cada disparidad angular en el programa de entrenamiento permite considerar las disparidades angulares que un entrenamiento en RM debería tener en función de cada año de infantil, enfocándose en mayor medida en las rotaciones más sencillas tales como 60 o 90 grados para primero de infantil, y las difíciles, como 150 o 180 podrían ser más apropiadas para tercero de infantil. De esta forma surge la idea de que un entrenamiento en RM puede ser adaptado a cada grupo de edad para obtener el máximo beneficio con una práctica breve de 3 días de duración con sesiones no mayores a 15 o 20 minutos cada una. La posibilidad de implementar un entrenamiento adaptado a cada grupo de edad, que ha demostrado su eficacia en un tiempo breve en las clases de Educación Infantil, es un recurso que puede ser muy útil a la hora de potenciar estas capacidades en etapas tan tempranas. De hecho, Uttal et al. (2013a) ya plantearon la posibilidad de un periodo crítico en el que un entrenamiento en habilidades espaciales pudiera tener un mayor impacto, y dado las diferencias en el rendimiento observadas en el programa de entrenamiento en cada curso, es necesario investigar detalladamente si la etapa preescolar pudiera ser una fase idónea para una intervención de estas características, en comparación a otras edades.

En su metodología, la presente tesis ha abordado la realización del entrenamiento contemplando tres puntos que ayudan a comprender los procesos de transformación mental que tienen lugar en un entrenamiento en RM. El primero de ellos tiene que ver

con la inclusión de un grupo control formado de forma aleatoria entre las clases de cada curso, de forma que la mejora de los procesos de RM sólo puede ser debida a la manipulación experimental, el entrenamiento administrado al grupo experimental. Se ha de señalar que no todos los estudios que han realizado un entrenamiento han dispuesto de un grupo control (Rafi, Samsudin y Said, 2008; Verner, 2004). No incluir un grupo control es una limitación importante en los estudios de entrenamiento debido a la dificultad de distinguir si la mejora es debida el efecto test-retest o al efecto del entrenamiento (Uttal et al., 2013a). Con respecto al efecto test-retest, es probable que la mejora contemplada en el grupo control en el posttest con respecto a su ejecución en el pretest se deba a la administración de la misma versión de la tarea de evaluación. La mejora del grupo control es un resultado habitual en entrenamientos de tipo espacial (Uttal et al., 2013a, 2013b), puesto que simplemente al exponer a las/os niñas/os a tests espaciales ya produce una mejora en sus habilidades espaciales (Levine et al., 1999). Los grupos controles del meta-análisis de Uttal et al. (2013a) mostraron una mejora incluso que excedieron los 0.4 de desviación típica. Esto se ha considerado como un indicio de maleabilidad del pensamiento espacial, ya que el hecho de realizar tests espaciales puede ser considerado como un tipo de entrenamiento espacial (Uttal et al., 2013a). Por esta razón es importante la inclusión de un grupo control para separar el efecto de la práctica con la tarea de evaluación y el efecto del entrenamiento, de forma específica. El segundo punto se relaciona con la limitación que apuntaba Uttal et al. (2013a) en su meta-análisis, donde las investigaciones que comprenden algún tipo de entrenamiento usan diferentes diseños experimentales y estas diferencias pueden, al menos en parte, explicar los diferentes resultados que estas arrojan. El diseño de los estudios que engloba esta tesis ha tenido en cuenta la recomendación de Uttal et al. (2013a) al realizar el mismo procedimiento con tres grupos de edad diferentes (primer, segundo y tercer curso de

preescolar), lo que aumenta la oportunidad de detectar diferencias entre edades no ligadas con la tarea que realizan, sino con la ejecución diferencial que los distintos grupos de edad tienen. En línea con esta idea, a los resultados de los dos estudios contemplados en esta tesis, pueden añadirse los datos de otros trabajos que forman parte de un proyecto de investigación en el que uno de sus objetivos principales ha sido observar la efectividad de un entrenamiento en RM en diferentes rangos de edad con el mismo procedimiento: una evaluación pre-post, y un entrenamiento en RM de tres días de duración. Estos estudios (Rodán et al., 2016, 2019) han sido consistentes en cuanto a los resultados arrojados, y en concordancia con las conclusiones de esta tesis, se puede establecer que la RM es una habilidad espacial altamente maleable, dado que un entrenamiento de tres sesiones de duración distribuidas en tres días consecutivos ha mejorado esta capacidad en estudiantes de Educación Infantil, Primaria y Secundaria. Esta conclusión toma fuerza al considerar tres rangos muy distintos de edad (preescolares de 3 a 6 años, niños/as de 6 a 8 años y adolescentes de 14 y 15 años de edad) que utilizan el mismo procedimiento para afirmar la maleabilidad de la RM, resultado que, desde nuestro conocimiento, no han podido establecer otras investigaciones al ser heterogéneos en cuanto a los procedimientos utilizados en diferentes poblaciones, tal y como establece el meta-análisis de Uttal et al. (2013a).

Por último, el hecho de tener una tarea de evaluación diferente de la utilizada en el programa de entrenamiento tiene importantes implicaciones relacionadas con el proceso de RM entrenado. Dado que tanto los estímulos utilizados como algunas disparidades angulares eran diferentes en el entrenamiento y la evaluación, no se puede argumentar que la mejora observada en el postest fuera debida a una mejor codificación estimular (Sims y Mayer, 2002), sino que el aumento del rendimiento tiene que, necesariamente, explicarse por los procesos que tienen lugar al realizar rotaciones

mentales (Wright et al., 2008). Aunque los resultados de este trabajo no permiten dilucidar el proceso específico que lleva a los preescolares a tener mejores puntuaciones por el efecto de la práctica, se aduce que hay cierta transferencia entre ambas tareas, sugiriendo que el beneficio del entrenamiento pudiera extenderse a tareas similares, como ya han comprobado estudios anteriores (Meneghetti, Cardillo, Mammarella, Caviola y Borella., 2016; Provost et al., 2013; Uttal et al., 2013a; Wright et al., 2008). A este respecto, el estudio de Marmor (1977), Ehrlich et al. (2006) y Krüger et al. (2014) no evaluaron la transferencia puesto que la tarea de entrenamiento era la misma que la tarea de evaluación. Esta consideración favorece la investigación del desarrollo y la mejora de las capacidades espaciales en el contexto educativo, al ser susceptible de mejora y, además, poder generalizarse a otras tareas.

En cuanto al impacto que un entrenamiento en RM podría tener en la competencia matemática básica de niñas/os en edad preescolar y dado que nuestra hipótesis de trabajo no apuntaba a una única dirección debido a la variedad de resultados previos, los datos arrojados por el Estudio 1 muestran que el rendimiento en la tarea de matemática no mejoró como resultado del entrenamiento. Debido a la relación existente entre la capacidad espacial y las matemáticas (de Hevia y Spelke, 2010), donde una intervención temprana es fundamental para reducir las diferencias en estas (Jordan, Kaplan, Ramineni y Locuniak, 2009), ha emergido un campo de estudio centrado en investigar la potencialidad de las habilidades espaciales como herramienta para promocionar las disciplinas STEM en el ámbito educativo. En esta línea, otros estudios han revelado que las capacidades espaciales son predictoras del logro matemáticos en preescolares (Farmer et al., 2013; Hawes et al., 2019; Verdine et al. 2014). Específicamente, la capacidad de RM es un buen predictor del éxito en matemáticas en niñas/os de Educación Primaria (Skagerlund y Träff, 2016), incluso Mix et al. (2016) sugieren que el mejor predictor del

rendimiento en matemáticas es la RM en preescolares. Además, Mix y Cheng (2014) afirmaron que el entrenamiento en procesos de RM mejora el rendimiento de ciertas operaciones matemáticas, como problemas aritméticos en niños/as de 6 y 8 años de edad, evidenciando cómo fomentar la capacidad espacial puede mejorar el rendimiento en esta disciplina en niños/as, donde otras investigaciones también han mostrado este resultado en adultos (Sorby et al., 2013). Sin embargo, los resultados del Estudio 1 contradicen esta idea, al menos, en estudiantes de Educación Infantil, no mostrando transferencia de la mejora en la RM a las tareas matemáticas evaluadas. A este respecto, otras investigaciones han evidenciado la nula transferencia con el mismo procedimiento en estudiantes de Educación Primaria (Rodán et al., 2019) y Secundaria (Rodán et al., 2016).

Tomando en cuenta los resultados de forma conjunta, tanto de esta tesis como aquellos incluidos en el mismo proyecto con otras edades (Rodán et al., 2016, 2019), invitan a ser cautelosos en cuanto al alcance que un entrenamiento de corta duración, como el empleado en estas investigaciones, pueda tener en otras habilidades que no se hayan directamente entrenado. Es posible que un entrenamiento que involucrara un mayor número de sesiones distribuidas en un lapso de tiempo mayor mejorara ciertas habilidades matemáticas más directamente relacionadas con procesos espaciales, como la representación de la línea numérica, el procesamiento básico de números, la visualización de la longitud de líneas, la visualización del tamaño de las figuras en geometría o el mantenimiento simultáneo de representaciones numéricas mentales, puesto que todas ellas se han relacionado de forma específica con la capacidad de RM en niños/as (Delgado y Prieto, 2004; Gunderson et al., 2012; Kyttälä y Lehto, 2008; Thompson et al., 2013; Viarouge et al., 2014; Wu y Shah, 2004). Según Frick et al. (2018), las transformaciones espaciales alocéntricas como la RM, están relacionadas estrechamente con funciones numérico-lógicas y espaciales, y con la geometría.

En este sentido, las intervenciones dirigidas a mejorar el pensamiento espacial y el rendimiento matemático de los/as niños/as podrían ser especialmente importantes, dada la importancia fundamental del pensamiento espacial y las matemáticas para el éxito académico y ocupacional posterior (Duncan et al., 2007; Wai et al., 2009). En resumen, las habilidades de visualización espacial (como la RM) pueden representar una herramienta cognitiva a través de la cual los/as niños/as aprenden y le dan sentido no solo a las relaciones numéricas básicas, sino también a las matemáticas novedosas y de nivel superior (Hawes, Moss, Caswell y Ansari, 2019).

En un contexto escolar, en el que las dinámicas en las clases las implementa en mayor medida el profesorado, es necesario involucrar a la figura del profesor/a en las intervenciones que se propongan a largo plazo. Al igual que en la intervención de tipo espacial de larga duración (se desarrolló en el año académico) diseñada por Hawes et al. (2017) y llevada a cabo por los/as profesores/as de los centros, es necesario involucrarlos para el éxito de este tipo de intervenciones que redundarán en beneficio de todo el alumnado. Para ello, las/os profesoras/es necesitan ser capaces de reconocer y teorizar cuándo las habilidades espaciales son necesarias para apoyar el aprendizaje en matemáticas, así como cuando un único enfoque en el número podría dificultar o impedir la comprensión matemática (Newcombe, 2014). De esta forma, no solo es necesario hacer partícipe al profesorado en las intervenciones, sino que una mayor formación en este campo por parte de la figura que ha de enseñar a los/as estudiantes se hace necesaria.

El análisis de las posibles diferencias entre grupos de sexo ha sido otro de los objetivos que se perseguía en esta tesis, puesto que los estudios previos no reflejaban consenso en relación con la edad en la que estas emergen en tareas de RM (Constantinescu et al., 2018; Estes, 1998; Frick et al., 2009, 2013; Levine et al., 1999, 2012, 2016). Los

resultados, tanto del Estudio 1 como del Estudio 2, no han evidenciado un rendimiento superior de ningún grupo de sexo con respecto al otro, ni antes, ni después, ni en el entrenamiento, ni tampoco en el aprovechamiento de este, mostrando que, tanto niñas como niños se beneficiaron de la misma forma de la práctica. En línea con otros estudios, estos resultados sustentan la idea de que no existen diferencias entre grupos de sexo en el rendimiento en tareas de RM en niños/as con edades comprendidas entre los 3 y los 6 años (Kaess, 1971; Platt y Cohen, 1981; Frick et al., 2013a, 2013b). Hay que apuntar que el entrenamiento mejoró la capacidad de RM tanto en niños como en niñas, lo que parece consolidar la asunción de que las diferencias entre grupos de sexo aparecen después de la etapa preescolar (Johnson y Meade, 1987; Titze et al., 2010) y no se encuentran de forma innata al comienzo del desarrollo o, por lo menos, no se hacen evidentes hasta etapas posteriores. Sin embargo, hay que subrayar que en los dos estudios equivalentes de la presente tesis con estudiantes de primaria y secundaria (Rodán et al., 2016, 2019) no se han evidenciado diferencias entre grupos de sexo, ni antes, ni después, ni durante el programa de entrenamiento. Únicamente se mostraban diferencias en cuanto a la mejora de la RM entre sexos cuando no se controlaba la inteligencia en niños/as de 6 a 8 años de edad, ya que al considerar esta variable las diferencias de sexo desaparecían. Este resultado indica como otras capacidades, además de la RM, pueden estar involucradas en el rendimiento en tareas de RM en relación con las diferencias de sexo. Este resultado encontrado por Rodán et al. (2019) por el que las chicas podrían compensar con inteligencia los menores recursos de RM, puede conectarse con otros trabajos mencionados en la introducción de la presente tesis. Por ejemplo, tanto Boone y Hegarty (2017) como Peña et al. (2008) han demostrado que, las chicas en mayor medida que los chicos, parecen usar estrategias alternativas a la rotación mental para resolver tareas que se resuelven más eficazmente por RM. Podríamos decir que siguen una “estrategia rodeo”

pero estrategia, al fin y al cabo, que permite resolver con acierto la tarea, aunque se tarde más tiempo o implique otras acciones alternativas (en la introducción se ponía el ejemplo del conteo de bloques en una tarea de rotación de bloques, no se rotaba globalmente el estímulo, sino que se realizaban otras estrategias que permitían llegar a la solución correcta).

Los estudios presentados en esta tesis enfatizan la posibilidad de mantener la igualdad en la capacidad de RM entre grupos de sexo, dado que las diferencias que favorecen a los hombres están bien establecidas en la adultez (Linn y Petersen, 1985; Voyer et al., 1995), así como la necesidad de conocer el periodo en el desarrollo en el cual estas diferencias empiezan a emerger. Se podría hipotetizar que el rendimiento superior mostrado en el grupo de niños y hombres en periodos posteriores al ciclo de infantil obedece más a una influencia social y educativa ligada al sexo, más que diferencia entre sexos *per se*. Es probable que las/os niñas/os con edades comprendidas entre los 3 y los 6 años de edad no hayan estado expuestas/os a experiencias espaciales diferenciadas el tiempo suficiente para que impacte en su rendimiento en tareas espaciales, como ocurre en etapas posteriores (Sander et al., 2010). Siguiendo un enfoque interaccionista biopsicosocial (Halpern et al., 2005; Hausmann et al., 2009), la idea planteada no significa que se excluya la posibilidad de que un factor biológico pueda estar, en parte, explicando las diferencias de sexo encontradas en la adultez, sino más bien se plantea que hay una interacción mutua entre factores biológicos y las experiencias a las que se expone un individuo, contemplándose una multitud de formas diferentes de potenciar las habilidades espaciales ya que ninguna variable es decisiva para ello. Aquellas/os quienes cuentan con múltiples factores que favorecen unas altas habilidades espaciales como una ventaja biológica y experiencias que incluyen una mayor frecuencia y calidad de juego que conllevan la solución de problemas espaciales (por ejemplo, jugar con puzzles y bloques

o cierto tipo de videojuegos), y además son parte de un grupo que no está negativamente influenciado por estereotipos negativos en términos de habilidad espacial, es probable que desarrollen en mayor medida mejores capacidades espaciales que aquellos/as que no disponen de algunas de estas características. Sin embargo, tener una disposición biológica superior puede no ser suficiente para desarrollar la potencialidad de sus capacidades espaciales debido a una falta de experiencias que potencien el pensamiento espacial. Hay que señalar que un individuo puede desarrollar unas buenas capacidades espaciales, aunque sea de un grupo que no disponga de esa ventaja biológica puesto que el pensamiento espacial puede ser mejorado en niños y en niñas, lo que tiene implicaciones educativas importantes (Levine et al., 2016). De hecho, la cuestión de las diferencias de sexo en tareas de RM es un tema debatido en la actualidad debido a recientes estudios que no han encontrado estas diferencias en distintos grupos de edad (Rodán et al., 2016, 2019; Ruthsatz et al., 2017; Scheer et al., 2018). Puede hipotetizarse que las diferencias entre grupos de sexo pueden verse atenuadas en el contexto actual con respecto a décadas anteriores, quizá debido al uso intenso que ambos sexos tienen de las nuevas tecnologías, donde la cantidad de niñas que están expuestas a contenidos de tipo espacial gracias a los móviles inteligentes y tabletas puede estar incrementándose en las nuevas generaciones, potenciando de esta manera su capacidad espacial.

Además de la cuestión de las diferencias entre grupos de sexo, en esta tesis se planteó la posibilidad de que el entrenamiento pudiera estar beneficiando en mayor medida a las/os preescolares que mostraran menores puntuaciones en el pretest. Coincidiendo con estudios anteriores (Cherney et al., 2014; David, 2012), nuestros datos apoyan la idea de un mayor incremento en la capacidad espacial de la RM como resultado del entrenamiento en preescolares de 4 a 6 años de edad que mostraron un peor rendimiento en el pretest. Sin embargo, no hubo una mejora diferencial entre los/as

preescolares de 3 años de edad catalogados como alta y baja capacidad de RM después de llevar a cabo el entrenamiento. De nuevo, este resultado parece explicarse por la tarea de rotación de imágenes abreviada utilizado con los/as niños/as más jóvenes, ya que es posible que esta tarea no detectara la mejora diferencial entre los dos grupos debido a las características de esta tarea ya comentada. Estos resultados sugieren que una mayor exposición a contenido visoespacial contribuye a mejorar las capacidades espaciales de aquellos/as que tienen una capacidad espacial inicial más baja. Sin embargo, es importante tomar en consideración que es un resultado usual en este tipo de estudios que los que muestran un peor rendimiento inicial tengan un mayor margen de mejora que aquellos que ya disponen una buena capacidad inicial al inicio del entrenamiento, como varios estudios han mostrado (Cherney et al., 2014; David, 2012). Estos resultados cobran relevancia en el contexto académico, dado que un entrenamiento de características similares puede implementarse con facilidad para reducir la brecha entre los/as estudiantes con baja y alta capacidad espacial, lo que podría incidir en el rendimiento académico relacionado con las disciplinas STEM, dada su ya comentada relación con las capacidades espaciales (Newcombe y Frick, 2010; Wai et al., 2009). Además, estos resultados establecen que esta mejora diferencial puede darse desde etapas tan tempranas como es el ciclo de Educación Infantil, lo que se considera un recurso potencial que pueda repercutir de forma positiva en el rendimiento académico en etapas posteriores.

2. Conclusions

The main result of this thesis allows to assert that the MR ability in preschool children aged between 4 and 6 years can be improved through a short 3-day training program. However, the youngest preschoolers undergoing the training did not show a significant increase compared to the control group, although a tendency towards significance was evidenced.

The analysis of the MR training program has allowed the comparison of performances in the same task across three different age groups, showing significant increases in performance for each Early Childhood Education course. In addition, the youngest children exhibited a good level of performance, showing a pattern of decreasing accuracy as angular disparity increased. By observing the performance of each age group in each angular disparity individually, a training program adjusted to each age group can be established with the objective of maximizing the improvement that each group can reach to favor the process of MR acquisition as well as their learning.

Regarding the impact that an MR training could have on the basic mathematical ability of preschoolers, the results have not shown any improvement due to the effect of practice in this ability. This suggests that, although spatial ability and mathematics are closely related, a brief training is not enough to improve math scores in Early Childhood Education children, forcing us to be cautious about the scope of a three-day MR training.

With respect to the differential improvement based on sex and the initial MR ability, there is no evidence to suggest an advantage of any sex with respect to the other, although the potential of training to boost the MR ability in preschoolers aged between 4 and 6 years of age who have a low initial MR spatial ability has been proven.

The results of the studies of the present thesis together show the malleability of MR ability in Early Childhood Education stages, with a greater impact on preschoolers with low initial abilities, which are independent of sex. For this reason, it is important to consider the possibilities of implementing interventions within the educational context that maintain the equitable development of spatial abilities across both sexes, as well as to enhance them to a greater extent in preschool children who exhibit poor initial performance. This egalitarian and non-discriminative development could result in a greater representation of women within the STEM disciplines in the future, given their relationship with spatial skills and the under-representation of women compared to men in existence today.

Specifically, this implementation could materialize in the form of learning corners in Early Childhood Education classes, where different spatial skills could be put into practice through activities similar to those found in the training program carried out in the present thesis, within a playful and stimulating environment during a brief period of time throughout the academic year. Given the results found with a three-day training program, with sessions of 15 minutes a day, it would be a viable and affordable resource as a tool to enhance MR ability, specifically in children between 3 and 6 years of age.

Given recent research on the importance of spatial skills in relation to academic success, it is not surprising that the NCTM (2010) incorporated spatial reasoning into the curriculum of elementary mathematics. However, Spain has not implemented changes in the academic curriculum of Early Childhood Education since 2006 (LRJSP 2/2006, 3rd of May; RDL 1630/2006, 29th of December), not mentioning spatial reasoning or spatial cognition in any of its competences, areas or work objectives. This research could help introduce this ability in the development of basic competences of Early Childhood

Education. This would encourage spatial reasoning in all schools across the country, which would benefit all students in this ability and prepare them to deal more successfully with subjects related to the STEM disciplines, throughout Primary Education. This is particularly important in mathematics, where Spanish students are below the average of the OECD countries, according to the latest PISA report for 2015 (OECD, 2016).

3. Main limitations

The studies presented in this thesis suffer from certain limitations that must be highlighted in order to both, understand the scope of the findings and establish the restrictions derived from the conclusions.

The main limitation refers to the abbreviated image rotation task used to evaluate the improvement of MR ability due to the effect of training in 3 and 4 year-olds preschoolers. Although the recommendations of the author of the test were followed, these were not enough to ensure its adjustment for this particular age group. The task was composed of 8 trials where only two angular disparities were evaluated, while 6 different rotations were trained. In addition, having only two response options increased the risk that preschoolers would perform at the random level and not as a result of their competence in the task. Therefore, it is likely that the task does not have sufficient discrimination power, as it does not include evaluation across different angular disparities or more response options.

With respect to the evaluation tasks chosen, the same versions were applied for both the pre and posttest, and as a consequence, the children could have learned from practice, thus showing a test-retest effect that could have been avoided by carrying out a similar test with different images.

In relation to the design chosen to evaluate the effect of training with two groups (experimental and control), it would have been desirable to include an active control group to separate the effect of specific (due to training per se) and general (due to the motivation or commitment of the participant) training.

In addition, although a larger sample would have been desirable, it is not usual to find studies of this type with samples much larger than the one used in the present studies. In fact, this work has been carried out over a period of 3 years, where the evaluations were individual with each child and the sessions had to be brief to avoid fatigue and maintain the children's attention due to the age of the participants.

With respect to the test-retest reliability indices in the evaluation tasks (in both, the abbreviated and the extended image rotation tasks), the observed low values may have been influenced by the time elapsed between the pre and posttest (approximately two months), in addition to the development that is typically associated to the age of the preschoolers tested (Abad, Olea, Ponsoda, & García, 2011).

Although it was not the objective of any of the studies contemplated in this thesis, it would have been advisable to include a measure of cognitive control, such as working memory or intelligence to form the control and experimental groups. However, it should also be noted that both groups were randomly created, and no differences were detected between them in terms of the MR level presented in pretest, prior to the training phase.

4. Future research

Future studies focused on performing a MR training program for preschool children could consider the main conclusions derived from the analysis of the present training by selecting different angular disparities depending on the course of Early Childhood Education, thus maximizing the benefits observed in the studies of the present thesis. While the extended rotating images task has proven to be ideal to assess MR in preschoolers aged between 4 and 6 years, future studies should contemplate designing a similar task for children aged between 3 and 4 years, given the results of the abbreviated image rotation task. Specifically, we suggest evaluating a greater number of angular disparities to verify the extent to which a MR training program can improve the MR process in another task. In this way, the task could be more discriminative in terms of the participant's performance in a variety of angular disparities, allowing the comparison between angles.

With respect to the training period used, subsequent studies could consider a sample with more participants, allowing the comparison between different periods of training, and the improvements associated with each one. It would be equally interesting to see if the improvement found is maintained or decreases with time, by carrying out a follow-up after the training.

Similar studies could include, in the pre or posttest, the assessment of a different spatial ability than the one trained, as well as an evaluation of the mathematical ability in order to evaluate the transfer to other spatial abilities or to different tasks related to the STEM disciplines.

As pointed out by Uttal et al.'s (2013a) meta-analysis, those studies that comprise some type of training use different experimental designs and these differences can, at least partially, explain the different results found. Therefore, it is necessary that the experimental designs of the studies that seek an improvement of MR have at least two groups (experimental and control) and that the performance is measured both before and after training in both groups.

REFERENCIAS

- Abad, F.J., Díaz, J.O., Ponsoda, V. y García, C. (2011). *Medición en ciencias sociales y de la salud*. Madrid: Síntesis.
- Achter, J.A., Lubinski, D., Benbow, C.P. y Eftekhari- Sanjani, H. (1999). Assessing vocational preferences among gifted adolescents adds incremental validity to abilities: A discriminant analysis of educational outcomes over a 10-year interval. *Journal of Educational Psychology*, 91(4), 777–786. doi:10.1037/0022-0663.91.4.777.
- Acredolo, L. (1990). Behavioral approaches to spatial orientation in infancy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 608, 596-612. doi: 10.1111/j.1749-6632.1990.tb48911.x
- Adolph, K.E. y Robinson, S.R. (2013). The road to walking: What learning to walk tells us about development. En P. Zelazo (Ed.), *Oxford handbook of developmental psychology*. New York, US: Oxford University Press.
- Adolph, K.E., Robinson, S.R., Young, J.W. y Gill-Alvarez, F. (2008). What is the shape of developmental change? *Psychological Review*, 115(3), 527-543. doi: 10.1037/0033-295X.115.3.527.
- Alexander, G.M. y Evardone, M. (2008). Blocks and bodies. *Hormones and Behavior*, 53(1), 177–184. doi:10.1016/j.yhbeh.2007.09.014.
- Arendasy, M.E., Sommer, M. y Gittler, G. (2010). Combining automatic item generation and experimental designs to investigate the contribution of cognitive components to the gender difference in mental rotation. *Intelligence*, 38(5), 506–512. doi: /10.1016/j.intell.2010.06.006.
- Aschersleben, G., Henning, A. y Daum, M.M. (2013). Discontinuities in early development of the understanding of physical causality. *Cognitive Development*, 28(1), 31–40. doi: 10.1016/j.cogdev.2012.09.001 (1).

- Assaiante, C., Barlaam, F., Cignetti, F. y Vaugoyeau, M. (2014). Body schema building during childhood and adolescence: A neurosensory approach. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 44(1), 3–12. doi: 10.1016/j.neucli.2013.10.125
- Amorim, M.A., Isableu, B. y Jarraya, M. (2006). Embodied spatial transformations: “Body analogy” for the mental rotation of objects. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135(3), 327–347. doi: 10.1037/0096-3445.135.3.327.
- Austin, J.T. y Hanisch, K.A. (1990). Occupational attainment as a function of abilities and interests: A longitudinal analysis using Project TALENT data. *Journal of Applied Psychology*, 75(1), 77–86. doi: 10.1037/0021-9010.75.1.77.
- Baenninger, M. y Newcombe, N.S. (1989). The role of experience in spatial test performance: A meta-analysis. *Sex Roles*, 20(5–6), 327–344. doi: 10.1007/BF00287729.
- Baniqued, P.L., Kranz, M.B., Voss, M.W., Lee, H., Cosman, J.D., Severson, J. y Kramer, A.F. (2014). Cognitive training with casual video games: points to consider. *Frontiers in psychology*, 4. doi: 10.3389/fpsyg.2013.01010.
- Bethell-Fox, C.E. y Shepard, R.N. (1988). Mental rotation: effects of stimulus complexity and familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 14(1), 12–23. doi: 10.1037/0096-1523.14.1.12.
- Parsons, S. y Bynner, J. (2005). *Does numeracy matter more?* London, UK: National Research and Development Centre for Adult Literacy and Numeracy, Institute of Education.
- Bogartz, R.S., Shinskey, J.L. y Speaker, C.J. (1997). Interpreting infant looking: the event set x event set design. *Developmental Psychology*, 33(3), 408–422. doi: 10.1037/0012-1649.33.3.408.

- Boone, A.P. y Hegarty, M. (2015). Strategy differences do not account for gender differences in mental rotation. Poster presentado en 37th Annual Cognitive Science Society Meeting, Pasadena, CA.
- Boone, A.P. y Hegarty, M. (2017). Sex differences in mental rotation tasks: Not just in the mental rotation process! *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 43(7), 1005–1019. doi:10.1037/xlm0000370.
- Boonen, A.J.H., van der Schoot, M., van Wesel, F., de Vries, M.H. y Jolles, J. (2013). What underlies successful word problem solving? A path analysis in sixth grade students. *Contemporary Educational Psychology*, 38(3), 271–279. doi:10.1016/j.cedpsych.2013.05.001.
- Caldwell, E.C. y Hall, V.C. (1970). Concept learning in discrimination tasks. *Developmental Psychology*, 2(1), 41–48. doi: 10.1037/h0028606.
- Campbell, S.M. y Collaer, M.L. (2009). Stereotype threat and gender differences in performance on a novel visuospatial task. *Psychology of Women Quarterly*, 33(4), 437–444. doi: 10.1111/j.1471-6402.2009.01521.x.
- Carroll, J.B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York, US: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511571312.
- Casey, M.B. (1996). Understanding individual differences in spatial ability within females: A nature/nurture interactionist framework. *Developmental Review*, 16(3), 241–260. doi: 10.1006/drev.1996.0009.
- Casey, B.M., Andrews, N., Schindler, H., Kersh, J.E., Samper, A. y Copley, J. (2008). The development of spatial skills through interventions involving block building activities. *Cognition and Instruction*, 26(3), 269–309. doi: 10.1080/07370000802177177.

- Casey, M.B., Colon, D. y Goris, Y. (1992). Family handedness as a predictor of mental rotation ability among minority girls in a math-science training program. *Brain and Cognition*, 18(1), 88–96. doi: 10.1016/0278-2626(92)90113-Z.
- Casey, M.B., Erkut, S., Ceder, I. y Young, J.M. (2008). Use of a storytelling context to improve girls' and boys' geometry skills in kindergarten. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 29(1), 29–48. doi: 10.1016/j.appdev.2007.10.005.
- Casey, M.B., y Fell, H. (2018). Spatial Reasoning: A Critical Problem-Solving Tool in Children's Mathematics Strategy Tool-Kit. En K. S. S. Mix y M. T. Battista (Eds.), *Visualizing Mathematics* (pp. 47-75). Cham, Switzerland: Springer press.
- Casey, M.B., Nuttall, R.L. y Pezaris, E. (1999). Evidence in Support of a Model That Predicts How Biological and Environmental Factors Interact To Influence Spatial Skills. *Developmental Psychology*, 35(5), 1237–1247. doi: 10.1037/0012-1649.35.5.1237.
- Chatterjee, A. (2008). The neural organization of spatial thought and language. *Seminars in Speech and Language*, 29(3), 226–238. doi: 10.1055/s-0028-1082886.
- Chein, J.M. y Morrison, A.B. (2010). Expanding the mind's workspace: Training and transfer effects with a complex working memory span task. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(2), 193–199. doi: 10.3758/PBR.17.2.193.
- Cheng, Y.L. y Mix, K.S. (2014). Spatial training improves children's mathematics ability. *Journal of Cognition and Development*, 15(1), 2–11. doi:10.1080/15248372.2012.725186.
- Cherney, I. D., Bersted, K. y Smetter, J. (2014). Training spatial skills in men and women. *Perceptual & Motor Skills: Learning & Memory*, 119(1), 82–99. doi: 10.2466/23.25.PMS.119c1 2z0.

- Chu, M. y Kita, S. (2011). The nature of gesture's beneficial role in spatial problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, *140*(1), 102–116. doi: 10.1037/a0021790.
- Colom, R., Contreras, M.J., Botella, J. y Santacreu, J. (2002). Vehicles of spatial ability. *Personality and Individual Differences*, *32*(5), 903–912. doi: 10.1016/S0191-8869(01)00095-2.
- Constantinescu, M., Moore, D.S., Johnson, S.P. y Hines, M. (2018). Early contributions to infants' mental rotation abilities. *Developmental Science*, *21*(4), 1-15. doi: 10.1111/desc.12613.
- Contreras, M.J., Colom, R., Shih, P.C., Jesús Álava, M. y Santacreu, J. (2001). Dynamic spatial performance: Sex and educational differences. *Personality and Individual Differences*, *30*(1), 117–126. doi: 10.1016/S0191-8869(00)00015-5.
- Contreras, M.J., Martínez-Molina, A. y Santacreu, J. (2012). Do the sex differences play such an important role in explaining performance in spatial tasks? *Personality and Individual Differences*, *52*(6), 659–663. doi: 10.1016/j.paid.2011.12.010.
- Contreras, M.J., Rubio, V., Peña, D., Colom, R. y Santacreu, J. (2007). Sex differences in dynamic spatial ability: The unsolved question of performance factors. *Memory & Cognition*, *35*(2), 297–303. doi: 10.3758/BF03193450.
- Coon, D. y Mitterer J.O. (2011). *Psicologia Generale*. En F. Giusberti, P.E. Ricci Bitti, L. Bonfiglioli, y E. Gambetti (Eds.). Torino, Italy: UTET Università`.
- Cooper, L.A. y Shepard, R.D. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. En W. Chase (Ed.), *Visual Information Processing* (pp.75–176). New York, US: Academic Press.

- Courvoisier, D.S., Renaud, O., Geiser, C., Paschke, K., Gaudy, K. y Jordan, K. (2013). Sex hormones and mental rotation: An intensive longitudinal investigation. *Hormones and Behavior*, 63(2), 345–351. doi: 10.1016/j.yhbeh.2012.12.007.
- David, L.T. (2012). Training effects on mental rotation, spatial orientation and spatial visualisation depending on the initial level of spatial abilities. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 33, 328–332. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.01.137.
- de Hevia, M.D y Spelke, E.S. (2010). Number-space mapping in human infants. *Psychological Science*, 21(5), 653-660. doi: 10.1177/0956797610366091.
- Dean, A.L. y Harvey, W.O. (1979). An information-processing analysis of a Piagetian imagery task. *Developmental Psychology*, 15(4), 474–475. doi: 10.1037/0012-1649.15.4.474.
- Debelak, R., Gittler, G. y Arendasy, M. (2014). On gender differences in mental rotation processing speed. *Learning and Individual Differences*, 29, 8–17. doi: 10.1016/j.lindif.2013.10.003.
- Delgado, A.R. y Prieto, G. (1996). Sex differences in visuo-spatial ability: do performance factors play such an important role? *Memory & Cognition*, 24(4), 504–510. doi: 10.3758/BF03200938.
- Delgado, A.R. y Prieto, G. (2004). Cognitive mediators and sex-related differences in mathematics. *Intelligence*, 32(1), 25–32. doi: 10.1016/S0160-2896(03)00061-8.
- Doyle, R.A., Voyer, D. y Lesmana, M. (2015). Item type, occlusion, and gender differences in mental rotation. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(8), 1–36. doi: 10.1080/17470218.2015.1086807.
- Duncan, G.J., Dowsett, C.J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A.C., Klebanov, P.,... Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428–1446. doi: 10.1037/0012-1649.43.6.1428.

- Dunn, K. y Bremner, J.G. (2017). Investigating looking and social looking measures as an index of infant violation of expectation. *Developmental Science*, 20(6), 1–6. doi: 10.1111/desc.12452.
- Dye, M.W., Green, C.S. y Bavelier, D. (2009). Increasing speed of processing with action video games. *Current Directions in Psychological Science*, 18(6), 321–326. doi: 10.1111/j.1467-8721.2009.01660.x.
- Eals, M. y Silverman, I. (1994). The hunter–gatherer theory of spatial sex differences: Proximate factors mediating the female advantage in recall of object arrays. *Ethology & Sociobiology*, 15(2), 95–105. doi: 10.1016/0162-3095(94)90020-5.
- Ehrlich, S.B., Levine, S.C. y Goldin-Meadow, S. (2006). The importance of gesture in children’s spatial reasoning. *Developmental Psychology*, 42(6), 1259–1268. doi: 10.1037/0012-1649.42.6.1259.
- Elman, J.L., Bates, E.A., Johnson, M.M. H., Karmiloff-Smith, A., Parisi, D. y Plunkett, K. (1996). *Rethinking innateness: A connectionist perspective on development*. Cambridge, US: MIT Press.
- Estes, D. (1998). Young children’s awareness of their mental activity. The case of mental rotation. *Child Development*, 69(5), 1345–1360. doi: 10.2307/1132270.
- Estes, Z. y Felker, S. (2011). Confidence mediates the sex difference in mental rotation performance. *Archives of Sexual Behavior*, 41(3), 557–570. doi: 10.1007/s10508-011-9875-5.
- Farmer, G., Verdine, B., Lucca, K., Davies, T., Dempsey, R., Hirst-Pasek, K. y Golinkoff, R.M. (2013). *Putting the pieces together: spatial skills at age 3 predict spatial and math performance at age 5*. Poster presentado en Society for Research in Child Development, Seattle, WA.

- Feng, J., Spence, I. y Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological Science*, 18(10), 850–855. doi: 10.1111/j.1467-9280.2007.01990.x.
- Ferguson, A.M., Maloney, E.A., Fugelsang, J.A. y Risko, E.F. (2015). On the relation between math and spatial ability: The case of math anxiety. *Learning and Individual Differences*, 39, 1–12. doi: 10.1016/j.lindif.2015.02.007.
- Flanagan, J.C., Dailey, J.T., Shaycoft, M.F., Gorman, W.A., Orr, D.B. y Goldberg, I. (1962). *Design for a study of American youth*. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Fragaszy, D.M., Kuroshima, H. y Stone, B.W. (2015). “Vision for Action” in young children aligning multi-featured objects: Development and comparison with nonhuman primates. *PLOS ONE*, 10(10): e0140033. doi: 10.1371/journal.pone.0140033.
- Frick, A. (2018). Spatial transformation abilities and their relation to later mathematics performance. *Psychological Research*. doi: 10.1007/s00426-018-1008-5.
- Frick, A., Daum, M.M., Walser, S. y Mast, F.W. (2009). Motor processes in children’s mental rotation. *Journal of Cognition and Development*, 10(1–2), 18–40. doi: 10.1080/15248 37090 29667 19.
- Frick, A., Ferrara, K. y Newcombe, N.S. (2013a). Using a touch screen paradigm to assess the development of mental rotation between 3½ and 5½ years of age. *Cognitive Processing*, 14(2), 117–127. doi: 10.1007/s1033 9-012-0534-0.
- Frick, A., Hansen, A.A. y Newcombe, N.S. (2013b). Development of mental rotation in 3- to 5-year-old children. *Cognitive Development*, 28(4), 386–399. doi:10.1016/j.cogdev.2013.06.002.

- Frick, A. y Möhring, W. (2013). Mental object rotation and motor development in 8- and 10-month-old infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 115(4), 708–720. doi: 10.1016/j.jecp.2013.04.001.
- Frick, A., Möhring, W. y Newcombe, N.S. (2014). Picturing perspectives: Development of perspective-taking abilities in 4- to 8-year olds. *Frontiers in Psychology*, 5: 386. doi: 10.3389/fpsyg .2014.00386.
- Frick, A. y Wang, S.H. (2013). Mental spatial transformations in 14- and 16-month-old infants: Effects of action and observational experience. *Child Development*, 85(1), 278–293. doi: 10.1111/cdev.12116.
- Frick, A. y Wang, S.H. (2014). Mental spatial transformations in 14- and 16-month-old infants: effects of action and observational experience. *Child Development*, 85(1), 278–293. doi:10.1111/cdev.12116.
- Friedman, T.L. (2007). *The world is flat* (3rd ed.). New York, US: Farrar, Straus, & Giroux.
- Friedman, T.L. y Mandelbaum, M. (2011). *That used to be us*. New York, US: Farrar, Straus, & Giroux.
- Funk, M., Brugger, P. y Wilkening, F. (2005). Motor processes in children's imagery: The case of mental rotation of hands. *Developmental Science*, 8(5), 402–408. doi: 10.1111/j.1467-7687.2005.00428 .x.
- García-Madruga, J.A., Elosúa, M.R., Gil, L., Gómez-Veiga, I., Vila, J.O., Orjales, I.,...Duque, G. (2013). Reading comprehension and working memory's executive processes: an intervention study in primary school students. *Reading Research Quarterly*, 48(2), 155–174. doi: 10.1002/rrq.44.
- Gardner, H. (1985). *The mind's new science: A history of the cognitive revolution*. New York, US: Basic Books.

- Geiser, C., Lehmann, W. y Eid, M. (2006). Separating “rotators” from “non-rotators” in the Mental Rotations Test. *Multivariate Behavioral Research*, 41(3), 261-293. doi: 10.1207/s15327906mbr4103_2
- Gibson, E.J. (1988). Exploratory behavior in the development of perceiving, acting, and the acquiring of knowledge. *Annual Review in Psychology*, 39, 1-41. doi: 10.1146/annurev.ps.39.020188.000245.
- Gibson, J.J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA: Houghton, Mifflin and Company.
- Gibson, E.J. y Pick, A.D. (2000). *An ecological approach to perceptual learning and development*. New York, US: Oxford University Press.
- Ginsburg, H.P. y Baroody, A.J. (2003). *TEMA-3, Test of Early Mathematics Ability, 3^o Edition*. Austin, US: EPRO-ED, Inc.
- Gohm, C.L., Humphreys, L.G. y Yao, G. (1998). Underachievement among spatially gifted students. *American Educational Research Journal*, 35(3), 515–531. doi: 10.2307/1163447.
- Goldin-Meadow, S., Levine, S.C., Zinchenko, E., Yip, T.K., Hemani, N. y Factor, L. (2012). Doing gesture promotes learning a mental transformation task better than seeing gesture. *Developmental Science*, 15(6), 876–884. doi: 10.1111/j.1467-7687.2012.01185.
- Goldstein, D., Haldane, D. y Mitchell, C. (1990). Sex differences in visual-spatial ability: The role of performance factors. *Memory and Cognition*, 18(5), 546-550. doi: 10.3758/bf03198487.
- Guay, R. (1977). *Purdue spatial visualization test: Rotations*. West Lafayette, US: Purdue Research Foundation.

- Gunderson, E.A., Ramirez, G., Beilock, S.L. y Levine, S.C. (2012). The relation between spatial skill and early number knowledge: The role of the linear number line. *Developmental Psychology*, 48(5), 1229–1241. doi: 10.1037/a0027433.
- Gur, R.C., Alsop, D., Glan, D., Petty, R., Swanson, C.L., Maldjian, J.A.,...Gur, R.E. (2000). An fMRI study of sex differences in regional activation to a verbal and spatial task. *Brain and Language*, 74(2), 157–170. doi: 10.1006/brln.2000.2325.
- Hahn, N., Jansen, P. y Heil, M. (2010a). Preschoolers' mental rotation of letters: Sex differences in hemispheric asymmetry. *Cognitive Neuroscience*, 1(4), 261–267. doi: 10.1080=17588928.2010.485248.
- Haith, M.M. (1998). Who put the cog in infant cognition? Is rich interpretation too costly? *Infant Behavior & Development*, 21(2), 167-179. doi: 10.1016/S0163-6383(98)90001-7.
- Halpern, D.F. (2012). *Sex differences in cognitive abilities*, 4th ed. New York, US: Psychology Press.
- Halpern, D.F., Wai, J. y Saw, A. (2005). A psychobiosocial model: Why females are sometimes greater than and sometimes less than males in math achievement. En A.M. Gallagher y J.C. Kaufman (Eds.), *Gender differences in mathematics: An integrative psychological approach* (pp. 48–72). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hart, R.A. y Moore, G.T. (1973). The Development of Spatial Cognition: A Review. En R.M. Downs y D. Stea (Eds.), *Image & environment: Cognitive mapping and spatial behavior*. (pp. 246–288). Chicago, US: Aldine.
- Hausmann, M., Schoofs, D., Rosenthal, H.E. y Jordan, K. (2009). Interactive effects of sex hormones and gender stereotypes on cognitive sex differences — A

- psychobiosocial approach. *Psychoneuroendocrinology*, 34(3), 389–401. doi: 10.1016/j.psyneuen.2008.09.019.
- Hawes, Z., LeFevre, J.-A., Xu, C. y Bruce, C.D. (2015). Mental rotation with tangible three-dimensional objects: A new measure sensitive to developmental differences in 4- to 8-year-old children. *Mind, Brain, and Education*, 9(1), 10–18. doi: 10.1111/mbe.12051.
- Hawes, Z., Moss, J., Caswell, B., Naqvi, S. y MacKinnon, S. (2017). Enhancing children's spatial and numerical skills through a dynamic spatial approach to early geometry instruction: Effects of a 32-week intervention. *Cognition and Instruction*, 35(3), 236–264. doi: 10.1080/07370008.2017.1323902.
- Hawes, Z., Moss, J., Caswell, B. y Poliszczuk, D. (2015). Effects of mental rotation training on children's spatial and mathematics performance: A randomized controlled study. *Trends in Neuroscience and Education*, 4(3), 60–68. doi: 10.1016/j.tine.2015.05.001.
- Hawes, Z., Moss, J., Caswell, B., Seo, J. y Ansari, D. (2019). Relations between numerical, spatial, and executive function skills and mathematics achievement: A latent-variable approach. *Cognitive Psychology*, 109, 68-90. doi: 10.1016/j.cogpsych.2018.12.002.
- Hawes, Z., Tepylo, D. y Moss, J. (2015). Developing spatial thinking: Implications for early mathematics education. En B. Davis and Spatial Reasoning Study Group (Eds.), *Spatial reasoning in the early years: Principles, assertions and speculations* (pp. 29-44). New York, US: Routledge.

- Hegarty, M. (2017). Ability and sex differences in spatial thinking: What does the mental rotation test really measure? *Psychonomic Bulletin and Review*, 23(33), 1212-1219. doi: 10.3758/s13423-017-1347-z.
- Hegarty, M. y Kozhevnikov, M. (1999). Types of visual-spatial representations and mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 91(4), 684-689. doi: 10.1037/0022-0663.91.4.684.
- Hegarty, M., Montello, D.R., Richardson, A.E., Ishikawa, T. y Lovelace, K. (2006). Spatial abilities at different scales: Individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning. *Intelligence*, 34(2), 151-176. doi:10.1016/j.intell.2005.09.005.
- Hegarty, M. y Waller, D. (2005). Individual differences in spatial abilities. En P. Shah y A. Miyake (Eds.), *The Cambridge handbook of visuospatial thinking* (pp. 121-169). New York, US: Cambridge University Press.
- Heil, M., Krüger, M., Krist, H., Johnson, S.P. y Moore, D.S. (2018). Adults' sex difference in a dynamic Mental Rotation Task: Validating infant results. *Journal of Individual Differences*, 39(1), 48-52. doi: 10.1027/1614-0001/a000248.
- Höffler, T.N. (2010). Spatial ability: Its influence on learning with visualizations—a meta-analytic review. *Educational Psychology Review*, 22(3), 245-269. doi:10.1007/s10648-010-9126-7.
- Hsi, S., Linn, M.C. y Bell, J.E. (1997). The role of spatial reasoning in engineering and the design of spatial instruction. *Journal of Engineering Education* 86(2), 151-158. doi: 10.1002/j.2168-9830.1997.tb00278.x
- Hugdahl, K., Thomsen, T. y Ersland, L. (2006). Sex differences in visuo-spatial processing: An fMRI study of mental rotation. *Neuropsychologia*, 44(9), 1575-1583. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.026.

- Humphreys, L.G., Lubinski, D. y Yao, G. (1993). Utility of predicting group membership and the role of spatial visualization in becoming an engineer, physical scientist, or artist. *Journal of Applied Psychology*, 78(2), 250–261. doi: 10.1037/0021-9010.78.2.250.
- Humphreys, L. y Yao, G. (2002). Prediction of graduate major from cognitive and self-report test scores obtained during the high school years. *Psychological Reports*, 90(1), 3–30. doi: 10.2466/PRO.90.1.3-30.
- Huttenlocher, J. y Presson, C.C. (1979). The coding and transformation of spatial information. *Cognitive Psychology*, 11(3), 375–394. doi: 10.1016/0010-0285(79)90017-3.
- Jahoda, G. (1979). On the nature of difficulties in spatial-perceptual tasks: Ethnic and sex differences. *British Journal of Psychology*, 70(3), 351–363. doi: 10.1111/j.2044-8295.1979.tb01705.x.
- Jansen-Osmann, P. y Heil, M. (2007). Suitable stimuli to obtain (no) gender differences in the speed of cognitive processes involved in mental rotation. *Brain and Cognition*, 64(3), 217–227. doi: 10.1016/j.bandc.2007.03.002.
- Jaušovec, N. y Jaušovec, K. (2012). Sex differences in mental rotation and cortical activation patterns: can training change them? *Intelligence* 40(2), 151–162. doi: 10.1016/j.intell.2012.01.005.
- Jirout, J.J., y Newcombe, N.S. (2014). Mazes and maps: Can young children find their way? *Mind, Brain, and Education*, 8(2), 89–96. doi: 10.1111/mbe.12048.
- Johnson, E.S. y Meade, A.C. (1987). Developmental patterns of spatial ability: An early sex difference. *Child Development*, 58(3), 725. doi: 10.2307/1130210.

- Jordan, N.C., Kaplan, D., Ramineni, C. y Locuniak, M.N. (2009). Early math matters: Kindergarten number competence and later mathematics outcomes. *Developmental Psychology*, 45(3), 850-867. doi:10.1037/a0014939.
- Jung, W.P., Kahrs, B.A. y Lockman, J.J. (2015). Manual action, fitting, and spatial planning: Relating objects by young children. *Cognition*, 134, 128–139. doi: 10.1016/j.cognition.2014.09.004.
- Kaess, D.W. (1971). Measures of form constancy: Developmental trends. *Developmental Psychology*, 4(2), 296. doi: 10.1037/h0030443.
- Kail, R. y Park, Y.S. (1990). Impact of practice on speed of mental rotation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 49(2), 227–244. doi: 10.1016/0022-0965(90)90056-E.
- Karbach, J., Stroback, T. y Schubert, T. (2015). Adaptive working-memory training benefits reading, but not mathematics in middle childhood. *Child Neuropsychology*, 21(3), 285–301. doi: 10.1080/09297049.2014.899336.
- Keen, R. (2003). Representation of objects and events: Why do infants look so smart and toddlers look so dumb? *Current Directions in Psychological Science*, 12(3), 79–83. doi: 10.1111/1467- 8721.01234.
- Kelley, T.L. (1928). *Crossroad of the mind*. Stanford, US: Stanford University Press.
- Kelso, S. (1997). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behaviour*. Cambridge, US: MIT Press.
- Khooshabeh, P., Hegarty, M. y Shipley, T.F. (2013). Individual differences in mental rotation: Piecemeal versus holistic processing. *Experimental Psychology*, 60(3), 164–171. doi: 10.1027/1618-3169/a000184.
- Koriat, A. y Norman, J. (1985). Mental rotation and visual familiarity. *Perception & Psychophysics*, 37(5), 429–439. doi: 10.3758/BF03202874.

- Kosslyn, S.M., Margolis, J.A., Barrett, A.M., Goldknopf, E.J. y Daly, P.F. (1990). Age differences in imagery abilities. *Child Development*, 61(4), 995–1010. doi: 10.1111/1467-8624.ep910 20409 59.
- Kozhevnikov, M. y Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Memory & Cognition*, 29(5), 745–756. doi:10.3758/BF03200477.
- Kozhevnikov, M., Hegarty, M. y Mayer, R.E. (2002). Revising the visualizer–verbalizer dimension: Evidence for two types of visualizers. *Cognition and Instruction*, 20(1), 47–77. doi:10.1207/S1532690XCI2001_3.
- Kozhevnikov, M., Kosslyn, S. y Shephard, J. (2005). Spatial versus object visualizers: A new characterization of visual cognitive style. *Memory & Cognition*, 33(4), 710–726. doi:10.3758/BF03195337.
- Kozhevnikov, M., Motes, M A., Rasch, B. y Blajenkova, O. (2006). Perspective-taking vs. mental rotation transformations and how they predict spatial navigation performance. *Applied Cognitive Psychology*, 20(3), 397–417. doi: 10.1002/acp.1192.
- Krüger, M. (2018). Three-Year-Olds Solved a Mental Rotation Task Above Chance Level, but No Linear Relation Concerning Reaction Time and Angular Disparity Presented Itself. *Frontiers in Psychology*. 9:1796. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01796.
- Krüger, M., Amorim, M.-A. y Ebersbach, M. (2014). Mental rotation and the motor system: Embodiment head over heels. *Acta Psychologica*, 145, 104–110. doi: 10.1016/j.actpsy.2013.11.004.
- Krüger, M. y Ebersbach, M. (2017). Mental rotation and the human body: Children’s inflexible use of embodiment mirrors that of adults. *British Journal of Developmental Psychology*, 36(3), 418–437. doi: 10.1111/bjdp.1222.

- Krüger, M., Kaiser, M., Mahler, K., Bartels, W. y Krist, H. (2014). Analogue mental transformations in 3-year-olds: Introducing a new mental rotation paradigm suitable for young children. *Infant and Child Development*, 23(2), 123–138. doi: 10.1002/icd.1815.
- Kyttälä, M. y Lehto, J.E. (2008). Some factors underlying mathematical performance: The role of visuospatial working memory and non-verbal intelligence. *European Journal of Psychology of Education*, 23(1), 77–94. doi: 10.1007/BF03173141.
- Laski, E.V., Casey, M.B., Yu, Q., Dulaney, A., Heyman, M. y Dearing, E. (2013). Spatial skills as a predictor of first-grade girls' use of higher level arithmetic strategies. *Learning and Individual Differences*, 23(1), 123–130. doi: 10.1016/j.lindif.2012.08.001.
- LeFevre, J.A., Jimenez, L.C., Sowinski, C., Cankaya, O., Kamawar, D. y Skwarchuk, S.L. (2013). Charting the role of the number line in mathematical development. *Frontiers in Psychology*, 4,1–9. doi:10.3389/fpsyg.2013.00641.
- Levine, S.C., Foley, A., Lourenco, S., Ehrlich, S. y Ratliff, K. (2016). Sex differences in spatial cognition: Advancing the conversation. *Wiley interdisciplinary reviews. Cognitive Science*, 7(2), 127–155. doi: 10.1002/wcs.1380.
- Levine, S.C., Goldin-Meadow, S., Carlson, M.T. y Hemani-Lopez, N. (2018). Mental transformation skill in young children: the role of concrete and abstract motor training. *Cognitive Science*, 42(4). doi: 10.1111/cogs.12603.
- Levine, S.C., Huttenlocher, J., Taylor, A. y Langrock, A. (1999). Early sex differences in spatial skill. *Developmental Psychology*, 35(4), 940–949. doi: 10.1037/0012-1649.35.4.940.

- Levine, S.C., Ratliff, K.R., Huttenlocher, J. y Cannon, J. (2012). Early puzzle play: A predictor of preschoolers' spatial transformation skill. *Developmental Psychology*, 48(2), 530–542. doi: 10.1037/a0025913.
- Ley 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 4 de mayo de 2006, núm. 106, pp. 17158 a 17207.
- Liben, L.S., Kastens, K.A. y Stevenson, L.M. (2002). Real-World Knowledge through Real-World Maps: A Developmental Guide for Navigating the Educational Terrain. *Developmental Review*, 22(2), 267–322.
- Linn, M.C. y Petersen, A.C. (1985). Emergence and characterization of gender differences in spatial abilities: A meta-analysis. *Child Development*, 56, 1479–1498. doi: 10.1111/1467-8624.ep7252392.
- Lockman, J.J., Ashmead, D.H. y Bushnell, E.W. (1984). The development of anticipatory hand orientation during infancy. *Journal of Experimental Child Psychology*, 37(1), 176–186. doi: 10.1016/0022-0965(84)90065-1.
- Lockman, J., Fears, N. y Lewis, E. (2018). Spatial Development. En O. Braddick. (Ed.), *Oxford Research Encyclopedias: Psychology*. doi: 10.1093/acrefore/9780190236557.013.63.
- Lohman, D.F. (1979). Spatial ability: A review and reanalysis of the correlational literature (Technical Report No. 8). Stanford, CA: Stanford University School of Education.
- Lohman, D.F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. En R.J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence, Vol. 4*. (pp. 181–248). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Lohman, D.F. (1996). Spatial ability and G. En I. Dennis y P. Tapsfield (Eds.), *Human abilities: Their nature and assessment* (pp. 97–116). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Lourenco, S.F. y Huttenlocher, J. (2008). The representation of geometric cues in infancy. *Infancy*, 13(2), 103–127. doi: 10.1080/15250000701795572.
- Lubinski, D. (2010). Spatial ability and STEM: a sleeping giant for talent identification and development. *Personality and Individual Differences*, 49(4), 344–351. doi: 10.1016/j.paid.2010.03.022.
- Marke, S. (2008). *The picture-rotation test: A measure to assess mental-rotation ability at preschool age*. Saarbrücken, Germany: VDM Verlag Dr. Mueller.
- Marmor, G.S. (1975). Development of kinetic images: When does the child first represent movement in mental images? *Cognitive Psychology*, 7, 548–559.
- Marmor, G.S. (1977). Mental rotation and number conservation: Are they related? *Developmental Psychology*, 13, 320–325.
- Masters, M.S. (1998). The gender difference on the mental rotations test is not due to performance factors. *Memory & Cognition*, 26(3), 444–448. doi: 10.3758/BF03201154.
- McCarty, M.E., Clifton, R.K. y Collard, R.R. (1999). Problem solving in infancy: The emergence of an action plan. *Developmental Psychology*, 35(4), 1091–1101. doi: 10.1037/0012-1649.35.4.1091.
- Meneghetti, C., Cardillo, R., Mammarella, I., Caviola, S. y Borella, E. (2017). The role of practice and strategy in mental rotation training: transfer and maintenance effects. *Psychological Research*, 81(2), 415–431. doi: 10.1007/s00426-016-0749-2.

- Meneghetti, C., De Beni, R., Gyselinck, V. y Pazzaglia, F. (2011). Working memory involvement in spatial text processing: What advantages are gained from extended learning and visuo-spatial strategies? *British Journal of Psychology*, *102*(4), 499–518. doi: 10.1111/j.2044-8295.2010.02007.x.
- Michael, B.W., Guilford, P.J., Fruchter, B. y Zimmerman, S.W. (1957). The description of spatial-visualization abilities. *Educational and Psychological Measurement*, *17*, 185–199. doi: 10.1177/001316445701700202.
- Miller, D.I. y Halpern, D.F. (2013). Can spatial training improve long-term outcomes for gifted STEM undergraduates? *Learning and Individual Differences*, *26*, 141–152. doi: 10.1016/j.lindif.2012.03.012.
- Mix, K.S. y Cheng, Y.-L. (2012). Space and math: The development and educational implications. En J. Benson (Ed.), *Advances in child development and behavior* (pp. 179–243). New York, US: Elsevier.
- Mix, K.S., Cheng, Y.-L., Hambrick, D.Z., Levine, S.C., Young, C., Ping, R. y Konstantopoulos, S. (2016). Separate but correlated: The latent structure of space and mathematics across development. *Journal of Experimental Psychology: General*, *145*(9), 1206–1227. doi: 10.1037/xge0000182.
- Mix, K.S., Hambrick, D.Z., Satyam, V.R., Burgoyne, A.P. y Levine, S.C. (2018). The latent structure of spatial skill: A test of the 2×2 typology. *Cognition*, *180*, 268–278. doi: 10.1016/j.cognition.2018.07.012.
- Mix, K.S., Levine, S.C., Cheng, Y.-L., Young, C.J., Hambrick, D.Z. y Konstantopoulos, S. (2017). The latent structure of spatial skills and mathematics: A replication of the two-factor model. *Journal of Cognition and Development*, *18*(4), 465–492. doi: 10.1080/15248372.2017.1346658.

- Miyake, A., Friedman, N.P., Rettinger, D.A., Shah, P. y Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 621–640. doi: 10.1006/cogp.1999.0734.
- Moè, A. (2016). Does experience with spatial school subjects favour girls' mental rotation performance? *Learning and Individual Differences*, 47, 11–16. doi: 10.1016/j.lindif.2015.12.007.
- Moè, A. y Pazzaglia, F. (2006). Following the instructions!: Effects of gender beliefs in mental rotation. *Learning and Individual Differences*, 16(4), 369–377. doi: 10.1016/j.lindif.2007.01.002.
- Möhring, W. y Frick, A. (2013). Touching Up Mental Rotation: Effects of Manual Experience on 6-Month-Old Infants' Mental Object Rotation. *Child Development*, 84(5), 1554–1565. doi: 10.1111/cdev.12065.
- Moore, D.S. y Johnson, S.P. (2008). Mental rotation in human infants: A sex difference. *Psychological Science*, 19(11), 1063–1066. doi: 10.1111/j.1467-9280.2008.02200.x
- Moore, D.S. y Johnson, S.P. (2011). Mental rotation of dynamic, three-dimensional stimuli by 3-month-old infants. *Infancy*, 16(4), 435–445. doi: 10.1111/j.1532-7078.2010.00058.x.
- Moreau, D. (2012). The role of motor processes in three-dimensional mental rotation: Shaping cognitive processing via sensorimotor experience. *Learning and Individual Differences*, 22(3), 354–359. doi: 10.1016/j.lindif.2012.02.003.
- Moreau, D., Clerc, J., Mansy-Dannay, A. y Guerrien, A. (2012). Enhancing spatial ability through sport practice: Evidence for an effect of motor training on mental rotation

- performance. *Journal of Individual Differences*, 33(2), 83–88. doi:10.1027/1614-0001.
- Moreau, D., Mansy-Dannay, A., Clerc, J. y Guerrien, A. (2011). Spatial ability and motor performance: assessing mental rotation processes in elite and novice athletes. *International Journal of Sport Psychology*, 42(6), 525–547.
- Mulder, H., Oudgenoeg-Paz, O., Hellendoorn, A. y Jongmans, M.J. (2017). How children learn to discover their environment: An embodied dynamic systems perspective on the development of spatial cognition. En A. Postma y I.J.M. van der Ham (Eds.), *Neuropsychology of space: Spatial functions of the human brain*. (pp. 309–360). San Diego, CA: Elsevier Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-801638-1.00009-4.
- National Council of Teachers Mathematics. (2000). *Principles and standards for school mathematics*. Reston, VA: Author.
- National Council of Teachers of Mathematics. (2007). *Second handbook of research on mathematics teaching and learning*. Washington, DC: Author.
- National Science Foundation. (2011). *Women, minorities, and persons with disabilities in science and engineering: 2011*. Arlington, VA: National Science Foundation.
- Nazareth, A., Herrera, A. y Pruden, S. (2013). Explaining sex differences in mental rotation: Role of spatial activity experience. *Cognitive Processing*, 14(2), 201–204. doi: 10.1007/s10339-013-0542-8.
- Newcombe, N.S. (2002). The nativist-empiricist controversy in the context of recent research on spatial and quantitative development. *Psychological Science*, 13(5), 395–401. doi: 10.1111/1467-9280.00471.
- Newcombe, N.S. (2011). What is neoconstructivism? *Child Development Perspectives*, 5(3), 157–160. doi: 10.1111/j.1750-8606.2011.00180.x.

- Newcombe, N.S. (2014). Teaching space: What, how and when. En D.R. Montello, K. Grossner y G. Janelle (Eds.), *Space in mind: Concepts for spatial learning and education* (pp. 323-334). Cambridge, US: MIT Press.
- Newcombe, N.S. y Frick, A. (2010). Early education for spatial intelligence: Why, what, and how. *Mind, Brain, and Education*, 4(3), 102–111. doi: 10.1111/j.1751-228X.2010.01089 .x.
- Newcombe, N.S. y Huttenlocher, J. (2000). *Making space: The development of spatial representation and reasoning*. Cambridge, US: MIT Press.
- Newcombe, N.S. y Huttenlocher, J. (2006). Development of Spatial Cognition. En D. Kuhn, R.S. Siegler, W. Damon y R.M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology: Cognition, perception, and language* (pp. 734-776). Hoboken, US: John Wiley & Sons Inc.
- Newcombe, N.S., Huttenlocher, J. y Learmonth, A.E. (1999). Infants' coding of location in continuous space. *Infant Behavior and Development*, 22(4), 483–510. doi:10.1016/S0163-6383(00)00011-4.
- Newcombe, N.S. y Shipley, T.F. (2015). Thinking about spatial thinking: New typology, new assessments. En J.S. Gero (Ed.), *Studying visual and spatial reasoning for design creativity* (pp. 179–192). New York, US: Springer. doi: 10.1007/978-94-017-9297-4_10.
- Noda, M. (2010). Manipulative strategies prepare for mental rotation in young children. *European Journal of Developmental Psychology*, 7(6), 746–762. doi: 10.1080/17405620903465771.
- OECD. (2016). PISA 2015 Results in Focus (Volumen I-II). Recuperado de <http://www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus-ESP.pdf>

- OECD. (2017). *Education at a Glance 2017: OECD Indicators*, OECD Publishing, Paris.
doi: 10.1787/eag-2017-en.
- Okamoto, Y., Kotsopoulos, D., McGarvey, L. y Hallowell, D. (2015). The development of spatial reasoning in young children. En *Spatial Reasoning in the Early Years: Principles, Assertions, and Speculations* (pp. 15–29). New York, US: Routledge.
- Örnkloo, H. y von Hofsten, C. (2007). Fitting objects into holes: On the development of spatial cognition skills. *Developmental Psychology*, 43(2), 404–416. doi: 10.1037/0012-1649.43.2.404.
- Örnkloo, H. y von Hofsten, C. (2009). Young children's ability to solve spatial problems involving a choice. *European Journal of Developmental Psychology*, 6(6), 685–704. doi: 10.1080/17405620701766834.
- Oudgenoeg-Paz, O., Leseman, P.P.M. y Volman, M.J.M. (2014). Can infant self-locomotion and spatial exploration predict spatial memory at school age? *European Journal of Developmental Psychology*, 11(1), 36–48. doi: 10.1080/17405629.2013.803470.
- Oudgenoeg-Paz, O., Leseman, P.P.M. y Volman, M.J.M. (2015). Exploration as a mediator of the relation between the attainment of motor milestones and the development of spatial cognition and language. *Developmental Psychology*, 51(9), 1241-1253. doi: 10.1037/a0039572.
- Palmer, S.E. (1978). Fundamental aspects of cognitive representation. En E. Rosch y B.B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (pp. 259-303). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Pazzaglia, F. y Meneghetti, C. (2012). Spatial text processing in relation to spatial abilities and spatial styles. *Journal of Cognitive Psychology*, 24(8), 972–980. doi: 10.1080/20445911.2012.725716.

- Peters, M. (2005). Sex differences and the factor of time in solving Vandenberg and Kuse mental rotation problems. *Brain and Cognition*, 57(2), 176–184. doi: 10.1016/j.bandc.2004.08.052.
- Peña, D., Contreras, M.J., Shih, P.C. y Santacreu, J. (2008). Solution strategies as possible explanations of individual and sex differences in a dynamic spatial task. *Acta Psychological*, 128(1), 1–14. doi: 10.1016/j.actpsy.2007.09.005.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York, US: International Universities Press.
- Piaget, J. y Inhelder, B. (1971). *Mental imagery in the child: A study of the development of imaginal representation*. New York, US: Basic.
- Pietsch, S. y Jansen, P. (2012). Different mental rotation performance in students of music, sport and education. *Learning and Individual Differences*, 22(1), 159–163. doi: 10.1016/j.lindif.2011.11.012.
- Pellizzer, G. y Georgopoulos, A.P. (1993). Common processing constraints for visuomotor and visual mental rotations. *Experimental Brain Research*, 93(1), 165–172. doi: 10.1007/BF00227791.
- Pintzka, C.W.S., Evensmoen, H.R., Lehn, H. y Håberg, A.K. (2016). Changes in spatial cognition and brain activity after a single dose of testosterone in healthy women. *Behavioural Brain Research*, 298 (Part B), 78–90. doi: 10.1016/j.bbr.2015.10.056.
- Platt, J.E. y Cohen, S. (1981). Mental rotation task performance as a function of age and training. *The Journal of Psychology*, 108(2), 173–178. doi: 10.1080/00223980.1981.9915260.
- Provost, A., Johnson, B., Karayanidis, F., Brown, S.D. y Heathcote, A. (2013). Two routes to expertise in mental rotation. *Cognitive Science*, 37(7), 1321–1342. doi: 10.1111/cogs.12042.

- Quaiser-Pöhl, C. (2003). The mental cutting test ‘Schnitte’ and the picture rotation test—two new measures to assess spatial ability. *International Journal of Testing*, 3(3), 219–231. doi: 10.1207/S1532 7574I JT030 3_2.
- Quaiser-Pöhl, C., Geiser, C. y Lehmann, W. (2006). The relationship between computer-game preference, gender, and mental-rotation ability. *Personality and Individual Differences*, 40(3), 609–619. doi: 10.1016/j.paid.2005.07.015.
- Quinn, P.C. y Liben, L.S. (2008). A sex difference in mental rotation in young infants. *Psychological Science*, 19(11), 1067–1070. doi: 10.1111/j.1467-9280.2008.02201.x.
- Rafi, A., Samsudin, K.A. y Said, C.S. (2008). Training in spatial visualization: The effects of training method and gender. *Educational Technology & Society*, 11(3), 127–140.
- Ramirez, G., Gunderson, E.A., Levine, S.C. y Beilock, S.L. (2012). Spatial anxiety relates to spatial abilities as a function of working memory in children. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(3), 474–487. doi: 10.1080/17470218.2011.616214.
- Ramirez, G., Gunderson, E.A., Levine, S.C. y Beilock, S.L. (2013). Math anxiety, working memory, and math achievement in early elementary school. *Journal of Cognition and Development*, 14(2), 187–202. doi: 10.1080/15248372.2012.664593.
- Real Decreto 1630/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas del segundo ciclo de Educación infantil. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 4 de enero de 2007, núm. 4, pp. 474-482.
- Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 1 de marzo de 2014, núm. 54, pp. 19349-19420.

- Reilly, D. y Neumann, D.L. (2013). Gender-role differences in spatial ability: A meta-analytic review. *Sex Roles: A Journal of Research*, 68(9–10), 521–535. doi: 10.1007/s11199-013-0269-0.
- Resnick, S.M. (1993). Sex differences in mental rotations: An effect of time limits? *Brain & Cognition*, 21(1), 71–79. doi: 10.1006/brcg.1993.1005.
- Reynolds, C.R. y Kamphaus, R.W. (2003). *RIAS, Reynolds Intellectual Assessment Scales*. Florida, US: Psychological Assessment Resources.
- Richardson, A. (1969). *Mental imagery*. New York, US: Springer.
- Rindermann, H. y Thompson, J. (2011). Cognitive capitalism: The effect of cognitive ability on wealth, as mediated through scientific achievement and economic freedom. *Psychological Science*, 22(6), 754–763. doi: 10.1177/0956797611407207.
- Ritchie, S.J. y Bates, T.C. (2013). Enduring links from childhood mathematics and reading achievement to adult socioeconomic status. *Psychological Science*, 24(7), 1301–1308. doi: 10.1177/0956797612466268.
- Rochat, P. y Hespos, S.J. (1996). Tracking and anticipation of invisible spatial transformation by 4- to 8-month-old infants. *Cognitive Development*, 11(1), 3–17. doi: 10.1016/S0885-2014(96)90025-8.
- Rodán, A., Contreras, M.J., Elosúa, M.R. y Gimeno, P. (2016) Experimental but not sex differences of a mental rotation training program on adolescents. *Frontiers in Psychology*, 7:1050. doi: 10.3389/fpsyg.2016.01050.
- Rodán, A., Gimeno, P., Elosúa, M.R., Montoro, P.R. y Contreras, M.J. (2019). Boys and girls gain in spatial, but not in mathematical ability after mental rotation training in primary education. *Learning and Individual Differences*, 70, 1-11. doi: 10.1016/j.lindif.2019.01.001.

- Ruthsatz, V., Neuburger, S., Jansen, P. y Quaiser-Pöhl, C. (2015). Cars or dolls? Influence of the stereotyped nature of the items on children's mental-rotation performance. *Learning and Individual Differences*, 43, 75–82. doi: 10.1016/j.lindif.2015.08.016.
- Ruthsatz, V., Neuburger, S. y Quaiser-Pöhl, C. (2013). The social relevance and the sociocultural origins of gender differences in spatial abilities. *Folia Sociologica*, 43, 17–32.
- Ruthsatz, V., Neuburger, S., Rahe, M., Jansen, P. y Quaiser-Pöhl, C. (2017). The gender effect in 3D-mental rotation performance with familiar and gender-stereotyped objects – a study with elementary-school children. *Journal of Cognitive Psychology*, 29(6), 717–730. doi:10.1080/20445911.2017.1312689.
- Sack, A.T., Lindner, M. y Linden, D.E.J. (2007). Object-and direction-specific interference between manual and mental rotation. *Perception and Psychophysics*, 69(8), 1435–1449. doi: 10.3758/BF03192958.
- Samuelson, L.K., Smith, L.B., Perry, L.K. y Spencer, J.P. (2011). Grounding word learning in space. *PLoS ONE*, 6, e28095. doi: 10.1371/journal.pone.0028095.
- Sander, E., Quaiser-Pöhl, C. y Stigler, C. (2010). Factors influencing the development of mental- rotation ability—The role of socio-cultural background. *European Journal of Developmental Science*, 4(1), 18–30. doi: 10.3233/DEV-2010-4102.
- Sanz de Acedo Lizarraga, M.L. y García Ganuza, J.M. (2003). Improvement of mental rotation in girls and boys. *Sex Roles*, 49(5–6), 277–286. doi:10.1023/A:1024656408294.
- Saracho, O.N. (1995). Preschooler's cognitive style and their selection of academic areas in their play. *Early Child Development and Care*, 112(1), 27–42. doi:10.1080/0300443951120103.

- Scheer, C., Maturana, F.M. y Jansen, P. (2018). Sex differences in a chronometric mental rotation test with cube figures: A behavioral, electroencephalography, and eye-tracking pilot study. *NeuroReport: For Rapid Communication of Neuroscience Research*, 29(10), 870–875. doi: 10.1097/WNR.0000000000001046.
- Schöner, G. y Thelen, E. (2006). Using dynamic field theory to rethink infant habituation. *Psychological Review*, 113(2), 273–299. doi: 10.1037/0033-295X.113.2.273.
- Schwarzer, G., Freitag, C., Buckel, R. y Lofruthe, A. (2013). Crawling is associated with mental rotation ability by 9-month-old infants. *Infancy*, 18(3), 432-441. doi: 10.1111/j.1532-7078.2012.00132.x.
- Schwarzer, G., Freitag, C. y Schum, N. (2013). How crawling and manual object exploration are related to the mental rotation abilities of 9-month-old infants. *Frontiers in Psychology* 4(97):97, 1–8. doi. 10.3389/fpsyg. 2013.00097.
- Sekiyama, K. (1982). Kinesthetic aspects of mental representations in the identification of left and right hands. *Perception & Psychophysics*, 32, 89–95. doi: 10.3758/BF03204268.
- Sella, F., Berteletti, I., Lucangeli, D. y Zorzi, M. (2017). Preschool children use space, rather than counting, to infer the numerical magnitude of digits: Evidence for a spatial mapping principle. *Cognition*, 158, 56–67. doi: 10.1016/j.cognition.2016.10.010.
- Shea, D.L., Lubinski, D. y Benbow, C.P. (2001). Importance of assessing spatial ability in intellectually talented young adolescents: A 20-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 604–614. doi: 10.1037/0022-0663.93.3.604.
- Shepard, R.N. y Cooper, L.A. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge, US: MIT Press.

- Shepard, R.N. y Metzler, J. (1971). Mental rotation of three dimensional objects. *Science*, *171*, 701–703. doi:10.1126/ science.171.3972.701.
- Shutts, K., Örnkloo, H., von Hofsten, C., Keen, R. y Spelke, E.S. (2009). Young children's representations of spatial and functional relations between objects. *Child Development*, *80*(6), 1612–1627. doi: 10.1111/j.1467-8624.2009.01357.x.
- Silverman, I., Choi, J. y Peters, M. (2007). The hunter–gatherer theory of sex differences in spatial abilities: Data from 40 countries. *Archives of Sexual Behavior*, *36*(2), 261–268. doi: 10.1007/s10508-006-9168-6.
- Sims, V. y Mayer, R. (2002). Domain specificity of spatial expertise: The case of video game players. *Applied Cognitive Psychology*, *16*(1), 97–115. doi: 10.1002/acp.759.
- Skagerlund, K. y Träff, U. (2016). Processing of space, time, and number contributes to mathematical abilities above and beyond domain-general cognitive abilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, *143*, 85–101. doi: 10.1016/j.jecp.2015.10.016.
- Smith, L.B. y Thelen, E. (2003). Development as a dynamic system. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(8), 343-348. doi: 10.1016/S1364-6613(03)00156-6.
- Spelke, E.S. y Newport, E.L. (1998). Nativism, empiricism and the development of knowledge. En W. Damon y R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology. Theoretical models of human development* (pp. 275–340). New York, US: Wiley.
- Sorby, S., Casey, B., Veurink, N. y Dulaney, A. (2013). The role of spatial training in improving spatial and calculus performance in engineering students. *Learning and Individual Differences*, *26*, 20–29. doi:10.1016/j.lindif. 2013.03.010.
- Sorby, S., Veurink, N. y Streiner, S. (2018). Does spatial skills instruction improve STEM outcomes? The answer is “yes.” *Learning and Individual Differences*, *67*, 209–222. doi: 10.1016/j.lindif.2018.09.001.

- Stieff, M. (2007). Mental rotation and diagrammatic reasoning in science. *Learning and Instruction, 17*(2), 219-234. doi:10.1016/j.learninstruc.2007.01.012
- Stransky, D., Wilcox, L.M. y Dubrowski, A. (2010). Mental rotation: Cross-task training and generalization. *Journal of Experimental Psychology. Applied, 16*(4), 349–360. doi: 10.1037/a0021702.
- Street, S.Y., James, K.H., Jones, S.S. y Smith, L.B. (2011). Vision for action in toddlers: The posting task. *Child Development, 82*(6), 2083–2094. doi: 10.1111/j.1467-8624.2011.01655.x.
- Talmy, L. (2000). *Toward a cognitive semantics: Vol. 1. Concept structuring systems*. Cambridge, US: MIT Press.
- Terlecki, M.S. y Newcombe, N.S. (2005). How important is the digital divide? the relation of computer and videogame usage to gender differences in mental rotation ability. *Sex Roles, 53*(5-6). doi: 10.1007/s11199-005-6765-0.
- Terlecki, M.S., Newcombe, N.S. y Little, M. (2008). Durable and generalized effects of spatial experience on mental rotation: Gender differences in growth patterns. *Applied Cognitive Psychology, 22*(7), 996–1013. doi: 10.1002/acp.1420.
- Thelen, E., Schöner, G., Scheier, C. y Smith, L.B. (2001). The dynamics of embodiment: A field theory of infant perseverative reaching. *Behavioral and Brain Sciences, 24*(1), 1–86. doi: 10.1017/S0140525X01003910.
- Thelen, E. y Smith, L.B. (1996). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. Cambridge, US: Bradford Books/MIT Press.
- Thompson, J.M., Nuerk, H.C., Moeller, K. y Kadosh, R.C. (2013). The link between mental rotation ability and basic numerical representations. *Acta Psychologica, 144*(2), 324–331. doi:10.1016/j.actpsy.2013.05.009.

- Thurstone, L.L. (1944). *A factorial study of perception*. Chicago, US: University of Chicago Press.
- Thurstone, L.L. (1947). *Multiple-factor analysis*. Chicago, US: University of Chicago Press.
- Titze, C., Heil, M. y Jansen, P. (2008). Gender differences in the Mental Rotations Test (MRT) are not due to task complexity. *Journal of Individual Differences*, 29(3), 130–133. doi: 10.1027/1614-0001.29.3.130.
- Titze, C., Jansen, P. y Heil, M. (2010). Mental rotation performance and the effect of gender in fourth graders and adults. *European Journal of Developmental Psychology*, 7(4), 432–444. doi:10.1016/j.lindif.2010.04.003.
- Tolar, T.D., Lederberg, A.R. y Fletcher, J.M. (2009). A structural model of algebra achievement: Computational fluency and spatial visualisation as mediators of the effect of working memory on algebra achievement. *Educational Psychology*, 29(2), 239–266. doi: 10.1080/01443410802708903.
- Tracy, D.M. (1987). Toys, spatial ability, and science and mathematics achievement: Are they related? *Sex Roles*, 17(3-4), 115–138. doi:10.1007/BF00287620.
- Tzuriel, D. y Egozi, G. (2010). Gender differences in spatial ability of young children: The effects of training and processing strategies. *Child Development*, 81(5), 1417–1430. doi: 10.1111/j.1467-8624.2010.01482.x.
- Uttal, D.H. (2000). Seeing the big picture: Map use and the development of spatial cognition. *Developmental Science*, 3(3), 247–286. doi: 10.1111/1467-7687.00119.
- Uttal, D.H. y Meadow, N.G. (2013). The psychology of practice: Lessons from spatial cognition. En D. Reisberg (Ed.), *The Oxford handbook of cognitive psychology*. (pp. 874–885). New York, US: Oxford University Press. doi: 10.1093/oxfordhb/9780195376746.013.0055.

- Uttal, D.H., Meadow, N.G., Tipton, E., Hand, L.L., Alden, A.R., Warren, C. y Newcombe, N.S. (2013a). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352–402. doi: 10.1037/a0028446.
- Uttal, D.H., Miller, D.I. y Newcombe, N.S. (2013b). Exploring and enhancing spatial thinking links to achievement in science, technology, engineering, and mathematics. *Current Directions in Psychological Science*, 22(5), 367–373. doi: 10.1177/0963721413484756.
- van Hemmen, J., Veltman, D.J., Hoekzema, E., Cohen-Kettenis, P.T., Dessens, A.B. y Bakker, J. (2016). Neural activation during mental rotation in complete androgen insensitivity syndrome: The influence of sex hormones and sex chromosomes. *Cerebral Cortex*, 26(3), 1036–1045. doi: 10.1093/cercor/bhu280.
- Vandenberg, S.G. y Kuse, A.R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual & Motor Skills*, 47(2), 599. doi: 10.2466/pms.1978.47.2.599.
- Vasilyeva, M. y Lourenco, S.F. (2010). Spatial development. En R.M. Lerner y W. Overton (Eds), *Handbook of Lifespan human development, Volumen 1: Methods, biology, neuroscience and cognitive development* (pp. 720-753). Hoboken, US: Wiley.
- Verdine, B.N., Golinkoff, R.M., Hirsh-Pasek, K., Newcombe, N.S., Filipowicz, A.T., y Chang, A. (2014). Deconstructing building blocks: Preschoolers' spatial assembly performance relates to early mathematical skills. *Child Development*, 85(3), 1062–1076. doi: 10.1111/cdev.12165.
- Verner, I.M. (2004). Robot manipulations: A synergy of visualization, computation and action for spatial instruction. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 9(2), 213–234. doi:10.1023/B: IJCO.0000040892.46198.aa.

- Viarouge, A., Hubbard, E.M. y McCandliss, B.D. (2014). The cognitive mechanisms of the SNARC effect: An individual differences approach. *PLoS ONE*, 9(4), e95756. doi: 10.1371/journal.pone.0095756.
- von Hofsten, C. y Lindhagen, K. (1979). Observations on the development of reaching for moving objects. *Journal of Experimental Child Psychology*, 28(1), 158–173. doi: 10.1016/0022-0965(79)90109-7.
- Voyer, D. (2011). Time limits and gender differences on paper-and-pencil tests of mental rotation: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(2), 267–277. doi: 10.3758/s13423-010-0042-0.
- Voyer, D., Butler, T., Cordero, J., Brake, B., Silbersweig, D., Stern, E. y Imperato-McGinley (2006). The relation between computerized and paper-and-pencil mental rotation tasks: A validation study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28(6), 928–939. doi: 10.1080/13803390591004310.
- Voyer, D. y Doyle, R.A. (2010). Item type and gender differences on the mental rotations test. *Learning and Individual Differences*, 20(5), 469–472. doi: 10.1016/j.lindif.2010.04.010.
- Voyer, D. y Hou, J. (2006). Type of items and the magnitude of gender differences on the mental rotations test. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 60(2), 91–100. doi:10.1037/cjep2006010.
- Voyer, D. y Jansen, P. (2016). Sex differences in chronometric mental rotation with human bodies. *Psychological Research*, 80(6), 974-984. doi: 10.1007/s00426-015-0701-x.

- Voyer, D. y Jansen, P. (2017). Motor expertise and performance in spatial tasks: A meta-analysis. *Human Movement Science*, 54, 110–124. doi: .1016/j.humov.2017.04.004.
- Voyer, D., Voyer, S. y Bryden, M.P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117(2), 250–270. doi: 10.1037/0033-2909.117.2.250.
- Wai, J., Lubinski, D. y Benbow, C.P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817–835. doi: 10.1037/a0016127.
- Waller, D., y Nadel, L. (2013). *Handbook of spatial cognition*. Washington, US: American Psychological Association. doi: 10.1037/13936-000.
- Wei, W., Yuan, H., Chen, C. y Zhou, X. (2012). Cognitive correlates of performance in advanced mathematics. *British Journal of Educational Psychology*, 82(1), 157–181. doi: 10.1111/j.2044-8279.2011.02049.x.
- Wheeler, M. y Clark, A. (2008). Culture, embodiment and genes: unravelling the triple helix. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1509), 3563–3575. doi: 10.1098/rstb.2008.0135.
- Wilson, M. (2002). Six views on embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625–636. doi: 10.3758/BF03196322.
- Wilson, J.R., DeFries, J.C., McClearn, G.E., Vandenberg, S.G., Johnson, R.C. y Rashad, M.N. (1975). Cognitive abilities: Use of family data as a control to assess sex and age differences in two ethnic groups. *International Journal of Aging and Human Development*, 6(3), 261–276.

- Wiedenbauer, G. y Jansen-Osmann, P. (2008). Manual training of mental rotation in children. *Learning and Instruction*, 18(1), 30–41. doi: 10.1016/j.learninstruc.2006.09.009.
- Wimmer, M.C., Robinson, E.J., y Doherty, M.J. (2017). Are developments in mental scanning and mental rotation related? *PLoS ONE* 12(2): e0171762. doi: 10.1371/journal.pone.0171762.
- Wise, L.L., McLaughlin, D.H. y Steel, L. (1979). *The Project TALENT data bank*. Palo Alto, US: American Institutes for Research.
- Witherington, D. (2005). The development of prospective grasping control between 5 and 7 months: A longitudinal study. *Infancy*, 7(2), 143–161- doi: 10.1207/s15327078in0702_2.
- Wright, R., Thompson, W.L., Ganis, G., Newcombe, N.S. y Kosslyn, S.M. (2008). Training generalized spatial skills. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(4), 763–771. doi: 10.3758/pbr.15.4.763.
- Wohlschläger, A. (2001). Mental object rotation and the planning of hand movements. *Perception & Psychophysics*, 63(4), 709–718. doi: 10.3758/ BF03194431.
- Wohlschläger, A. y Wohlschläger, A. (1998). Mental and manual rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(2), 397-412. doi: 10.1037/0096-1523.24.2.397.
- Wolfgang, C.H., Stannard, L.L. y Jones, I. (2001). Block play performance among preschoolers as a predictor of later school achievement in mathematics. *Journal of Research in Childhood Education*, 15(2), 173–180. doi: 10.1080/02568540109594958.
- Wu, H.K. y Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465–492. doi: 10.1002/sce.10126.

- Xu, F. y Carey, S. (1996). Infants' metaphysics: the case of numerical identity. *Cognitive Psychology* 30(2), 121–143. doi: 10.1006/cogp.1996.0005.
- Xu, F., Carey, S. y Quint, N. (2004). The emergence of kind-based object individuation in infancy. *Cognitive Psychology*, 49(2), 155–190. doi: 10.1016/j.cogpsych.2004.01.001.
- Zacks, J.M. (2008). Neuroimaging studies of mental rotation: A meta-analysis and review. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(1), 1–9. doi: 10.1162/jocn.2008.20013.
- Zacks, J.M. y Michelon, P. (2005). Transformations of visuospatial images. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 4(2), 96–118, doi:10.1177/1534582305281085.

ANEXOS

ANEXO I. Tarea de rotación de imágenes abreviada. Adaptación del Picture Rotation Test (PRT; Marke, 2008; Quaiser-Pöhl, 2003). Prueba adaptada al primer curso de Educación Infantil para niños/as con edades comprendidas entre 3 y 4 años de edad.

Lámina 1. Manipulativo experimentador

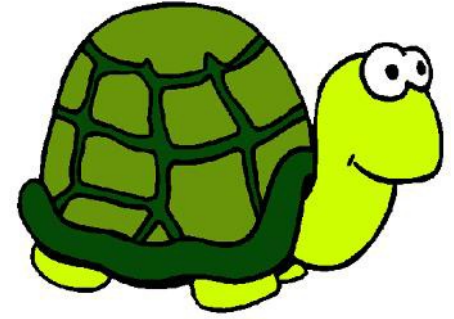
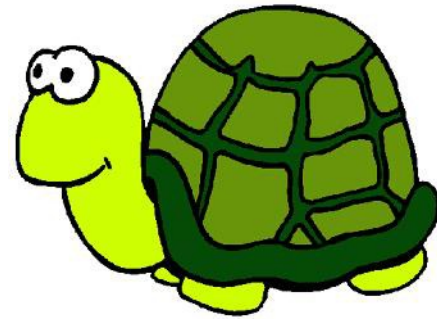
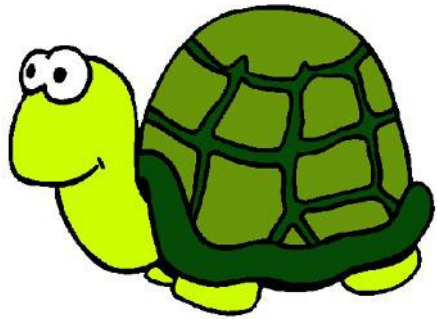


Lámina 2. Manipulativo participante

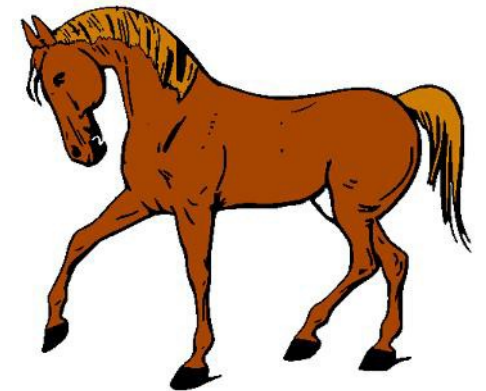
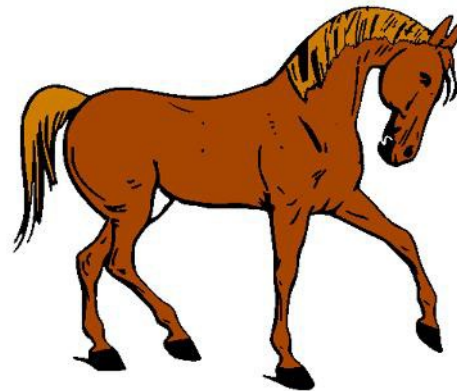
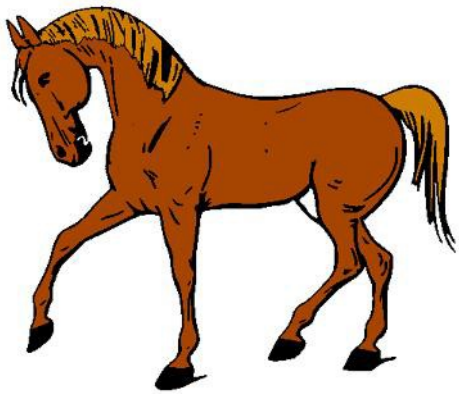


Lámina 3. Ensayo de práctica 1. Rotación 180 – Espejo 45



Lámina 4. Ensayo de evaluación 1. Rotación 45– Espejo 45

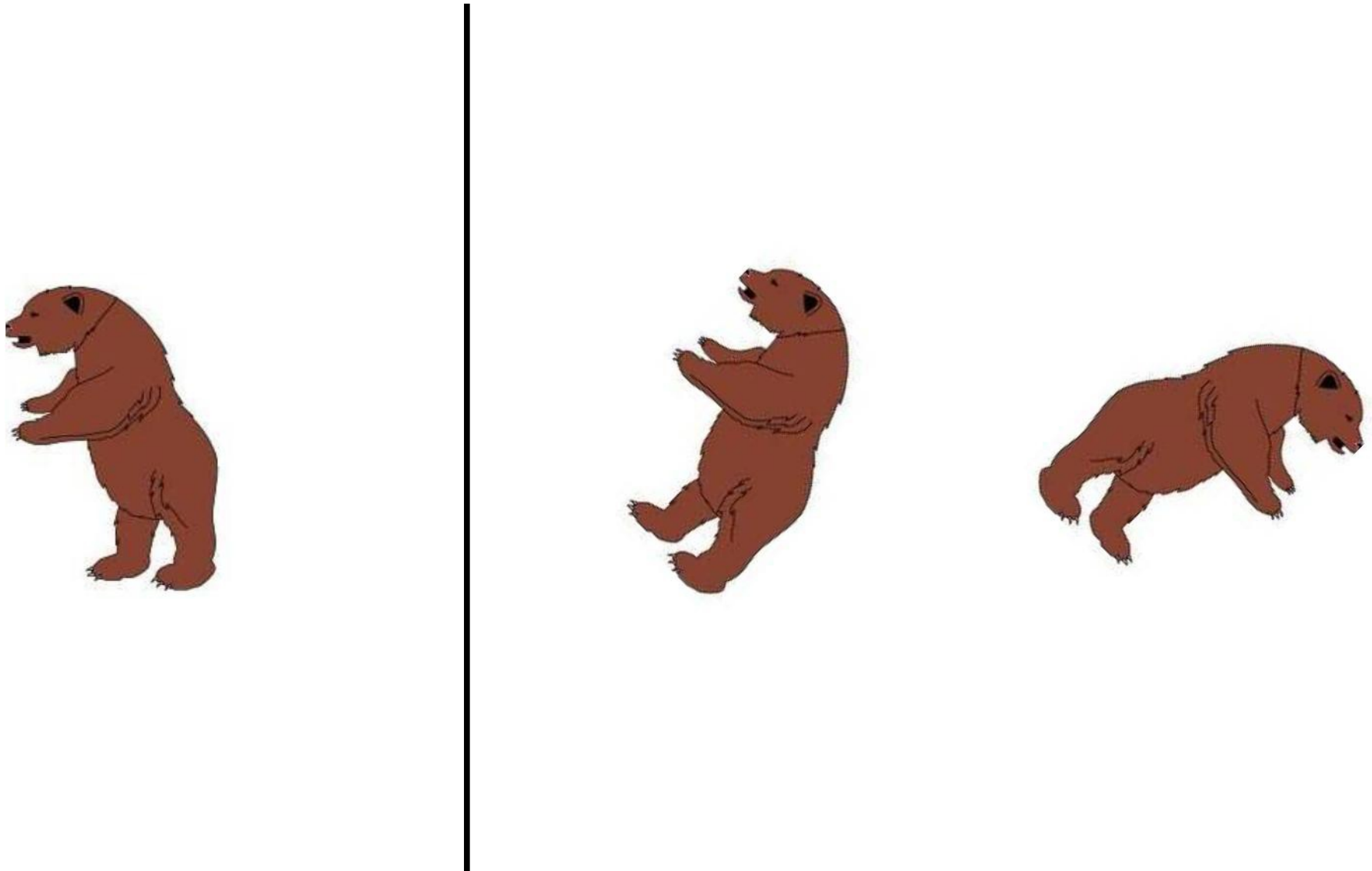


Lámina 5. Ensayo de evaluación 2. Rotación 45 – Espejo 180

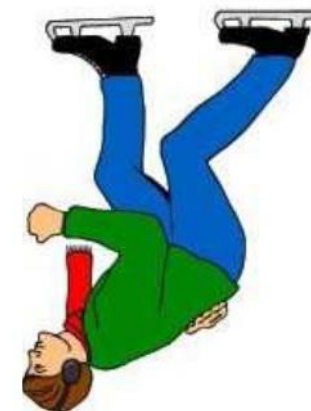


Lámina 6. Ensayo de evaluación 3. Espejo 45 – Rotación 180

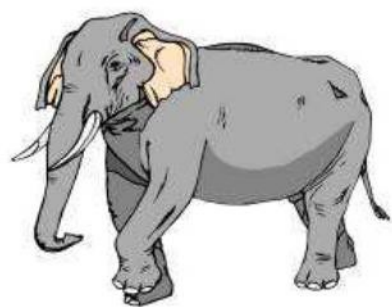


Lámina 7. Ensayo de evaluación 4. Rotación 180 – Espejo 180



Lámina 8. Ensayo de evaluación 5. Rotación 180 – Espejo 45

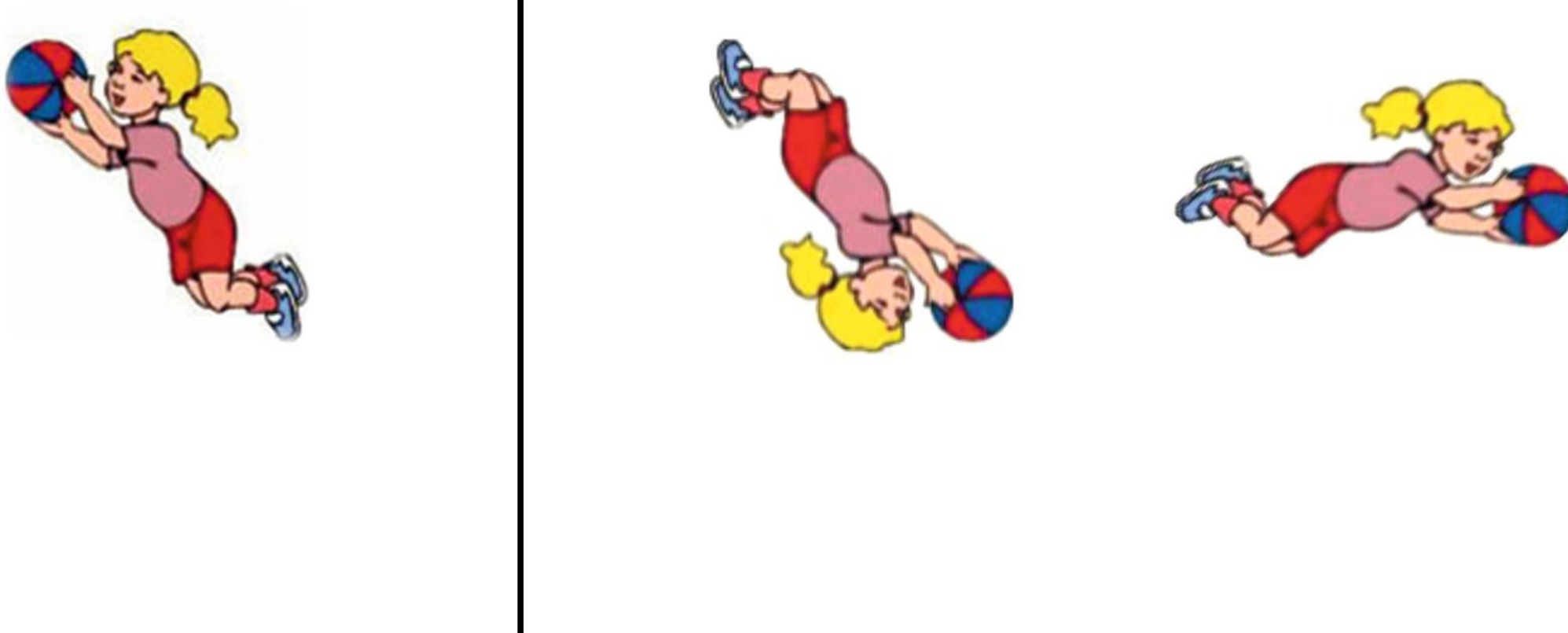


Lámina 9. Ensayo de evaluación 6. Espejo 45 – Rotación 45



Lámina 10. Ensayo de evaluación 7. Rotación 180 – Espejo 180

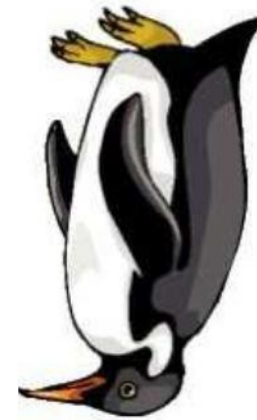
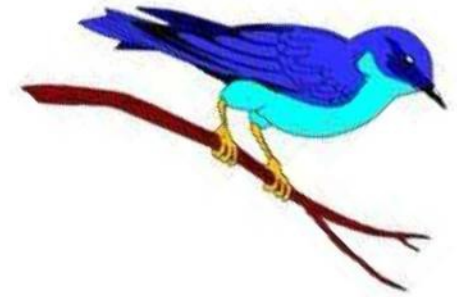


Lámina 11. Ensayo de evaluación 8. Espejo 180 – Rotación 45



Hoja de respuestas de la tarea de rotación de imágenes abreviada

Nombre: _____

Nacimiento: _____ Edad: _____ Sexo: M F

Día: _____ Examinador/a: _____

Item		1	2	Comentarios
Ejemplo	Tortuga (esp45°-rot45)			
Ejemplo	Tortuga (rot180-esp180)			
Prueba 1	Caballo (espejo 45°-rot180)			
Prueba 1	Caballo (rot180-esp180)			
Prueba 2	Mujer con raqueta (Esp180-Rot45)			
1	Oso			
2	Hombre patines			
3	Elefante			
4	Pintora			
5	Niña pelota			
6	Hombre guitarra			
7	Pinguino			
8	Pájaro			

ANEXO II. Picture Rotation Test original, reproducido con permiso de la autora, Claudia Quaiser Pöhl (Marke, 2008; Quaiser-Pöhl, 2003).

Claudia Quaiser-Pohl, Anna Rohe and Sina Marke

PRT

Picture Rotation Test

General information for the test supervisor:

Position the test in a way that this page is visible only to you as the test administrator while the child is now looking at a blank page.

Position yourself in a way that allows you to see which item the child points at.

Read out the instructions word by word. Please

do not give the child additional assistance.

Mark the given answer on the answer sheet. In addition the correct answers have a grey background on the answer sheet.



(1)

(2)

(3)

EXAMPLE

Please say: ***“Here you see a picture of a crocodile. The crocodile is looking at... (name an object in the room, which is in this direction/or point at the direction)”***.

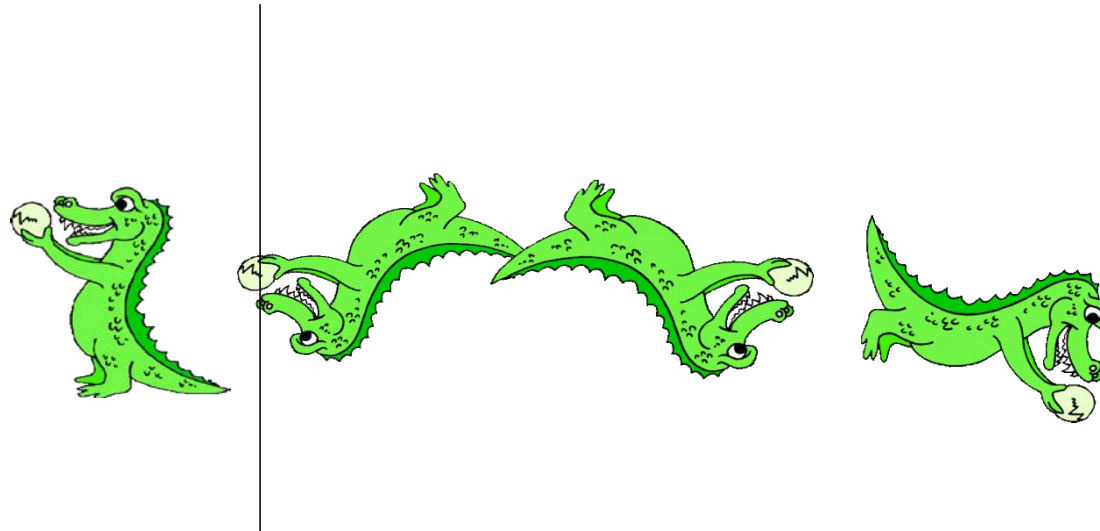
Then lay a mirror-inverted crocodile on (1) and slowly rotate it by 180° while saying: ***“This is the picture of a different crocodile. This crocodile is looking at a different direction. It is looking at... (name an object in the room). Even if I turn it, it remains a crocodile different from the first one.”*** Afterwards, turn back the crocodile to an upright position.

Now lay the second mirror-inverted crocodile on (2) at the middle of the page (next to the first mirror-inverted crocodile). ***“This is also a crocodile different from the first one (point at the comparison item). This crocodile also looks at.... (name an object in the room). Even if I turn it, it remains a crocodile different from the very first one I showed to you.”*** (Slowly turn the second mirror-inverted crocodile by 180° and back).

Finally lay the crocodile which is a copy of the comparison item on (3) and say: ***“This crocodile is the same as the first one over here (point at comparison item). They both look in the same direction, they both look at....(name an object in the room). And even if I turn this crocodile, it still remains the same as the first one here. Just a little bit twisted.”*** (Slowly turn the crocodile by 180° and back.)



Put the crocodile in the following arrangement:



Say: ***“Which of these three crocodiles here*** (point to the three paper-crocodiles) ***is exactly the same as this one here*** (point to the comparison crocodile)?”

After the child has made his decision: ***“Yes (resp. no), that is correct (resp. that is incorrect), because if I turn the crocodile around you can see that it is (not) looking at the same direction as the first crocodile. It is (also) looking at*** (name an object in the room).”

If the decision was correct, turn all crocodiles so that their head is up (correct item first) and explain again that the tails of the other crocodiles point at a different direction.

If the decision was incorrect the child gets the opportunity to choose again (until it makes the correct decision then turn crocodiles back).



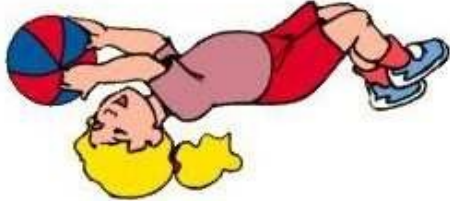
EXERCISE (Kangaroo)

“Here you see a kangaroo. It even has a baby in its pouch. The baby kangaroo is looking at ... (name an object in the room). The paws point into that direction, too.” Point to the comparison picture in front of the line and name the viewing direction of the baby and the orientation of the paws.

“One of these three kangaroos here (point to the pictures behind the line) is exactly the same as the first one here (point to the comparison picture in front of the line). Can you tell me which one?”

If the child gives an incorrect answer explain, with the help of the comparison item, the viewing direction of each kangaroo again. If needed, add as an additional advice: *“Try to move the kangaroos in your head so that they are standing on their feet. And now try to imagine in which direction they will jump (if necessary recapitulate each kangaroo individually and ask in which direction it will jump).*

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 1).



EXERCISE (Girl with ball)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a girl with a ball. She is throwing the ball to/at.... (name an object in the room).***

One of these three girls here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one?”

If the child gives an incorrect answer, explain the viewing direction of the items. If needed add as an additional advice: *“Try to move the girls in your head so that they are standing on their feet. And now try to imagine in which direction they will throw the ball (if necessary recapitulate each girl individually and ask in which direction it will throw)”*.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 2).

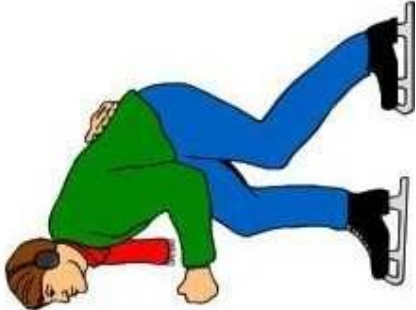


ITEM 1 (Tiger)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a tiger. It runs in the direction of... (name an object in the room). One of these three tigers here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one? “***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 3).



ITEM 2 (Ice skater)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of an ice skater. He runs in the direction of... (name an object in the room) “. “One of these three ice skaters here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one? “***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 3).



ITEM 3 (Penguin)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a penguin. It runs in the direction of ... (name an object in the room). One of these three penguins here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one? “***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 1).

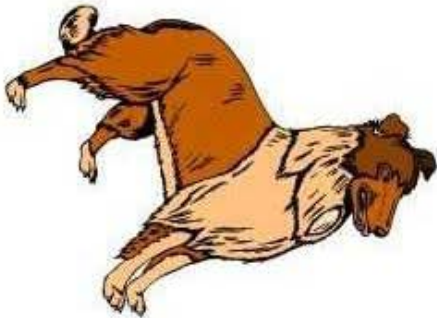


ITEM 4 (Painter)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a painter. She looks in the direction of ... (name an object in the room). One of these three painters here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one?”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 3).



ITEM 5 (Dog)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a dog. It runs in the direction of ... (name an object in the room). One of these three dogs here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one?”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 2).

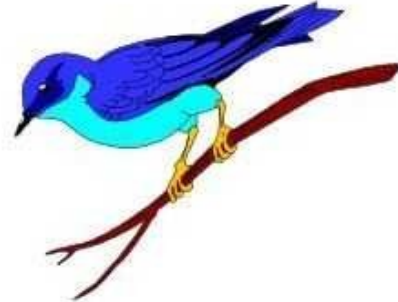


ITEM 6 (Boy with bubblegum)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a boy with a bubblegum. He looks at the direction of ... (name an object in the room). One of these three boys here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one?”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 1).

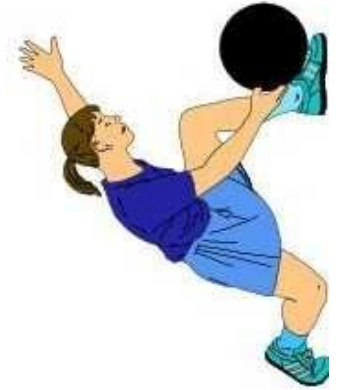
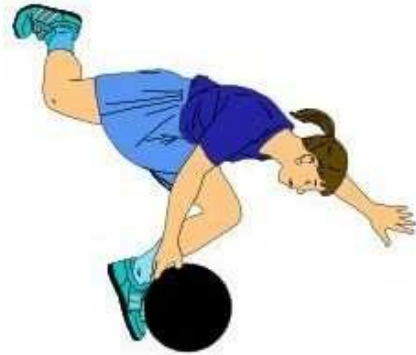
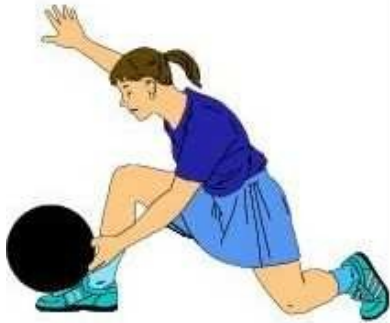


ITEM 7 (Bird)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a bird. It looks at ... (name an object in the room). One of these three birds here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one?”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 1).



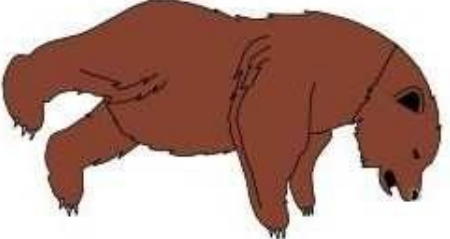
ITEM 8 (Woman with ball)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a woman with a ball. She throws the ball at ...*** (Name an object in the room).

One of these three women here (point to the pictures behind the line) ***is the same as the first one. Can you tell me which one?”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 2).



ITEM 9 (Bear)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a bear. It looks at ... (name an object in the room). One of these three bears here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one?”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 2).

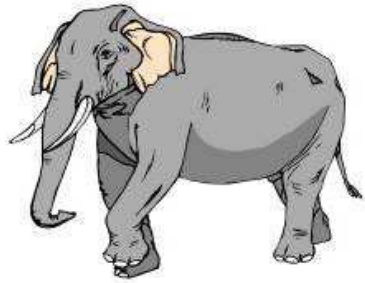


ITEM 10 (Man with guitar)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a man with a guitar. He looks at ... (name an object in the room). One of these three men here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one?”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 3).

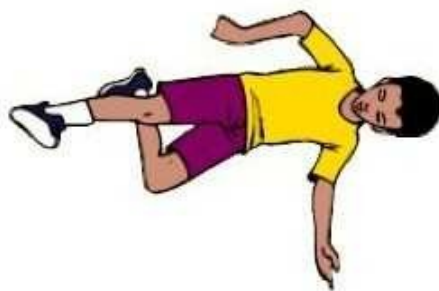


ITEM 11 (Elephant)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of an elephant. It looks at ... (name an object in the room). One of these three elephants here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one?”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 3).

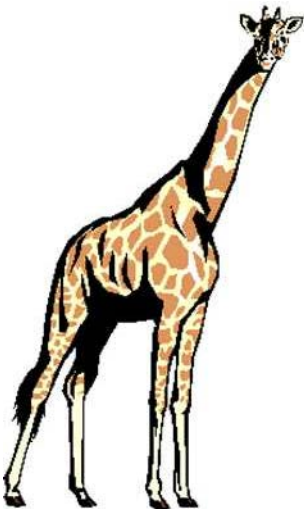


ITEM 12 (Boy)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a boy. He looks at ... (name an object in the room). One of these three boys here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one?”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 1).

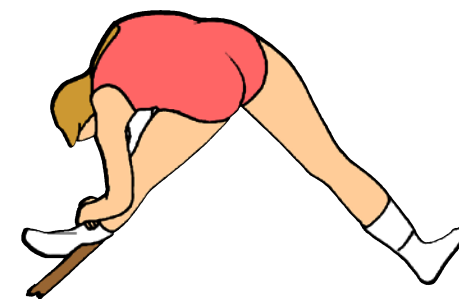
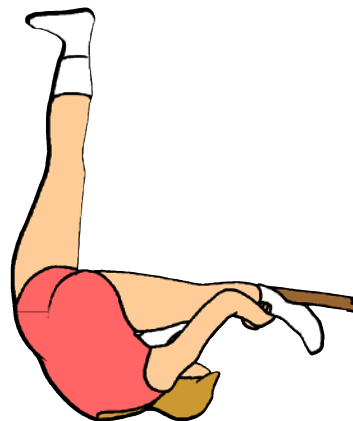
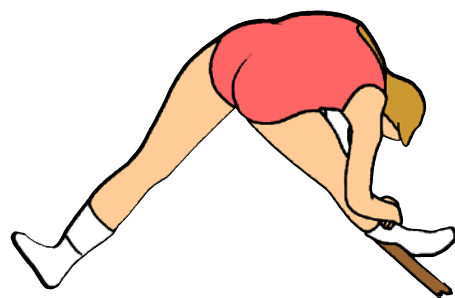
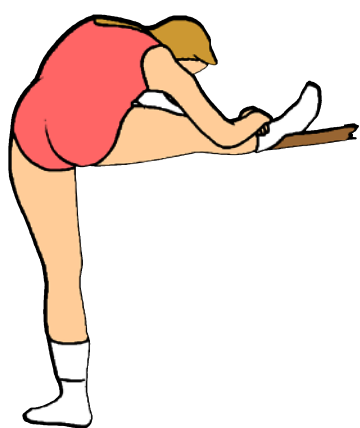


ITEM 13 (Giraffe)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a giraffe. It runs in the direction of ... (name an object in the room). One of these three giraffes here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one?”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 2).

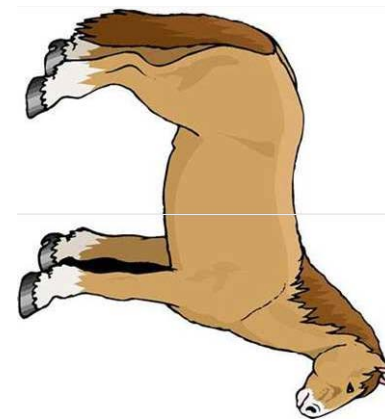
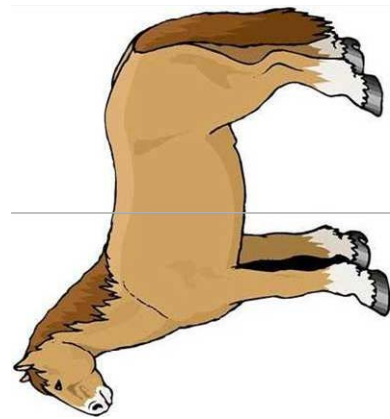
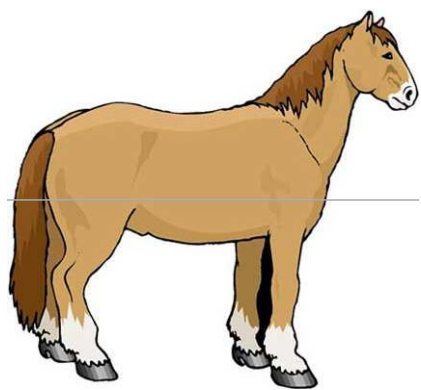


ITEM 14 (Gymnast)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a gymnast. She does her exercises in the direction of ... (name an object in the room). One of these three gymnasts here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one?”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 1).

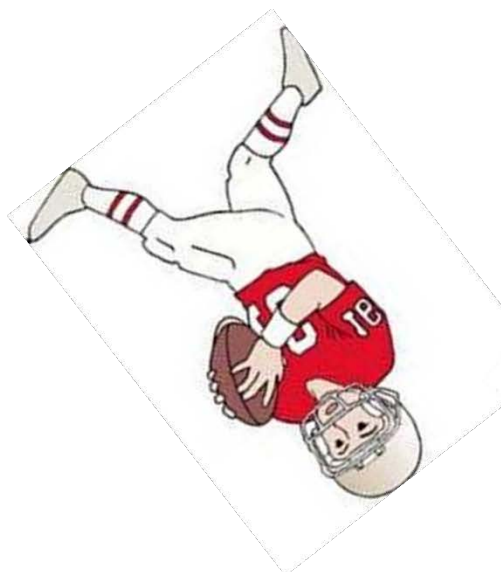


ITEM 15 (Horse)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a horse. It looks at ... (name an object in the room). One of these three horses here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one?”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 3).



ITEM 16 (Boy with football)

Point to the comparison item in front of the line: ***“Here you see the picture of a boy with a football. He runs in the direction of ... (name an object in the room). One of these three boys here (point to the pictures behind the line) is the same as the first one. Can you tell me which one? ”***

Even if the child gives an incorrect answer, no further help is given.

Note down the answer on the answer sheet (correct answer: 2).

“That was the last picture. Thank you for taking part.”

Anexo III. Láminas añadidas al PRT (Tarea de rotación de imágenes extendida). Prueba adaptada al segundo y tercer curso de Educación Infantil para niños/as con edades comprendidas entre 4 y 6 años de edad.



