

TESIS DOCTORAL

2019

ENTRENAMIENTO VISOESPACIAL EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA, Y SU RELACIÓN CON FACTORES COGNITIVOS, EMOCIONALES Y DE EXPERIENCIA CON VIDEOJUEGOS

Antonio Rodán González

PROGRAMA DE DOCTORADO EN PSICOLOGÍA DE LA SALUD

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Directores:

Dra. María José Contreras Alcalde

Dr. Pedro Raúl Montoro Martínez

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

Departamento de Psicología Básica I

Facultad de Psicología



TESIS DOCTORAL

Programa de Doctorado en Psicología de la Salud

**ENTRENAMIENTO VISOESPACIAL EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN
PRIMARIA Y SECUNDARIA, Y SU RELACIÓN CON FACTORES COGNITIVOS,
EMOCIONALES Y DE EXPERIENCIA CON VIDEOJUEGOS**


Antonio Rodán González

Directores:

Dra. María José Contreras Alcalde

Dr. Pedro Raúl Montoro Martínez

Madrid, junio de 2019



Nuestro mundo es un mundo que existe en el espacio, y un mundo sin espacio es literalmente inconcebible. Dada esta verdad básica, está claro que vivir en el mundo requiere algún tipo de funcionamiento espacial (Traducción propia; Nora S. Newcombe y Thomas F. Shipley, 2015, p. 179)

Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo, involúcrame y lo aprendo

(Benjamin Franklin)

*Dedicado a mis padres, Paula y Antonio,
ejemplos de superación y de lucha.*

FINANCIACIÓN

Los estudios realizados para la presente tesis forman parte de un Proyecto de Investigación financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad con referencia EDU2013-46437-R y con título “Habilidades visoespaciales: factores evolutivos, influencia cognitiva, emocional, correlatos electrofisiológicos y beneficios de su entrenamiento”.

AGRADECIMIENTOS

Todas estas personas fuisteis esenciales en la realización de este trabajo. Por ello, os debo un minúsculo, pero afectivo, agradecimiento:

Gracias a mi familia y amigos, especialmente a mis padres y hermanos, por vuestro aliento y comprensión durante este tiempo de dedicación a este trabajo. Mama y papá, sois el perfecto ejemplo de superación y amor por el trabajo que hacéis. Tan sólo deciros que, os quiero y aprecio.

Gracias a los equipos directivos de los C.E.I.P “Escuelas Aguirre” y “Leopoldo Alas”, con mención especial a Javier Gimeno y Patricia Gimeno, del Colegio CEU-San Pablo Montepíncipe, especialmente a Inés Albánchez, y del Colegio Público “CRA Campos Castellanos” (Segovia), por abrirnos las puertas de manera incondicional y hacer que nos sintiéramos como en casa.

Por supuesto, gracias a todos los niños y niñas, y a sus padres y madres, por querer participar en este estudio. Nada de esto hubiera cobrado sentido sin vuestra colaboración.

Gracias, Alex, Azul, Diego, Iker, Iván, Jaime, María, Miguel y Carmentxu, porque vuestra paciencia y dedicación en vuestros ratos libres de juego fueron clave para que pudiésemos hacer el piloto del programa de entrenamiento.

Qué decir de mi familia científica:

M.J. Contreras y Pedro R. Montoro, mis queridos y admirados directores de Tesis. Nunca tendré palabras suficientes para reconocer todo lo que me habéis enseñado y ayudado. Sois el perfecto ejemplo de pasión y rigor por el trabajo que realizáis, pero también de compañerismo, alegría y buen humor. M.J., gracias por tu generosidad, nunca olvidaré la oportunidad que un día me brindaste para que pudiera aprender investigando contigo. Pedro, gracias por transmitir con tanta fuerza tu amor por la psicología experimental y por el diseño de experimentos perceptivos, nunca olvidaré tu magnífico curso de manejo de *E-Prime*, que me cautivó y animó al instante a desarrollar el programa de entrenamiento de este trabajo.

Gracias, Laura Fernández-Méndez, por tu incontable ayuda y por compartir conmigo tantas inquietudes científicas. Nunca olvides que parte de este trabajo es también tuyo y de la pequeña Nora.

Gracias, María Fernández-Cahill, porque haces sencillo y ágil un trabajo que para mí sería fatigoso, por no decir imposible. Gracias también por tu ingente amabilidad y simpatía.

Gracias, Raúl Cabestrero, Rosa Elosúa y Julia Mayas, algunos de mis profesores de la Facultad de Psicología de la UNED, por vuestra cercanía y generosidad.

Gracias, Esther Mármol y Nani Pagán, por permitirme seguir aprendiendo día a día con vosotras, y por la paciencia infinita que habéis mostrado todo este tiempo de trabajo compartido.

Gracias, Santiago Angulo (CEU-San Pablo), Agustín Martínez-Molina (Universidad de Zaragoza) y Luis Eduardo Garrido (Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra), por vuestra incondicional y valiosa ayuda con algunos de los análisis de este trabajo.

Thanks a million, Ann Dowker (University of Oxford), Paul T. Cirino (University of Houston), Melissa S. Terlecky (Cabrini University), Angelica Moè (Università di Padova) and other reviewers, to made very constructive revisions which have helped to greatly improve the manuscripts for *Frontiers in Psychology* and *Learning and Individual Differences*.

Gracias a mis dos amores, Patty y Paula, por vuestra colosal paciencia. Siento todo el tiempo que no pude dedicaros en esta etapa, pero a la vez sirvió para reafirmar lo importante que es disfrutar de vosotras cada minuto. Patty, porque fuiste la que impulsó que yo comenzara con esto, y porque el camino recorrido en esta aventura ha sido compartido contigo estrechamente, siempre consideraré que una parte de este trabajo es tuya. Os quiero.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	XI
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XXIII
LISTA DE FIGURAS.....	XXV
LISTA DE TABLAS.....	XXXI
PRESENTACIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. Marco Teórico.....	9
1.1. Categorías del dominio espacial.....	12
1.2. Habilidades espaciales en el rendimiento de disciplinas académicas...	24
1.3. Habilidades espaciales y rendimiento en matemáticas.....	25
1.4. Competencia matemática en nuestro país.....	30
1.5. Promoviendo la importancia de las habilidades espaciales en el ámbito educativo.....	37
1.6. Panorama actual del rendimiento académico en España.....	40
1.7. Maleabilidad del razonamiento espacial.....	44
1.7.1. Evidencias sobre efectos de práctica del razonamiento espacial en las primeras etapas del desarrollo (preescolar, infantil y niñez).....	46
1.7.2. Evidencias sobre efectos de práctica del razonamiento espacial en la etapa de la pubertad o adolescencia.....	52

1.8. Diferencias de sexo en RM.....	56
1.8.1. Diferencias entre sexos en rendimiento espacial durante la etapa preescolar y en la niñez.....	58
1.8.2. Diferencias entre sexos en rendimiento espacial durante la pubertad.....	63
1.9. Entrenamiento en RM y su posible transferencia hacia el rendimiento matemático.....	69
1.9.1. Intervenciones en la infancia y la niñez.....	70
1.9.2. Intervenciones en adolescents.....	75
1.10. Algunos factores mediadores que intervienen en las diferencias individuales del rendimiento espacial. El rol de la ansiedad espacial y de la experiencia con videojuegos.....	78
1.11. Ganancias diferenciales según el nivel inicial de partida.....	82
1.12. Objetivos generales de la Tesis.....	86
CAPÍTULO 2. Investigación en escolares de Primaria.....	89
2.1. Justificación del estudio.....	90
2.2. Objetivos e hipótesis.....	92
2.3. Método.....	94
2.3.1. Participantes.....	94
2.3.2. Materiales.....	95
2.3.2.1. Matrices progresivas de Raven (<i>Standard Progressives Matrices</i> , Raven Court y Raven, 1996)	95

2.3.2.2. Prueba de aptitud espacial “E” del EFAI-1 (Santamaría, Arribas, Pereña y Seisdedos, 2005)	96
2.3.2.3. Prueba de aptitud numérica “N” del EFAI-1 (Santamaría et al., 2005)	97
2.3.2.4. Cuestionario de ansiedad espacial (adaptado de Ramirez et al., 2012)	99
2.3.2.5. Cuestionario sobre la experiencia y preferencia de videojuegos (CVJ)	100
2.3.2.6. Programa de Entrenamiento de Rotación Mental (PERM) ...	101
2.3.3. Procedimiento.....	106
2.3.3.1. Pretest.....	106
2.3.3.2. Entrenamiento.....	107
2.3.3.3. Postest.....	108
2.3.4. Análisis de datos.....	110
2.4. Resultados.....	112
2.4.1. Análisis preliminares.....	112
2.4.2. Efectos del entrenamiento y diferencias de sexo (Objetivos e hipótesis 1, 2 y 3)	117
2.4.3. Correlación entre habilidades cognitivas, factores emocionales (ansiedad espacial) y de la experiencia con videojuegos (Objetivos e hipótesis 4 y 5)	119
2.4.4. Rendimiento durante el PERM y ganancias en la habilidad de RM según el nivel espacial de partida (Objetivo e hipótesis 6).....	122

2.4.4.1. Rendimiento durante el PERM: precisión (tasa de aciertos).	124
2.4.4.2. Rendimiento durante el PERM: tiempo de reacción.....	129
2.4.4.3. Ganancias obtenidas en la habilidad de RM.....	134
2.5. Discusión.....	135
2.5.1. Efectos de mejora en RM.....	135
2.5.2. Rendimiento espacial en ambos sexos.....	140
2.5.3. Efectos del entrenamiento de la RM en las matemáticas	143
2.5.4. Correlación entre habilidades, factores emocionales y basados en la experiencia con videojuegos.....	149
2.5.5. Rendimiento durante el PERM y ganancias obtenidas en la habilidad de RM según el nivel espacial de partida.....	157
2.5.6. Limitaciones del estudio y futuras líneas de investigación.....	164
2.6. Conclusiones.....	166
CAPÍTULO 3. Investigación en estudiantes de Secundaria.....	169
3.1. Justificación del estudio.....	171
3.2. Objetivos e hipótesis.....	173
3.3. Método.....	175
3.3.1. Participantes.....	175
3.3.2. Materiales.....	176
3.3.2.1. Matrices progresivas de Raven (<i>Standard Progressives Matrices</i> , Raven et al., 1996)	176

3.3.2.2. Prueba de aptitud espacial “E” del EFAI-3 (Santamaría et al., 2005)	176
3.3.2.3. Prueba de aptitud numérica “N” del EFAI-3 (Santamaría et al., 2005)	177
3.3.2.4. Cuestionario de ansiedad espacial (adaptado de Ramirez et al., 2012)	179
3.3.2.5. Cuestionario sobre la experiencia y preferencia de videojuegos (CVJ)	179
3.3.2.6. Programa de Entrenamiento de Rotación Mental (PERM)....	180
3.3.3. Procedimiento.....	185
3.3.3.1. Pretest.....	185
3.3.3.2. Entrenamiento.....	186
3.3.3.3. Postest.....	188
3.3.4. Análisis de datos.....	189
3.4. Resultados.....	190
3.4.1. Análisis preliminares.....	190
3.4.2. Efectos del entrenamiento y diferencias de sexo (Objetivos e hipótesis 1, 2 y 3)	195
3.4.3. Correlación entre habilidades, factores emocionales y de experiencia con videojuegos (Objetivos e hipótesis 4 y 5)	197
3.4.4. Rendimiento durante el PERM y ganancias obtenidas en la habilidad de RM según el nivel espacial de partida (Objetivo e hipótesis 6)	198

3.4.4.1. Rendimiento durante el PERM: precisión (tasa de aciertos).....	199
3.4.4.2. Rendimiento durante el PERM: tiempo de reacción.....	205
3.4.4.3. Ganancias obtenidas en la habilidad de RM.....	210
3.5. Discusión.....	211
3.5.1. Efectos de mejora en RM.....	211
3.5.2. Rendimiento espacial en ambos sexos.....	213
3.5.3. Efectos del entrenamiento de la RM en las matemáticas.....	218
3.5.4. Correlación entre habilidades, factores emocionales y basados en la experiencia con videojuegos.....	226
3.5.5. Rendimiento durante el PERM y ganancias obtenidas en la habilidad de RM según el nivel espacial de partida.....	232
3.5.6. Limitaciones del estudio y futuras líneas de investigación.....	239
3.6. Conclusiones.....	240
CAPÍTULO 4. Discusión general y conclusiones.....	245
4.1. Discusión general.....	247
4.1.1. Maleabilidad y transferencia hacia algunas habilidades cognitivas como resultado de la práctica/entrenamiento con tareas de RM.....	248
4.1.2. Igualdad entre sexos en las habilidades espaciales.....	254
4.1.3. Ausencia de transferencia de lo espacial a lo matemático.....	257
4.1.4. Influencia de factores emocionales sobre el rendimiento espacial.....	263

4.1.5. La influencia de los videojuegos sobre el razonamiento especial.....	266
4.1.6. Rendimiento espacial durante la intervención del PERM.....	268
4.1.7. Limitaciones y futuras líneas de desarrollo.....	276
4.2. Resumen y conclusiones finales.....	283
REFERENCIAS.....	287
ANEXOS.....	321
ANEXO 1A. Cuestionario de ansiedad espacial utilizado en el grupo de escolares (adaptado del <i>Child Anxiety Questionnaire, CSAQ</i> ; Ramirez et al., 2012).....	323
ANEXO 1B. Material de apoyo para el CSAQ-a en el grupo de escolares.....	324
ANEXO 2. Cuestionario sobre la experiencia y preferencia de videojuegos (CVJ)	325
ANEXO 3A. Características de los estímulos utilizados en el PERM de escolares.....	326
ANEXO 3B. Características de los estímulos utilizados en el PERM de escolares.....	327
ANEXO 4A. Cuestionario de ansiedad espacial utilizado en el grupo de estudiantes de E.S.O (adaptado del <i>Child Anxiety Questionnaire, CSAQ</i> ; Ramirez et al., 2012)	330
ANEXO 4B. Material de apoyo para el CSAQ-a en el grupo de estudiantes de E.S.O.....	331

ANEXO 5A. Características de los estímulos utilizados en el PERM de E.S.O.....	332
ANEXO 5B. Características de los estímulos utilizados en el PERM de E.S.O.....	333
ANEXO 6. Resumen de resultados de los dos estudios realizados.....	336

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Tasa de aciertos
ANOVA	Análisis de Varianza
BOCM	Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid
CSAQ-a	Child Spatial Anxiety Questionnaire - adaptado
CVJ	Cuestionario sobre la experiencia y preferencia de videojuegos
CMTT	Children's Mental Transformation Task
DT	Desviación típica
EFAI-E	<i>Evaluación Factorial de las Aptitudes Intelectuales, Aptitud Espacial</i>
EFAI-N	<i>Evaluación Factorial de las Aptitudes Intelectuales, Aptitud Numérica</i>
e.g.	<i>exempli gratia</i>
E.P.O	Educación Primaria Obligatoria
E.S.O	Educación Secundaria Obligatoria
GC	Grupo Control
GE	Grupo Experimental
HE	Habilidad Espacial

IIE	Intervalo entre estímulos
M	Media
máx	máximo
MRT	Mental Rotation Test
ms.	milisegundo
PERM	Programa de entrenamiento en rotación mental
RM	Rotación mental
S1	Sesión 1
S2	Sesión 2
S3	Sesión 3
S-M	Shepard-Metzler
SR	Spatial Relations
STEM	Science, Technology, Engineering, Mathematics
TR	Tiempo de reacción
VJ	Videojuegos
V-K	Vandenberg-Kuse
vs.	Versus
Vz	Visualización

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pruebas del factor espacial “Vz” (Linn y Petersen, 1985): A) Figuras enmascaradas u ocultas (Ekstrom, French y Harman, 1976); B) Láminas con formas (Vz1 del Kit of Factor-Referenced Cognitive Tasks, Ekstrom et al., 1976); C) Diseño de bloques (WISC-IV, Wechsler, 2003); D) Doblado de papel (Vz2 del Kit of Factor-Referenced Cognitive Tasks, Ekstrom et al., 1976); E) Cortado mental (CEEB Special Aptitude Test in Spatial Relations, 1939); F) Desarrollo de superficies (Vz3 del Kit of Factor-Referenced Cognitive Tasks; Ekstrom et al., 1976); G) Subtest de relaciones espaciales (Differential Aptitude Test, DAT; Bennett et al., 1947) 16

Figura 2. Pruebas que normalmente se enmarcan dentro de los factores “RM” (Linn y Petersen, 1985) y “SR” (French, 1951): A) Rotación de cartas (S1 del Kit of Factor-Referenced Cognitive Tasks, Ekstrom et al., 1976); B) Comparación de cubos (S2 del Kit of Factor-Referenced Cognitive Tasks, Ekstrom et al., 1976); C) Tarea de RM de Shepard y Metzler (1971); D) Tarea de RM de Vandenberg y Kuse (1978); E) Tarea de transformación mental (CMTT, Levine et al., 1999); F) Subpueba de rotación de la prueba de visualización espacial de Purdue (Purdue Spatial Visualization Test: Rotations, PSVT:R, Guay, 1977) 19

Figura 3. Distinción de tres transformaciones que habitualmente se usan en tareas visoespaciales (incluidas de RM) y en actividades para el aprendizaje

de conceptos de geometría: A) Rotación en un plano de un estímulo; B) Simetría reflectiva o especular sobre un plano; C) Traslación o desplazamiento en un plano.....	20
Figura 4. Clasificación de las habilidades espaciales y ejemplos de cada proceso espacial. Figura adaptada de la original, detallada por Uttal et al. (2013) en su meta-análisis.....	23
Figura 5. Ejemplo de un ejercicio de la fase de práctica de la prueba de aptitud espacial “E” del EFAI-1. Reimpreso con permiso de Santamaría et al., 2005). Copyright 2005 por TEA Ediciones.....	97
Figura 6. Ejemplos de varios ejercicios de la fase de práctica de la prueba de aptitud numérica “N” del EFAI-1. Reimpreso con permiso de Santamaría et al., 2005). Copyright 2005 por TEA Ediciones.....	98
Figura 7. Ejemplos de ensayos utilizados en las tres sesiones del PERM, según las características de los estímulos utilizados: A) Figuras concretas (es decir, estímulos que los participantes pueden reconocer); B) y C) Figuras abstractas (es decir, estímulos que siguen patrones geométricos con cierta ambigüedad)	103
Figura 8. Fase de práctica del PERM en la que el participante puede observar la rotación progresiva de los estímulos correctos (rotados) justo después de haber dado su respuesta.....	104
Figura 9. Representación de la secuencia temporal de eventos del entrenamiento con el PERM. IIE: Intervalo entre estímulos.....	105

Figura 10. Momento en el que algunos de los participantes del C.E.I.P “Leopoldo Alas” realizan una de las pruebas de evaluación durante la fase pretest.....	109
Figura 11. Momentos de algunos participantes del grupo experimental del C.E.I.P “Escuelas Aguirre” (imagen superior) y del C.E.I.P “Leopoldo Alas” (imagen inferior) durante la fase de entrenamiento del PERM.....	109
Figura 12. Interacción entre los factores tiempo x grupo x sexo para la aptitud espacial, EFAI-E (panel A) y para la aptitud numérica, EFAI-N (panel B)	119
Figura 13. Puntuaciones típicas de las tasas de aciertos para en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.....	127
Figura 14. Tasa de aciertos para el factor tiempo (A), y para las interacciones entre los factores tiempo x sexo (B), tiempo x nivel de habilidad espacial (C) y tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial (D)	128
Figura 15. Puntuaciones típicas de los tiempos de reacción de aciertos en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.....	132
Figura 16. Tiempos de reacción para el factor tiempo (A), y para las interacciones tiempo x sexo (B), tiempo x nivel de habilidad espacial (C) y tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial (D)	133
Figura 17. Ejemplo de un ejercicio de la fase de práctica de la prueba de aptitud espacial “E” del EFAI-3. Reimpreso con permiso de Santamaría et al., 2005). Copyright 2005 por TEA Ediciones.....	177

Figura 18. Ejemplo de un ejercicio de la fase de práctica de la prueba de aptitud numérica “N” del EFAI-3. Reimpreso con permiso de Santamaría et al., 2005). Copyright 2005 por TEA Ediciones.....	178
Figura 19. Ejemplos de ensayos utilizados en las tres sesiones del PERM, según las características de las figuras utilizadas: desde más sencillas por su asimetría y relativa sencillez (A), pasando por más complejas por su mayor número de estímulos (B), hasta figuras con mayor simetría y discontinuidad (C)	181
Figura 20. Fase de práctica del PERM en la que el participante puede observar la rotación progresiva de los estímulos correctos (rotados) justo después de haber dado su respuesta.....	183
Figura 21. Representación de la secuencia temporal de eventos del entrenamiento con el PERM. IIE: Intervalo entre estímulos.....	184
Figura 22. Momento en el que algunos de los participantes del Colegio “CEU-San Pablo Montepíncipe” realizan una de las pruebas de evaluación durante la fase pretest.....	188
Figura 23. Momento de algunos participantes del grupo experimental del Colegio “CEU-San Pablo Montepíncipe” durante la fase de entrenamiento del PERM.....	188
Figura 24. Interacción entre los factores tiempo x grupo x sexo para la aptitud espacial, EFAI-E (panel A) y para la aptitud numérica, EFAI-N (panel B)	197

Figura 25. Puntuaciones típicas de las tasas de aciertos en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.....	203
Figura 26. Tasa de aciertos para el factor tiempo (A), y para las interacciones tiempo x sexo (B), tiempo x nivel de habilidad espacial (C) y tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial (D)	204
Figura 27. Puntuaciones típicas de los tiempos de reacción de aciertos en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.....	208
Figura 28. Tiempos de reacción para el factor tiempo (A), y para las interacciones tiempo x sexo (B), tiempo x nivel de habilidad espacial (C) y tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial (D)	209

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Compendio de las orientaciones metodológicas para el segundo curso de E.P.O.....	32
Tabla 2. Compendio de los contenidos de las matemáticas orientadas a las enseñanzas académicas de tercer curso de E.S.O.....	35
Tabla 3. Valores medios y desviaciones típicas para las medidas de las dos fases en ambos grupos.....	114
Tabla 4. Valores medios y desviaciones típicas para las medidas de las dos fases en ambos grupos (por sexo) del GC.....	115
Tabla 5. Valores medios y desviaciones típicas para las medidas de las dos fases en ambos grupos (por sexo) del GE.....	116
Tabla 6. Correlaciones entre las diferentes medidas en la fase pretest para la muestra total.....	121
Tabla 7. Correlaciones entre las diferentes medidas en la fase postest para el GE.....	122
Tabla 8. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de las tasas de aciertos en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.....	126
Tabla 9. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de los tiempos de reacción en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.....	131

Tabla 10. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de las puntuaciones obtenidas en el EFAI-E en ambos sexos del grupo de participantes con un bajo nivel en la habilidad espacial.....	134
Tabla 11. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de las puntuaciones obtenidas en el EFAI-E en ambos sexos del grupo de participantes con un alto nivel en la habilidad espacial.....	135
Tabla 12. Valores medios y desviaciones típicas para las medidas de las dos fases en ambos grupos.....	192
Tabla 13. Valores medios y desviaciones típicas para las medidas de las dos fases en ambos grupos (por sexo) del GC.....	193
Tabla 14. Valores medios y desviaciones típicas para las medidas de las dos fases en ambos grupos (por sexo) del GE.....	194
Tabla 15. Correlaciones entre las diferentes medidas en la fase pretest para la muestra total.....	198
Tabla 16. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de las tasas de aciertos en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.....	202
Tabla 17. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de los tiempos de reacción en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.....	207
Tabla 18. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de las puntuaciones obtenidas en el EFAI-E en ambos sexos del grupo de participantes con un bajo nivel en la habilidad espacial.....	210

Tabla 19. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de las puntuaciones obtenidas en el EFAI-E en ambos sexos del grupo de participantes con un alto nivel en la habilidad espacial.....	211
---	-----

PRESENTACIÓN

PRESENTACIÓN

Desde que Roger N. Shepard y Jacqueline Metzler presentaran en el año 1971 en la célebre revista *Science* el proceso psicológico de rotación mental, han sido incontables los estudios realizados sobre este factor espacial. De los cientos de aspectos estudiados en torno a esta habilidad cognitiva, que consiste en manipular mentalmente en forma de rotación, estímulos, objetos o formas bidimensionales y tridimensionales, uno de los que más interés me ha suscitado es el de las intervenciones para entrenar y tratar de mejorar esta capacidad cognitiva.

Mi interés por el entrenamiento visoespacial en parte está explicado por el trabajo que desarrollé hace unos años cuando trabajaba en el ámbito del entrenamiento o terapia visual, especialmente con pacientes –una gran parte de ellos de población escolar– con problemas refractivos, anomalías funcionales de la visión y ciertas dificultades para llevar a cabo el procesamiento de la información visual. Además, del afán por “normalizar” el estado refractivo y las funciones oculomotora, acomodativa y binocular, que están ligadas en parte al globo ocular y, por tanto, a la entrada de información visual, existía otro interés de trabajo para mejorar el rendimiento visual de la persona, más centrado en la atención y el procesamiento de la información visoespacial, a través de procedimientos que implicaban el entrenamiento de habilidades visoespaciales, entre otras la de Rotación Mental. Pero esto solo fue una aproximación desde un punto de vista clínico, no tanto experimental, que, por supuesto

me proporcionó la motivación, algo de aprendizaje, y los sedimentos suficientes para que algunos años después sintiera interés en estudiar más a fondo sobre procesos psicológicos y cognición espacial.

Pero hubo otra razón de peso que permitió adentrarme, verdaderamente, en el terreno de la cognición espacial, para continuar mi formación. La asignatura *Ergonomía de tareas espaciales* del Máster Universitario en Investigación en Psicología (UNED), impartida por la profesora María José Contreras, no solo me descubrió algunos componentes específicos, procesos y estrategias o las diferencias individuales en la ejecución de algunas tareas espaciales. También, me mostró la importancia de observar y analizar diversos aspectos desde un punto de vista científico y experimental, algo primordial si uno desea desarrollar su trabajo en el ámbito de la investigación. Desde entonces ha sido un continuo aprendizaje, “navegando en un espacio” que, sin duda, es apasionante.

Algo que ha sido bien reconocido en la literatura científica sobre cognición espacial es la importancia que tiene la información visoespacial para ejecutar diversas actividades cotidianas (e.g., navegación) y otras tantas vinculadas a profesiones y actividades específicas (e.g., tecnología, diseño gráfico). Pero también, es bien

reconocido el vínculo que hay entre el pensamiento espacial¹ y el rendimiento académico, tal y como veremos en el primer capítulo. Por tal motivo, esta tesis se compone de dos estudios transversales realizados en dos grupos de edad bien diferentes y en dos etapas del desarrollo donde lo académico adquiere un papel esencial. Con las dos investigaciones de esta tesis nos proponemos obtener una mayor comprensión de algunos aspectos de la habilidad visoespacial de Rotación Mental, valorando su maleabilidad a través de un entrenamiento, las posibles diferencias de sexo² en la ejecución de la tarea, su relación con otros factores cognitivos y emocionales/basados en la experiencia, y su influencia sobre un ámbito académico con el que se le ha asociado frecuentemente, las matemáticas. Dado el interés que existe en la comunidad científica sobre la relación entre cognición espacial y rendimiento académico, merece la pena mencionar la cantidad de eventos y de producción científica que se ha originado en los últimos años con una temática compartida con la del presente trabajo. No obstante, esta tesis podría aportar claves adicionales a la literatura

¹ De manera similar a otros autores (por ejemplo, Hawes, Moss, Caswell, Naqvi y MacKinnon, 2017), a lo largo de esta tesis se utilizan de manera intercambiable los términos "pensamiento espacial", "razonamiento espacial" y "habilidades espaciales".

² En la presente tesis se utilizará con mayor frecuencia el término "diferencias de sexo" para referirse tanto a aspectos biológicos como psicológicos en cuanto a las diferencias entre el grupo de niños o chicos y el grupo de niñas o chicas, en lugar del término "género", siguiendo a una investigadora de referencia en el campo, Diane Halpern (2011). En esta tesis, se categoriza a los niños/chicos y niñas/chicas siguiendo su fenotipo masculino o femenino, sin preguntar a los participantes a qué género sienten que pertenecen.

científica que ya existe sobre pensamiento espacial, alentando sobre cómo y cuándo deben de realizarse las intervenciones espaciales para que sean bien dirigidas.

Con el objetivo de “visualizar” de antemano la estructura de este trabajo, en esta presentación se presenta la configuración de la tesis, que queda organizada en una serie de cuatro capítulos.

El primer capítulo recoge el panorama científico con los antecedentes teóricos que hemos considerado importantes para dar soporte a la justificación de los dos estudios que se presentarán. En este capítulo, se exponen los hallazgos empíricos en torno a los dos grupos de edad analizados –escolares en la etapa de la niñez y estudiantes en la etapa de la adolescencia–. Uno de los puntos de partida de la tesis es el meta-análisis realizado en el 2013 por David Uttal y colaboradores, sobre la maleabilidad de las habilidades espaciales, y que sirve como eje central del presente trabajo, centrándonos en la práctica o entrenamiento con tareas que implican la Rotación Mental. Sin embargo, se tratarán otros factores anejos a la RM, como las diferencias individuales y entre sexos, el vínculo con otros factores cognitivos y emocionales o basados en la experiencia.

En los capítulos segundo y tercero se presentan las dos investigaciones en escolares de Educación Primaria y en adolescentes de Educación Secundaria, respectivamente. Este orden en la presentación no es casual. Lo más intuitivo es pensar que sigue un orden de desarrollo evolutivo, pero también se ha hecho de acuerdo a la realización temporal de ambas investigaciones, con una pequeña salvedad. El primer

estudio se llevó a cabo en el colegio Escuelas Aguirre, pero solo con parte de la muestra, y después la investigación con adolescentes. Finalmente, se volvió a acceder a otro colegio (Leopoldo Alas) para la recogida de datos en Escolares bajo la sugerencia del editor de la revista *Learning and Individual Differences*. Dicho esto, puede ser interesante matizar que, aunque ambos estudios fueron diseñados casi paralelamente, la primera investigación realizada en escolares sirvió de estudio “piloto” para realizar ciertas modificaciones metodológicas que consideramos oportunas en pro de refinar la metodología empleada para la segunda investigación en estudiantes de secundaria. En estos dos capítulos, se justifican los estudios, se detallan los objetivos específicos y sus respectivas hipótesis, se desarrolla la metodología empleada, se redactan y discuten los resultados relativos a cada objetivo e hipótesis, se exponen las limitaciones para proponer aspectos que podrían ser considerados en estudios futuros, y se reflexiona sobre las aportaciones, exponiendo las conclusiones de cada uno de los estudios.

Finalmente, en el capítulo cuarto se plantea la discusión general y las conclusiones finales.

CAPÍTULO 1

Marco Teórico

CAPÍTULO 1

Marco teórico

Para explicar por qué el pensamiento espacial está tan profundamente integrado en las actividades de la vida diaria, Nora S. Newcombe y Thomas F. Shipley expusieron algo muy obvio. Estos autores plantearon que “nuestro mundo es un mundo que existe en el espacio, y un mundo sin espacio es literalmente inconcebible. Dada esta verdad básica, está claro que vivir en el mundo requiere algún tipo de funcionamiento espacial” (traducción propia; Newcombe y Shipley, 2015, p. 179).

El procesamiento visoespacial es una herramienta clave necesaria para lograr un rendimiento óptimo en actividades cotidianas específicas, en el trabajo académico y determinadas áreas profesionales (Halpern et al., 2007). Algunas de estas actividades que realizamos con cierta frecuencia podrían ser desplazarnos y ubicarnos por un entorno desconocido o relativamente nuevo, comprender el plano de una casa o el mapa de una ciudad, interpretar las instrucciones descriptivas en forma de imágenes para el montaje de una estructura o para manipular ciertos modelos, estructuras, objetos, etc. Por supuesto, en el ámbito académico es más que usual que un estudiante tenga que interpretar información espacial en algunos contenidos de asignaturas, como las matemáticas o las ciencias naturales. De esto hablaremos con más detalle más adelante.

Al mismo tiempo, es cada vez más habitual interactuar con determinados escenarios espaciales, porque la comunicación gráfica, las aplicaciones multimedia o los entornos virtuales toman, de manera creciente, mayor relevancia en nuestro estilo de vida. Algunos de estos escenarios espaciales suelen estar presentes en áreas específicas, como la arquitectura, la biología, la medicina, el diseño gráfico, la educación, la geografía, la inteligencia artificial o las ciencias informáticas.

1.1. Categorías del dominio espacial

En la introducción de su meta-análisis realizado en 1985, Linn y Petersen ya apuntaban el conflicto considerable que supone identificar habilidades espaciales específicas, así como la dificultad que supone caracterizar determinados procesos puestos en juego para resolver tareas espaciales. Desde hace ya algunas décadas se han realizado estudios de análisis factorial en un intento de poder hacer un “etiquetado” visoespacial, desde una perspectiva psicométrica basada en pruebas espaciales específicas (e.g., Cattell, 1971; Frick, 2018; Lohman, 1989; McGee, 1979; Thurstone y Thurstone, 1941), así como desde una perspectiva cognitiva centrada en identificar procesos para resolver tareas pensadas en medir la capacidad espacial (e.g., Carpenter y Just, 1986; Cooper y Shepard, 1973).

Colom, Contreras, Botella y Santacreu (2001) obtuvieron resultados en una línea de procesos más unitarios, sin una separación clara entre los marcadores de algunos

factores espaciales, considerando a la habilidad espacial como un constructo unitario o una inteligencia espacial general (Gv). Según estos autores, quizás tenga más sentido separar las tareas espaciales de acuerdo a su nivel de complejidad, ya que no siempre hay evidencias en las tareas espaciales que conduzcan a una separación clara de los procesos mentales de visualización (Vz) o de relación espacial (SR). Más recientemente, Mix et al. (2016) tampoco han encontrado evidencia de que exista más de un factor espacial en niños de 5 a 13 años, usando en su estudio pruebas de RM, Vz y toma de perspectivas. Por lo tanto, hasta la fecha no parece que exista un consenso claro con respecto a la estructura y los subcomponentes de la capacidad espacial (Newcombe y Shipley, 2015; Uttal, et al., 2013; citado en Frick, 2018). Sin embargo, cuando se habla de cognición espacial es inevitable hacer mención de las diferentes categorías espaciales que se han descrito hasta el momento.

Realizar una definición genérica de la habilidad visoespacial tampoco es fácil, sin embargo, algunos autores de gran relevancia en el dominio espacial han realizado definiciones que comparten ciertas coincidencias. Por ejemplo, Linn y Petersen (1985), dijo que la habilidad espacial generalmente se refiere a la habilidad para representar, transformar, generar y recordar información simbólica, no lingüística. De manera similar, Lohman (1996) lo definió como la capacidad para generar, retener, recuperar y transformar imágenes visuales bien estructuradas.

Volviendo a los estudios de análisis factorial realizados hasta la fecha, en general se han descrito diferentes factores que contribuyen al dominio o “conglomerado”

espacial, y estos son la visualización (abreviado habitualmente como “Vz” de *Visualization*), las relaciones espaciales (abreviado como “SR” de *Spatial Relations*), la rotación mental (abreviado como “MR” de *Mental Rotation*), la orientación espacial (abreviado como “SO” de *Spatial Orientation*) y la percepción espacial. La literatura parece que es bastante consistente a que la capacidad espacial no es un constructo único, sino que se está compuesta de diversos componentes o factores espaciales.

En uno de los meta-análisis de referencia publicados sobre habilidades espaciales, más concretamente sobre diferencias de sexo en lo espacial, Linn y Petersen (1985) apuntaron que la “Vz” implica tareas espaciales donde se deben de poner en juego manipulaciones complejas y procesos de múltiples pasos con información que se presenta de manera espacial. La Vz también ha sido definida como la capacidad para comprender movimientos imaginarios en un espacio tridimensional o la capacidad para manipular objetos en la imaginación (French, 1951). Las tareas de Vz suponen procesos de percepción espacial y de rotaciones mentales, y se distinguen por demandar estrategias de solución múltiples (Linn y Petersen, 1985). Para evaluar este factor se han utilizado pruebas, por lo general, de tipo impreso y que implican discriminar figuras enmascaradas (*Embedded Figures Test, EFT*) u ocultas (*Hidden Figures*), completar figuras o patrones a partir de piezas con diferentes formas (*Paper Form Board; Block Design*), discriminar patrones resultantes con pruebas de doblado (*Paper Folding*) y de cortado (*Cutting Tasks*) o desarrollar un modelo tridimensional desde una superficie bidimensional (*Surface Development; Differential Aptitude Test, DAT*, Bennett, Seashore

y Wesman, 1947) (Figura 1). Algunas de estas pruebas forman parte de baterías de evaluación con múltiples tareas como el *French Kit of Reference Tests* (French, Ekstrom y Price, 1963).

Otro factor ampliamente reconocido es el de relaciones espaciales (*Spatial Relations*, "SR"), que ha recibido diferentes definiciones. Por ejemplo, French (1951) encajó en este tipo de factor aquellas tareas relacionadas con la capacidad para percibir patrones espaciales o mantener la orientación respecto a objetos en el espacio. Otros autores la han vinculado más bien a la capacidad para manipular y comparar estímulos rotados o reflejados entre sí (Carroll, 1993; D'Oliveira, 2004).

En ocasiones se ha sugerido que no es fácil hacer una distinción entre los diferentes subfactores espaciales, por ejemplo, entre Vz y SR. La Vz se refiere a la capacidad para manipular mentalmente patrones visuales, mientras que en la SR interviene más bien la velocidad para manipular patrones visuales relativamente simples que son rotados o transformados mentalmente. De acuerdo a Pellegrino, Alderton y Shute (1984), las tareas de SR suponen estímulos menos complejos que los que se presentan en las tareas de Vz. En términos de complejidad de procesos cognitivos o de esfuerzo, los problemas de Vz requieren más operaciones mentales porque requieren el movimiento entre partes internas de una configuración compleja y/o el pliegue y despliegue de patrones planos (véase Mack, 1992). Las tareas de SR son resueltas más rápidamente que las de Vz, y las pruebas de SR en sí son administradas en un formato donde se enfatiza la velocidad.

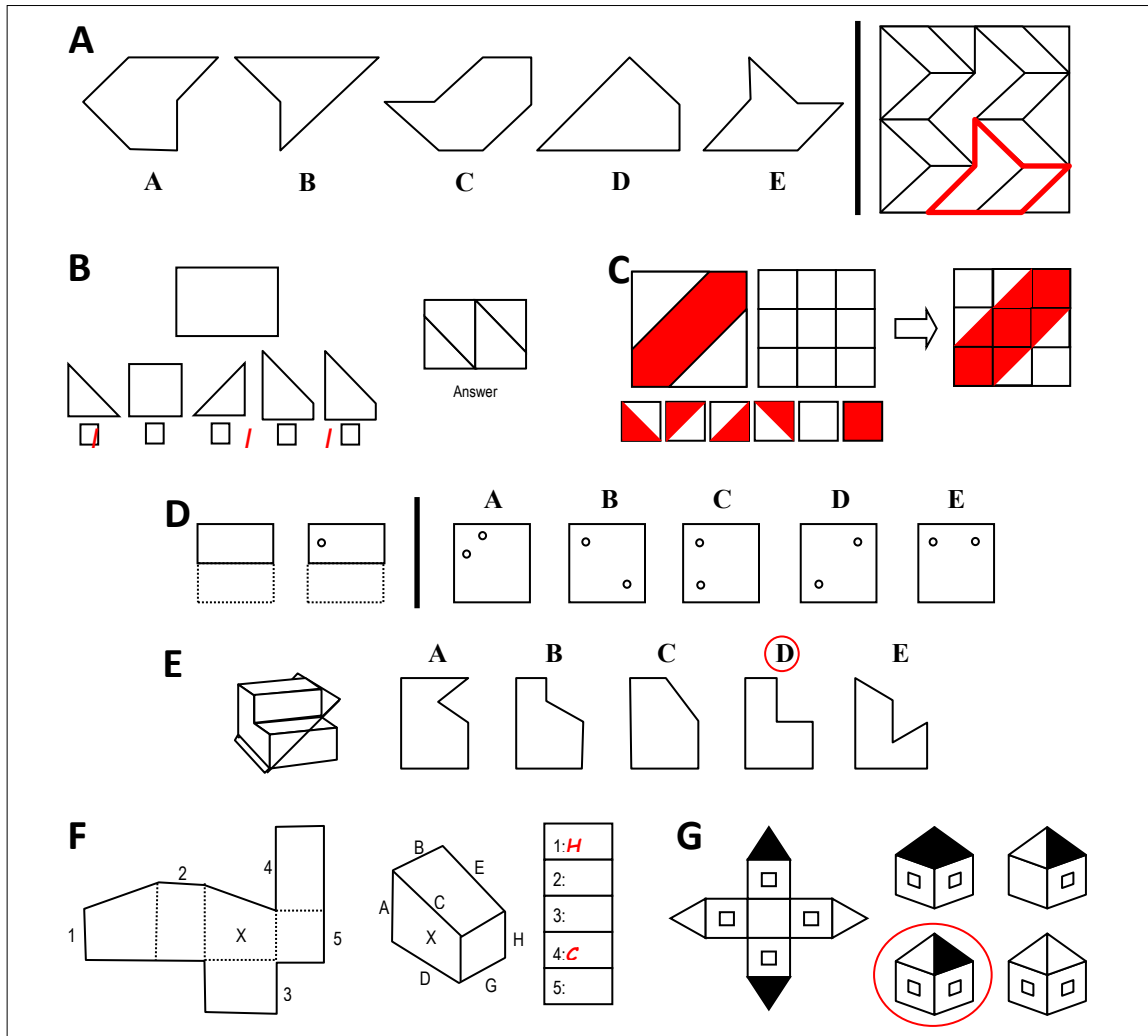


Figura 1. Pruebas del factor espacial “Vz” (Linn y Petersen, 1985): A) Figuras enmascaradas u ocultas (Ekstrom, French y Harman, 1976); B) Láminas con formas (Vz₁ del *Kit of Factor-Referenced Cognitive Tasks*, Ekstrom et al., 1976); C) Diseño de bloques (*WISC-IV*, Wechsler, 2003); D) Doblado de papel (Vz₂ del *Kit of Factor-Referenced Cognitive Tasks*, Ekstrom et al., 1976); E) Cortado mental (*CEEB Special Aptitude Test in Spatial Relations*, 1939); F) Desarrollo de superficies (Vz₃ del *Kit of Factor-Referenced Cognitive Tasks*; Ekstrom et al., 1976); G) Subtest de relaciones espaciales (*Differential Aptitude Test, DAT*; Bennett et al., 1947).

Como se han mencionado en párrafos anteriores, algunos autores han incorporado dentro de factores espaciales como la Vz (Lohman, 1988) o la SR (Carroll, 1993; D'Oliveira, 2004; Lohman, 1988) tareas específicas de rotación, como se verá más adelante. Sin embargo, ha sido tal la atención que ha recibido la rotación mental (en adelante "RM") en el campo de la cognición y de la psicometría espacial, que algunos autores han preferido describirla como un factor independiente. Las tareas de RM se han descrito como procesos dinámicos que requieren rotar mentalmente estímulos bidimensionales y tridimensionales de manera rápida y precisa para alinearlos con otro de referencia, y valorar si los estímulos son idénticos entre sí (Linn y Petersen, 1985). Sanz de Acedo Lizarraga y García Ganuza (2003) han definido la RM, en un contexto más bien geométrico por el uso de su tarea con cubos, como una habilidad para interpretar representaciones gráficas de cambios en la posición de los lados de un cubo, después de someterlo a rotaciones discretas en ejes que son perpendiculares a estos lados.

A pesar de que la SR y la RM se han definido como factores espaciales diferentes, las tareas de ambos factores tienen una fuerte similitud, ya que implican transformaciones mentales en forma de rotación. De hecho, recientemente Frick (2018) ha realizado un análisis factorial exploratorio, encontrando una estructura de dos factores, donde el primero de ellos representa la rotación mental (junto al escalado espacial). Este factor y las tareas espaciales que las componen o representan están en la línea del factor espacial "SR" propuesto por Lohman (1988), referido a la habilidad para imaginar movimientos de objetos y formas espaciales con referencia a uno mismo.

Algunas de las tareas que implican RM y que se han utilizado hasta el momento son la prueba de rotación de banderas (*Flags Test*; Thurstone y Thurstone, 1941); la rotación de cartas (*Card Rotations Test*) del *French Kit of Reference Tests* (French et al., 1963) o del *Kit of Factor-Referenced Cognitive Tasks* (Ekstrom et al., 1976); el subtest de relaciones espaciales del *Primary Mental Abilities, PMA* (Thurstone, 1938, 1947; Thurstone y Thurstone, 1941); la prueba de comparación de cubos (*Cube Comparisons Test*) del *Kit of Factor-Referenced Cognitive Tasks*; las tareas de rotación mental diseñadas por Shepard y Metzler (1971) y, posteriormente, revisadas por Vandenberg y Kuse (1978); la subprueba de rotación de Purdue (*Purdue Spatial Visualization Test: Rotations, PSVT:R*, Guay, 1977); y la tarea de transformación mental *CMTT (Children's Mental Transformation Task)* diseñada por Levine, Huttenlocher, Taylor y Langrock (1999) (Figura 2).

La RM tiene una implicación importante en el rendimiento académico, entre otras en tareas que implican la representación de diferentes perspectivas en el dibujo técnico, la resolución de problemas de geometría (Figura 3) o la comprensión de estructuras moleculares, y que requieren un procesamiento visoespacial considerable para comprender la dinámica y la transformación espacial de estructuras y objetos (Maeda y Yoon, 2013). Por tanto, esta habilidad adquiere un gran interés dentro de las disciplinas STEM (acrónimo en inglés de *Science, Technology, Engineering y Mathematics*). De hecho, se ha demostrado que estudiantes de secundaria (con edades comprendidas entre 13–15 años) con mejores habilidades de rotación mental (RM) tienen más

probabilidades de tener éxito en los estudios vinculados con las ciencias (Ganley, Vasilyeva y Dulaney, 2014). En los epígrafes siguientes, nos centraremos de manera específica a la habilidad espacial de RM.

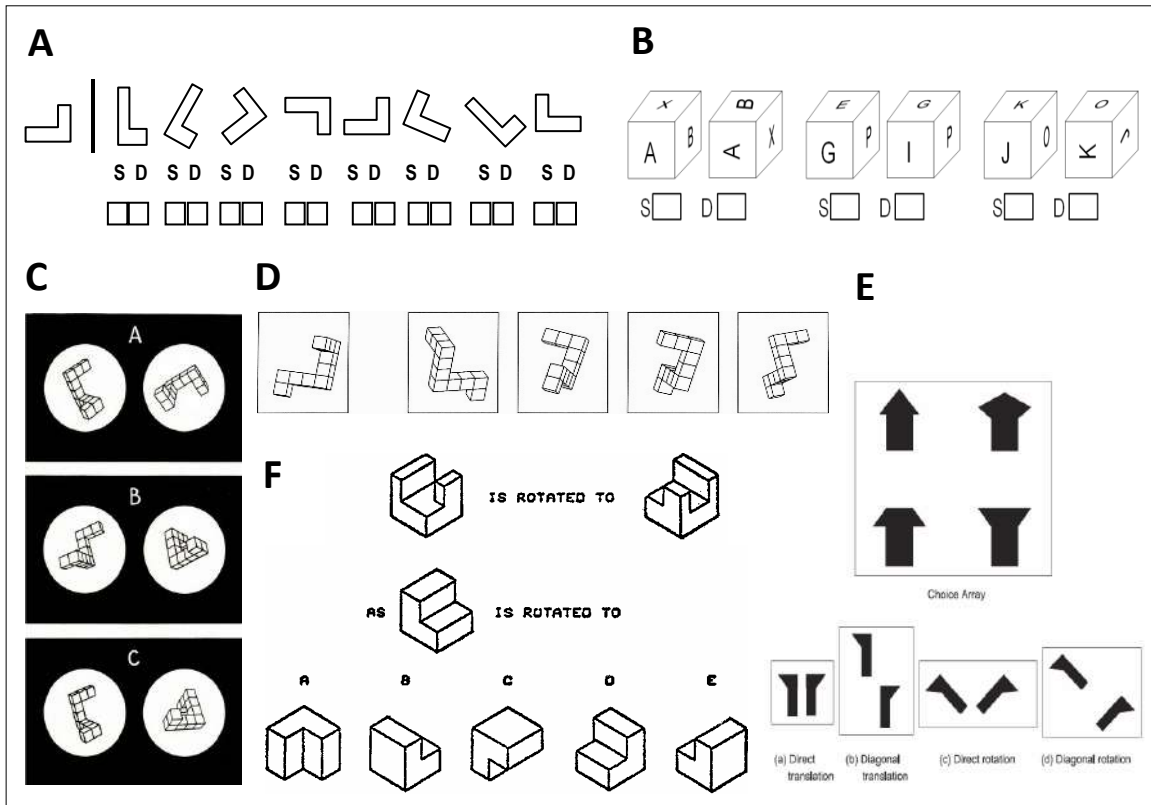


Figura 2. Pruebas que normalmente se enmarcan dentro de los factores “RM” (Linn y Petersen, 1985) y “SR” (French, 1951): A) Rotación de cartas (S_1 del *Kit of Factor-Referenced Cognitive Tasks*, Ekstrom et al., 1976); B) Comparación de cubos (S_2 del *Kit of Factor-Referenced Cognitive Tasks*, Ekstrom et al., 1976); C) Tarea de RM de Shepard y Metzler (1971); D) Tarea de RM de Vandenberg y Kuse (1978); E) Tarea de transformación mental (CMTT, Levine et al., 1999); F) Subprueba de rotación de la prueba de visualización espacial de Purdue (*Purdue Spatial Visualization Test: Rotations, PSVT:R*, Guay, 1977).

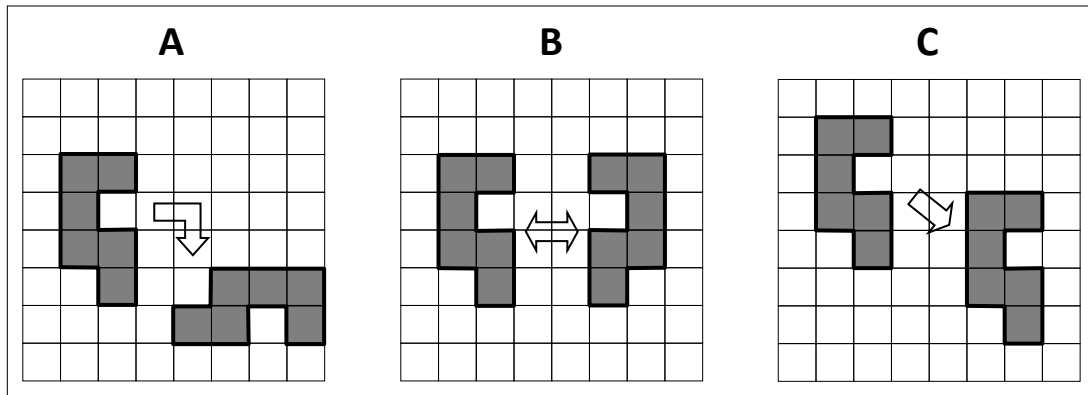


Figura 3. Distinción de tres transformaciones espaciales que habitualmente se usan en tareas visoespaciales (incluidas de RM) y en actividades para el aprendizaje de conceptos de geometría: A) Rotación en un plano de un estímulo; B) Simetría reflectiva o especular sobre un plano; C) Traslación o desplazamiento en un plano.

Otra categoría espacial que se ha descrito en ocasiones como un factor separado ha sido la orientación espacial (*Spatial Orientation "SO"*), que es la habilidad que tiene una persona para imaginar la apariencia de objetos desde distintas orientaciones – perspectivas– del observador (McGee, 1979). Una de las pruebas más usadas para evaluar esta habilidad es el test de Orientación Espacial de Guilford y Zimmerman (1948). Sin embargo, un extenso meta-análisis sobre análisis factorial llevado a cabo por Carroll (1993), no logró encontrar pruebas que separasen este factor de la visualización espacial. Otros estudios de análisis factorial, por el contrario, sí que han encontrado una disociación de la habilidad de orientación espacial, (medido mediante pruebas de toma de perspectivas; *Object Perspective Test*), visualización espacial, relaciones espaciales y rotación mental (Kozhevnikov y Hegarty, 2001; Hegarty y Waller, 2004).

Hunt, Pellegrino, Frick, Farr y Alderton (1988) se cuestionaron si el procesamiento de un elemento en movimiento podría contribuir a una habilidad espacial diferente. Estos autores llegaron a la conclusión de que el rendimiento en tareas dinámicas o con estímulos en movimiento “real” es diferente a la ejecución en tareas visoespaciales estáticas o en formato de lápiz y papel, proponiendo a esta habilidad dinámica como un factor espacial diferente. En la publicación un año más tarde de su estudio, Pellegrino y Hunt (1989) definieron al rendimiento espacial dinámico (*Dynamic spatial performance*, “DSP”) como aquella habilidad para predecir hacia donde se dirige un objeto en movimiento y cuándo va a llegar a su destino. El rendimiento visoespacial dinámico es evaluado habitualmente en un contexto informatizado, mediante pruebas como el *Spatial Orientation Dynamic Test (SODT)*; Santacreu y Rubio, 1998) y el *Spatial Visual Dynamic Test (SVDT)*; Santacreu y Rubio, 1998), que implican la capacidad para predecir trayectorias de estímulos en movimiento y estimar tiempos de llegada de dos o más estímulos. Algunos autores han propuesto la importancia que tiene esta habilidad para alcanzar un rendimiento óptimo en ocupaciones con una alta demanda de atención espacial, como controlador de tráfico aéreo (Contreras, Colom, Hernández y Santacreu, 2003; Contreras, Colom, Shih y Santacreu, 2003; Contreras, Colom, Shih, Alava y Santacreu, 2001).

Otra distinción que se suele hacerse en la cognición espacial está basada en el sistema de referencia espacial, para establecer la codificación *egocéntrica* y *alocéntrica*. En la primera, las ubicaciones se codifican en relación a un sistema de coordenadas en el

que el observador se encuentra en el punto cero, mientras que en el segundo el sistema de coordenadas se centra en un punto de referencia externo al observador. Cada uno de los factores bien podrían estar asociados a cambios con respecto a estos sistemas o marcos de referencia (véase Frick, 2018, para una explicación más detallada).

Finalmente, es interesante mencionar que se han establecido dos diferenciaciones fundamentales para tener una mejor comprensión de los subcomponentes del dominio espacial, y que podrían también podrían estar basados en los marcos de referencia antes mencionados. Una es la que delimita las dimensiones *intrínseca* (referida a las partes de un objeto y la relación entre sus partes) y *extrínseca* (que describe la relación espacial entre objetos, ya sea entre sí o respecto a un marco general). La otra distinción es la relacionada con las dimensiones estática (estímulos sin movimiento) y dinámica (los objetos se mueven o pueden ser movidos). El movimiento puede cambiar la información intrínseca, por ejemplo, cuando un objeto es rotado, doblado o cortado. De hecho, los procesos mentales de rotación de estímulos para ensamblarlos o ponerlos en común entre sí o en configuraciones más complejas, visualizando y transformando éstos mentalmente, implica que se ponga en juego una combinación de las dimensiones *intrínseca-dinámica*, tal y como puede observarse en la matriz 2 x 2 (Figura 4) descrita por Uttal et al. (2013).

En resumen, cada una de las habilidades espaciales que se han estudiado a lo largo de este epígrafe implica procesos de codificación diferentes. La RM, la habilidad espacial en la que nos centraremos a lo largo de este trabajo se refiere a la capacidad de

visualizar un objeto en una orientación diferente. En las tareas habituales de RM, el observador tiene que discriminar si una figura girada/rotada es exactamente la misma o una imagen en espejo de una figura de referencia. La habilidad para rotar mentalmente estímulos implica procesos cognitivos *intrínsecos-dinámicos* en un marco de referencia *egocéntrico*.



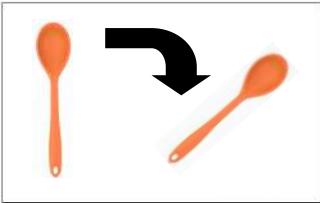

	Intrínseca (Dentro del objeto)	Extrínseca (Entre objetos)
Estática		
Dinámica		

Figura 4. Clasificación de las habilidades espaciales y ejemplos de cada proceso espacial. Figura adaptada de la original, detallada por Uttal et al. (2013) en su meta-análisis.

1.2. Habilidades espaciales en el rendimiento de disciplinas académicas

En 1976, Julian Stanley, psicólogo, educador, defensor de la educación para niños académicamente dotados, y fundador del *Johns Hopkins University Center for Talented Youth (CTY)*, comenzó a probar su segunda cohorte (una muestra de 563 estudiantes de

13 años que obtuvieron las puntuaciones más altas en el SAT³) sobre la capacidad espacial. Stanley tenía curiosidad acerca de si la capacidad espacial podría predecir mejor los resultados educativos y laborales que las medidas de razonamiento cuantitativo y verbal por sí mismas. Un seguimiento, a los 18, 23, 33 y 48 años, confirmaron sus hipótesis. Los hallazgos, que encajan con los de otros estudios recientes, sugirieron que la capacidad espacial juega un papel importante en la creatividad y la innovación técnica (Kell, Lubinski, Benbow, y Steiger, 2013).

Un interesante artículo de Clynes (2016) sobre la importancia de la capacidad espacial y su rol en la creatividad y la innovación técnica, cita a David Lubinski quien ha argumentado sobre la capacidad espacial que "puede ser la fuente más grande sin explotar conocida del potencial humano", y quien agrega que "los estudiantes que son solo marginalmente impresionantes en la habilidad matemática o en la verbal, pero altos en habilidades espaciales, son a menudo ingenieros, arquitectos y cirujanos excepcionales", y, "sin embargo, ningún director de admisiones que conozca está estudiando esto, y generalmente se pasa por alto en las evaluaciones escolares" (traducción propia; Clynes, 2016, p. 154).

Parece, por tanto, más que evidente que existe una adherencia del razonamiento visoespacial a las disciplinas académicas relacionadas con la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas, que ha sido constatada a través de investigaciones

³ El SAT (*Scholastic Aptitude Test*), se trata de una prueba estandarizada de razonamiento que se realiza en Estados Unidos para la admisión universitaria.

longitudinales de aproximadamente 50 años, como el *Project Talent* y el *Study of Mathematically Precocious Youth* (SMPY). Estos estudios de cohorte han evidenciado que las habilidades espaciales predicen el éxito y los logros de estas disciplinas STEM (Humphreys, Lubinski y Yao, 1993; Lubinski y Benbow, 2006; Shea, Lubinski y Benbow, 2001; Wai, Lubinski y Benbow, 2009; Webb, Lubinski y Benbow, 2007).

Motivados por estos resultados, en USA se han promovido programas –como el **NGA Center STEM Activities**– para fomentar e impulsar la importancia de las STEM en el ámbito educativo dentro de la propaganda y de las agendas políticas. En este país las disciplinas STEM se han considerado esenciales para la sociedad, contribuyendo a una mayor competitividad y al desarrollo económico del país (National Governors Association, NGA, 2010).

1.3. Habilidades espaciales y rendimiento en matemáticas

Como ya puntualizó Skemp en 1986, las matemáticas en su naturaleza tienen una importante carga visoespacial. Esto se debe, en gran medida, como apuntó Kinach (2012), a que el pensamiento espacial supone, entre otros, el uso de diagramas, dibujos, gráficos, modelos y otros elementos para explorar, investigar y comprender conceptos abstractos como fórmulas algebraicas o modelos del mundo físico (Kinach, 2012; citado en Bruce y Hawes, 2015).

Mix y Cheng (2012) afirmaron que "la relación entre la habilidad y las matemáticas está tan bien establecida que ya no tiene sentido preguntar si están relacionadas" (traducción propia, p. 206).

Han sido muchas las investigaciones que se han centrado en valorar el vínculo que hay entre espacio y matemáticas, y varias de ellas han establecido que las personas con una mejor ejecución en determinadas tareas de pensamiento espacial a menudo tienen un mejor rendimiento en pruebas de habilidad matemática (e.g., Baenninger y Newcombe, 1995; Delgado y Prieto, 2004; Holmes, Adams y Hamilton, 2008; Rasmussen y Bisanz, 2005). Algunas investigaciones, incluso, han confirmado que las habilidades espaciales también pueden predecir el rendimiento de las matemáticas (Casey, Nuttall y Pezaris, 2001; Kyttälä, Aunio, Lehto, Van Luit y Hautamäki, 2003), y que son esenciales en determinadas carreras universitarias relacionadas con los dominios STEM (p.e., Wai et al., 2009), como apuntábamos en el epígrafe anterior.

Si bien es cierto que la competencia matemática convencional no surge hasta los tres años de edad⁴ y, de hecho, la mayoría de los estudios sobre habilidades espaciales y matemáticas se han llevado a cabo a partir de estas edades, la relación entre espacio y matemáticas parece emerger desde etapas tempranas de la infancia, según han demostrado algunas investigaciones. Por ejemplo, de Hevia y Spelke (2010) confirmaron

⁴ Por lo general, en los países desarrollados y con un sistema educativo consolidado, esta edad se asocia a Educación Infantil. En España corresponde al segundo ciclo de Educación Infantil, que va de los 3 a 6 años, y en esta etapa comienzan a trabajarse contenidos matemáticos básicos, como la numeración, la geometría, o la medida, entre otros.

que a la temprana edad de 8 meses ya existe una predisposición para relacionar representaciones de magnitud numérica con longitudes espaciales.

Además, el campo de investigación sobre la conexión entre habilidades espaciales y matemáticas ha sugerido que la relación no solo crece en fuerza a lo largo del desarrollo (e.g., Battista, 1990; Stannard, Wolfgang, Jones y Phelps, 2001; Wolfgang, Stannard y Jones, 2001), sino que además el razonamiento espacial generado durante los primeros años de vida predice más tarde el rendimiento en matemáticas de una persona. Por ejemplo, una investigación de Farmer et al. (2013) demostró que el razonamiento espacial a la edad de 3 años desempeña un papel importante en la predicción del rendimiento matemático a los 5 años, con un poder predictivo incluso mayor que las puntuaciones generales obtenidas en matemáticas (Farmer et al., 2013; citado en Bruce y Hawes, 2015).

En su estudio longitudinal, Zhang et al. (2014) observaron que niños de preescolar con mejores habilidades de visualización espacial, que fueron medidas con el subtest de relaciones espaciales del Woodcock y Johnson (1977), y que implica la detección de múltiples formas espaciales, la rotación o manipulación mental de información y la combinación de estas formas para crear una configuración completa, desarrollaron habilidades aritméticas más sólidas en el primer grado (6 años) y tercer grado (10 años) de educación primaria.

Por su parte, Gunderson, Ramirez, Beilock y Levine (2012) encontraron a través de dos conjuntos de datos longitudinales que: 1) la habilidad espacial de rotación mental

(medida mediante el PMA de Thurstone y Thurstone, 1938) en niños y niñas al principio de los grados 1 y 2 (media de edad 7 años) predecía una mejora a lo largo del año escolar en el conocimiento de líneas de números, y que 2) la RM (medida por el CMTT; Levine et al., 1999) en etapa preescolar (5 años de edad) predice el rendimiento en una tarea de cálculo simbólico aproximado en segundo grado (a los 8 años), y que esta relación esta mediada por el conocimiento de la línea de números lineales desde prerescolar (a los 6 años). Los resultados son consistentes con la hipótesis de que la habilidad espacial de RM desempeña un papel crucial en el desarrollo del razonamiento numérico al ayudar a los niños/as a crear una representación de la línea numérica lineal, y a su vez esta mejora otros aspectos del conocimiento numérico, como la estimación aritmética.

En otras etapas más tardías del periodo escolar también hay evidencia de como el procesamiento espacial predice el rendimiento matemático. Por ejemplo, Sherman (1979) encontró que la visualización espacial medida por el test de relaciones espaciales del DAT (*Differential Aptitude Test*; Bennett et al., 1947) en chicas de grado 9 (14 y 15 años de edad) predecía el rendimiento en tareas de geometría y de resolución de problemas matemáticos⁵ en un periodo de 3 cursos consecutivos.

⁵ En la resolución de problemas matemáticos (en inglés, *Mathematical problema solving*) se pueden encuadrar los problemas que involucran ideas matemáticas cuando uno no posee una solución estándar, una habilidad que se ha considerado particularmente "problemática" para el sexo femenino (Maccoby y Jacklin, 1974).

Otros autores han argumentado que la fuerza en la cohesión espacio-matemáticas, no solo varía en función de la edad, sino también el tipo de tarea realizada (e.g., Holmes et al., 2008; Meyer, Salimpoor, Wu, Geary y Menon, 2010; Rasmussen y Bisanz, 2005).

Por el momento, la mayoría de las investigaciones que han apoyado la conexión entre habilidades espaciales y matemáticas han utilizado medidas de pensamiento espacial encuadradas en los factores de visualización espacial y de rotación mental. Si bien, la visualización espacial implica formar, mantener y manipular mentalmente imágenes de objetos, la rotación mental, de manera más específica se refiere al acto mental de poder imaginar la rotación de objetos bi y tridimensionales (Mix y Cheng, 2012). En relación a esto, se ha encontrado que la RM parece tener una clara relación con la geometría (Battista, 1990; Delgado y Prieto, 2004; Gittler y Glück, 1998; Kyttälä y Lehto, 2008; Suydam, 1985). Algunos autores han argumentado que esta asociación no es sorprendente, debido a que la geometría requiere información sobre formas, ángulos, y otras relaciones espaciales (Mix y Cheng, 2012) y porque las tareas de RM en sí mismas tienen rasgos de la geometría (Bruce y Hawes, 2015), es decir, están construidas a partir de figuras geométricas (se recomienda ver algunas tareas de RM plasmadas en la Figura 2, como: el *CMTT* de Levine et al., 1999; el *MRT* de Shepard y Metzler, 1971; o el *PSVT:R*, Guay, 1977).

Sin embargo, parece que se ha encontrado una débil relación la habilidad para rotar mentalmente estímulos con otros tipos de tareas matemáticas, como aquellas que

requieren problemas verbales o la aritmética mental (Delgado y Prieto, 2004; Hegarty y Kozhevnikov, 1999; Kyttälä y Lehto, 2008; Reuhkala, 2001; citados en Mix y Cheng, 2012, p. 207).

El hecho de desarrollar la habilidad de RM puede proporcionar a los niños una "herramienta cognitiva" manejable y aplicable a través de las matemáticas en la escuela, por ejemplo, usándose como una estrategia para comprender tareas de medición de área, componer y descomponer figuras en 2D y 3D, demostrar la simetría y encontrar números que faltan (Cheng y Mix, 2014). Sin embargo, se tiende a tratar la RM como una habilidad que está disociada de la geometría y de todas las demás áreas de las matemáticas. Por otro lado, al igual que la aritmética es fundamental para una amplia variedad de tareas matemáticas, también lo es la capacidad de realizar transformaciones mentales de objetos y formas (Jones, 2001; véase Bruce y Hawes, 2015, p. 332).

1.4. Competencia matemática en nuestro país

Tal y como se expone en el *DECRETO 89/2014, de 24 de julio, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el Currículo de la Educación Primaria*, "la Educación Primaria es quizás la etapa más importante de la enseñanza". Este Decreto añade también que,

Entrenamiento visoespacial

Por este motivo, se hace necesario que los estándares del currículo se formulen para cada una de las áreas troncales de la Educación Primaria curso a curso, graduando cuidadosamente el nivel de los aprendizajes evaluables, poniendo especial énfasis en los de Lengua Castellana y Literatura y en los de Matemáticas, por ser estas áreas de especial relevancia para la formación de los alumnos y para su evaluación al finalizar los cursos tercero y sexto. (BOCM No. 175, 25 de julio de 2014, p. 10)

Más específicamente, dentro de los objetivos de la etapa de E.P.O para el desarrollo de capacidades matemáticas en los estudiantes, se menciona la importancia de “desarrollar las competencias matemáticas básicas e iniciarse en la resolución de problemas que requieran la realización de operaciones elementales de cálculo, conocimientos geométricos y estimaciones, así como ser capaces de aplicarlos a las situaciones de su vida cotidiana” (BOCM No. 175, 25 de julio de 2014, p. 13). Además, “las matemáticas son la base fundamental para la adquisición de nuevos conocimientos en otras disciplinas y, especialmente, en el proceso científico y tecnológico” (BOCM No. 175, 25 de julio de 2014, p. 45).

En la Tabla 1 se muestra un resumen de los contenidos matemáticos, denominados *Orientaciones metodológicas* en el *DECRETO 89/2014*, del 2º curso de Educación Primaria (BOCM No. 175, 25 de julio de 2014, pp. 47-49).

Tabla 1. Compendio de las orientaciones metodológicas para el segundo curso de E.P.O. Solo en el bloque de *Geometría* se detallan sus contenidos, para contemplar la carga espacial de las distintas actividades.

NUMEROS Y OPERACIONES
Números naturales menores que 1.000. Nombre, grafía y ordenación. Números ordinales.
Operaciones con números naturales menores que 1.000. Adición y sustracción.
Cálculo mental. Las tablas de multiplicar.
MAGNITUDES Y MEDIDA
Longitud. Medida de longitudes en figuras tridimensionales. Unidades de medida de longitud: el metro y el centímetro.
Peso. Comparación del peso de distintos objetos. Utilización de la balanza para determinar el peso de un objeto.
Capacidad. Comparación de la capacidad de distintos recipientes. El litro como unidad fundamental de medida de capacidad.
Sistema monetario de la Unión Europea. Equivalencias entre monedas y billetes de hasta 50 euros.
Medida del tiempo. Relación entre las distintas unidades: minuto, hora, día, semana, mes, año. Relojes digitales y analógicos.
GEOMETRÍA
Orientación espacial. Situación en el plano y en el espacio.
<i>31. Reconoce de un objeto, cuando las hay, su parte de delante/detrás, de arriba/abajo, de la derecha/izquierda.</i>
<i>32. Describe y dibuja recorridos de caminos sobre una red cuadrículada, utilizando de forma combinada las direcciones: arriba, abajo, derecha e izquierda.</i>
<i>33. Indica con precisión (subir/bajar, girar a la derecha/izquierda...) la forma de llegar de un lugar a otro en las dependencias escolares.</i>

Rectas paralelas y perpendiculares. Elementos de un polígono. Construcción de triángulos y rectángulos.

34. Clasifica las líneas en rectas, curvas, mixtas y poligonales y busca ejemplos en objetos del entorno.

35. Asocia el concepto de punto con la intersección de dos líneas o con una posición en el plano.

36. Reconoce, entre una serie de figuras, las que son polígonos y los nombra según su número de lados.

37. Utiliza con propiedad los conceptos de lado y vértice en un polígono e identifica el número de lados y vértices de un polígono dado.

38. Dibuja a mano alzada rectas que pasan por un punto y son perpendiculares o paralelas a otra recta dada.

39. Dibuja o construye triángulos y cuadriláteros, en particular rectángulos.

40. Calcula el perímetro de figuras geométricas sobre una trama tomando como unidad el segmento base de la trama.

Por tanto, como se observa en la tabla anterior, la competencia matemática implica el dominio de cálculo aritmético, de las formas geométricas, de las distintas formas de medida y del uso del razonamiento.

1.4.1. Educación Secundaria

En cuanto al *DECRETO 48/2015, de 14 de mayo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria*, el artículo 15 relativo al *Proceso de aprendizaje y atención individualizada* especifica que “en esta etapa se prestará una atención especial a la adquisición y el

desarrollo de las competencias y se fomentará la correcta expresión oral y escrita y el uso de las matemáticas”. (BOCM No. 118, 20 de mayo de 2015, p. 21)

Además, este Decreto alude a que,

Las matemáticas constituyen una forma de mirar e interpretar el mundo que nos rodea [...]. En la actualidad los ciudadanos se enfrentan a multitud de tareas que entrañan conceptos de carácter cuantitativo, espacial, probabilístico, etc. La información recogida en los medios de comunicación se expresa habitualmente en forma de tablas, fórmulas, diagramas o gráficos que requieren de conocimientos matemáticos para su correcta comprensión. Los contextos en los que aparecen son múltiples: los propiamente matemáticos, economía, tecnología, ciencias naturales y sociales, medicina, comunicaciones, deportes, etc., por lo que es necesario adquirir un hábito de pensamiento matemático que permita establecer hipótesis y contrastarlas, elaborar estrategias de resolución de problemas y ayudar en la toma de decisiones adecuadas, tanto en la vida personal como en su futura vida profesional. (BOCM No. 118, 20 de mayo de 2015, p. 95)

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los contenidos matemáticos recogidos en el *DECRETO 48/2015*, del 3^{er} curso de Educación Secundaria (BOCM No. 118, 20 de mayo de 2015, pp. 106-108).

Tabla 2. Compendio de los contenidos de las matemáticas orientadas a las enseñanzas académicas de tercer curso de E.S.O. Solo en el bloque de *Geometría* se detallan sus contenidos, para contemplar la carga espacial de las distintas actividades.

PROCESOS, MÉTODOS Y ACTITUDES MATEMÁTICAS
Planificación del proceso de resolución de problemas. <i>Estrategias y procedimientos puestos en práctica: uso del lenguaje apropiado (gráfico, numérico, algebraico, etc.), reformulación del problema, resolver subproblemas, ...</i>
Planteamiento de investigaciones matemáticas escolares en contextos numéricos, geométricos, funcionales, estadísticos y probabilísticos. <i>Práctica de los procesos de matematización y modelización, en contextos de la realidad y en contextos matemáticos.</i>
Utilización de medios tecnológicos en el proceso de aprendizaje
NÚMEROS Y ÁLGEBRA
Potencias de números racionales con exponente entero. Significado y uso.
Raíces cuadradas.
Números decimales y racionales.
Investigación de regularidades, relaciones y propiedades que aparecen en conjuntos de números. Expresión usando lenguaje algebraico.
Sucesiones numéricas. Sucesiones recurrentes Progresiones aritméticas y geométricas.
Polinomios. Expresiones algebraicas.
Resolución de ecuaciones sencillas de grado superior a dos.
Resolución de problemas mediante la utilización de ecuaciones y sistemas de ecuaciones.
GEOMETRÍA
Geometría del plano. <i>Rectas y ángulos en el plano. Relaciones entre los ángulos definidos por dos rectas que se cortan. Lugar geométrico: mediatriz de un segmento, bisectriz de un ángulo. Polígonos. Circunferencia y círculo. Perímetro y área. Teorema de Tales. División de un segmento en partes proporcionales. Teorema de Pitágoras. Aplicación a la resolución de problemas. Movimientos en el plano: traslaciones, giros y simetrías.</i>
Geometría del espacio. <i>Poliedros, poliedros regulares. Vértices, aristas y caras. Teorema de Euler. Planos de simetría en los poliedros. La esfera. Intersecciones de planos y esferas.</i>

El globo terráqueo. Coordenadas geográficas y husos horarios. Longitud y latitud de un punto.
Uso de herramientas tecnológicas para estudiar formas, configuraciones y relaciones geométricas.
FUNCIONES
Análisis y descripción cualitativa de gráficas que representan fenómenos del entorno cotidiano y de otras materias.
Análisis de una situación a partir del estudio de las características locales y globales de la gráfica correspondiente.
Análisis y comparación de situaciones de dependencia funcional dadas mediante tablas y enunciados.
Utilización de modelos lineales para estudiar situaciones provenientes de los diferentes ámbitos de conocimiento y de la vida cotidiana, mediante la confección de la tabla, la representación gráfica y la obtención de la expresión algebraica.
Expresiones de la ecuación de la recta.
Funciones cuadráticas. Representación gráfica. Utilización para representar situaciones de la vida cotidiana.
ESTADÍSTICA Y PROBABILIDAD
Estadística.
Experiencias aleatorias. Sucesos y espacio muestral.

En esta etapa académica, como se ha descrito en la tabla anterior, la competencia matemática implica aprendizaje de diversos contenidos, que incluyen los *Números* y el *Álgebra*, *Geometría*, *Funciones*, y *Estadística y Probabilidad*.

1.5. Promoviendo la importancia de las habilidades espaciales en el ámbito educativo

Como hemos analizado hasta ahora, la relación entre espacio y matemáticas ha sido ampliamente estudiada, y es más que evidente incluso que las habilidades espaciales tempranas pueden predecir a posteriori el rendimiento matemático. En relación a esto, algunas investigaciones se han centrado en valorar el impacto que podrían tener determinados déficits visoespaciales en las habilidades para representar espacialmente información numérica, encontrando que una carencia en el procesamiento espacial puede interferir de manera negativa sobre las habilidades matemáticas (Geary, 1993). Esto refuerza, más aún, la importancia que tiene la adquisición y el desarrollo de las habilidades visoespaciales de cara a un aprendizaje óptimo de las matemáticas. De hecho, tal y como hemos visto, en nuestro repaso del desarrollo educativo la información espacial adquiere un papel importante en algunos contenidos matemáticos.

Debido a la importancia que adquieren las habilidades espaciales sobre el aprendizaje de las matemáticas, en el año 2010 el *National Council of Teachers of Mathematics* (NCTM)⁶ incorporó el razonamiento espacial dentro del currículo de las

⁶ El NCTM, fundado en 1920, es la organización más grande a nivel mundial en materia de educación matemática. Su objetivo es apoyar a los maestros de Estados Unidos y Canadá para que promuevan y garanticen un aprendizaje de alta calidad en la competencia matemática a todos los estudiantes desde la etapa de preescolar hasta el grado 12.

matemáticas elementales. En los “principios y criterios para las matemáticas escolares” (*Principles and Standards for School Mathematics, PSSM*) publicadas por el NCTM en el 2000, y dentro de las directrices para el aprendizaje de geometría (*Geometry Standards*) desde Pre-K hasta el grado 12 se han descrito los siguientes objetivos (NCTM, 2000):

- 1) Analizar las características y propiedades de formas geométricas en 2 y 3 dimensiones.
- 2) Especificar ubicaciones y describir relaciones espaciales.
- 3) Aplicar transformaciones y utilizar la simetría para analizar situaciones matemáticas.
- 4) Utilizar la visualización, el razonamiento espacial y el modelado geométrico para resolver problemas.

Sin embargo, no siempre han sido consideradas las habilidades espaciales dentro de los programas de intervención educativa.

En una encuesta realizada a 620 maestros desde preescolar hasta el grado 2, se ha puesto de manifiesto la menor cantidad de tiempo dedicada a la geometría y al sentido espacial en comparación con la aplicación a otras líneas de matemáticas (Bruce, Moss y Flynn, 2012; citado en Bruce y Hawes, 2015).

Investigadores como Catherine D. Bruce y Zachary Hawes, quienes trabajan en el área de la educación, han aludido a estudios que sugirieron que:

Entrenamiento visoespacial

Los niños que se encuentran en desventaja (especialmente debido a las bajas circunstancias socioeconómicas por el ingreso económico familiar y la educación de la madre) tienen un rendimiento deficiente en las tareas de razonamiento espacial en comparación con sus compañeros en una situación socioeconómica más favorable (Farmer et al., 2013). Sin intervención alguna es probable que estas brechas no se resuelvan (Jordan y Levine, 2009). Desafortunadamente, los estudios de intervención son relativamente escasos en comparación con el volumen de estudios que documentan la problemática de la práctica en el aula sin ofrecer soluciones (Stylianides y Stylianides, 2013). (traducción propia; p. 332)

Motivados por estos aspectos, estos investigadores han destacado la necesidad de mejorar habilidades espaciales específicas, como la RM, a través de intervenciones educativas.

El hecho de incorporar el pensamiento espacial de la RM en el entorno de clase – más que en condiciones de laboratorio experimental– para mejorar el aprendizaje general de las matemáticas radica en “la convicción de que la RM opera no solo como una habilidad específica y aislada, sino también como una habilidad fundamental que se impregna en la disciplina de las matemáticas en su conjunto” (traducción propia; Bruce y Hawes, 2015, p. 333).

1.6. Panorama actual del rendimiento académico en España

La Asociación Internacional para la Evaluación del Rendimiento Educativo (IEA, por sus siglas en inglés), desarrolla la evaluación internacional TIMMS (Estudio Internacional de Tendencias en Matemáticas y Ciencias) cada cuatro años, y algunos de los datos relevantes que proporciona, dirigidos especialmente a los responsables de las políticas de educación, son hasta qué punto los estudiantes adquirieron durante los primeros años de la etapa de Educación Primaria una base consolidada en ciencias y matemáticas como para enfrentarse a los retos del futuro. Los últimos datos relativos al año 2015 fueron publicados por el Instituto Nacional de Evaluación Educativa (INEE) del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte en el año 2016. En dicho informe puede verse cómo España se sitúa por debajo de la media en competencia matemática, indicando que:

España ha logrado 505 puntos, por debajo de la media de la OCDE-24 (525 puntos) y del total de la UE (519 puntos) con diferencia estadísticamente significativa en ambos casos, aunque las tres puntuaciones medias se encuentran en el nivel de rendimiento intermedio (INEE, 2016, p. 40).

Por otra parte, en el análisis de los dominios de contenido queda reflejado que los peores resultados de España en matemáticas se obtienen en “formas y medidas geométricas”, tanto si lo comparamos con los otros dominios de matemáticas como con las diferencias de media respecto del promedio OCDE-24 y el total UE en ese dominio. En relación al dominio matemático de “formas y medidas geométricas”, en dicho

informe se puntualiza que “el sentido espacial es esencial para el estudio de la geometría y los estudiantes deben de ser capaces de describir y dibujar una variedad de figuras geométricas” (INEE, 2016, p. 12)

Los datos del TIMMS 2011 no difirieron mucho respecto a los del 2015, de manera que España también se situó por debajo de la media en competencia matemática (482 puntos, por debajo de la media de la OCDE, que obtuvo 521 puntos, y por debajo de la media de la UE, situada en 519 puntos). En ese informe se destaca que:

La puntuación de España, inferior a la de la mayoría de los países de nuestro entorno, parece reafirmar la necesidad de revisar la atención dedicada a las matemáticas en el sistema educativo español. Dado que es una materia instrumental, resulta fundamental que los estudiantes tengan una buena formación inicial en esta área como base para futuros aprendizajes. (INEE, 2012, p. 54)

En relación al desarrollo económico-cultural de un país, este mismo informe del 2011 indicaba que, en general, el mayor desarrollo económico y cultural se relaciona con los países situados que tienen puntuaciones superiores al punto de referencia TIMSS-matemáticas, y que se año se situaba en 500, algo superior que las puntuaciones obtenidas por España (INEE, 2012).

El Programa para la Evaluación Internacional de los Alumnos (*Programme for International Student Assessment*, PISA) de la OCDE, es otro estudio internacional de evaluación educativa que se propone conocer cada tres años lo que los jóvenes saben y

son capaces de hacer a los 15 años. Específicamente los conocimientos y destrezas adquiridos en matemáticas, lectura y ciencias.

La puntuación alcanzada por España en el área de matemáticas en el año 2012 fue de 484 puntos, significativamente inferior al promedio de la OCDE (494 puntos). Esto supone que en el listado ordenados por su puntuación en matemáticas España ocupara el puesto 25 de los 34 países miembros de la OCDE (INEE, 2014, p. 36).

De manera similar, en el último informe PISA del 2015, España se situó en matemáticas a 7,2 puntos porcentuales (22.2%) del correspondiente objetivo, obteniendo una puntuación de 486 puntos (puesto 25 de los 35 países de la OCDE), por debajo de los 490 de la OCDE y de los 493 de la UE. Apenas el 7% de los alumnos españoles alcanza los niveles de excelencia de rendimiento en matemáticas, lo que supone 4 puntos porcentuales menos que el promedio de la OCDE. Este resultado indica una proporción baja de alumnos excelentes. En el extremo opuesto, el 22% de los alumnos se encuentra en un nivel bajo de rendimiento en matemáticas, lo que indica que prácticamente uno de cada cuatro alumnos españoles no posee un dominio básico de la competencia matemática (INEE, 2016).

Por tanto, en materia de matemáticas no se han producido cambios significativos en los resultados de España en matemáticas entre 2003 y 2015, ediciones en las que las matemáticas han sido el foco de especial atención de la evaluación PISA.

En el Informe 2018 sobre el estado del sistema educativo del Consejo Escolar del Estado publicado por el Ministerio de Educación y Formación Profesional se pone de manifiesto que:

La preocupante cifra de alumnos de 15 años con niveles bajos de capacidades básicas en lectura, matemáticas y ciencias que señala el informe PISA de la OCDE, muestra la clara necesidad de mejorar el rendimiento y los resultados de los sistemas de educación y formación, persiguiendo su modernización y eficiencia.

(Consejo Escolar del Estado, 2018, p. 34)

Es interesante mencionar que el Programa Internacional para la Evaluación de las Competencias de la Población Adulta (PIACC) de la OCDE, publicado por primera vez en el 2013 por el INEE, proporciona resultados globales y niveles de rendimiento en comprensión lectora y en Matemáticas en adultos con edades comprendidas entre los 16 y los 65 años. En este informe se revelan puntuaciones nada favorables para nuestro país en la competencia matemática: “Los adultos de España obtienen en matemáticas una puntuación media de 246 puntos, es decir, 23 puntos por debajo del promedio de la OCDE y 22 puntos por debajo del promedio de la UE, ambas diferencias significativas”. (INEE, 2013, p. 233). Estos datos revelan que, en el conjunto de los veintitrés países participantes, España se sitúa junto con Italia en la última posición.

En este mismo informe se pone de manifiesto otro dato de especial relevancia en lo referente a los bajos niveles en la competencia matemática que existe en España, y este es que “la tasa de paro de las personas con niveles bajos de matemáticas es del

28%, (...). El desempleo se agudiza conforme disminuye el dominio de las matemáticas” (INEE, 2013, p. 213). En relación a esto, en el mismo informe del INEE (2013) se destaca la necesidad de poner en práctica actuaciones que fomenten el crecimiento de la competencia matemática, resaltando que:

Las personas con un mayor dominio de las competencias en comprensión lectora y matemáticas participan más en el mercado de trabajo, tienen menores tasas de desempleo y obtienen salarios más elevados [...]. Sería relevante poner el acento en actuaciones que propiciaran que un porcentaje mayor de españoles alcanzaran los niveles más altos de rendimiento. (p. 236)

A la vista de los resultados tan desfavorables para algunos países en materia de educación, las organizaciones internacionales más relevantes han hecho un llamamiento para poner de manifiesto la relación que existe entre conocimiento, aprendizaje y economía. En el marco de la economía basada en el conocimiento, “el conjunto formado por las disciplinas académicas Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (Science, Technology, Engineering y Mathematics, STEM) desempeña, en el actual contexto, un papel esencial (Consejo Escolar del Estado, 2018, p. 73).

1.7. Maleabilidad del razonamiento espacial

La comunidad científica ha demostrado en las últimas décadas un gran interés en el estudio de las intervenciones para la mejora de las aptitudes visoespaciales. De

hecho, varios meta-análisis han informado que el entrenamiento y la práctica de manera repetida con material visoespacial puede mejorar el rendimiento de esta habilidad (Baenninger y Newcombe, 1989, 1995; Marulis, Liu, Warren, Uttal y Newcombe, 2007; Uttal et al., 2013). Uno de los meta-análisis más influyentes sobre la maleabilidad de las habilidades espaciales ha sido el realizado por David Uttal y colaboradores (2013), que evaluó la magnitud, la durabilidad y la transferencia de los entrenamientos en este tipo de razonamiento cognitivo a través de 206 estudios. Los resultados indicaron que el razonamiento espacial es maleable a través del entrenamiento, tanto en hombres como en mujeres, y en diferentes puntos del ciclo evolutivo (niños y adultos). De manera más específica, los efectos que produce la práctica y el entrenamiento con tareas que involucran la rotación de estímulos y objetos se ha tratado en diferentes estudios, especialmente entre la población adulta (Adams, Stull y Hegarty, 2014; Larson et al., 1999; Lohman y Nichols, 1990; Meneghetti, Borella y Pazzaglia, 2016; Wiedenbauer, Schmid y Jansen-Osmann, 2007; Wright, Thompson, Ganis, Newcombe y Kosslyn, 2008; Yeh et al., 2014). Sin embargo, este tipo de intervenciones en la habilidad de RM han sido menos estudiadas en etapas previas del desarrollo, como la infancia, la niñez o la pubertad y la adolescencia. Por ello, a continuación, repasaremos algunos estudios realizados sobre la maleabilidad de la RM en las primeras fases del desarrollo (incluida la infancia o la etapa preescolar), presentándolos según el desarrollo evolutivo.

1.7.1. Evidencias sobre efectos de práctica del razonamiento espacial en las primeras etapas del desarrollo (preescolar, infantil y niñez)

Uttal y colaboradores (2013) señalaban en su meta-análisis, que no siempre se ha considerado la inclusión de un grupo de control en las investigaciones sobre razonamiento espacial, y esto es un aspecto determinante para estudiar la efectividad real de estas intervenciones. En este sentido, algunos estudios realizados sobre intervenciones espaciales en las primeras etapas del desarrollo no han considerado un grupo control (Brosnan, 1998; Bruce y Hawes, 2015; Chien, 1986; Clements, Battista, Sarama y Swaminathan, 1997).

Otros estudios realizados en estos grupos de edad no incorporaron un entrenamiento específico, sino que solo incluyeron una evaluación test-retest (Kaplan y Weisberg, 1987; grados 3 a 6; 8 a 11 años) o no incluyeron tareas específicas de RM, sino una práctica con tareas relacionadas con la representación de perspectivas de objetos en 2D partiendo de modelos manipulativos en 3D (Tillotson, 1984), con el diseño gráfico de panoramas en 2D y 3D –objetos en un paisaje y control de navegación– (Shavaliar, 2004; grados 4 a 6; 9 a 12 años) o con la percepción de estímulos como un todo desde diferentes ángulos (Tzurriel y Egozi, 2010; grado 1; 6-7 años).

En base a la bibliografía existente sobre el tema que nos ocupa –la práctica de tareas donde se pone en juego la RM–, pocos estudios han utilizado material específico

de esta habilidad espacial con niños/as en la niñez intermedia o escolar (es decir, entre los 6 años y la pubertad). A continuación, mencionaremos las investigaciones más importantes que se han realizado hasta la fecha y que se han centrado en las primeras etapas del desarrollo, haciendo especialmente hincapié en la niñez (entre los 6 y 12 años de edad), aunque también mencionaremos más someramente algunos estudios que se han realizado en infantes o preescolares (hasta los 6 años de edad).

Los estudios sobre RM no son muy frecuentes en la población infantil, y en ocasiones se han encontrado resultados inconsistentes en cuanto a la edad a partir de la cual la habilidad de RM puede evocarse. Mientras que unos autores han encontrado que la habilidad de RM ya está presente a los 3 y 4 años (Krüger, Kaiser, Mahler, Bartels y Krist, 2014; Marmor, 1975), otros autores no han encontrado un patrón evidente asociado a la cognición de RM por debajo de los 4 años (Estes, 1998; Frick, Hansen y Newcombe, 2013; Frick, Ferrara, y Newcombe, 2013; Noda, 2010). Parece más evidente que esta habilidad sí que está presente a la edad de 5 años (Frick, Daum, Walser y Mast, 2009; Funk, Brugger y Wilkening, 2005). De hecho, en el estudio de Frick et al. (2013) realizado a niños de 3 a 5 años, se evidenció un desarrollo considerable a lo largo de este período, ya que solo el 10% de los niños de 3 años respondieron a niveles por encima de la probabilidad, en comparación con el 95% de los niños de 5 años (el porcentaje medio de respuestas correctas fue del 54 % en el grupo de edad de 3 años versus el 83% a los 5 años).

Esta falta de consenso en relación al momento evolutivo en el que emerge la habilidad de RM hace que los estudios sobre su intervención en estas primeras etapas del desarrollo sean escasos, encontrando también resultados dispares. Por ejemplo, algunas investigaciones han mostrado que la habilidad de RM es susceptible de entrenamiento a los 5 y 6 años de edad (Ehrlich, Levine y Goldin-Meadow, 2006; Fernández-Méndez, Contreras y Elosúa, 2018a; Frick et al., 2013). Otros estudios no han encontrado mejorías de esta habilidad a los tres (Fernández-Méndez et al., 2018a, 2018b), cuatro (Frick et al., 2013) y cinco años (Marmor, 1977).

Una investigación realizada en Canadá por Bruce y Hawes (2015) a 42 niños y niñas en el periodo de educación infantil hasta grado 2 (4 a 8 años de edad; media 6.3 años), ha tratado de evaluar preliminarmente los efectos de la práctica de habilidades espaciales con un enfoque particular en la geometría y la medición. En este estudio se valoró el rendimiento de los escolares en el razonamiento espacial de dos tareas de RM, una en formato 2D (tarea adaptada del CMTT, Forma D; véase Levine et al., 1999), y otra en formato tridimensional, que requería que los participantes examinaran una figura de bloques en 3D para decidir de entre otras tres cual era exactamente igual pero girada. La práctica que implementaron los maestros en clase para sus alumnos, a través de 14 tipos de actividades durante 4 meses, consistió en la observación y manipulación (rotaciones físicas, entre otros movimientos) para comparar configuraciones por medio de tareas con bloques, cubos, *tangrams* o *pentominós* durante 4 meses. Los niños y niñas mostraron una mejora en su habilidad de RM (especialmente en la tarea de 2D),

pero solo los más mayores (SK, grado 1 y grado 2⁷). El hecho de que los niños más pequeños no mejorasen en una tarea de 3D, se ha demostrado en investigaciones previas (Jansen et al., 2013) con edades similares, por lo que se pone de manifiesto que las tareas en un formato tridimensional en estas edades del desarrollo son poco accesibles.

Motivados por algunas limitaciones de su anterior estudio (Bruce y Hawes, 2015), como un número relativamente bajo de participantes, la ausencia de grupo control u otras conjeturas, Hawes, Moss, Caswell y Poliszczuk (2015) llevaron a cabo otra investigación para valorar las implicaciones que podría tener una intervención del pensamiento espacial sobre la cognición matemática. En una sesión de entrenamiento de seis semanas (tres veces a la semana, 15-20 minutos por sesión, 4.5⁸ horas en total) a niños/as de entre 6 y 8 años, utilizaron hasta tres tipos diferentes de juegos de ordenador basados en tareas bidimensionales durante un entrenamiento de RM, y ninguna de las tareas fue igual a las utilizadas durante la evaluación. Sin embargo, las tareas de RM entrenadas no produjeron una transferencia a todas las tareas de RM evaluadas, encontrando diferencias en la mejora de ambos grupos solo en dos de las cuatro tareas evaluadas, que los autores definieron como una transferencia cercana.

⁷ El grado de mejora se analizó por grupos, en total cuatro: JK (Junior kindergarten, M = 4.5 años), SK (Senior Kindergarten, M = 5.7 años), 1 (Grado 1, M = 6.8 años) y 2 (Grado 2, M = 7.5 años).

⁸ A lo largo de este trabajo siempre que se facilitan datos numéricos decimales, se utiliza el separador decimal en forma de puntos, y no de comas, para facilitar la lectura en la forma habitual de las revistas científicas y evitar la confusión entre comas y puntos.

En otro estudio, relacionado con los dos anteriores y realizado por el mismo grupo de trabajo que forma parte del proyecto *the Math for Young Children (M4YC)* (Hawes et al., 2017), se ha valorado en niños y niñas de entre 4 y 7 años los efectos de un entrenamiento de 32 semanas basado en conceptos geométricos y que utilizó una amplia variedad de lecciones y actividades espaciales en clase, de las cuales varias de ellas estaban relacionadas con el razonamiento espacial, el lenguaje espacial y la RM (por ejemplo, descubrir la congruencia 2D a través de rotaciones, descubrir una equivalencia 3D a través de rotaciones mentales de estructuras de cubos en 3D). En comparación con un grupo control activo, los participantes del grupo de intervención mostraron ganancias en el lenguaje espacial, el razonamiento visoespacial, la rotación mental 2D (medido con el CMTT) y la comparación de magnitud numérica simbólica. Estos autores incidieron en la importancia que tiene el desarrollo del pensamiento espacial como parte de la enseñanza en las matemáticas tempranas que se llevan a cabo en esta etapa del desarrollo.

Cheng y Mix (2014) emplearon tan solo una sesión de 40 minutos para entrenar a niños/as de entre 6 y 8 años con una tarea de RM que consistía en observar dos partes de una forma plana para decidir cuál de cuatro opciones tenía la misma forma al completo cuando eran juntadas las dos mitades. Esta tarea requería una traslación o desplazamiento y una rotación mental (tarea de transformación mental en 2D, CMTT diseñada por Levine et al., 1999, y adaptada posteriormente por Ehrlich et al., 2006; véase [Figura 2](#)). Estos autores solo observaron un progreso cuando la tarea evaluada era

la misma que la entrenada, pero no hubo un efecto de transferencia a otra tarea de rotación (PMA-SR).

De Lisi y Wolford (2002) utilizaron el conocido videojuego *Tetris* como entrenamiento de la RM en niños y niñas de 8 y 9 años. Después de 330 minutos de juego (11 sesiones de 30 minutos de duración), se observó que el grupo experimental (*Tetris*) mejoró significativamente más en comparación con el grupo control, quien interactuó con otro videojuego sin carga, ni implicaciones espaciales (*Carmen Sandiego*⁹). Los efectos de transferencia espacial fueron medidos a través de una adaptación de la tarea de RM, *Card Rotation Test* (*French Kit Card Rotation Test*; French et al., 1963).

Finalmente, en un estudio de Lowrie, Logan y Ramful (2017) con participantes de entre 10 y 12 años, se utilizó un programa de razonamiento espacial de 10 semanas que incorporó actividades relacionadas con la RM (por ejemplo, la rotación 2D alrededor de un punto), así como de visualización –Vz– y de orientación espacial –SO–. Sin embargo, se desconoce si la configuración de los estímulos utilizados en el entrenamiento de RM podría ser similar a los estímulos usados para evaluar este mismo constructo en las pruebas utilizadas por estos autores (SRI, *Spatial Reasoning Instrument*). Los autores

⁹ Se trata de un videojuego de aventura gráfica creado por la compañía norteamericana *Brodebund Software* y que está basado en una serie de entretenimiento educativo. Está orientado a estudiantes de Educación Primaria para el aprendizaje de conceptos sobre geografía, historia o matemáticas.

encontraron una transferencia de la tarea de RM entrenada hacia otras tareas que evalúan esta misma capacidad espacial.

En vista a los estudios revisados, en general, parece que el entrenamiento en RM no siempre conduce a una mejora general en esta capacidad espacial en estas etapas del desarrollo,

1.7.2. Evidencias sobre efectos de práctica del razonamiento espacial en la etapa de la pubertad o adolescencia

El entrenamiento con tareas relacionadas con la rotación de objetos también ha sido motivo de estudio a través de algunas investigaciones llevadas a cabo en la pubertad y adolescencia. En general, estas intervenciones han demostrado ser útiles, mejorando directamente el rendimiento de RM (Bergner y Neubauer, 2011; Neubauer et al., 2010; Sanz de Acedo Lizarraga y García Ganuza, 2003) u otras habilidades relacionadas, como la visualización (Vz) (Kwon, Kim y Kim, 2002; Rafi, Samsudin y Said, 2008; Samsudin, Rafi y Hanif, 2011). Sin embargo, en este tipo de estudios en población joven, la inclusión de un grupo de control, es decir, que no haya recibido ningún tipo de entrenamiento, no siempre se ha considerado (Bergner y Neubauer, 2011; Kwon et al., 2002; Neubauer et al., 2010; Rafi et al., 2008; Samsudin et al., 2011), un aspecto que influye en el conocimiento de la efectividad real de estas intervenciones.

Pleet (1991) investigó si una intervención manipulativa (*MIRA*¹⁰) o si el uso de un programa informático, similar en diseño a la intervención manual, para la adquisición de conceptos de transformación espacial basados en la simetría (volteos)¹¹, rotación y traslación (deslizamiento de una figura en un mismo plano) (véase Figura 3 para diferenciar estos tres tipos de transformaciones espaciales), podría ayudar a mejorar el aprendizaje de nociones de transformación y de rotación de configuraciones geométricas. Tras el entrenamiento de tres semanas (50 minutos por sesión) a estudiantes de 13 y 14 años, Pleet no encontró una evidencia de mejora en la habilidad de RM (evaluada con el *Card Rotations Test* de Ekstrom et al., 1976) en

¹⁰ *MIRA*™, es una lámina transparente inventada por Gillespie y Scroggie, que se suele comercializar en color rojo y que se utiliza en el ámbito de la geometría para adquirir la primera comprensión del concepto de simetría. Permite realizar trazos por detrás de ella (por ejemplo, figuras o líneas), mientras la persona compara los trazos realizados con la imagen reflejada de los trazos u objetos que se sitúan delante de ella.

¹¹ En los estudios sobre aprendizaje de conceptos sobre geometría y tareas espaciales (e.g., RM) en un formato bidimensional, es habitual encontrar términos como “twist”, “reflections”, “flips”, “inverted”, “mirror/mirrored”, términos que se asocian a un “volteo” o al concepto de simetría reflectiva o especular, y que aluden, por tanto, a estímulos u objetos que no están rotados. En el estudio de Shepard y Metzler (1971), que sirve como punto de partida de la habilidad de RM, estos autores usaron el término “reflection” para describir las figuras no rotadas. Otros muchos estudios con tareas de RM prefieren utilizar el término “mirror” (en espejo) para aludir a las figuras que no están rotadas, y en otras investigaciones las figuras no rotadas simplemente son denominadas como “incorrectas” o “diferentes”. En las tareas de RM de tipo S–M donde las figuras tienen un diseño tridimensional o en profundidad (aun presentándose en un plano bidimensional, como es el papel), las figuras rotadas en realidad pueden experimentar un “volteo” en profundidad, pero sin implicar una imagen especular, sino más bien una rotación. La tarea de RM diseñada para este trabajo tiene un formato bidimensional (las figuras no tienen profundidad, sino que tienen un diseño plano), por lo que un volteo con este tipo de figuras bidimensionales implicaría el resultado de una reflexión especular y, por tanto, el resultado sería distinto al de una rotación. Dicho esto, para evitar ambigüedades y confusiones, a lo largo de este trabajo, y para diferenciarlo de una rotación, cuando usemos el término “volteo” se añadirá “en espejo”, llevando en este caso asociado estudios que usen términos como “flip” o “twist”, y/o que usen tareas planas (donde el volteo no implique una rotación).

ninguno de los grupos de intervención (manual e informatizado) en comparación con un grupo control que solo realizó problemas matemáticos de fracciones y decimales.

Otra investigación llevada a cabo en nuestro país por Sanz de Acedo Lizarraga y García Ganuza (2003) trató de valorar en estudiantes de educación secundaria de 14 años si un entrenamiento con una tarea de RM (cubo con diferentes perspectivas que cambia de posición por rotación en sus 3 ejes) mejoraba esta habilidad y se transfería a otros tipos de tareas de Vz. Tras el entrenamiento de 2 meses (12 sesiones en total), que se llevó a cabo en formato de papel, con un apoyo manipulativo de un cubo real y la corrección in situ del profesor –a modo de feedback– se encontró que el grupo de intervención mejoraba significativamente la RM (misma prueba que la usada en el entrenamiento) y transfería hacia otra tarea de Vz (Prueba de Aptitud Diferencial, Subtest de Relaciones Espaciales, DAT-SR), en comparación con un grupo control que no realizó tratamiento alguno.

Neubauer et al. (2010) llevaron a cabo una investigación en 77 adolescentes de 15 años para valorar en un único grupo experimental el efecto de la práctica del *Tetris* y de 80 ensayos con tareas de rotación de cubos con tres de sus lados en diferentes posiciones (*Cube task*, 10 ensayos; *Bricktask*, 70 ensayos) y jugando al *Tetris*. La RM fue evaluada mediante 45 ensayos con pares de figuras de tipo S-M en 2D y en un entorno 3-D con gafas estereoscópicas, donde los participantes debían decidir si el par de figuras correspondía a una opción girada o en espejo. Tras 7 sesiones de entrenamiento repartidas en 2 semanas, se halló un mayor incremento en la tarea de 3-D, respecto a la

tarea bidimensional. Sin embargo, en este estudio no se incluyó un grupo control, por lo que no se pudieron comparar los efectos reales del entrenamiento, y los autores atribuyeron la mejora por el efecto de aprendizaje test-retest.

En otro estudio de Kwon et al. (2002) llevado a cabo en chicos y chicas de 15 y 16 años, se realizó una intervención de 2 horas, donde los participantes debían observar y manejar perspectivas de construcciones de bloques, de forma que el estímulo de referencia o *target* tenía un diseño tridimensional que se podía rotar con un ratón, y donde las opciones de respuestas consistían en diferentes perspectivas en 2D. La tarea de los participantes era decidir cuál de las opciones de respuesta (2-D) correspondía al *target* tridimensional. Un grupo “control” realizó la misma tarea, pero sin interactuar con la figura tridimensional por medio del ratón. Los resultados fueron que el grupo experimental mejoraba significativamente más que el control en una tarea de Vz desarrollada por el *Middle Grade Mathematics Project (MGMP, 1983)*, aunque ambos grupos mejoraron después de la intervención. En este estudio tampoco se incorporó un grupo control real (es decir, sobre el que no se realizaba intervención alguna), por lo que tampoco se pudieron valorar los efectos reales de la intervención.

En otra investigación realizada en adolescentes, Rafi et al. (2008) desarrollaron un entrenamiento de Vz donde los estudiantes de 15 años percibían y visualizaban objetos en forma de bloques desde múltiples perspectivas. El entrenamiento en tres grupos diferentes fue tal que dos de ellos utilizaron un entorno virtual dinámico en 3-D (grupos “i-DVEST” y “a-DVEST”) y un grupo “control” realizó el mismo tipo de tarea en un

formato impreso estático. Tras el entrenamiento de 3 sesiones (6 horas en total), se observó que los grupos “i-DVEST” y “a-DVEST” mejoraban significativamente más que el grupo control en otra tarea¹² de Vz (versión computerizada basada en la tarea desarrollada por el *Middle Grade Mathematics Project*, MGMP, 1983).

Más tarde, Samsudin et al. (2011) replicaron el estudio de Rafi et al., (2008) aplicando el mismo entrenamiento a chicos y chicas de 15 y 16 años, pero en esta ocasión a una muestra mayor de participantes (n = 98). Además, de la evaluación de la Vz introdujeron una versión en línea de la Prueba de RM con el propósito de ver si la mejora tras el entrenamiento en Vz transfería a una tarea de RM. Sin embargo, los autores fallaron en no incluir un verdadero grupo control, es decir que no realizara intervención alguna. Los resultados encontrados fueron similares a los obtenidos en su anterior estudio (Rafi et al., 2008), de manera los dos grupos experimentales mejoraban significativamente más que el grupo “control” en ambas tareas de Vz y de RM.

1.8. Diferencias de sexo en RM

Gran parte de la literatura sobre las diferencias de sexo en el campo de las ciencias se ha centrado en las diferencias que hay en las tasas masculinas y femeninas de

¹² En esta tarea el sujeto debía de decidir cuál de cinco objetos formados por pequeños cubos unitarios y con diferentes perspectivas corresponde a otro de referencia con una perspectiva diferente.

estudiantes que eligen rutas educativas que conducen a las disciplinas STEM (e.g., Halpern, 2007). La relación entre el rendimiento en tareas espaciales y diferentes áreas de ciencias, así como las diferencias de sexo en los dominios STEM han motivado que en las últimas décadas se hayan realizado estudios sobre las diferencias promedio entre sexos en el rendimiento en tareas con contenido visoespacial.

Con respecto a las diferencias de sexo en la capacidad espacial de RM, diferentes estudios de meta-análisis han demostrado que la magnitud del efecto en la RM parece variar, viéndose favorecido en general el sexo masculino en cuanto al rendimiento en esta habilidad espacial (e.g., Linn y Petersen, 1985; Maeda y Yoon, 2013; Voyer, Voyer y Bryden, 1995).

Otras investigaciones, sin embargo, sostienen que tales diferencias en esta habilidad espacial son insignificantes o inexistentes a través de diferentes etapas de desarrollo, como la infancia (Hawes et al., 2017; Fernández-Méndez et al., 2018b), la niñez (Lowrie et al., 2017), la adolescencia (Bergner y Neubauer, 2011; Neubauer et al., 2010; Pleet, 1991; Sanz de Acedo Lizarraga y García Ganuza, 2003) o la población adulta (Larson et al., 1999; Parsons et al., 2004).

Con respecto a los programas de intervención espacial centrados en reducir las diferencias de género en el rendimiento espacial, también se han obtenido resultados dispares. Mientras que algunos estudios de meta-análisis han demostrado que las mujeres y los hombres mejoran su rendimiento con tasas similares a través de los programas de intervención (Baenninger y Newcombe, 1989; Marulis et al., 2007;

Terlecki, Newcombe y Little, 2007), otros estudios han sugerido que la mejora en el rendimiento de la RM después del entrenamiento en esta capacidad espacial puede llegar a ser mayor en el sexo femenino, reduciendo las diferencias de sexo que existían previamente (véase Linn y Hyde, 1989, para una revisión). Estos hallazgos se han encontrado a través de diferentes grupos de edad, en la etapa escolar (De Lisi y Wolford, 2002; Ehrlich et al., 2006; Tzuriel y Egozi, 2010; Wiedenbauer y Jansen-Osmann, 2008), adolescentes (Alderton, 1989; Bergner y Neubauer, 2011; Boulter, 1992; Gittler y Glück, 1998; Neubauer et al., 2010) y adultos (Cherney, Bersted, y Smetter, 2014).

1.8.1. Diferencias entre sexos en rendimiento espacial durante la etapa preescolar y en la niñez

En población preescolar, Hahn, Jansen y Heil (2009) no han encontrado diferencias de sexo ni en cuanto a velocidad, ni en la precisión en una tarea de RM con letras, en niños de 4 a 6 años. De manera similar, Frick et al. (2013), que utilizaron una tarea novedosa de RM basada en puzles con imágenes de fantasmas, tampoco vieron diferencias de sexo en el rendimiento de RM en niños y niñas de 3 a 5 años. En otro estudio de Frick et al. (2013) realizado con niños y niñas de 4 y 5 años, los autores encontraron que el rendimiento en una tarea táctil de RM era similar en el grupo de 4 años. En este mismo estudio, sí que se vieron diferencias de sexo en el rendimiento de

RM para el grupo de 5 años, a favor de los niños. El estudio más reciente en cuanto a diferencias de sexo en esta etapa del desarrollo es el que han realizado Fernández-Méndez et al. (2018a) en niños y niñas de primer curso de educación infantil (3 años de edad). En esta investigación, no se han observado diferencias de sexo en la RM.

Otros estudios realizados en la etapa preescolar han encontrado una ventaja a favor del sexo masculino desde los 4.5 años de edad, a través de tareas de transformación mental (CMTT) que involucraba la RM en 2D (Levine et al., 1999). De manera similar, Ehrlich et al. (2006) también encontraron un mayor rendimiento en la tarea de RM de Levine et al. (1999) a favor del grupo de niños de 5 años.

En el contexto de la práctica con tareas de RM para mejorar esta habilidad, son escasos los estudios realizados en esta etapa del desarrollo. En el estudio que mencionábamos anteriormente de Ehrlich et al. (2006), se evidenció que tras una sola sesión con 12 ensayos de práctica que implicaba la RM de piezas, se producía un efecto diferencial marginal del sexo que se explicaba porque las niñas mejoraban más que los niños en el grupo experimental. Por su parte, en la investigación de Fernández-Méndez et al. (2018a) tampoco se han encontrado diferencias de sexo en la RM después de tres sesiones de práctica (45 minutos en total) con una tarea de RM diferente a la utilizada durante la evaluación.

En la etapa de la niñez, los resultados relativos a las diferencias de sexo en el rendimiento para realizar tareas de RM parecen ser variables, especialmente en un contexto de entrenamiento o de práctica de la RM. En algunos casos se ha observado

que la práctica espacial minimiza las diferencias de sexo encontradas inicialmente, pero en otras intervenciones se ha encontrado que el grado de mejora es similar en ambos sexos.

En un estudio realizado por Brosnan (1998) en niños y niñas de 9 años se encontró que ambos sexos tenían un rendimiento similar en la clásica tarea de RM de Shepard y Metzler (1971). Chien (1986) evaluó a niños y niñas de primer a quinto grado (6 a 13 años de edad) y no encontró diferencias de sexo en una tarea de Vz/RM (SVAT/MR¹³) ni antes, ni después de una intervención espacial con tareas para la adquisición de la RM en un formato bidimensional. De manera similar, Shavalier (2004) usando la tarea MRT de Vandenberg y Kuse (1978) y otra de Vz (*Paper Folding Test*), tampoco apreciaron diferencias de sexo ni antes, ni después de un entrenamiento de diseño gráfico de escenarios 2-D y 3-D en niños y niñas de 4º a 6º grado (9 a 12 años). La investigación de Lowrie et al. (2017) en estudiantes de sexto grado (10 a 12 años), también pone de manifiesto que hay una igualdad en ambos sexos en el rendimiento de habilidades espaciales como la RM, Vz y SO. Además, esta equidad se mantiene después de realizar un programa de intervención de razonamiento espacial de 10 semanas de duración, lo que pone de manifiesto que el entrenamiento espacial es igual de efectivo en ambos sexos. Más recientemente, Hawes et al. (2017), tampoco han encontrado diferencias de

¹³ *Spatial Visualization Ability Test / Mental Rotation*. En la fuente no se especifica el autor/es del test, podría ser un instrumento de evaluación diseñado por el propio autor de manera específica para el estudio.

sexo en el rendimiento de tareas espaciales relacionadas con la RM (prueba de geometría visoespacial y tarea de transformación mental CMTT (Levine et al., 1999) antes de un programa de intervención de razonamiento espacial. Dada la inexistencia de las diferencias individuales en la fase previa de esta investigación, los análisis relativos a los efectos de la intervención no incluyeron el género como factor de interés.

Sin embargo, otras investigaciones sí que han encontrado diferencias de sexo en el rendimiento de RM antes y/o después de la intervención visoespacial, confirmando que las intervenciones no reducen las diferencias individuales, dado que mejoran en la misma tasa. Este es el caso de un estudio realizado por Geiser, Lehmann, Corth y Eid (2008) a 1624 participantes en edades comprendidas entre los 9 a los 23 años. Para el rango de edad de los 9 a los 12 años los autores encontraron que las puntuaciones de los niños eran significativamente mejores que las de las niñas, usando la tarea de RM de Peters, Chisholm y Laeng (1995). Además, vieron que el tamaño del efecto en las diferencias de sexo de la RM parece ser variable con la edad, encontrando tamaños del efecto mayores a los 9 años ($d = 1.08$), que van decreciendo progresivamente hasta los 12 años ($d = .61$). Titze, Jansen y Heil (2010) encontraron que los niños de 8 a 11 años tenían mejor rendimiento que las niñas en una tarea de RM (MRT de Peters et al., 1995, adaptado con animales). Sin embargo, y a diferencia del estudio de Geiser et al. (2008), parece que estas diferencias de sexo son más evidentes hacia los 10 y 11 años, y prácticamente insignificante hacia los 8 y 9 años. Por su parte, Clements et al. (1997) utilizó una tarea de evaluación de RM (*Wheatley Spatial Ability Test*, WSAT; Wheatley,

1978) para evaluar en un grupo de escolares de tercer grado¹⁴ los efectos de un entrenamiento con tres tipos de tareas que implicaban giros (rotaciones), volteos en espejo y traslaciones. Los resultados fueron que los niños tenían puntuaciones más altas que las niñas en la evaluación previa al entrenamiento, sin embargo, los incrementos en ambos sexos fueron similares.

Por el contrario, otros estudios han sugerido que la práctica de habilidades espaciales reduce la brecha de género en razonamiento espacial. En la investigación realizada por De Lisi y Wolford (2002) para valorar el efecto de un entrenamiento con el clásico videojuego *Tetris* en escolares de 8 y 9 años, se evidenció un mayor rendimiento en la tarea de RM (*Card Rotation Test*) a favor de los niños en la fase pretest. Por su parte, Wiedenbauer y Jansen-Osmann (2008) realizaron un estudio en escolares de 10 y 11 años y encontraron en la fase previa a un entrenamiento manual de RM que los tiempos de reacción de los niños eran más rápidos que los de las niñas en una tarea de RM con dibujos de animales. Sin embargo, solo los datos de intercepción de las líneas de regresión entre el tiempo de reacción y la disparidad angular difirieron entre niños y niñas, lo cual sugiere que ambos sexos no difirieron en el proceso de RM en sí, sino en los otros procesos como la codificación de estímulos, la comparación de estos o la

¹⁴ Los autores del estudio no especifican el rango de edad, ni la media de edad de los participantes, tan solo la edad de dos voluntarios que participaron en el estudio piloto, y que tenían nueve años. En la actualidad, en el sistema educativo norteamericano el tercer grado de Educación Primaria (*Elementary school*) corresponde a escolares en edad de 8-9 años.

respuesta motora¹⁵. Tras el entrenamiento, no se hallaron diferencias de género ni en la pendiente de la línea de regresión, ni en el intercepto. En otro estudio de Tzuriel y Egozi (2010) realizado a escolares de 6 y 7 años, se evaluó la RM por medio de dos tareas (PMA-SR y *The Window Test*¹⁶), antes y después de una intervención para la adquisición de la representación y transformación de información espacial. Estos autores también encontraron diferencias en el rendimiento en las dos tareas de RM en la fase previa al entrenamiento, con puntuaciones más altas en los niños, sin embargo, las puntuaciones se igualaron tras la intervención en el grupo experimental, lo que pone también de manifiesto que las niñas mejoran más aún que los niños su RM cuando llevan a cabo un entrenamiento.

1.8.2. Diferencias entre sexos en rendimiento espacial durante la pubertad

En la etapa de la adolescencia también se han encontrado ciertas discrepancias. Por ejemplo, existen varios estudios que han confirmado que las diferencias de sexo en

¹⁵ Según Cooper y Shepard (1973), la velocidad del proceso de rotación mental se refleja en la pendiente de las líneas de regresión entre los tiempos de respuesta y la disparidad angular, mientras que la intersección o intercepto representa la codificación del estímulo, la comparación de los estímulos y la respuesta motora.

¹⁶ Basado en la subprueba de rotación mental del *Cognitive Modifiability Battery* (CMB, Tzuriel, 1995). Diseñado para niños de primero a cuarto grado, consiste en modelos de "casas con ventanas" dispuestas en un patrón de 3 x 3 (nueve ventanas); algunas ventanas están cerradas (color negro) mientras que otras están abiertas. En las casas giradas, teniendo en cuenta su rotación en el espacio, se les pide a los participantes que marquen las ventanas idénticas que están cerradas en el patrón de referencia.

el rendimiento espacial son mínimas, y que ambos sexos se benefician por igual a partir de una intervención espacial. Pleet (1991) en su estudio no encontró diferencias de sexo en los estudiantes de octavo grado (13 y 14 años) a través de una tarea de RM –*Card Rotations Test*–, ni en la evaluación previa, ni en la posterior a una intervención de razonamiento visoespacial para la adquisición de conceptos de geometría de transformación. Estos resultados fueron consistentes a través de los tres grupos de intervención, lo cual pone de manifiesto que ambos sexos mejoraban en la misma medida, independientemente del tipo de entrenamiento que habían recibido. Mack (1992) observó en un grupo de estudiantes de grado 10 (15-16 años) que tanto las chicas como los chicos tenían igual rendimiento en la versión revisada del *Minnesota Paper Form Board*¹⁷, una prueba de Vz que requiere la habilidad para rotar estímulos. Estos resultados se dieron antes y después de un entrenamiento de tres semanas que implicó la visualización y la rotación de modelos tridimensionales. En el estudio de Sanz de Acedo Lizarraga y García Ganuza (2003) a estudiantes de 14 años, tampoco se encontraron diferencias de sexo en ninguna de las dos tareas evaluadas (RM y Vz) ni en la fase previa, ni en la evaluación posterior a su intervención visoespacial. De manera similar, cuando Neubauer et al., (2010) analizan en los estudiantes de 15 años las posibles diferencias de género en el rendimiento de la tarea informatizada de RM en un

¹⁷ Esta prueba se suele considerar dentro del factor Vz, pero requiere que la persona haga una traslación y una rotación mental de dos mitades para decidir cuál de 5 opciones diferentes con diferentes formas corresponde a la figura de referencia cuando son ensambladas las dos mitades.

Entrenamiento visoespacial

entorno de realidad virtual 3D (puntuaciones totales obtenidas y tiempos de reacción), encuentran que la habilidad es similar en chicos y chicas, tanto antes, como después del entrenamiento visoespacial. Sin embargo, sí que se encontraron diferencias individuales cuando la tarea informatizada se presentó en un formato bidimensional, tal y como mencionaremos más adelante. En la investigación de Samsudin et al. (2011) tampoco se encontró ningún efecto principal significativo de género para ninguna de las dos tareas usadas de RM y Vz, lo que sugiere que tanto las chicas, como los chicos mejoraron por igual después del entrenamiento visoespacial.

Otros estudios en esta etapa del desarrollo destacan, sin embargo, una ventaja a favor del sexo masculino en tareas de RM, pero en línea con los estudios anteriores parece que la mejora que produce la interacción repetida con tareas espaciales es similar en ambos sexos. Por ejemplo, una investigación de McClurg y Chaillé (1987) en estudiantes de quinto, séptimo y noveno grado puso de manifiesto que la habilidad de RM (evaluada con estímulos S-M) es mejor en los chicos antes de una intervención con dos tipos de videojuegos, y que ambos sexos mejoran aproximadamente igual, por lo que la ventaja en la RM a favor del sexo masculino se mantiene después de la práctica visoespacial.

Es habitual encontrar en la literatura otros estudios que, por el contrario, ponen de manifiesto que la práctica, la experiencia y las intervenciones basadas en instrucciones espaciales pueden reducir las diferencias de sexo en el rendimiento de RM. Por ejemplo, Alderton (1989) no encontró en estudiantes de instituto (media de

edad de 17.15 años) diferencias entre ambos sexos en la precisión de respuesta en una tarea de RM, pero sí que se producía una ventaja a favor de los chicos en el tiempo de latencia para responder. Al mes, y tras 128 ensayos de práctica con esta tarea, se observó que los tiempos de respuesta seguían siendo significativamente mejores en el grupo de los chicos. Sin embargo, las diferencias previas se habían eliminado prácticamente porque los incrementos en la velocidad de respuesta habían sido mayores en el grupo de chicas. En otro estudio de Boulter (1992), este autor encontró diferencias significativas entre chicos y chicas en la tarea de rotación de cartas. Sin embargo, tras solo dos semanas de instrucciones para llevar a cabo traslaciones, rotaciones y volteos en espejo de formas geométricas, las chicas incrementaron notablemente su habilidad de RM, igualando su rendimiento al de los chicos en la fase post-intervención. En el estudio de Gittler y Glück (1998), estos autores utilizaron una tarea de RM de comparación de cubos rotados con diferentes perspectivas en estudiantes de 15 años, y hallaron diferencias significativas a favor de los chicos en la primera evaluación. Tras casi dos años de instrucciones de geometría descriptiva en sus clases de instituto, se encontró que, pasado este tiempo, en una segunda evaluación no había diferencias en la tarea de RM entre los chicos y las chicas del grupo que se había sometido al entrenamiento. En el mismo estudio que mencionábamos anteriormente de Neubauer et al., (2010) a estudiantes de 15 años, cuando la tarea de RM se presentó en un formato bidimensional los chicos mostraron un mejor rendimiento que las chicas, pero únicamente en términos de puntuaciones obtenidas (no así de tiempos de

reacción), y en la fase previa al entrenamiento. Para estos autores, estos resultados confirman la hipótesis de que las diferencias de sexo en el rendimiento de RM disminuyen después del entrenamiento. Sin embargo, al obtenerse este hallazgo solo para las puntuaciones obtenidas (y no para los TR) los autores argumentan que la interacción entre el momento de evaluación y el género podría ser el resultado de un efecto “techo” en el grupo de los chicos, que son prácticamente constantes de la fase pretest a la posttest, y las chicas que obtienen puntuaciones más bajas en la fase previa tienen más margen para mejorar. De hecho, un análisis adicional de las ganancias residuales que tuvieron en cuenta la diferencia desde los valores iniciales no mostró una diferencia significativa entre sexos, lo cual pone de manifiesto que tal interacción probablemente no debería de ser sobreestimada. Como continuación de la investigación realizada por Neubauer et al., (2010) en chicos y chicas de 14 y 15 años, Bergner y Neubauer (2011) también han hallado en este grupo de edad que las diferencias de género en una tarea de RM-2D se producen en la fase previa a un entrenamiento espacial en un grupo de estudiantes dotados o brillantes, pero estas diferencias se limitan al grupo de estudiantes con un nivel de inteligencia algo más bajo (en comparación con los dotados que tienen más inteligencia). Las chicas mejoran tanto como los chicos, principalmente las de menor inteligencia, hasta tal punto las diferencias de sexo encontradas antes del entrenamiento llegaron a desaparecer en la fase posttest. La ausencia en cuanto a las diferencias de sexo en la tarea de RM-2D en los superdotados más brillantes o con un mayor nivel de inteligencia en el estudio de

Bergner y Neubauer (2011) está en línea con los hallazgos de estudios previos que han encontrado que las diferencias de sexo son inapreciables en individuos dotados (Gallagher, 1987; Werner, 1983).

En la línea de los estudios que han demostrado que ambos sexos mejoran de manera similar tras una intervención espacial, sin reducir las posibles diferencias de sexo iniciales, la investigación de Rafi et al. (2008) –que también mencionábamos en el epígrafe sobre los efectos del entrenamiento– encontró algunos resultados interesantes. Por ejemplo, si bien se observó un mejor rendimiento en los chicos, las diferencias de género no fueron significativas, un resultado que no resulta sorprendente. Sin embargo, se observó un efecto de género a favor de los chicos y una interacción entre el método de entrenamiento espacial y el sexo, de forma que los chicos mejoraban más en la Vz en función de la condición de entrenamiento, mientras que las chicas mejoraban independientemente del método de entrenamiento utilizado. La interacción de la condición de entrenamiento y el género se explicaba porque los chicos progresaron significativamente más que las chicas para una modalidad de intervención informatizada (i-DVEST), ambos sexos mejoraban de manera equivalente en la otra condición informatizada (a-DVEST), y las chicas rendían ligeramente mejor que los chicos en la modalidad tradicional en formato impreso (grupo control). Respecto a este último grupo, donde las chicas obtuvieron una mejora relativamente mayor, los autores han informado que podría atribuirse en parte al factor de desmotivación de los chicos ante este tipo de formato de entrenamiento –según se describió en un

autoinforme sobre la motivación del tipo de entrenamiento—, que indujo un menor compromiso y, por tanto, un menor rendimiento. Por tanto, este estudio pone de manifiesto que no todas las formas en las que se entrena mantienen o reducen las diferencias de sexo en la habilidad espacial, pudiendo incrementarlas incluso.

1.9. Entrenamiento en RM y su posible transferencia al rendimiento matemático

Como se apuntaba en epígrafes anteriores, otro aspecto que ha atraído el interés de algunos investigadores es la relación entre las habilidades visoespaciales y las matemáticas (véase Mix y Cheng, 2012, para una revisión). La razón de este interés se debe en parte al hecho de que ambas habilidades, individualmente y en conjunto, son herramientas esenciales utilizadas en varias actividades académicas y de la vida cotidiana. De hecho, Mix et al. (2016) han recomendado que se realicen investigaciones que usen entrenamientos para contrastar esta relación entre la capacidad espacial y las matemáticas, y han señalado que "solo los experimentos de entrenamiento pueden determinar si estas habilidades latentes son maleables y si este entrenamiento se generaliza al aprendizaje académico" (p. 1222).

La relación entre estas habilidades ha sido ampliamente estudiada, mostrando que las personas con mejores resultados en ciertas tareas de razonamiento espacial a menudo también exhiben mejor rendimiento en pruebas de capacidad matemática

(e.g., Baenninger y Newcombe, 1995; Delgado y Prieto, 2004; Holmes et al., 2008; Rasmussen y Bisanz, 2005).

De manera específica, se ha observado para la habilidad espacial de RM que tiene una fuerte relación con el rendimiento matemático en preescolares, 1º, 2º y 3º grado de Educación Primaria (Carr, Alexeev, Horan, Barsed, y Wang, 2015; Cheng y Mix, 2014; Frick, 2018; Gunderson et al., 2012; Hawes et al., 2015; Mix et al., 2016; Thompson, Nuerk, Moeller, y Kadosh, 2013).

Tal es la importancia de la relación entre estas dos habilidades que también se ha analizado en qué medida la práctica de tareas visoespaciales –incluida la RM– puede llevar a una mejora en el rendimiento de ciertas tareas matemáticas (p.e., Cheng y Mix, 2014; Hawes et al., 2015; Hawes et al., 2017; Lowrie et al., 2017).

1.9.1. Intervenciones en la infancia y la niñez

En las primeras etapas del desarrollo, como la infancia y la niñez, se han encontrado resultados diferentes e inconclusos, ya que parece que el entrenamiento de las habilidades espaciales se transfiere a algunas tareas matemáticas, pero no a otras. Además, es poco habitual encontrar investigaciones que planteen intervenciones con tareas de RM para valorar la transferencia al rendimiento matemático.

Algunos de los estudios publicados hasta la fecha con participantes pequeños han evaluado más bien la repercusión que puede tener sobre el rendimiento matemático la

práctica de juegos relacionados con las habilidades visoespaciales, como los que requieren la manipulación con bloques, piezas o líneas numéricas, en edades tempranas (Fischer, Moeller, Bientzle, Cress y Nuerk, 2011; Ramani y Siegler, 2008; Wolfgang et al., 2001). En un estudio longitudinal de Wolfgang et al. (2001) se encontró que los preescolares de 3 y 4 años que habían tenido más tiempo de práctica con juegos de bloques o piezas tenían un mejor rendimiento en matemáticas en el grado 7 de la escuela intermedia (*middle school*, 12-13 años) y en los grados de la escuela secundaria (*high school*, 17-18 años). Basándose en los fundamentos teóricos sobre el desarrollo de las representaciones espaciales de la magnitud numérica, Ramani y Siegler (2008) llevaron a cabo un estudio para valorar si los juegos de mesa con líneas de números resultaban en una mejora del conocimiento numérico en niños y niñas de 5 años. Los resultados del estudio mostraron que el hecho de jugar con este tipo de juegos durante 1 hora mejoraba diversas competencias numéricas –comparación de magnitud numérica, estimación de la línea numérica, recuento e identificación numérica–, perdurando estas mejorías hasta las nueve semanas. Fischer et al. (2011) obtuvieron resultados similares a partir de un programa de entrenamiento de representación espacial para la mejora de la magnitud numérica en 22 niños y niñas de 5 y 6 años. Durante el entrenamiento, los preescolares debían responder con un movimiento espacial de todo el cuerpo en una alfombra de baile digital en una tarea de comparación de magnitud numérica. Tras el entrenamiento se encontró que estos niños y niñas, en comparación con un grupo control, mejoraban el rendimiento de tareas de líneas de

números. Estos autores atribuyeron estas mejoras a un desarrollo de la representación de la recta numérica mental, y no sólo a factores inespecíficos como la atención o la motivación.

Olkun, Altun y Smith (2005) encontraron en estudiantes turcos de cuarto grado (9-10 años) un efecto positivo en el aprendizaje de la geometría a través de una intervención informatizada con rompecabezas *tangram*, una tarea que involucra la rotación y la combinación de piezas para formar un patrón. El tiempo de intervención implicó entre 80 y 120 minutos –dependiendo del tiempo necesario para adaptarse al ordenador y al software– para cada estudiante, y durante la práctica de razonamiento espacial, los estudiantes tuvieron la oportunidad de explorar y encontrar las relaciones entre figuras geométricas planas. Los resultados tras la intervención mostraron una diferencia entre el grupo de intervención y el grupo control, lo que era indicativo de que los puzzles *tangrams* facilitaron el aprendizaje geométrico.

En relación a tareas visoespaciales específicas, como las que requieren la rotación mental de estímulos, se han llevado a cabo pocos estudios en estas primeras etapas del desarrollo. Una investigación realizada en nuestro país que ha sido llevada a cabo por Fernández-Méndez (tesis doctoral en trámite para su presentación y defensa), ha valorado si una intervención de 45 minutos con una tarea adaptada de RM con los mismos tipos de figuras (fantasmas) creados por Frick. et al. (2013), producía una mejora del rendimiento matemático en 179 niños y niñas de primer (3-4 años), segundo (4-5 años) y tercer curso (5-6 años) de educación infantil o preescolar. Después de tres

sesiones consecutivas de práctica con la tarea de RM, la autora de este estudio no ha encontrado una transferencia hacia la competencia matemática, que fue evaluada con el TEMA-3 (*Test of Early Mathematics Ability*; Ginsburg y Baroody, 2003) y que incluía tareas sobre conceptos y habilidades formales e informales como el conteo, la comparación de números, la lectura de los números y los signos, o el cálculo y la comprensión de conceptos matemáticos.

En otro estudio llevado a cabo por Cheng y Mix (2014), estos autores encontraron en niños de entre 6 y 8 años que una sesión única de 40 minutos de entrenamiento de RM podía mejorar el rendimiento en la resolución de sumas y restas (en ecuaciones de términos ausentes), pero no el rendimiento de problemas de resolución numérica o de cálculo de dígitos múltiples. Los autores de este estudio argumentaron que las mejoras en estas tareas podrían deberse al hecho de que la RM comparte procesos cognitivos similares a los que se originan al resolver problemas de ecuaciones simples con términos ausentes (i.e., $4 + _ = 11$ se convierte en $11 - 4 = _$).

Sin embargo, en el estudio de Hawes et al. (2015), con niños dentro del mismo rango de edad –6 a 8 años–, se observó que un entrenamiento informatizado con hasta 3 tareas de RM no transfirió a una mejora de una tarea aritmética no verbal, ni a problemas de términos ausentes, a pesar de tener un período de entrenamiento substancialmente más largo (4.5 horas en total durante un período de 6 semanas) que en el estudio de Cheng y Mix (2014).

Otra investigación de Hawes et al. (2017) llevada a cabo en niños de entre 4 y 7 años, evaluó la efectividad de una intervención de un año de duración. El estudio se centró en habilidades de visualización espacial relacionadas con geometría (tareas de RM, entre otras), valorando hasta qué punto la intervención de estas habilidades de pensamiento espacial en estos niños/as podrían generalizarse a mejoras en el rendimiento numérico. Después de las 32 semanas de entrenamiento en razonamiento espacial, Hawes y colaboradores observaron una transferencia solo hacia tareas de comparación de magnitudes simbólicas que implicaban la comparación de pares de números arábigos (dígitos), pero no hacia otras tareas matemáticas de conocimiento avanzado de números y habilidades de cálculo. Estos autores plantearon que la combinación de currículos espaciales fue lo que provocó un cambio significativo, pero al mismo tiempo sugirieron que "se necesitan estudios de investigación estrechamente controlados para evaluar las actividades y lecciones de forma aislada o en combinaciones varias para determinar su efectividad relativa" (Hawes et al., 2017, p. 24). En relación a esto, podría ser interesante evaluar cómo un entrenamiento intensivo de un único factor espacial, como la RM, tendría un efecto en el rendimiento matemático.

Finalmente, en la investigación de Lowrie et al. (2017) realizada a 186 niños y niñas de entre 10 y 12 años, se llevó a cabo una intervención de razonamiento espacial (Vz, RM y SO) con el apoyo de materiales concretos y manipulativos. Esta intervención que tuvo una duración total de unas 20 horas mostró una mejora en el rendimiento

matemático de conceptos numéricos y de conceptos sobre medida y geometría. Los autores sugirieron que las futuras investigaciones que se realicen sobre el impacto de la práctica visoespacial en el rendimiento matemático incluyan una base de participantes más amplia, principalmente con más cursos de Educación Primaria.

1.9.2. Intervenciones en adolescentes

El efecto de transferencia que la práctica con tareas visoespaciales puede tener en el rendimiento matemático se ha explorado a lo largo de la etapa adolescente a través de algunos estudios que han utilizado tareas específicas o relacionadas con la RM, encontrando también ciertas discrepancias. Sin embargo, no parece que en la literatura existan estudios realizados sobre intervenciones con tareas específicas de RM para mejorar el rendimiento matemático.

Si bien algunos estudios han sugerido un efecto positivo en el aprendizaje de la geometría a través de ciertas tareas, como tareas manipulativas con *geoboards*, puzles convencionales o láminas *MIRA* (Boulter, 1992), otros no han encontrado dichos efectos utilizando tareas similares que involucran rotaciones, reflexiones especulares (volteos) asociados a conceptos de simetría, y traslaciones (Pleet, 1991; Sundberg, 1994).

En la investigación de Sundberg (1994), este autor valoró en chicos y chicas de 11 a 14 años la eficacia de un programa de entrenamiento basado en el aprendizaje de conceptos geométricos usando tanto material impreso, como manipulativo para

trabajar rotaciones, traslaciones y volteos en espejo. Después de 3 semanas de práctica, se observó que ninguno de los grupos de intervención mejoraba su rendimiento matemático.

De manera similar, en el estudio de Boulter (1992) los estudiantes de 12 a 14 años evaluados practicaron con instrucciones para adquirir el aprendizaje de traslaciones, rotaciones y volteos en espejo de formas geométricas en un contexto tanto de libros, como de otro más manipulativo, y se vio que ambos mejoraban los conceptos de geometría, pero también lo hacía un grupo control. Sin embargo, el autor no dejaba claro si existían diferencias significativas entre este grupo control y los otros dos grupos de intervención, desconociendo así la eficacia de la intervención espacial-geométrica.

En el estudio de Pleet (1991), que mencionábamos en apartados anteriores, tampoco se observó un efecto de transferencia hacia la adquisición de conceptos de geometría en estudiantes de 13 y 14 años.

Algunos estudios de meta-análisis han mostrado pequeñas diferencias de sexo en matemáticas a favor de los hombres (Reilly, Neumann y Andrews, 2015). Estas diferencias de género pueden llegar a desaparecer al controlar la capacidad espacial (Wei, Chen y Zhou, 2016), lo cual pone de manifiesto que el rendimiento matemático a favor del sexo masculino puede ser explicado por las diferencias de género en la habilidad espacial.

Un tema menos frecuente en la literatura es el estudio sobre la predisposición que tienen estudiantes en esta etapa del desarrollo hacia cursos y titulaciones de ciencias y

matemáticas después de una intervención espacial. Por ejemplo, Sorby (2009) demostró con estudiantes de escuela intermedia (*middle school students*) –por lo general, estudiantes de entre 12 y 13 años–, que éstos no solo se beneficiaban con la realización de ejercicios centrados en el dibujo en 3D y con algunas tareas espaciales de rotación mental, escalado (“capacidad para distinguir distancias absolutas y relativas, y para reconocer la equivalencia en diferentes escalas espaciales”; Mix et al., 2016, p. 1209) y cortes transversales, sino que también las niñas que realizaron un entrenamiento de habilidades espaciales se inscribieron posteriormente en más cursos de matemáticas y ciencias que las niñas de un grupo de comparación similar. Esta autora ha sugerido que la edad óptima para que las niñas participen en el entrenamiento de habilidades espaciales es alrededor de la educación intermedia –*middle school*–, y que las intervenciones en secundaria –*high school*– podrían ser demasiado tarde para aquellas niñas que tengan una baja autopercepción de su eficacia en matemáticas y ciencias.

En relación con lo anterior, dentro del sistema educativo español, algunos de los contenidos de las matemáticas en Educación Secundaria incluyen el razonamiento numérico, el álgebra, la geometría y la interpretación de gráficos, los cuales contribuyen a una carga espacial importante (BOCM No. 126, 10 de mayo de 2007, pp. 121-122). Más específicamente, en la sección sobre la adquisición de competencias básicas para las matemáticas de Educación Secundaria, se menciona claramente la importancia del desarrollo de la visión espacial en esta área de la educación (B.O.C.M. No. 126, 10 de mayo de 2007, p. 118). En este sentido, cualquier intervención centrada en mejorar las

habilidades espaciales se vuelve esencial, fundamentalmente si se lleva a cabo antes o durante esta etapa.

1.10. Algunos factores mediadores que intervienen en las diferencias individuales del rendimiento espacial. El rol de la ansiedad espacial y de la experiencia con videojuegos

Como veíamos en epígrafes anteriores, en el campo de la cognición espacial se han identificado diferencias de sexo en distintas tareas espaciales, las cuales pueden ser determinantes y estar relacionadas con el hecho de que las mujeres tienen menos probabilidades de expresar interés, ingresar y tener éxito en algunas carreras STEM que sus compañeros masculinos.

En la literatura se han descrito una amplia variedad de factores que puedan explicar las diferencias de sexo en la RM. Algunos de estos factores son los patrones de activación cortical (Jordan, Wüstenberg, Heinze, Peters y Jäncke, 2002), la concentración de testosterona (Hooven, Chabris, Ellison y Kosslyn, 2004), la experiencia diferencial con videojuegos (Quaiser-Pohl y Lehmann, 2002), la confianza relacionada con la tarea (Cooke-Simpson y Voyer, 2007; Moé, 2009) y la diferencias en las estrategias de solución (Geiser et al., 2008) (citado en Bergner y Neubauer, 2011).

Contreras, Martínez-Molina y Santacreu (2012) han observado que, con frecuencia, la variable "sexo" se considera un factor causal cuando "sexo" se refiere a

una amplia categoría que conlleva múltiples factores de confusión que casi sería imposible considerarlo como un factor causal. Los estudios que se han centrado en explorar posibles correlatos potenciales que podrían explicar las diferencias individuales en las capacidades espaciales han incluido, por ejemplo, factores emocionales (p.e., Ramirez, Gunderson, Levine y Beilock, 2012), factores estratégicos, motivacionales, y basados en la experiencia o en la cultura, incluidos los estereotipos (e.g., Moè y Pazzaglia, 2006).

Por ejemplo, Ramirez et al. (2012) estudiaron la llamada "ansiedad espacial" ("sentimientos de nerviosismo asociados a actividades espaciales") de niños y niñas de entre 5 y 8 años de edad para evaluar si podría haber un factor crítico que contribuyese a las diferencias de género en la habilidad espacial. Estos autores vieron que la ansiedad espacial afecta negativamente a las tareas de RM, especialmente en el sexo femenino, y que este efecto está mediado por la memoria de trabajo verbal.

El vínculo entre la ansiedad espacial y la ansiedad hacia tareas matemáticas también ha sido un tema propuesto por algunos investigadores. Por ejemplo, en un reciente estudio realizado por Wong (2017), se ha observado en niños y niñas en etapa preescolar que la ansiedad espacial, evaluada con el CSAQ de Ramirez y colaboradores, no correlaciona, ni con las habilidades espaciales de rotación y traslación mental (medidas por el CMTT; Levine et al., 1999), ni tampoco con tareas matemáticas de conteo.

Interesados en cómo pueden contribuir los factores afectivos (de la ansiedad), y cognitivos, tanto del ámbito espacial, como del dominio matemático, sobre las diferencias de sexo en la ansiedad en matemáticas, Sokolowski, Hawes y Lyons (2019) han llevado a cabo más recientemente una investigación en estudiantes universitarios. Estos autores utilizaron una batería de pruebas para evaluar el rendimiento espacial y matemático, el nivel de auto-percepción en este tipo de tareas, la ansiedad matemática, y la ansiedad sobre situaciones que requieren manipulación mental espacial (ansiedad espacial). El análisis de correlaciones bivariadas reveló una relación entre la RM y la ansiedad hacia tareas espaciales que involucran la manipulación y la navegación. Además, los análisis de mediación mostraron que, dentro del dominio espacial, la ansiedad espacial era el mediador más potente entre el sexo y la ansiedad matemática. Sokolowski et al. (2019) han sugerido que estos hallazgos apuntan a la ansiedad espacial como un contribuyente clave a las diferencias de sexo que tan habitualmente se asocian a la ansiedad hacia las matemáticas.

Las diferencias individuales en la ansiedad espacial también se han encontrado en otros estudios previos en personas adultas, donde las mujeres parecen mostrar una mayor ansiedad espacial que los hombres en ciertas situaciones que requieren navegar por un entorno (Lawton, 1994).

Para nuestro conocimiento, no hay investigaciones que hayan estudiado la influencia que tiene la llamada ansiedad espacial en el rendimiento de la RM a lo largo de la etapa adolescente.

Otro posible mediador que se ha investigado en relación con las diferencias de sexo en el procesamiento visoespacial es la experiencia con ordenadores y videojuegos. En su investigación, Quaiser-Pohl, Geiser y Lehmann (2006) informaron que los participantes del sexo masculino de entre 10 y 20 años tienen una mayor frecuencia de interacción con los videojuegos que las niñas y chicas del mismo grupo de edad, principalmente con los juegos de "simulación-acción". Además, los autores de este estudio comprobaron que los niños alcanzaban un mejor rendimiento que las niñas en la tarea de RM.

De manera similar, Terlecki y Newcombe (2005) encontraron en adultos universitarios que la experiencia en el uso de ordenadores y videojuegos influía en las diferencias de género en las tareas de RM.

Otros estudios ya han demostrado que la práctica con videojuegos puede reducir o eliminar estas diferencias de sexo en las habilidades espaciales, tanto en la niñez – niños y niñas de 8 y 9 años– (De Lisi y Wolford, 2002), como en adultos universitarios (Cherney, 2008; Cherney et al., 2014), lo cual es un hallazgo interesante para fomentar la interacción con videojuegos entre el sexo femenino de cara a mejorar su rendimiento espacial.

1.11. Ganancias diferenciales según el nivel inicial de partida

Es habitual que en el ámbito del entrenamiento y de la práctica que implican determinadas funciones cognitivas se vea que aquellas personas que parten con menores capacidades se beneficien más de un entrenamiento, mostrando mayores ganancias. Por ejemplo, se han encontrado mayores beneficios en la atención dividida tras un entrenamiento con videojuegos en sujetos que tenían una menor capacidad de razonamiento inicial (Baniqued et al., 2014).

El análisis de las diferencias individuales llevado a cabo por Karbach, Stroback y Schubert (2015) también reveló que niños y niñas de ocho años que tenían una memoria de trabajo de partida más reducida mostraban mayores incrementos tras un entrenamiento de este constructo.

Otras investigaciones, por ejemplo, en el ámbito de la psicología del lenguaje, han encontrado hallazgos similares, de forma que los incrementos producidos en el rendimiento lector son aún mayores en el grupo de personas que inicialmente tenían un peor proceso lector (García-Madruga et al., 2013).

En relación con la cognición espacial, también se han realizado varios estudios centrados en valorar las posibles ganancias individuales en función del rendimiento inicial. De hecho, varias de las investigaciones que se mencionan en el epígrafe de las diferencias de sexo, precisamente ponen de manifiesto que la práctica con tareas espaciales puede reducir la brecha de género en el razonamiento espacial, porque el

sexo femenino se beneficia más de este tipo de intervenciones (p. ej., De Lisi y Wolford, 2002; Ehrlich et al., 2006; Neubauer et al., 2010; Cherney et al., 2014).

Las diferencias individuales en el procesamiento o patrón de rendimiento con tareas de RM también se han encontrado en personas expertas e inexpertas en determinados videojuegos. Sims y Mayer (2002) han encontrado comportamientos diferentes en jugadores expertos e inexpertos del archiconocido videojuego *Tetris*, de manera que los jugadores expertos tenían un mejor rendimiento en algunas tareas de RM que compartían procesos cognitivos con el videojuego. En cuanto a la velocidad para codificar y rotar mentalmente las formas en la tarea de RM, los jugadores expertos también fueron más rápidos respecto a los no expertos, cuando la tarea de RM contenía formas idénticas y similares a las del *Tetris*.

De manera similar, Terlecki et al. (2008) también han estudiado en adultos universitarios cómo varía el rendimiento en una tarea de rotación mental (MRT) en ambos sexos a lo largo de 12 semanas de entrenamiento con el videojuego *Tetris* y si las posibles variaciones se producen en función de la experiencia espacial basada en el uso y destreza con videojuegos. Los hombres, que en general contaban con una mayor experiencia espacial, rindieron significativamente mejor en el MRT respecto a las mujeres con una experiencia espacial alta y baja. Sin embargo, los hombres con alta experiencia espacial que tenían una mejora inicial más rápida, con el tiempo comenzaban a estabilizar su rendimiento. Por el contrario, las mujeres con un menor rendimiento espacial, que mostraban una mejora inicial más lenta en la tarea de RM,

más tarde mejoraban su rendimiento alcanzando los mayores incrementos a las 12 semanas de intervención.

En otro estudio de David (2012) realizado a estudiantes de 14 años que practicaron con videojuegos espaciales relacionados con la RM, la Vz y las relaciones espaciales durante seis horas, se confirmó la hipótesis de la autora acerca de que los estudiantes con habilidades espaciales bajas ganarían más en su rendimiento respecto a los participantes con mejores habilidades iniciales después de la práctica con videojuegos de ordenador, aunque el entrenamiento enfocado a aumentar las puntuaciones de ciertas habilidades espaciales no llegó a cubrir la brecha entre las personas con altas y bajas habilidades espaciales.

La investigación de Contreras, Escrig, Prieto y Elosúa (2018), también ha encontrado en estudiantes universitarios de matemáticas, que aquellos con una menor habilidad espacial de partida en Vz mejoraban significativamente más desde la evaluación inicial a la final¹⁸ respecto al grupo de estudiantes con mejores capacidades de Vz.

Los hallazgos de Bergner y Neubauer (2011) con estudiantes de secundaria superdotados, en términos de inteligencia visoespacial, han sugerido que las chicas más brillantes, pero con un menor rendimiento espacial, son las que más se benefician de un

¹⁸ En esta investigación, donde también participaron estudiantes universitarios de Arquitectura, no se realizó una intervención espacial específica, sino que se valoró si el entrenamiento indirecto en dibujo técnico tras 4 meses mejoraba la capacidad de Vz de los estudiantes de Arquitectura, utilizando como grupo control a estudiantes de la titulación universitaria de Matemáticas.

entrenamiento, en términos de tasa de aciertos. En cuanto a los TR, se ha observado que todos los participantes (independientemente de su nivel de inteligencia) mejoran por igual después de la intervención espacial.

También, en el contexto de los déficits cognitivos que se dan en el Síndrome de Down o en los problemas de aprendizaje se ha evidenciado un menor rendimiento en tareas de RM. Basándose en estos estudios, Wiedenbauer y Jansen-Osmann (2007) se interesaron en valorar en sujetos con espina bífida y edades comprendidas de 8 a 14 años, si el rendimiento –disminuido inicialmente– en una tarea de RM podría mejorar después de un entrenamiento de RM manual en comparación con el de un grupo de sujetos sanos. Los autores vieron que los niños y niñas con espina bífida se beneficiaban considerablemente del entrenamiento, mejorando sus TR y su tasa de aciertos en la tarea de RM informatizada hasta igualar el rendimiento al de los niños sanos.

En resumen, la evidencia apunta a que las personas con menores habilidades se benefician más que aquellas que tienen un mejor rendimiento, a partir de ciertas intervenciones, por ejemplo, las que implican juegos de ordenador, aunque no siempre un aumento de las puntuaciones espaciales llega a cubrir las diferencias que existen entre personas con mayores y menores habilidades espaciales. Además, tal y como han afirmado Terlecki et al. (2008), las diferencias iniciales de experiencia espacial no limitan el nivel de mejora, aunque los individuos con menor experiencia puedan tomar algún tiempo para comenzar a mostrar ganancias espaciales.

1.12. Objetivos generales de la Tesis

Después de realizar una revisión de la literatura sobre varios aspectos de la cognición espacial y, en especial, de la habilidad de rotación mental, procedemos a exponer el objetivo general de esta Tesis Doctoral. Nuestro propósito fue investigar si la aptitud de RM se puede mejorar a través de un programa de entrenamiento aplicado a dos grupos de estudiantes en fases del desarrollo diferentes y decisivas, desde un punto de vista académico, y que comprenden las edades de 6 a 8 años (2º curso de Educación Primaria) y de 14 y 15 años (3^{er} curso de Educación Secundaria). Los objetivos generales se pueden resumir esquemáticamente de la siguiente manera:

- Examinar el efecto de un entrenamiento en RM en escolares de un curso de Educación Primaria y en adolescentes de un curso de Educación Secundaria.
- Explorar las posibles diferencias de sexo en RM en los escolares y en los adolescentes.
- Evaluar el impacto del entrenamiento espacial en RM sobre un tipo de contenido matemático, tareas relacionadas con el conteo numérico (tareas aritméticas).
- Analizar la posible relación entre la RM y factores emocionales (ansiedad espacial) y basados en la experiencia previa (con videojuegos).
- Estudiar el impacto del entrenamiento en RM en niños/as en función de la capacidad inicial de RM.

Entrenamiento visoespacial

A continuación, se presentan los dos capítulos correspondientes a los estudios experimentales, el que se realizó con escolares y el que se llevó a cabo con adolescentes. La justificación, objetivos e hipótesis, metodología, exposición y discusión de resultados y conclusiones específicas a cada estudio se detallarán en los respectivos capítulos.

CAPÍTULO 2

Investigación en
escolares de
Primaria

CAPÍTULO 2

Investigación en escolares de Primaria

2.1. Justificación del estudio

Sobre la base de investigaciones anteriores relacionadas con las habilidades espaciales en niños y niñas, nos propusimos estudiar el grado de mejora en ambos sexos a través de un programa de intervención de RM informatizado en este tipo de población, además de evaluar el vínculo entre las habilidades de RM y las matemáticas, en esta etapa del desarrollo. Se consideraron, también, otras variables que podrían influir en las posibles diferencias de sexo en relación con esta capacidad espacial.

Como señalaron Nora S. Newcombe y Andrea Frick, en su artículo sobre aspectos para promover el pensamiento espacial en los centros preescolares, en el hogar y en un entorno de juego de niños,

integrar el contenido espacial en la instrucción formal e informal, no solo podría mejorar el razonamiento espacial en general, sino también reducir las diferencias relacionadas con el género y el estatus socioeconómico, las cuales pueden impedir una completa participación en una sociedad tecnológica. (traducción propia; Newcombe y Frick, 2010, p. 102)

Fomentar el razonamiento espacial en todos los niveles de educación primaria podría ser un aspecto clave para que los niños y niñas alcancen un nivel óptimo de razonamiento visoespacial en etapas posteriores, como la adolescencia, en la que los estudiantes deben determinar qué camino desean seguir (Humanidades, Ciencias / Tecnología, o Arte), y que será crucial en su futura carrera profesional. Por lo tanto, cualquier tipo de intervención espacial que tenga lugar antes de la adolescencia podría ser relevante, especialmente cuando la presencia de mujeres es escasa en ciertos grados donde las matemáticas y la ciencia, y por lo tanto el razonamiento espacial, son importantes.

Este estudio analizará los efectos de un entrenamiento de una habilidad espacial específica que se ha asociado frecuentemente con el rendimiento matemático. La habilidad espacial analizada será la RM, y se estudiará en niños/as en segundo curso de Educación Primaria (6-8 años) la influencia que tiene la práctica de este componente espacial sobre otra área de las matemáticas bien diferenciada, la aritmética. Los programas de entrenamiento en RM que se llevan a cabo antes de la adolescencia podrían ser importantes, especialmente en áreas académicas donde la proporción de mujeres es menor, como en ciertos grados donde las matemáticas y la ciencia, y por tanto el pensamiento espacial, son importantes.

Teniendo en cuenta los diversos resultados encontrados hasta la fecha en los pocos estudios que se han centrado en estas habilidades espaciales, y dadas las diferencias metodológicas entre ellas, se necesita más investigación para comprender

mejor el impacto que puede tener la práctica de RM sobre la habilidad numérica de la aritmética en esta etapa de desarrollo.

El presente estudio proporcionará evidencia adicional a otras investigaciones previas que han evaluado los efectos del entrenamiento de RM en el rendimiento espacial y matemático en niños y niñas de educación primaria, considerando las posibles diferencias de sexo en relación con esta habilidad de rotación mental, así como otras variables de tipo emocional y basadas en la experiencia espacial previa que podrían influir en las diferencias individuales de esta habilidad espacial.

2.2. Objetivos e hipótesis

El primer objetivo del presente estudio es examinar el grado de mejora de las habilidades visoespaciales después de realizar un programa de entrenamiento en RM. Teniendo en cuenta que las habilidades espaciales son maleables y que es posible que puedan mejorar después de completar un programa de entrenamiento, se plantea la hipótesis de que la mejora en el grupo experimental (GE) en la tarea espacial evaluada sería significativamente más pronunciada que en el grupo control (GC).

El segundo objetivo es evaluar las diferencias de sexo medias en la habilidad espacial antes y después del entrenamiento. En ambas fases, planteamos la hipótesis de que el rendimiento espacial sería mayor en los niños, aunque ambos sexos podrían beneficiarse de manera similar del programa de entrenamiento. Dado el solapamiento

entre inteligencia general y habilidades espaciales (e.g., Lohman, 1996), y que no hay diferencias de sexo en la inteligencia (Halpern y Lamay, 2000, Neisser et al., 1996), parece apropiado controlar la variable inteligencia, evaluando si las diferencias de sexo en la habilidad espacial a favor del grupo masculino se diluyen cuando interviene la inteligencia.

El tercer objetivo es analizar el efecto del entrenamiento de RM en tareas matemáticas de tipo numérico (o aritmético), así como la relación entre ambas habilidades. Teniendo en cuenta los estudios previos que han mostrado o no evidencias hacia cambios significativos, nuestra hipótesis es que podría haber o no un efecto de mejora significativo del entrenamiento espacial hacia esta competencia matemática, esperando que los niños tengan un mejor rendimiento en la tarea numérica (Reilly et al., 2015), así como una correlación positiva entre la capacidad espacial y la aptitud matemática evaluada.

El cuarto objetivo es examinar la relación entre factores emocionales como la ansiedad espacial y el razonamiento espacial. En este caso, esperamos encontrar una relación negativa entre la ansiedad espacial y el rendimiento espacial.

El quinto objetivo es analizar la relación que tiene la experiencia con los videojuegos con el razonamiento espacial, esperando que los escolares con una mayor experiencia obtengan puntuaciones más altas en la tarea de RM.

Por último, el sexto objetivo es evaluar en el grupo de intervención de RM el perfil de evolución a través de las diferentes sesiones de entrenamiento, esperando que el

grupo de niños y niñas con un rendimiento inicial más bajo en la prueba espacial alcancen un nivel similar, en términos de ejecución en la tarea de entrenamiento (tasa de aciertos y tiempos de reacción) y en la tarea de evaluación post-entrenamiento, a los niños y niñas del grupo de intervención con puntuaciones de partida más altas en la tarea espacial.

2.3. Método

2.3.1. Participantes

En este estudio participaron un total de 92 estudiantes de segundo curso de Educación Primaria de dos escuelas públicas (“CEIP Escuelas Aguirre” y “CEIP Leopoldo Alas”), ubicadas en una zona céntrica de Madrid, con un nivel sociocultural medio-alto. Finalmente, 11 participantes del grupo control (CG) y del grupo experimental (GE) no se incluyeron en los análisis por no realizar algunas partes del estudio (es decir, pretest, intervención o posttest). Así, la muestra final consistió en 79 participantes (niños: $n = 36$, $M = 7.70$, $DT = 0.45$; niñas: $n = 43$, $M = 7.69$ años de edad, $DT = 0.71$). El GE estuvo formado por un total de 40 estudiantes ($M = 7.68$ años, $DT = 0.66$; 17 niños y 23 niñas), y el GC por 39 estudiantes ($M = 7.70$ años, $DT = 0.55$; 19 niños y 20 niñas). Ambas escuelas tuvieron dos clases de segundo curso (línea 2). Las clases fueron asignadas al azar al GC y al GE. A todos los padres/madres de los participantes incluidos en este estudio se les facilitó un consentimiento informado por escrito, de acuerdo a los

principios de la Declaración de Helsinki y se cumplió la normativa de protección de datos, con la aprobación del Comité de Ética de la UNED.

2.3.2. Materiales

2.3.2.1. Matrices progresivas de Raven (*Standard Progressives Matrices*, Raven, Court y Raven, 1996)

Esta tarea evalúa la inteligencia o el factor g . La fiabilidad de dos mitades de la prueba ofrece un índice de hasta 0.90, mientras que la de test-retest varía entre 0.83 y 0.90 (Seisdedos, 1995). Puede aplicarse desde los 6 años hasta la edad adulta. Consta de 60 láminas o ejercicios divididos en 5 series (ABCDE) con 12 elementos cada uno, sin límite de tiempo. Cada una de las láminas contiene 6 u 8 opciones de respuesta, de manera que solo la opción correcta es la que mejor se adapta a una matriz superior. Los elementos de cada serie van aumentando en dificultad conforme progresa la prueba, y la duración estimada de la prueba es de 40-90 minutos. A cada respuesta correcta se le asigna un punto, por lo que la puntuación máxima de la prueba es de 60 puntos. La aplicación de la prueba se realizó como se describe en el manual.

2.3.2.2. Prueba de aptitud espacial “E” del EFAI-1 (Santamaría, Arribas, Pereña y Seisdedos, 2005)

Corresponde a una subprueba espacial dentro de la batería de pruebas de la Evaluación Factorial de Aptitudes Intelectuales (Santamaría et al., 2005), la cual está tipificada en 23793 sujetos, y validada en diferentes grupos de edad desde los 7 años hasta la edad adulta. Esta tarea es considerada como una aproximación al factor de procesamiento visual, “Gv”, una aptitud intelectual relacionada con la capacidad de una persona para generar, retener, recordar y transformar imágenes visuales (Lohman, 1996). Evalúa la capacidad y agilidad para imaginar mentalmente los movimientos y transformaciones de un objeto en el espacio (p. 17). Los autores de EFAI han encontrado índices de fiabilidad de 0.86 para el primer nivel (EFAI-1) de esta tarea. La prueba es apropiada para estudiantes de entre 7 y 10 años de edad y consta de 30 ejercicios de evaluación más dos ejemplos de práctica, con cuatro respuestas para cada uno de los ejercicios. La tarea requiere que el sujeto imagine movimientos y transformaciones mentales, ya que solo uno de los cuatro estímulos localizados en el lado derecho encaja en el espacio blanco situado a la izquierda en forma de puzle o rompecabezas, y que generalmente está compuesto de una, dos o más partes (Figura 5). La duración de la prueba es de seis minutos. A cada respuesta correcta se le asigna un punto, por lo que la puntuación máxima de la prueba es de 30 puntos. La aplicación de la prueba se llevó a cabo como se describe en el manual.

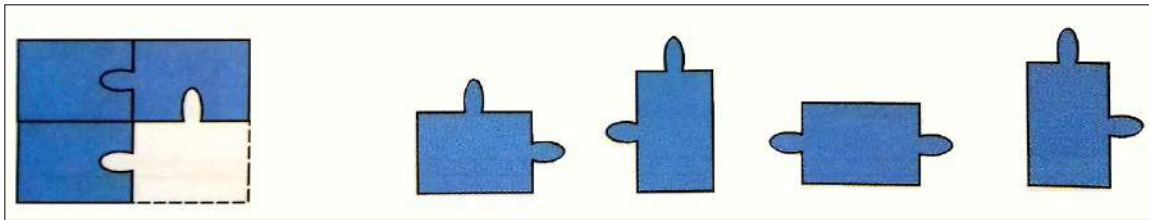


Figura 5. Ejemplo de un ejercicio de la fase de práctica de la prueba de aptitud espacial “E” del EFAI-1. Reimpreso con permiso de Santamaría et al., 2005). Copyright 2005 por TEA Ediciones.

2.3.2.3. Prueba de aptitud numérica “N” del EFAI-1 (Santamaría et al., 2005)

También forma parte de la batería de pruebas del EFAI, y es una aproximación al factor de razonamiento cuantitativo, “Gq”, evaluando la capacidad del participante para manipular símbolos numéricos y razonar de manera procedimental información y relaciones cuantitativas. Los autores han encontrado para el primer nivel (EFAI-1) de esta tarea índices de fiabilidad de 0.94. La prueba es apropiada para estudiantes de entre 7 y 10 años de edad e incluye cuatro ejemplos y 30 ejercicios de evaluación, cada uno de ellos con cuatro respuestas posibles, pero con una sola respuesta correcta. Los ejercicios requieren tres categorías o tipos diferentes de tareas: 1) siete elementos correspondientes a operaciones que consisten en decidir cuál dará un resultado mayor o menor, según el caso, evaluando la capacidad de manejar símbolos numéricos y realizar operaciones matemáticas básicas de manera rápida y acertada (aritmética) (Figura 6, ejemplos 1 y 2); 2) 15 elementos correspondientes a problemas de tipo verbal, donde se requiere que el sujeto descifre cuál es la información clave que se necesita,

reformulando el problema en términos numéricos (qué operación u operaciones se deben realizar) y realice los cálculos para encontrar la solución correcta (Figura 6, ejemplo 3); y 3) ocho elementos correspondientes a dos problemas con información numérica en un formato de tabla o gráfico, interpretando, ubicando y calculando la información necesaria para encontrar la solución correcta a una serie de preguntas sobre la información presentada (4 preguntas para cada uno de los dos problemas) (Figura 6, ejemplo 4).

Ejemplo 1 ¿Cuál es mayor?

7	6	4	0
---	---	---	---





Ejemplo 2 ¿Cuál es mayor?

3	2	6	4
+1	+2	-2	+1

Ejemplo 3 Juan ha invitado a dos amigos por la mañana y a otros dos por la tarde. ¿A cuántos amigos ha invitado en total?

2	3	4	8
---	---	---	---

Ejemplo 4 En el siguiente dibujo puedes ver las golosinas que tiene Julia.

Piruletas	Chicles	Caramelos	
			

¿Qué es lo que más tiene Julia?

Piruletas	Caramelos	Chicles	Todas igual
-----------	-----------	---------	-------------

Figura 6. Ejemplos de varios ejercicios de la fase de práctica de la prueba de aptitud numérica “N” del EFAI-1. Reimpreso con permiso de Santamaría et al., 2005). Copyright 2005 por TEA Ediciones.

La duración de la prueba es de 14 minutos. A cada respuesta correcta se le asigna un punto, por lo que la puntuación máxima de la prueba es de 30 puntos. La aplicación de la prueba se llevó a cabo como se describe en el manual.

2.3.2.4. Cuestionario de ansiedad espacial (adaptado de Ramirez et al., 2012)

Es una adaptación del cuestionario *Child Spatial Anxiety Questionnaire (CSAQ)* desarrollado por Ramirez et al. para medir en niños y niñas con edades de entre 5 y 8 años de edad, y que a su vez está basado en el *Mathematics Anxiety Rating Scale for Elementary children, MARS-E* (Suinn, Taylor y Edwards, 1988), una medida elaborada para evaluar la ansiedad en matemáticas en alumnos de cuarto a sexto grado. Los autores desarrollaron este cuestionario para valorar lo que han denominado como “ansiedad espacial” hacia diferentes actividades o conceptos espaciales. El estudio realizado por Ramirez et al. encontraron una fiabilidad de 0.56 para su grupo de edad. El cuestionario consta de ocho preguntas sobre diversas actividades o conceptos espaciales que pueden hacer que los niños se sientan nerviosos o tensos, desde un punto de vista académico (p.e., “¿Cómo te sientes cuando tu profesor te pregunta si estas formas son rectángulos y por qué lo son?”), pero también desde un punto de vista de actividades específicas de la vida cotidiana (p.e., “¿Cómo te sientes cuando un amigo te dice que le expliques como llegarías del colegio a tu casa?”). En el presente estudio, se adaptó el cuestionario original basado en varias consideraciones (véase ANEXO 1A):

1) el idioma, traduciéndolo al español; 2) la cultura, ajustándolo a un contexto adecuado para nuestro país; 3) los criterios de puntuación, utilizando una escala Likert de 5 puntos, con puntuaciones de 0-2 puntos en pasos de 0,5 puntos, en lugar de una escala móvil con tres caras o niveles. Para que los escolares entendieran mejor la definición de “nerviosismo” y, así, asegurar un uso apropiado de la escala de *Likert*, se especificó que por nerviosismo nos referíamos al nivel de frustración o la dificultad que podría aportar una tarea específica de las recogidas en el cuestionario. Para poder responder a los ítems “2”, “4”, “5”, “6”, se proyectaron imágenes que hacían referencia a cada una de estas preguntas formuladas (véase ANEXO 1B). Para la obtención de la puntuación final, se considera el número total de puntos obtenidos, de forma que la puntuación mínima de ansiedad sería de 0 puntos y la máxima de 16.

2.3.2.5. Cuestionario sobre la experiencia y preferencia de videojuegos (CVJ)

Se trata de un breve cuestionario adaptado de algunas de las preguntas utilizadas en la Sección B del *Spatial Representation and Activities* (SSRA; Terlecki y Newcombe, 2005) y del cuestionario sobre la experiencia con juegos de ordenador (*Computer-game experience*; Quaiser-Pohl et al., 2006). El cuestionario presenta cinco preguntas que evalúan el tipo de uso hacia los videojuegos del participante. Las preguntas del cuestionario se refieren a: 1) si juega o no; 2) si le gusta jugar; 3) la frecuencia con la que juega; 4) si cree que es un experto o no, y 5) cuál es su juego favorito (véase ANEXO 2).

Entrenamiento visoespacial

Tan solo se consideran las preguntas 1, 2 y 3 para el cómputo de la puntuación final, excluyendo las preguntas 4 (de naturaleza subjetiva) y la pregunta 5 (que requiere un análisis cualitativo). En la pregunta 1, no se otorga puntuación alguna si el participante no interacciona con videojuegos y, en caso contrario, se da 1 punto si el participante afirma que sí juega con videojuegos; en la pregunta 2, no se asigna ninguna puntuación cuando el participante informa que no le gustan los videojuegos y 1 punto si afirma que sí le gustan; en la pregunta 3, para las respuestas de "un día a la semana", "los fines de semana", "3 días a la semana" y "todos los días de la semana", se otorgan 1, 2, 3 y 4 puntos, respectivamente. Así, la puntuación mínima de este cuestionario es de 0 puntos y la máxima de 6.

2.3.2.6. Programa de Entrenamiento de Rotación Mental (PERM)

Para ajustar la prueba de rotación mental a la edad de los participantes del estudio, se llevaron a cabo tres estudios piloto. En los dos primeros estudios, participaron 10 niños de 2º curso de educación primaria de escuelas públicas. Se llevaron a cabo en formato de papel y se les solicitó a los participantes su ayuda para que hicieran la tarea diseñada por los experimentadores. Posteriormente, se realizó un tercer estudio piloto en seis niños de 2º curso de Primaria, aplicando el programa informático final para evaluar la fatiga, la dificultad, el tiempo aproximado y la motivación de los estudiantes.

Para diseñar los estímulos del programa de entrenamiento informatizado de RM en dos dimensiones, se utilizó el software informático *Corel Draw® Graphics Suite X3* (Corel Corporation, 2007), utilizando su nomenclatura con respecto a los grados de rotación de las figuras incorporadas. El PERM contiene 480 presentaciones –que supone 480 decisiones o respuestas del paciente–, y cada presentación consta de: 1) una figura o molde blanco sobre una caja gris (*target* o estímulo de referencia) situado en el lado izquierdo de la presentación, y 2) un par de figuras ubicadas en el lado derecho, enumeradas como "1" y "2", e idénticas al molde –en cuanto a su forma– pero con diferentes orientaciones respecto a éste. Estos estímulos son bidimensionales y la orientación de los estímulos rotados es de 90º, 180º y 270º. El estímulo en espejo (que no encaja en el molde) puede ser una imagen de espejo del molde a través del eje X o Y o a través del eje X con una rotación adicional de 90º o 270 °. En la sesión 1 de entrenamiento, los estímulos solo se rotaron 90º o 270º. En las Sesiones 2 y 3, las rotaciones fueron de 90º, 270º o 180º. Finalmente, la dificultad de la tarea también se manipuló de acuerdo con las características de los estímulos, que cambian de figuras cercanas y concretas (Figura 7A) a figuras abstractas (Figuras 7B y 7C), aumentando la complejidad de las figuras dentro de una misma sesión y entre sesiones. Los atributos relativos a la orientación de los estímulos rotados (disparidad angular) se contrabalancean a través de las diferentes fases y sesiones del PERM (véase ANEXOS 3A y 3B). La tarea PERM requiere que el participante imagine movimientos correspondientes a transformaciones y rotaciones mentales, decidiendo cuál de los dos

Entrenamiento visoespacial

estímulos "1" o "2" coincide con el molde solo si se gira o se rota, teniendo en cuenta que solo encajará uno de ellos (véase Figuras 7 y 8). Cada participante responde pulsando "1" o "2" a través de dos teclas visiblemente designadas en el teclado del ordenador.

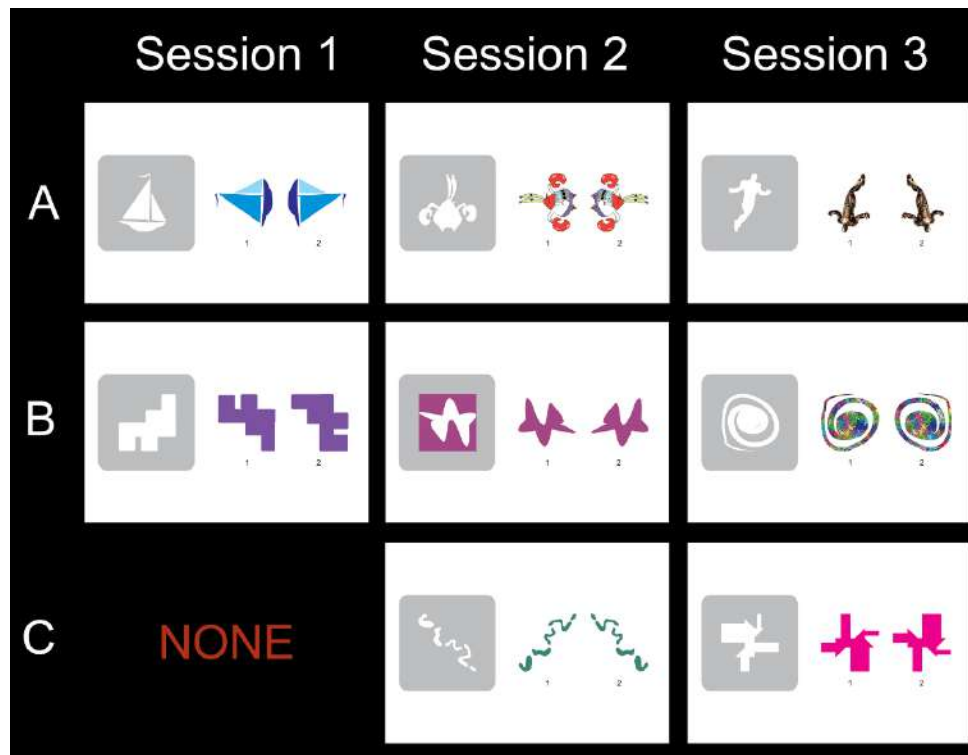


Figura 7. Ejemplos de ensayos utilizados en las tres sesiones del PERM, según las características de los estímulos utilizados: A) Figuras concretas (es decir, estímulos que los participantes pueden reconocer); B) y C) Figuras abstractas (es decir, estímulos que siguen patrones geométricos con cierta ambigüedad).

Para programar, presentar los estímulos y recoger los datos del PERM, se utilizó el software *E-prime versión 1.2* (Psychology Software Tools, 2002).

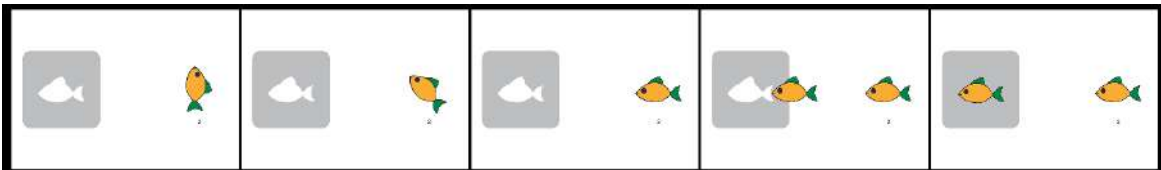


Figura 8. Fase de práctica del PERM en la que el participante puede observar la rotación progresiva de los estímulos correctos (rotados) justo después de haber dado su respuesta.

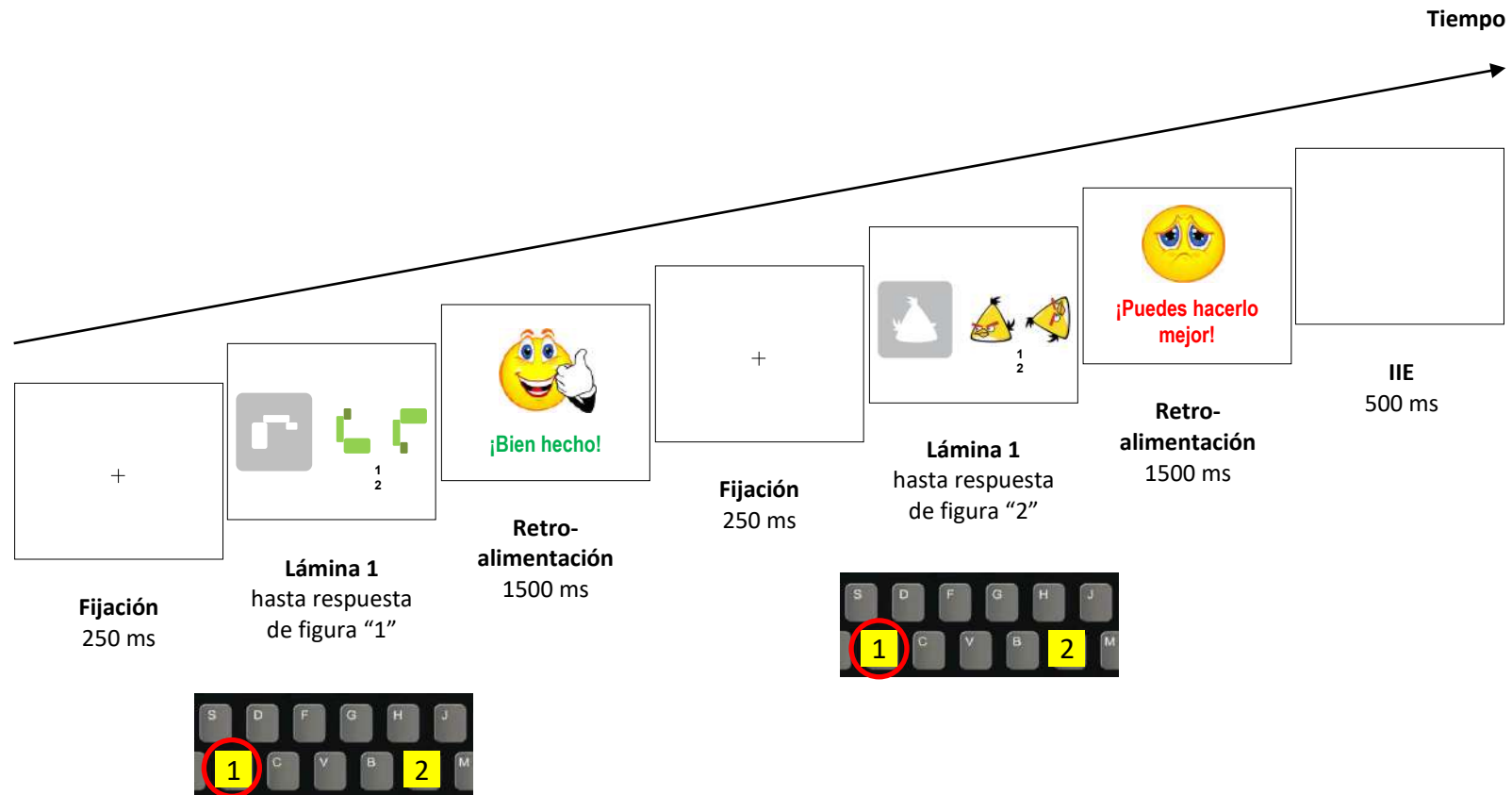


Figura 9. Representación de la secuencia temporal de eventos del entrenamiento con el PERM. IIE: Intervalo entre estímulos.

2.3.3. Procedimiento

Todas las pruebas se administraron en cinco días, con una sesión por día y durante dos semanas consecutivas, distribuyéndose en tres fases bien diferenciadas.

2.3.3.1. Pretest

Se realizó en el aula habitual de los/as alumnos/as con cuatro examinadores, y las mesas se organizaron individualmente para evitar que los niños/as copiaran entre sí sus respuestas (Figura 10). La duración aproximada fue de 120 minutos. Los escolares fueron observados discretamente por los examinadores para verificar que las respuestas que daban se recogían en la forma correcta. También cuando procedió, los examinadores respondían a las posibles dudas que pudieran tener los escolares en cuanto a la manera en la que tenían que plasmar sus respuestas en las hojas facilitadas. Las siguientes pruebas se administraron colectivamente, en el siguiente orden, dejando un tiempo de descanso de cinco minutos entre cada prueba: Matrices progresivas de Raven (versión SPM), subprueba de aptitud espacial “E” (EFAI-3) y subprueba de aptitud numérica “N” (EFAI-3).

2.3.3.2. Entrenamiento

Esta fase se llevó a cabo en el grupo experimental en la sala de informática del colegio, y cada participante realizó la tarea de manera individual (Figura 11). Se organizó en tres sesiones, cada una con una duración aproximada de 30 minutos. Por tanto, la duración total fue de unos 90 minutos de entrenamiento, aunque el tiempo total pudo variar según cada participante, ya que no hubo restricción de tiempo para las respuestas en cada presentación. La sesión del PERM tuvo dos fases. La fase de práctica consistió en 10 ensayos dirigidos hacia la familiarización de los escolares con la tarea y asegurar que comprendían la actividad. Una de las características de esta fase es que cada ensayo mostraba una animación donde el participante observaba una secuencia de la rotación de manera progresiva de cada estímulo para que pudiera ver si la forma se ajustaba o no al estímulo de referencia (*target*), lo que facilitaba la comprensión de la tarea (Figura 8). Al igual que en resto del programa de entrenamiento, en cada presentación se mostró un aviso de retroalimentación posterior a la decisión realizada por el participante, confirmando si había respondido correctamente o no. Dentro de cada prueba, y justo antes de la presentación de los estímulos rotados, se mostró un estímulo de fijación con una duración de 250 ms. Además, entre la presentación del estímulo de retroalimentación y el estímulo de fijación de la prueba consecutiva, hubo un intervalo de interestímulo (IIE) de 500 ms. (Figura 9). Antes de cada sesión de entrenamiento, los experimentadores destacaron a los niños y niñas la importancia de la precisión y la

calidad de las respuestas –más que el tiempo para responder– durante la tarea, insistiendo en que podían tomarse todo el tiempo necesario para asegurar una respuesta correcta. La fase de entrenamiento consistió en 150 láminas o ensayos divididos en dos bloques de 75 presentaciones, con un descanso de 5 minutos entre ambos bloques. Para cada uno de los participantes se registró el número de aciertos y el tiempo de reacción en cada ensayo para cada sesión, y que sirvió para el posterior análisis de las diferencias individuales en el rendimiento durante el entrenamiento. Mientras el grupo experimental realizaba la fase de entrenamiento, el grupo control seguía sus clases habituales, sin coincidir con ninguna clase de matemáticas.

2.3.3.3. Posttest

Se llevó a cabo el último día, administrándose las mismas pruebas que en la fase pretest, y en condiciones similares. Adicionalmente se pasó el cuestionario de ansiedad espacial adaptado (CSAQ-a) y el cuestionario sobre la experiencia y preferencia de videojuegos (CVJ). A pesar de evaluarse el CVJ en la fase posttest, a priori el entrenamiento no tendría ninguna influencia en las puntuaciones obtenidas en este cuestionario, dado que únicamente recoge la experiencia –previa al entrenamiento de RM– del participante con videojuegos.

Entrenamiento visoespacial



Figura 10. Momento en el que algunos de los participantes del C.E.I.P “Leopoldo Alas” realizan una de las pruebas de evaluación durante la fase pretest.



Figura 11. Momentos de algunos participantes del grupo experimental del C.E.I.P “Escuelas Aguirre” (imagen superior) y del C.E.I.P “Leopoldo Alas” (imagen inferior) durante la fase de entrenamiento del PERM.

2.3.4. Análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico informático *SPSS*, versión 24.0 (IBM Corp., 2016) con un nivel de significación de .05.

Para confirmar que ambos grupos, y ambos sexos fueron comparables en las habilidades cognitivas evaluadas, se realizó un ANOVA para las tres variables dependientes medidas en la fase pretest (Raven, EFAI-E y EFAI-N) y de la variable CVJ (experiencia con videojuegos) evaluada en la fase posttest. El cuestionario CVJ se consideró en este análisis –a pesar de haber sido evaluado en la fase posttest– con el objetivo de valorar las posibles diferencias de sexo en esta variable.

Un posterior ANOVA de diseño mixto $2 \times 2 \times 2$ con “grupo” (experimental, control) y “sexo” (niños, niñas) como factores inter-sujetos, y con “tiempo” (pretest, posttest) como factor intra-sujetos se aplicó a las variables dependientes EFAI-E y EFAI-N, para evaluar las posibles mejoras en las habilidades espacial y matemática. Se llevó a cabo el mismo análisis con el uso de las puntuaciones iniciales en inteligencia (Raven pretest) como covariable para evaluar los efectos principales y las posibles interacciones sobre la variable EFAI-E.

Para evaluar las relaciones entre las medidas evaluadas, se realizaron dos correlaciones bivariadas de Pearson (unilateral), una relacionada con la fase pretest para la muestra total y la otra para el grupo experimental en la fase posttest.

Entrenamiento visoespacial

Para examinar el perfil de evolución a través de las diferentes sesiones de entrenamiento en función del nivel de habilidad espacial y del sexo, se llevó a cabo un ANOVA mixto de medidas repetidas $2 \times 2 \times 2$ con “nivel de habilidad espacial” (bajo, alto) y “sexo” (niños, niñas) como factores inter-sujetos, y con “tiempo” (sesión 1, sesión 2, sesión 3) como factor intra-sujetos. Este análisis se aplicó a las variables dependientes “tasa de aciertos” (que corresponde al número de ensayos realizados correctamente en cada sesión) y “tiempo de reacción” (tiempo transcurrido entre el comienzo de la presentación del ensayo y la respuesta que da el sujeto). El nivel de habilidad espacial de los participantes del GE se determinó de acuerdo al rendimiento observado en la prueba espacial (EFAI-E) en la fase previa al entrenamiento, utilizando la mediana como punto de corte.

Finalmente, para analizar en el GE las ganancias obtenidas en el rendimiento espacial (EFAI-E) en función del nivel de habilidad espacial y del sexo, se llevó a cabo un ANOVA de medidas repetidas $2 \times 2 \times 2$ con “nivel de habilidad espacial” (bajo, alto) y “sexo” (niños, niñas), como factores inter-sujetos, y con “tiempo” (pretest, postest) como factor intra-sujetos.

2.4. Resultados

2.4.1. Análisis preliminares

El análisis preliminar mostró que ambos grupos no difirieron en las puntuaciones de las diferentes tareas evaluadas en la fase de prueba previa [**Raven:** $F(1, 75) = .034$, $MSE = 3.42$, $p = .85$, $\eta^2_p = .00$; **EFAI-E:** $F(1, 75) = .11$, $MSE = 1.88$, $p = .74$, $\eta^2_p = .002$; **EFAI-N:** $F(1, 75) = .065$, $MSE = 3.17$, $p = .80$, $\eta^2_p = .001$]. Los resultados tampoco revelaron ni diferencias de sexo para toda la muestra [**Raven:** $F(1, 75) = 1.34$, $MSE = 136$, $p = .25$, $\eta^2_p = .018$; **EFAI-E:** $F(1, 75) = 1.64$, $MSE = 26.9$, $p = .20$, $\eta^2_p = .021$; **EFAI-N:** $F(1, 75) = .40$, $MSE = 19.63$, $p = .53$, $\eta^2_p = .005$], ni por grupos de intervención [**Raven:** $F(1, 75) = .29$, $MSE = 29.08$, $p = .59$, $\eta^2_p = .004$; **EFAI-E:** $F(1, 75) = .61$, $MSE = 9.97$, $p = .44$, $\eta^2_p = .008$; **EFAI-N:** $F(1, 75) = .17$, $MSE = 8.11$, $p = .68$, $\eta^2_p = .002$]. Los estadísticos descriptivos de las diferentes variables evaluadas en el GE y en el GC se muestran en la Tabla 3. Los estadísticos descriptivos de las diferentes variables evaluadas en niños y niñas se muestran en las Tablas 4 y 5, para el GC y el GE respectivamente.

Adicionalmente, se ha realizado otro análisis preliminar que sirve para valorar las posibles diferencias en cuanto a la experiencia con videojuegos. Si bien este cuestionario fue únicamente presentado en la fase posttest, este análisis se consideró con el objetivo de valorar las posibles diferencias de sexo en esta variable, y así examinar si tales diferencias podrían influir en el procesamiento espacial. Este análisis mostró que ambos grupos no difieren en las puntuaciones del **CVJ** [$F(1, 75) = 1.15$, MSE

Entrenamiento visoespacial

= 2.92, $p = .29$, $\eta^2_p = .015$]. Los resultados tampoco han revelado una interacción grupo x sexo [$F(1, 75) = 2.60$, $MSE = 6.62$, $p = .11$, $\eta^2_p = .033$], pero sí se han encontrado diferencias de sexo para toda la muestra [$F(1, 75) = 5.14$, $MSE = 13.1$, $p = .026$, $\eta^2_p = .064$], de manera que los niños tienen una mayor interacción con los videojuegos. Los estadísticos descriptivos de esta variable evaluada en el GE y en el GC se muestran en la Tabla 3, y los relativos a esta variable para ambos sexos se muestran en las Tablas 4 y 5 para el GC y el GE, respectivamente.

Tabla 3. Valores medios y desviaciones típicas para las medidas de las dos fases en ambos grupos.

Medidas	Total (N = 79)			
	GC (n = 39)		GE (n = 40)	
	M	DT	M	DT
Raven (máx. = 60)				
Pretest	29.4	9.47	30.1	10.5
Posttest	30.5	10.7	33.4	11.1
Incremento	1.13	4.64	3.30	4.39
EFAI-E (máx. = 30)				
Pretest	9.82	4.12	9.50	4.00
Posttest	13.6	5.32	15.9	5.31
Incremento	3.79	4.56	6.43	4.52
EFAI-N (máx. = 30)				
Pretest	13.1	6.87	13.5	6.96
Posttest	15.9	6.71	15.4	6.65
Incremento	2.77	3.12	1.85	3.39
CSAQ-a (máx. = 16)				
Posttest	2.91	2.07	2.74	2.41
CVJ (máx. = 6)				
Posttest	3.62	1.37	3.90	1.89

Tabla 4. Valores medios y desviaciones típicas para las medidas de las dos fases en ambos grupos (por sexo) del GC.

Medidas	Grupo Control (N = 39)			
	Niños (n = 19)		Niñas (n = 20)	
	M	DT	M	DT
Raven (máx. = 60)				
Pretest	28.7	8.75	30.1	10.3
Posttest	30.5	10.8	30.6	10.8
Incremento	1.84	4.65	.45	4.64
EFAI-E (máx. = 30)				
Pretest	10.8	4.86	8.90	3.11
Posttest	15.2	6.23	12.2	3.91
Incremento	4.37	5.35	3.25	3.73
EFAI-N (máx. = 30)				
Pretest	14.0	6.93	12.3	6.89
Posttest	16.7	6.86	15.1	6.66
Incremento	2.74	3.09	2.80	3.24
CSAQ-a (máx. = 16)				
Posttest	2.61	2.05	3.20	2.11
CVJ (máx. = 6)				
Posttest	3.74	1.24	3.50	1.50

Tabla 5. Valores medios y desviaciones típicas para las medidas de las dos fases en ambos grupos (por sexo) del GC.

Medidas	Grupo Experimental (N = 40)			
	Niños (n = 17)		Niñas (n = 23)	
	M	DT	M	DT
Raven (máx. = 60)				
Pretest	27.9	11.1	31.7	10.1
Posttest	31.0	12.0	35.2	10.3
Incremento	3.12	4.15	3.43	4.64
EFAI-E (máx. = 30)				
Pretest	9.76	4.62	9.30	3.57
Posttest	17.4	5.31	14.9	5.17
Incremento	7.59	4.26	5.57	4.61
EFAI-N (máx. = 30)				
Pretest	13.7	7.51	13.4	6.69
Posttest	15.8	7.35	15.0	6.23
Incremento	2.06	3.70	1.70	3.21
CSAQ-a (máx. = 16)				
Posttest	2.68	2.17	2.78	2.62
CVJ (máx. = 6)				
Posttest	4.71	1.57	3.30	1.92

2.4.2. Efectos del entrenamiento y diferencias de sexo (Objetivos e hipótesis 1, 2 y 3)

Cuando la inteligencia no fue controlada en el ANOVA (es decir, sin usar Raven como covariable), se observó un efecto principal significativo en la tarea espacial (EFAI-E) debido al tiempo, $F(1, 75) = 103$, $MSE = 1053$, $p < .001$, $\eta^2_p = .58$, así como una interacción significativa de tiempo x grupo, $F(1, 75) = 7.30$, $MSE = 74.8$, $p = .009$, $\eta^2_p = .089$. Sin embargo, no se encontró una interacción significativa de tiempo x sexo [$F(1, 75) = 2.35$, $MSE = 24.1$, $p = .13$, $\eta^2_p = .030$, *post-hoc* de Bonferroni, **EFAI-E**: $\Delta 5.98$ vs. $\Delta 4.41$; $p = .13$], ni de tiempo x grupo x sexo [$F(1, 75) = .20$, $MSE = 2.00$, $p = .66$, $\eta^2_p = .030$]. Las comparaciones por pares aplicadas a través de la corrección de Bonferroni mostraron que la interacción tiempo x grupo se explicaba porque el incremento en la puntuación del EFAI-E fue significativamente mayor en el GE que en el GC ($\Delta 6.576$ vs. $\Delta 3.809$; $p = .009$).

Al utilizar la inteligencia (Raven pretest) como covariable, el ANOVA $2 \times 2 \times 2$ no mostró en la tarea espacial (EFAI-E) un efecto principal significativo debido al tiempo, $F(1, 75) = .000$, $MSE = .003$, $p = .99$, $\eta^2_p = .000$, ni una interacción de tiempo x sexo x grupo, $F(1, 75) = .49$, $MSE = 4.33$, $p = .49$, $\eta^2_p = .007$. Sin embargo, se encontraron interacciones significativas entre el factor "tiempo" y la covariable "inteligencia" [$F(1, 77) = 13.4$, $MSE = 118$, $p < .001$, $\eta^2_p = .15$], tiempo x grupo [$F(1, 77) = 8.06$, $MSE = 70.8$, $p = .006$, $\eta^2_p = .098$] y entre tiempo x sexo [$F(1, 77) = 4.52$, $MSE = 39.7$, $p = .037$, $\eta^2_p = .058$]. Las comparaciones por pares aplicadas a través de la corrección de Bonferroni

mostraron que la interacción tiempo x grupo se explicaba porque el incremento en la puntuación del EFAI-E fue significativamente mayor en el GE que en el GC (Δ 6.57 vs. Δ 3.87; $p = .006$). Vale la pena señalar que, en este caso, al controlar la inteligencia en los análisis, el aumento en la puntuación EFAI-E fue significativamente mayor en niños que en niñas ($\Delta_{\text{niños}}$ 6.24 vs. $\Delta_{\text{niñas}}$ 4.20; $p = .037$).

Estas divergencias en la interacción tiempo x sexo para la variable EFAI-E cuando se utiliza o no como covariable la inteligencia, se tratará más a fondo en la sección "Discusión".

El otro análisis ANOVA para la tarea matemática (EFAI-N) solo mostró un efecto principal significativo debido al tiempo, $F(1, 75) = 38.7$, $MSE = 211$, $p < .001$, $\eta^2_p = .34$. Un análisis *post-hoc* realizado para evaluar la capacidad matemática por categorías (aritmética, problemas con enunciados de texto y problemas creados después de extraer la información de un contexto de tablas) mostró un efecto de tiempo en cada una de ellas [**EFAI-N (aritmética)**: $F(1, 75) = 15.3$, $MSE = 15.2$, $p < .001$, $\eta^2_p = .17$; **EFAI-N (enunciados texto)**: $F(1, 75) = 12.8$, $MSE = 30.0$, $p = .001$, $\eta^2_p = .15$; **EFAI-N (tablas y figuras)**: $F(1, 75) = 12.5$, $MSE = 26.4$, $p = .001$, $\eta^2_p = .14$]. No se encontró interacción significativa alguna en este tipo de categorías matemáticas. La Figura 12 muestra las interacciones de tiempo x grupo x sexo de las dos medidas EFAI-E (panel A) y EFAI-N (panel B).

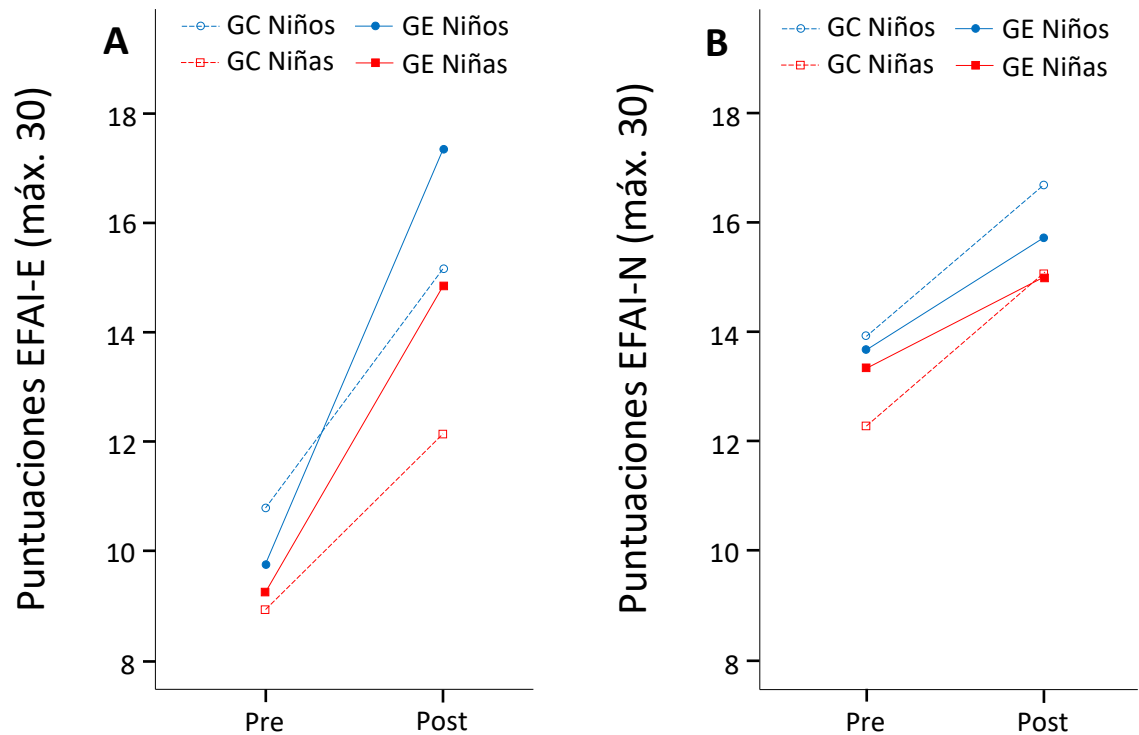


Figura 12. Interacción entre los factores **tiempo x grupo x sexo** para la aptitud espacial, EFAI-E (panel A) y para la aptitud numérica, EFAI-N (panel B).

2.4.3. Correlación entre habilidades cognitivas, factores emocionales (ansiedad espacial) y de la experiencia con videojuegos (Objetivos e hipótesis 4 y 5)

En la fase pretest para la muestra total, se encontró una correlación positiva significativa entre la inteligencia y la aptitud numérica, así como entre las diferentes sub-tareas matemáticas. Además, se encontró una correlación negativa significativa entre la tarea espacial y la experiencia con videojuegos, de forma que los participantes

con menor experiencia con los videojuegos ejecutaron mejor la tarea espacial (véase Tabla 6).

Para el GE en la fase posttest, se obtuvieron correlaciones positivas significativas de la inteligencia con las aptitudes espacial y numérica, así como entre la capacidad espacial y numérica. Además, se halló una correlación negativa significativa entre la ansiedad espacial y el rendimiento matemático con contenido de tipo tablas y figuras, de forma que los participantes con menor ansiedad espacial tuvieron mayores puntuaciones en este tipo de ejercicios numéricos (véase Tabla 7). También los participantes con mejor rendimiento en este tipo de tareas matemáticas fueron los que menor experiencia con videojuegos tenían. De nuevo, las diferentes tareas matemáticas correlacionaron positivamente entre sí (véase Tabla 7).

Tabla 6. Correlaciones entre las diferentes medidas en la fase pretest para la muestra total.

Medidas	1	2	3	4	5	6
1. Raven	–					
2. EFAI-E	.03	–				
3. EFAI-N (Total)	.61**	.11	–			
4. EFAI-N (Aritmética)	.42**	.08	.81**	–		
5. EFAI-N (enunciados texto)	.56**	.09	.92**	.70**	–	
6. EFAI-N (Tablas y figuras)	.55**	.12	.83**	.53**	.59**	–
7. CVJ	-.13	-.21*	-.12	-.06	-.04	-.21

Nota. CVJ fue evaluado en la fase postest, pero se quiso ver la correlación con el resto de las medidas de la fase pretest. CSAQ solo se evaluó en la fase postest, por ello no se visualiza en la matriz de correlaciones. ** $p < .01$, * $p < .05$ (unilateral)

Tabla 7. Correlaciones entre las diferentes medidas en la fase posttest para el GE.

Medidas	1	2	3	4	5	6	7
1. Raven	–						
2. EFAI-E	.31*	–					
3. EFAI-N (Total)	.49**	.38**	–				
4. EFAI-N (Aritmética)	.59**	.27*	.78**	–			
5. EFAI-N (enunciados texto)	.37**	.28*	.89**	.63**	–		
6. EFAI-N (Tablas y figuras)	.33*	.38**	.72**	.44**	.38**	–	
7. CSAQ-a	-.06	-.17	-.32*	-.23	-.25	-.31*	–
8. CVJ	-.05	-.13	-.12	-.08	.00	-.28*	.05

Nota. ** $p < .01$, * $p < .05$ (unilateral)

2.4.4. Rendimiento durante el PERM y ganancias obtenidas en la habilidad de RM según el nivel espacial de partida (Objetivo e hipótesis 6)

El nivel de habilidad espacial de los niños y niñas del grupo de intervención se determinó de acuerdo al rendimiento observado en la prueba espacial (EFAI-E) en la fase previa al entrenamiento, utilizando la mediana como punto de corte. Los participantes con una puntuación inferior a 9 puntos se clasificaron como “bajo nivel de habilidad espacial”, y los que tuvieron una puntuación superior a 9, fueron incluidos en el grupo de “alto nivel de habilidad espacial”. Los niños y niñas con una puntuación igual a 9 ($n = 4$) se distribuyeron al azar y de manera equitativa entre los dos grupos.

Para realizar el análisis del rendimiento del PERM, se excluyeron todos los ensayos con TR inferiores a 500 ms, un criterio bastante extendido en algunos estudios sobre propiedades psicométricas de tareas específicas de RM (e.g., Boone y Hegarty, 2017; Wiedenbauer y Jansen-Osmann, 2007; Wohlschlager y Wohlschlager, 1998). Los ensayos con TR superiores a 6 segundos también fueron excluidos de los análisis. El criterio de tiempos más prolongados de lo normal es menos habitual en este tipo de experimentos; en nuestro estudio vimos apropiado incluir todos los ensayos con TR por debajo de 60 segundos, porque consideramos que era un tiempo suficiente para tomar la decisión de la respuesta correcta¹⁹. Un total de 517 ensayos, que representaron un 2.94 % del total, se excluyeron finalmente. El promedio de TR en ms. para cada participante se calculó solo para las respuestas correctas (e.g., Shepard y Metzler, 1971; Voyer y Jansen, 2016). Un participante fue finalmente excluido de estos análisis porque su tasa de aciertos y sus TR superaron más de 3.0 DT sobre la media. Así, la muestra final para los análisis de resultados de este último objetivo consistió en 39 participantes, de los 40 que inicialmente conformaba el GE.

¹⁹ A pesar de que ese tiempo parezca relativamente largo, encontramos participantes que mostraron y advirtieron la necesidad de un mayor tiempo para responder.

2.4.4.1. Rendimiento durante el PERM: precisión (tasa de aciertos)

En relación a la precisión o tasa de aciertos, los análisis descriptivos se muestran en la Tabla 8.

El ANOVA mixto 2 (sexo) x 2 (nivel de habilidad espacial: señalaremos como “↑HE” al grupo de alta habilidad espacial y como “↓HE” al grupo de baja habilidad espacial) para las variables dependientes de la “tasa de aciertos” (AC) en cada una de las tres sesiones (S1, S2, S3) y para el total de todas ellas (TOTAL), reveló los siguientes efectos principales: un efecto principal del **nivel de habilidad espacial** en la sesión 1, **AC-S1**: $F(1, 35) = 5.67, MSE = .073, p = .023, \eta^2_p = .14$; en la sesión 3, **AC-S3**: $F(1, 35) = 4.251, MSE = .068, p = .047, \eta^2_p = .11$; y para el total de todas las sesiones, **AC-TOTAL**: $F(1, 35) = 4.19, MSE = .050, p = .048, \eta^2_p = .11$, de forma que los participantes con alta habilidad espacial obtuvieron una mayor tasa de aciertos en estas tres condiciones: [**AC-S1**: ↓HE: $M = .78$, ↑HE: $M = .87$, diferencia de medias = $.09, p = .023$], [**AC-S3**: ↓HE: $M = .72$, ↑HE: $M = .80$, diferencia de medias = $.08, p = .04$], [**AC-TOTAL**: ↓HE: $M = .75$, ↑HE: $M = .82$, diferencia de medias = $.07, p = .04$]. No se encontraron otros efectos principales en los factores **sexo** [**AC-S1**: $F(1, 17) = .11, MSE = .001, p = .74, \eta^2_p = .003$; **AC-S2**: $F(1, 17) = 2.39, MSE = .032, p = .13, \eta^2_p = .064$; **AC-S3**: $F(1, 17) = .77, MSE = .012, p = .39, \eta^2_p = .022$; **AC-TOTAL**: $F(1, 17) = 1.029, MSE = .012, p = .32, \eta^2_p = .029$], **nivel de habilidad espacial** [**AC-S2**: $F(1, 17) = 1.50, MSE = .020, p = .23, \eta^2_p = .041$], ni interacción **sexo x nivel de habilidad espacial** [**AC-S1**: $F(1, 17) = .009, MSE = .000, p = .92, \eta^2_p = .000$; **AC-**

Entrenamiento visoespacial

S2: $F(1, 17) = .001$, $MSE = 1.66E-005$, $p = .97$, $\eta^2_p = .000$; **AC-S3:** $F(1, 17) = .14$, $MSE = .002$, $p = .71$, $\eta^2_p = .004$; **AC-TOTAL:** $F(1, 17) = .007$, $MSE = 8.37E-005$, $p = .93$, $\eta^2_p = .000$ (Figura 13).

El ANOVA de medidas repetidas 3 (sesión) x 2 (sexo) x 2 (nivel de habilidad espacial) para la variable dependiente “tasa de aciertos” (AC), sólo mostró un efecto significativo en el factor **tiempo** [$F(2, 70) = 18.9$, $MSE = .056$, $p < .001$, $\eta^2_p = .35$]. La tasa de aciertos disminuyó progresivamente de la S1 a la S3, y las comparaciones por pares mostraron una mayor tasa de aciertos en la S1 respecto a la S2 y S3 [**S1:** $M = .83$; **S2:** $M = .76$; **S3:** $M = .76$; diferencia de medias **S1-S2** = $.06$, $p < .001$; diferencia de medias **S1-S3** = $.07$, $p < .001$] (Figura 14, panel A). Para esta variable, no se encontraron interacciones significativas entre los factores **tiempo x sexo** [$F(2, 70) = 1.71$, $MSE = .005$, $p = .19$, $\eta^2_p = .046$] (Figura 14, panel B), **tiempo x nivel de habilidad espacial** [$F(2, 70) = 1.70$, $MSE = .005$, $p = .19$, $\eta^2_p = .046$] (Figura 14, panel C), ni **tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial** [$F(2, 70) = .33$, $MSE = .001$, $p = .72$, $\eta^2_p = .009$] (Figura 14, panel D).

Tabla 8. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de las tasas de aciertos en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.

Medidas	Total (N = 39)							
	Baja habilidad espacial (n = 20)				Alta habilidad espacial (n = 19)			
	Niños (n = 9)		Niñas (n = 11)		Niños (n = 8)		Niñas (n = 11)	
	M	DT	M	DT	M	DT	M	DT
AC-S1	.78	.13	.79	.15	.86	.06	.88	.08
AC-S2	.71	.13	.77	.12	.76	.12	.82	.10
AC-S3	.69	.15	.74	.13	.79	.11	.81	.11
AC-TOTAL	.73	.13	.77	.13	.80	.09	.84	.09

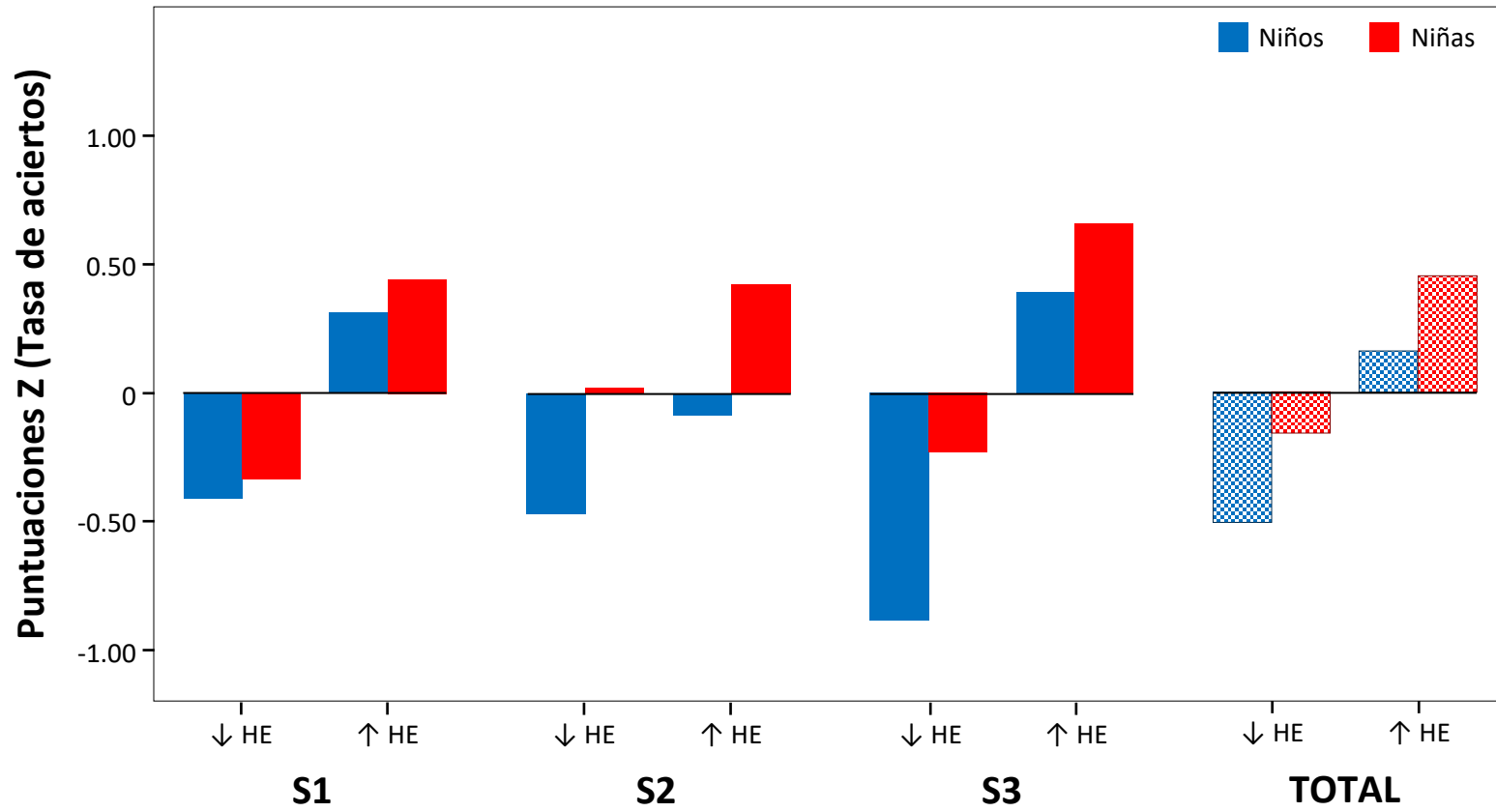


Figura 13. Puntuaciones típicas de las tasas de aciertos en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.

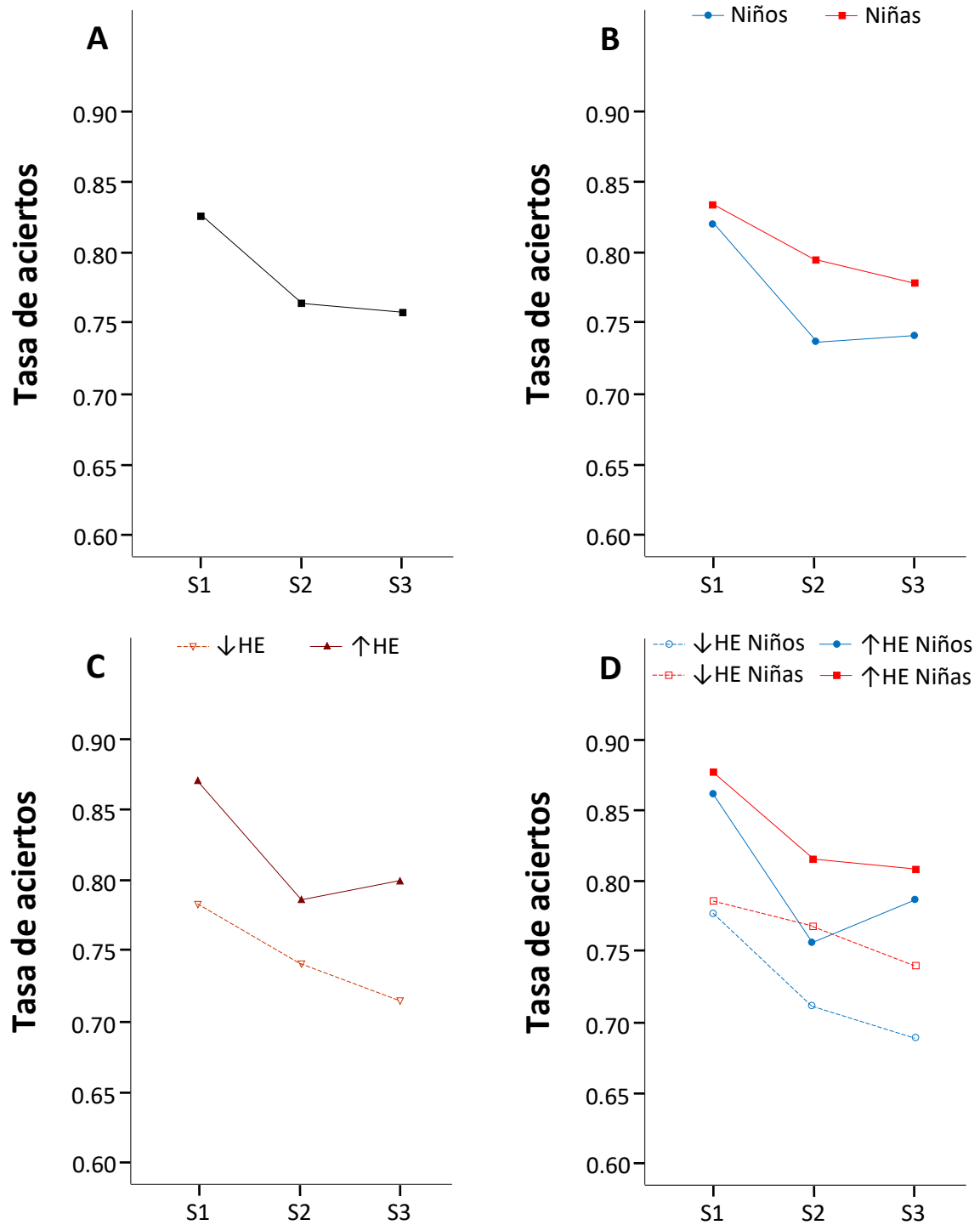


Figura 14. Tasa de aciertos para el factor **tiempo** (A), y para las interacciones **tiempo x sexo** (B), **tiempo x nivel de habilidad espacial** (C) y **tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial** (D).

2.4.4.2. Rendimiento durante el PERM: tiempo de reacción

Respecto a los tiempos de reacción, los análisis descriptivos se muestran en la Tabla 9.

El mismo ANOVA 2 (sexo) x 2 (nivel de habilidad espacial) fue realizado para las variables dependientes del “tiempo de reacción” (TR) para cada una de las tres sesiones (S1, S2, S3) y para el total de todas las sesiones (TOTAL). Tan solo se encontró una interacción significativa entre los factores **sexo x nivel de habilidad espacial** para la sesión 2 y para el total de todas las sesiones [**TR-S2**: $F(1, 35) = 7.08$, $MSE = 11432722$, $p = .01$, $\eta^2_p = .17$; **TR-TOTAL**: $F(1, 35) = 4.53$, $MSE = 4249099$, $p = .040$, $\eta^2_p = .12$], que se explicó por unos tiempos de reacción más largos en las niñas del grupo de alta habilidad espacial [**TR-S2 (↑HE)**: **niños**: $M = 4233$ ms.; **niñas**: $M = 5985$ ms.; diferencia de medias = 1753 ms., $p = .005$], [**TR-TOTAL (↑HE)**: **niños**: $M = 4448$ ms.; **niñas**: $M = 5635$ ms.; diferencia de medias = 1187 ms., $p = .012$]. También, se observó un efecto marginal del factor **sexo** en el TR de la sesión 3 [**TR-S3**: $F(1, 35) = 4.05$, $MSE = 8996865$, $p = .052$, $\eta^2_p = .10$] por unos TR más cortos en los niños que en las niñas (**niños**: $M = 4672$ ms.; **niñas**: $M = 5641$ ms.; diferencia de medias = 970 ms, $p = .052$). No se encontraron efectos significativos del factor **sexo** [**TR-S1**: $F(1, 35) = .026$, $MSE = 27098$, $p = .87$, $\eta^2_p = .001$; **TR-S2**: $F(1, 35) = 2.58$, $MSE = 4163767$, $p = .12$, $\eta^2_p = .069$; **TR-TOTAL**: $F(1, 35) = 2.77$, $MSE = 2593420$, $p = .11$, $\eta^2_p = .073$], ni del factor **nivel de habilidad espacial** [**TR-S1**: $F(1, 35) = .052$, $MSE = 53400$, $p = .82$, $\eta^2_p = .001$; **TR-S2**: $F(1, 35) = .044$, $MSE = 71750$, $p =$

.83, $\eta^2_p = .001$; **TR-S3**: $F(1, 35) = .000$, $MSE = 815$, $p = .99$, $\eta^2_p = .000$; **TR-TOTAL**: $F(1, 35) = .053$, $MSE = 49661$, $p = .82$, $\eta^2_p = .002$], ni de la interacción **sexo x nivel de habilidad espacial** [**TR-S1**: $F(1, 35) = 3.28$, $MSE = 3353967$, $p = .079$, $\eta^2_p = .086$; **TR-S3**: $F(1, 35) = .37$, $MSE = 817586$, $p = .55$, $\eta^2_p = .010$] (Figura 15).

El ANOVA de medidas repetidas 3 (sesión) 2 (sexo) x 2 (nivel de habilidad espacial) para la variable dependiente “tiempo de reacción” (TR), no mostró ningún efecto principal del factor **tiempo**: $F(2, 70) = 1.06$, $MSE = 1064846$, $p = .35$, $\eta^2_p = .029$ (Figura 16, panel A), ni interacciones significativas de los factores **tiempo x sexo**: $F(2, 70) = 2.62$, $MSE = 2632288$, $p = .080$, $\eta^2_p = .070$ (Figura 16, panel B), **tiempo x nivel de habilidad espacial**: $F(2, 70) = .017$, $MSE = 16606$, $p = .98$, $\eta^2_p = .000$ (Figura 16, panel C), ni **tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial**: $F(2, 70) = 1.56$, $MSE = 1566224$, $p = .22$, $\eta^2_p = .043$ (Figura 16, panel D).

Tabla 9. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de los tiempos de reacción en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.

Total (N = 39)								
Medidas	Baja habilidad espacial (n = 20)				Alta habilidad espacial (n = 19)			
	Niños (n = 9)		Niñas (n = 11)		Niños (n = 8)		Niñas (n = 11)	
	M	DT	M	DT	M	DT	M	DT
TR-S1	5226	1312	4580	1108	4559	587	5098	857
TR-S2	5412	782	4979	1257	4233	758	5985	1784
TR-S3	4822	1541	5500	2004	4521	653	5783	1248
TR-TOTAL	5186	712	5040	1293	4448	576	5635	985

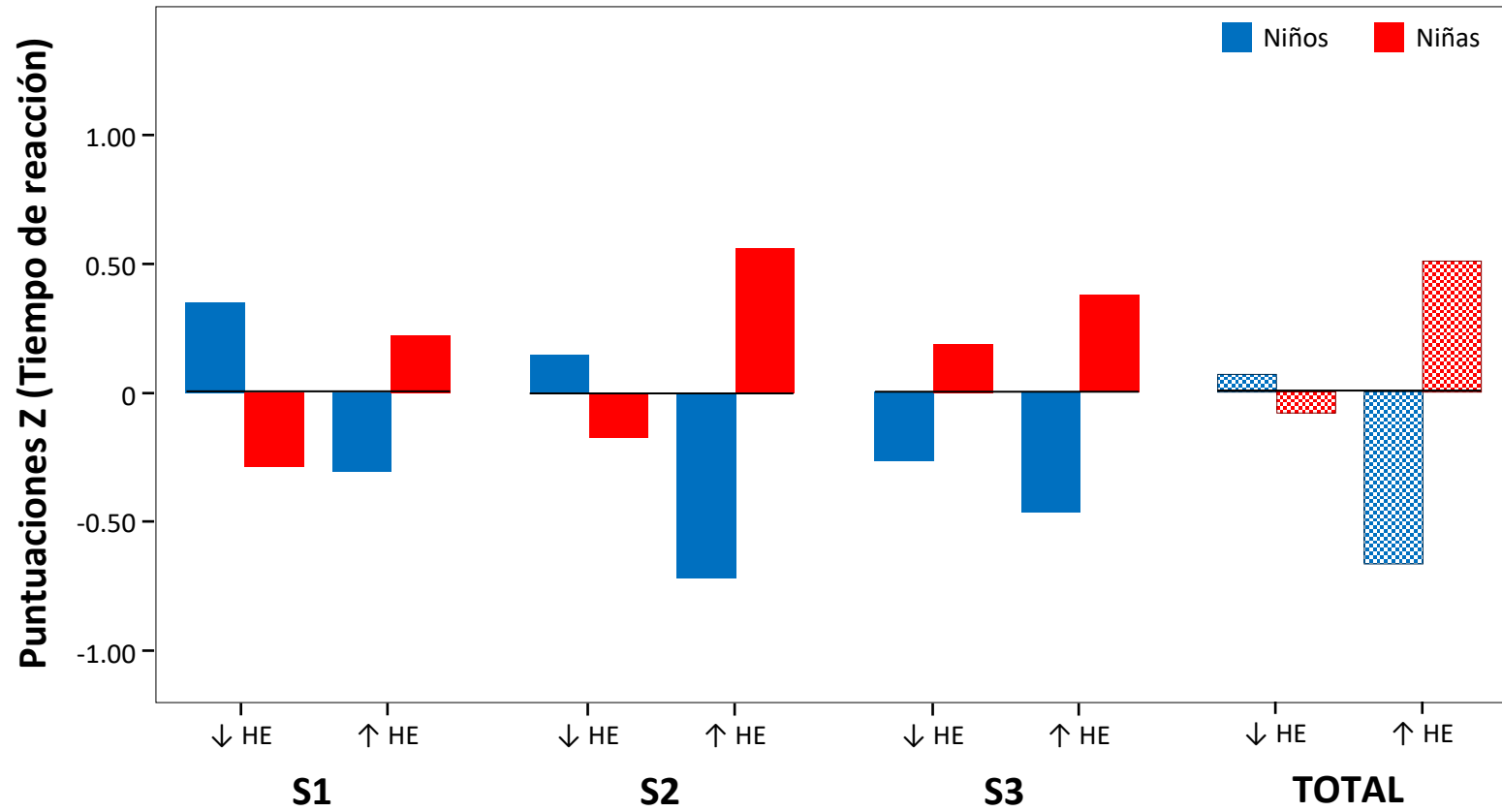


Figura 15. Puntuaciones típicas de los tiempos de reacción en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.

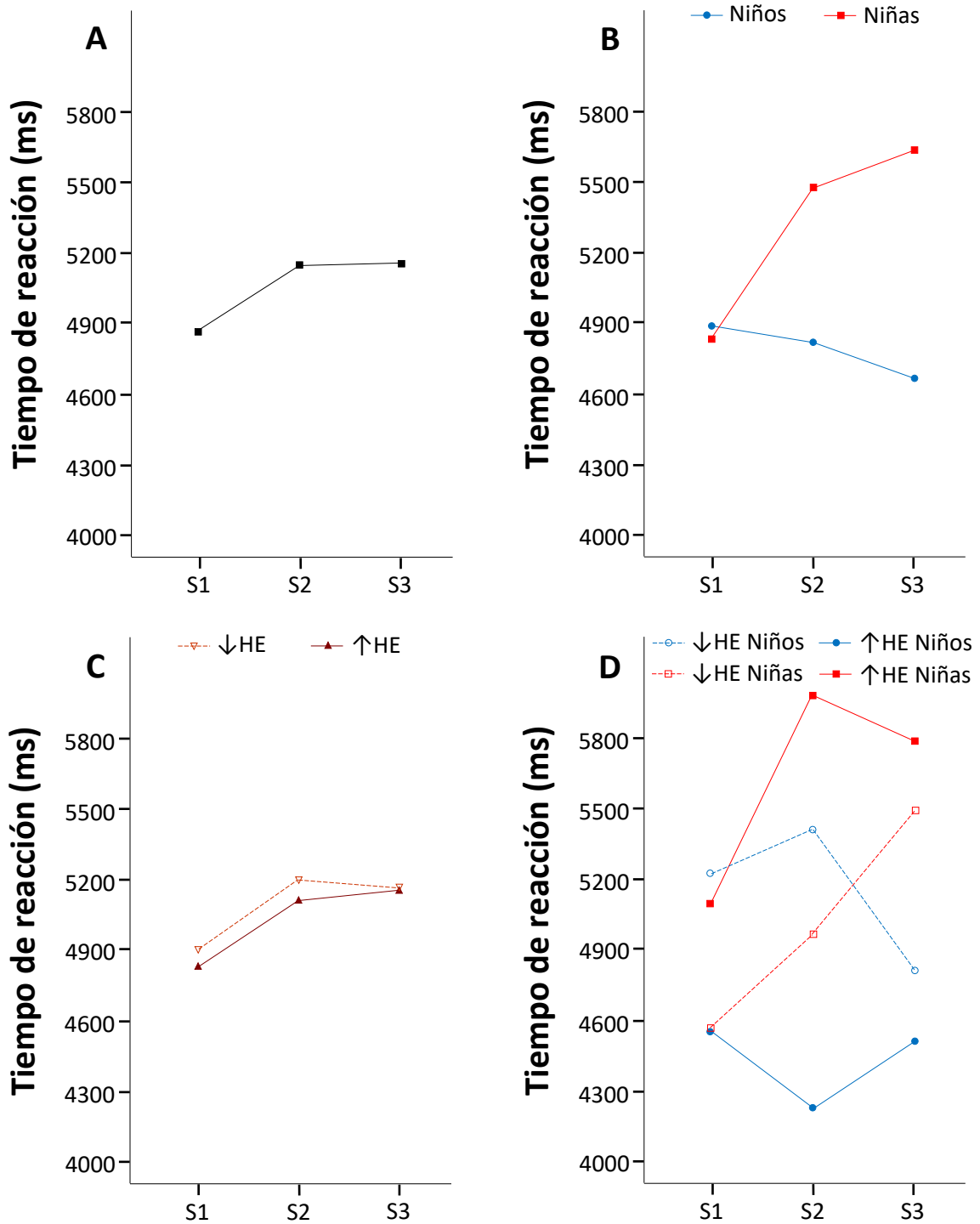


Figura 16. Tiempos de reacción para el factor **tiempo** (A), y para las interacciones **tiempo x sexo** (B), **tiempo x nivel de habilidad espacial** (C) y **tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial** (D).

2.4.4.3. Ganancias obtenidas en la habilidad de RM

Los estadísticos descriptivos de las puntuaciones del EFAI-E en niños y niñas se muestran en las Tablas 10 y 11 para los grupos de bajo y alto rendimiento espacial respectivamente. El ANOVA de medidas repetidas 2 (tiempo) 2 (sexo) x 2 (nivel de habilidad espacial) para la variable dependiente “EFAI-E”, tan solo mostró un efecto principal en el factor **tiempo** [$F(1, 35) = 79.1, MSE = 827, p < .001, \eta^2_p = .69$]. No se encontraron otras interacciones significativas de los factores **tiempo x sexo** [$F(1, 35) = 1.77, MSE = 18.5, p = .19, \eta^2_p = .048$], **tiempo x nivel de habilidad espacial** [$F(1, 35) = 1.04, MSE = 10.9, p = .31, \eta^2_p = .029$], ni **tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial** [$F(1, 35) = .073, MSE = .76, p = .79, \eta^2_p = .002$].

Tabla 10. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de las puntuaciones obtenidas en el EFAI-E en ambos sexos del grupo de participantes con un bajo nivel en la habilidad espacial.

Baja habilidad espacial (n = 20)						
EFAI-E (máx. = 30)	Niños (n = 9)		Niñas (n = 11)		TOTAL	
	M	DT	M	DT	M	DT
Pretest	6.33	1.32	6.73	1.68	6.55	1.50
Posttest	14.4	5.13	13.3	4.59	13.8	4.74
Incremento	8.11	4.70	6.55	4.80	7.25	4.70

Tabla 11. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de las puntuaciones obtenidas en el EFAI-E en ambos sexos del grupo de participantes con un alto nivel en la habilidad espacial.

Alta habilidad espacial (n = 19)						
EFAI-E (máx. = 30)	Niños (n = 8)		Niñas (n = 11)		TOTAL	
	M	DT	M	DT	M	DT
Pretest	13.6	3.82	12.0	3.13	12.7	3.43
Posttest	20.6	3.38	16.6	5.59	18.3	5.09
Incremento	7.00	3.93	4,64	4.65	5.63	4.41

2.5. Discusión

2.5.1. Efectos de mejora en RM

El principal objetivo de nuestro estudio fue evaluar si un programa de entrenamiento en RM (PERM) podría mejorar las capacidades visoespaciales en niños y niñas de segundo curso de Educación Primaria. Para ese fin, se diseñó un PERM en formato bidimensional y se aplicó a un grupo experimental, comparando las puntuaciones del EFAI-E obtenidas en la evaluación previa al entrenamiento (fase pretest) y en la posterior a la intervención (fase posttest) con respecto a un grupo de control. Los resultados del estudio mostraron diferencias significativas en las puntuaciones del EFAI-E entre los grupos experimental y control. Aunque ambos grupos

mejoraron por el efecto de aprendizaje de la prueba en las fases pre y posttest, la mejora del grupo experimental fue significativamente mayor en comparación con el grupo control. Este resultado es muy positivo, ya que estudios anteriores han demostrado que favorecer el razonamiento espacial no solo es clave para mejorar el éxito en las disciplinas STEM, sino que también parece ayudar a fortalecer las habilidades que promueven el desarrollo integral de los/as niños/as en esta edad (e.g., Newcombe y Frick, 2010).

Hay varios aspectos relativos al programa de entrenamiento que son relevantes para nuestros intereses. En nuestro estudio, los ítems y el diseño del programa de entrenamiento (PERM) fueron diferentes a los utilizados en la prueba que evaluaba la capacidad espacial (EFAI-1, "E"; Santamaría et al., 2005), un aspecto importante a considerar cuando se evalúa si realmente se produce una transferencia de la habilidad entrenada, en este caso la RM. En investigaciones anteriores realizadas en individuos con un rango de edad similar al de este estudio, se han utilizado la misma tarea tanto para el entrenamiento como para la evaluación, aunque utilizando diferentes ítems o estímulos (Cheng y Mix, 2014; Erlich et al., 2006; Kail y Park, 1990; Wiedenbauer y Jansen-Osmann, 2008). Sin embargo, este enfoque podría encubrir la transferencia de una habilidad entrenada. En nuestro estudio, tanto la evaluación como la tarea de entrenamiento implican que el participante imagine mentalmente los movimientos y las transformaciones (es decir, ponga en juego rotaciones mentales) de un objeto en un plano bidimensional. Si bien el formato de ambas tareas es diferente, como se puede

ver en la sección "Materiales", ambos podrían ser similares en términos del tipo de demanda cognitiva, por lo tanto, es razonable categorizarlo como transferencia cercana, tal y como hacen Hawes et al. (2015). Otro aspecto relevante del presente estudio es que incluyó un grupo control, que es esencial para tener una comprensión real sobre la efectividad de este tipo de intervenciones, un factor que no siempre es considerado, tal y como apunta Uttal et al. (2013) en su meta-análisis. Hasta la fecha, no muchos estudios han incorporado un GC al realizar un entrenamiento específico de RM (De Lisi y Wolford, 2002; Cheng y Mix, 2014; Hawes et al., 2015; 2017; Lowrie et al., 2017). Todos estos estudios, con la excepción del estudio De Lisi y Wolford (2002), han tratado de evaluar adicionalmente el grado de implicación que el entrenamiento de RM tiene sobre la posible mejora en el rendimiento matemático. En relación con estos estudios, más adelante discutiremos la implicación de los resultados obtenidos hacia esta capacidad académica. Algunas diferencias que podrían destacarse entre el presente estudio y aquellos que han usado materiales específicos de práctica en RM, están centradas en que no siempre incluyen un análisis de las diferencias de sexo o la relación con otras variables de interés, como la experiencia con los videojuegos o la ansiedad espacial. A continuación, las hipótesis de nuestro estudio son analizadas en relación con aquellas variables no analizadas en estudios previos sobre entrenamiento de RM en este grupo de edad.

Nos parece importante comentar el resultado relativo a las diferencias en las ganancias producidas en inteligencia entre ambos grupos tras la intervención espacial,

debido a una mejora significativa de esta variable en el grupo experimental, un resultado que no se replicó en el grupo control²⁰. Este hallazgo inesperado, podría tener algún tipo de relación con un refuerzo de las funciones ejecutivas que comprometen, por ejemplo, el control atencional o la memoria de trabajo (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides y Perrig, 2008; Jaušovec y Jaušovec, 2012; Karbach y Unger, 2014; Klingberg, Forssberg y Westerberg, 2002; Zhao, Wang, Liu y Zhou, 2011). De hecho, algunas investigaciones han demostrado la relación de la memoria de trabajo con la RM (Kaufman, 2007; Meneghetti, Ronconi, Pazzaglia y De Beni, 2014) y con la inteligencia fluida (Kyttälä y Lehto, 2008).

El uso de determinadas estrategias con el PERM también podría haber contribuido a la mejora de esta habilidad cognitiva. Por ejemplo, algunos autores (Botella, Peña, Contreras, Shih y Santacreu, 2009; Peña, Contreras, Shih y Santacreu, 2008) encontraron en participantes adultos que usaban estrategias más eficientes (i.e., holísticas) en una tarea espacial dinámica que obtenían puntuaciones más altas en un test de inteligencia general en relación a los participantes que usaban otro tipo de estrategias (e.g., las analíticas, más bien asociadas a una reducción de la información espacial hacia formatos no espaciales). También en relación al uso de estrategias, se ha sugerido que “la

²⁰ En un ANOVA adicional de medidas repetidas para la variable “Raven”, se vio una interacción de tiempo x grupo [$F(1, 75) = 4.294$, $MSE = 44.28$, $p = .042$, $\eta^2_p = .054$], explicada porque después de la intervención el grupo experimental mostró un incremento significativo en la inteligencia, algo que no sucedió en el grupo control (**GE**: $\Delta_{\text{Raven}} 3.276$; **GC**: $\Delta_{\text{Raven}} 1.146$).

selección de estrategias es una variable esencial en el comportamiento inteligente, y en el dominio espacial las estrategias son importantes para afrontar la tarea y para ordenar y organizar los procesos involucrados en la ejecución espacial” (traducción propia; Cooper y Mumaw, 1985; Sternberg, 1977, citado en Peña et al., 2008).

En relación al uso de estrategias durante la práctica de tareas espaciales, Meneghetti, Cardillo, Mammarella, Caviola y Borella (2017) también han encontrado en estudiantes universitarios que utilizaban una estrategia holística durante una tarea de RM, una mejora en la inteligencia fluida, evaluada con *el Culture Fair Intelligence Test (CFIT; Cattell, 1973)*. Estas autoras, han sugerido que el hecho de practicar con una tarea RM utilizando una estrategia holística (i.e., que implica la rotación de la figura como un “todo”) puede favorecer los efectos de transferencia hacia una tarea de inteligencia fluida, potenciando la idea de que las tareas de RM comparten al menos algunos de los procesos involucrados en el *CFIT*, como es la memoria de trabajo.

Por tanto, la mejora de la inteligencia en el grupo experimental encontrada en nuestro estudio podría estar justificada si la intervención espacial hubiera implicado procesos relacionados con funciones ejecutivas (e.g, memoria de trabajo) y el aprendizaje en el uso de estrategias para organizar y manipular de manera adecuada la información visual.

2.5.2. Rendimiento espacial en ambos sexos

El segundo objetivo de nuestro estudio fue evaluar las diferencias promedio de sexo en la habilidad espacial y la influencia que podría tener el entrenamiento sobre ambos sexos. En nuestro estudio, no se encontraron diferencias entre los grupos de sexo en la evaluación inicial, en línea con otros estudios que no encontraron efectos de sexo en algunas de las tareas evaluadas (e.g., Hawes et al., 2017; Lowrie et al., 2017; Neubauer et al., 2010).

En cuanto a las diferencias de sexo en la habilidad espacial después del entrenamiento, al controlar o excluir la inteligencia de los análisis, los resultados mostraron una interacción de tiempo x sexo debida a una mejoría general que fue mayor en los niños que en las niñas en la habilidad de RM. Sorprendentemente, cuando la inteligencia se controló en los análisis, la interacción sexo x tiempo no fue significativa en el rendimiento espacial. Comparando ambos resultados (con y sin controlar el Raven), se podría argumentar que las niñas pudieran estar "compensando" su habilidad espacial con la inteligencia general, de modo que al controlar o dejar fuera del análisis esa variable las diferencias entre niños y niñas en su rendimiento espacial parecen ser visibles. Estos resultados podrían estar en la línea de los encontrados en otras investigaciones llevadas a cabo con participantes con altos niveles de inteligencia. Por ejemplo, en un estudio con individuos superdotados no se encontraron diferencias entre sexos en tareas de RM (Werner, 1983; citado en Bergner y Neubauer, 2011). De

manera similar, Bergner y Neubauer (2011) vieron en población adolescente superdotada que las diferencias de sexo encontradas en una tarea de RM en formato 2D se desvanecían tras realizar una intervención espacial, pero solo en los estudiantes brillantes con menores niveles de razonamiento o inteligencia, dado que en el grupo de estudiantes superdotados con mayor inteligencia no se mostraron tales diferencias en la tarea de RM-2D en ningún momento (i.e., fases pre y post). Si bien, no podemos clasificar a los participantes de nuestro estudio como superdotados (e.g., a partir de las puntuaciones obtenidas en la prueba de inteligencia²¹) los resultados aquí presentados denotan, al igual que los estudios mencionados, que la capacidad de razonamiento o inteligencia ayuda a minimizar las diferencias entre sexos en la aptitud de RM, porque se produce un efecto de “compensación”.

También en relación a la inteligencia, en el presente estudio no se encontraron diferencias significativas entre sexos en esta variable, un resultado que converge con hallazgos encontrados en la literatura sobre estudios de razonamiento general que han demostrado una ausencia de diferencias de sexo en esta capacidad cognitiva (Halpern y Lamay, 2000, Neisser et al., 1996).

En esta investigación se han obtenido resultados que son convergentes con los encontrados en investigaciones previas realizadas en preescolares (utilizando metodologías similares, y adaptando la dificultad de la tarea al grupo de edad), donde se

²¹ Basándonos en los baremos españoles del Raven (versión SPM), para un promedio de edad de 7 ½ años y una puntuación de 29.76 puntos, esto correspondería a un percentil aproximado de 53.14.

ha observado que se produce una mejora similar en el rendimiento de la RM en ambos sexos, y donde no se han encontrado diferencias entre niños y niñas antes o después del entrenamiento (Fernández-Méndez, Contreras y Elosúa, 2018a, 2018b). Estos resultados consistentes que replican un efecto experimental del entrenamiento, de un grupo entrenado versus un grupo de control, en 3 etapas educativas diferentes y utilizando metodologías paralelas, representan una mejora en la limitación señalada por Uttal et al. (2013). Estos autores señalaban la dificultad de encontrar estudios comparables en diferentes etapas de desarrollo. Nuestros estudios muestran un patrón similar que ocurre en educación preescolar, primaria y secundaria: el efecto de un programa de práctica –que es similar en formato y duración– queda reflejado a través de una mejora en una tarea espacial que es evaluada y que es diferente a la utilizada durante el entrenamiento. Además, no se encontraron diferencias entre sexos o entre las fases pre y post entrenamiento en ninguna de las 3 etapas de desarrollo.

Sin embargo, no hubo una interacción significativa entre el tiempo de la evaluación, el grupo y el sexo, y estos resultados están en concordancia con los de otros estudios en grupos similares de edad, en los que se han obtenido mejorías muy próximas en el rendimiento espacial para ambos sexos, o un efecto de entrenamiento que iguala el rendimiento medio de ambos sexos con tareas relacionadas con la RM (Clements et al., 1997; Tzuriel y Egozi, 2010) o específicas de RM (De Lisi y Wolford, 2002; Ehrlich et al., 2006).

2.5.3. Efectos del entrenamiento de la RM en las matemáticas

El vínculo entre el espacio y las matemáticas se ha observado en varias investigaciones (e.g., Baenninger y Newcombe, 1995; Delgado y Prieto, 2004; Frick, 2018; Holmes et al., 2008; Lowrie et al., 2017). Esta relación incluye la asociación entre el rendimiento en tareas de RM y de representación espacial de números, es decir, tareas de línea numérica y de comparación numérica en adultos (Thompson et al., 2013). También, se ha observado en algunos estudios realizados en niños y niñas la relación de la RM con problemas matemáticos de términos ausentes y tareas aritméticas no verbales (Hawes et al., 2015), así como de comparación simbólica y no simbólica, y tareas de conocimiento numérico (Hawes et al., 2017). En relación a estos hallazgos, Mix et al. (2016) han confirmado que la habilidad espacial y las matemáticas son dominios separados pero que se superponen fuertemente, de manera que algunas habilidades muestran vínculos entre dominios particularmente fuertes, y esto ocurre en diferentes etapas del desarrollo, desde preescolar hasta sexto grado²². Más recientemente, Frick (2018) ha demostrado, utilizando un enfoque longitudinal, que la RM medida a través de diferentes tareas en primer grado (7.5 años; *Card Rotation Test*) y segundo grado (8.3 años; *Figure Rotation*) están correlacionadas positivamente con el rendimiento de las matemáticas y de geometría en segundo grado. Esta autora también

²² En USA, el sexto grado es el sexto año escolar después de preescolar (kindergarten), y generalmente los estudiantes tienen 11 o 12 años.

informó que la RM, junto con el escalado espacial (o habilidad para comparar espacios de diferentes tamaños), es un fuerte predictor en niños/as al final del segundo grado de las operaciones aritméticas, así como de las funciones espaciales y numéricas-lógicas (completar secuencias numéricas, contar magnitudes, contar cubos, estimar longitudes de línea).

En el presente estudio no se encontró un efecto significativo de la mejora en la habilidad matemática, más concretamente la aptitud numérica a través de ejercicios de tipo aritmético, después del entrenamiento de RM. Esta falta de transferencia hacia lo numérico podría deberse a ciertos problemas metodológicos, como la corta duración (90 minutos en total) de nuestro programa de práctica. Hasta la fecha, solo dos estudios centrados en este mismo rango de edad (6 a 8 años) han presentado resultados (no) concluyentes al evaluar la transferencia de un programa de entrenamiento en RM hacia la aptitud numérica o aritmética. Aunque la duración de este estudio ha sido más corta que la de investigaciones previas, con la excepción del estudio de Kelly Mix y Yi-Ling Cheng, no tenemos claro que la falta de transferencia hacia este tipo de tareas matemáticas se produjese por el diseño del entrenamiento o por la duración del programa. En nuestra opinión, el programa no carece de intensidad (150 pruebas por sesión) a pesar de su duración relativamente corta. Los niños y niñas mostraron sentirse motivados y un alto nivel de entusiasmo e incluso, a veces, rivalidad. El programa tuvo un refuerzo positivo por su tipo de formato; por ejemplo, en la fase de práctica podían visualizar la progresión de las rotaciones, y a lo largo del programa tuvieron una

retroalimentación sobre su nivel de éxito o aciertos. No sabemos si un programa con una duración más larga entrenando el mismo componente espacial de RM habría producido más cambios en el rendimiento de los ejercicios matemáticos utilizados en el presente estudio. El entrenamiento de RM realizado por Hawes et al. (2015) con niños del mismo rango de edad no produjo mejoras hacia una tarea aritmética exacta no verbal, ni hacia problemas de términos ausentes, a pesar de que el periodo de práctica fue más largo que el de nuestro estudio (4.5 horas). De manera similar, Mix y Cheng (2014) en una sesión de entrenamiento de 40 minutos solamente encontraron una transferencia hacia una tarea matemática de ecuaciones de términos ausentes. Los resultados obtenidos en los otros dos estudios de referencia que involucran la niñez son algo diferentes. La intervención más reciente de Hawes et al. (2017) con niños de entre 4 y 7 años solo observó una transferencia hacia una tarea de procesamiento numérico básico (comparación de magnitud simbólica), pero no hacia otras habilidades de cálculo tras un entrenamiento de 32 semanas. Hasta la fecha, este ha sido el estudio más largo en términos de intervención de razonamiento espacial, utilizando una amplia variedad de actividades que evalúan diferentes habilidades, incluida la RM. Por otro lado, la intervención de Lowrie et al. (2017) tuvo una duración de unas 20 horas repartidas en 10 semanas. Estos autores encontraron una mejora en conceptos sobre números y en geometría, después de entrenar a niños y niñas de entre 10 y 12 años en tres constructos espaciales diferentes (RM, Vz y SO).

Una explicación tentativa para entender por qué no hubo transferencia de lo espacial a lo matemático, podría ser la influencia de otros factores, que podrían ser importantes para el aprendizaje de las matemáticas. Por ejemplo, algunos autores han vinculado las habilidades lingüísticas (i.e., vocabulario, razonamiento verbal, etc.) con las habilidades matemáticas en los primeros años escolares (LeFevre et al., 2010), y se ha informado que el lenguaje a los 7 años es una variable que predice más fuertemente en las matemáticas que las propias habilidades espaciales (Gilligan, Flouri y Farran, 2017). Si las habilidades lingüísticas tienen más peso que las habilidades espaciales en esta etapa del desarrollo (infancia), es posible que nuestro grupo de estudiantes también haya necesitado recurrir más al dominio cognitivo lingüístico (más aún que al espacial) para realizar los ejercicios matemáticos, especialmente los problemas aritméticos con un texto en forma de enunciado (en total, 15 de 30 ítems en la prueba de evaluación EFAI “N”), es decir problemas aritméticos en un contexto verbal donde se requiere que el estudiante interprete cuál es la información clave necesaria, reformulando o “traduciendo” la información verbal a términos numéricos para realizar el cálculo pertinente y encontrar la solución adecuada.

Una explicación alternativa es que un cambio gradual en la relación entre la habilidad espacial y las matemáticas desde la etapa preescolar hasta sexto grado podría deberse a cambios en las demandas de contenido matemático, cambios en el desarrollo de la habilidad espacial o ambos (Mix et al., 2016). Los análisis de regresión realizados por estos autores han mostrado en una edad muy similar a la nuestra (niños/as de

tercer grado; 7-9 años) varios efectos significativos relacionados con la RM. Sin embargo, estos efectos fueron menores que los encontrados en niños de preescolar o sexto grado. Esto podría explicar por qué, en nuestro grupo de edad, la rotación mental entrenada no se transfirió a las tareas matemáticas. Estos aspectos podrían ser, al menos en parte, la razón por la cual algunas intervenciones tienen un mayor efecto de transferencia que otras en el rendimiento matemático, más allá de la duración de los programas de intervención en sí. El estudio de Lowrie et al. (2017) es bastante extenso, pero de duración más corta que el de Hawes et al. (2017) y produce una transferencia hacia el rendimiento matemático. Sin embargo, un análisis *post-hoc* (véase el texto agregado en la parte inferior de la página 179 de su publicación) llevado a cabo para separar las tareas matemáticas de preguntas basadas en números y de geometría reveló que la mejora ocurrió solo para los elementos vinculados a los conceptos de medida-geometría, pero no para los conceptos numéricos. En este estudio, el análisis *post-hoc* realizado para analizar por categorías matemáticas, todas ellas de contenido más bien aritmético (ejercicios de aritmética básica con operaciones, problemas aritméticos con enunciados verbales y con información organizada en figuras y tablas) no ha mostrado que exista una transferencia de lo espacial hacia ninguna de estas tareas matemáticas. Es importante tener en cuenta la gran carga de trabajo de contenido puramente espacial que nuestro programa tuvo, en este caso centrado en el constructo de RM, y sin tratar aspectos o enfoques relacionados con las matemáticas. En relación a esto, Hawes et al. (2017) señalaron que "sigue siendo posible que los cambios en el

pensamiento de los estudiantes fueran específicos de nuestro enfoque del desarrollo profesional de las matemáticas y no necesariamente de una consecuencia de la instrucción espacial específica per sé" (p.24).

Los resultados obtenidos en términos de la ausencia de diferencias entre los grupos de sexo en la capacidad matemática están en línea con el hecho de que estas diferencias son mínimas o inexistentes en esta capacidad cognitiva durante la etapa de educación primaria (e.g., Lachance y Mazzocco, 2006; Miller y Halpern, 2014).

Basado en esta serie de consideraciones, el presente estudio es una contribución adicional en el campo de las intervenciones del razonamiento espacial. Los efectos nulos en términos de la transferencia hacia las matemáticas en nuestro estudio podrían servir como una reflexión adicional para que, en las futuras intervenciones de razonamiento espacial, se utilicen enfoques y diseños más apropiados que puedan o intenten proporcionar a los escolares la naturaleza entrelazada y la superposición inevitable entre las habilidades de procesamiento espacial y numérico inherentes a muchas actividades de intervención (Hawes et al., 2017).

Además, cabe destacar que algunos meta-análisis han analizado las diferencias de sexo en el procesamiento espacial (p.e., Voyer et al., 1995) y en las matemáticas y ciencias (Reilly et al., 2015), así como la maleabilidad de los recursos espaciales (Uttal et al., 2013), sin embargo, hasta la fecha no hay meta-análisis o revisiones sistemáticas que estudien los efectos de mejora de las habilidades espaciales y su transferencia hacia las matemáticas. En este sentido, creemos que los resultados de este estudio experimental,

junto con los hallazgos existentes en la literatura sobre intervenciones sobre rotación mental, y la transferencia hacia las matemáticas en diferentes edades, podría ser la manera de obtener nuevas conclusiones en futuros estudios de meta-análisis.

2.5.4. Correlación entre habilidades, factores emocionales y basados en la experiencia con videojuegos

Otro objetivo de esta investigación era analizar la relación entre las diferentes habilidades evaluadas y los factores emocionales y basados en la experiencia con videojuegos.

Respecto a la correlación entre la inteligencia y las aptitudes numérica y espacial, se ha encontrado una relación entre inteligencia y aptitud numérica en los dos análisis de correlación, lo cual está en línea con los hallazgos obtenidos por Pina, Fuentes, Castillo y Diamantopoulou (2014) en un rango de edad ligeramente mayor, con participantes de 9 a 13 años. También se ha encontrado una relación significativa entre inteligencia y RM, únicamente para el GE en la fase posterior, también en la línea de estudios que han hallado una superposición entre inteligencia general y habilidades espaciales (e.g., Lohman, 1996).

En el capítulo 1 se contemplaba el marco teórico que apoya el vínculo entre espacio y matemáticas. En esta investigación, y en línea con la literatura previa sobre este tema, se ha encontrado una correlación significativa baja ($r = .38$) entre la tarea de

RM y la numérica. Sin embargo, esta correlación se observó únicamente cuando se analizó el grupo experimental en la fase posttest, no encontrando tal correlación para toda la muestra en la evaluación previa al entrenamiento. Quizás estos hallazgos son el resultado de que haya habido una proporción de participantes dentro del grupo de intervención que hayan aprovechado mejor el entrenamiento, obteniendo unas ganancias mayores en el rendimiento espacial e interviniendo, a su vez, sobre el rendimiento matemático. Sin embargo, este aspecto no deja de ser una mera conjetura que debe de tratarse con cautela, ya que este aspecto no fue valorado.

Si hacemos un recorrido por los estudios más recientes que han examinado las correlaciones entre tareas matemáticas-numéricas y aquellas que implican la RM, encontramos hallazgos dispares. Por ejemplo, en algunos estudios se han encontrado correlaciones nulas en edades similares a las de nuestro estudio entre diversas tareas de RM y las matemáticas que implican el cálculo básico en preescolares de 6.5 años ($r = .15$ y $r = -.02$; Frick, 2018), la línea numérica en escolares de 7,5 años ($r = -.15$; Frick, 2018), o problemas de términos ausentes ($r = .18$) y aritmética no verbal ($r = .15$) en escolares de 6 a 8 años (Hawes et al., 2015). Otros estudios han encontrado una correlación significativa baja-moderada entre diversas tareas de RM bidimensional y tareas matemáticas de conteo (niños: $r = .51$; niñas: $r = .31$) en preescolares (Wong, 2017); ejercicios de comparación de magnitudes simbólicas y no simbólicas, y de conocimientos numéricos ($r = .37 - .58$) entre los 4 y 7 años (Hawes et al., 2017); ejercicios de términos ausentes ($r = .34$) y aritmética no verbal ($r = .30 - .50$) en

escolares con edades entre 6 y 8 años (Hawes et al., 2015); y, operaciones básicas y funciones espaciales numérico-lógicas²³ ($r = .34$) y habilidades de geometría ($r = .29$) en niños y niñas de 8 años (Frick, 2018). Algunas investigaciones han encontrado incluso correlaciones mayores. Por ejemplo, los estudios de Hawes y colaboradores han encontrado una alta correlación ($r = .63$) entre una tarea de RM bidimensional con letras y ejercicios matemáticos de términos ausentes (Hawes et al., 2015), y más recientemente han observado en un grupo de edades que abarcan desde los 4 a los 11 años correlaciones de moderadas a altas ($r = .47 - .69$) entre tareas que implican la RM y ejercicios básicos de tipo numérico (comparación numérica simbólica/no simbólica y tareas ordinales) y matemáticos (aritmética, fracciones, proporciones, decimales, geometría, etc.) (Hawes, Moss, Caswell, Seo y Ansari, 2019). Por tanto, el panorama en cuanto a los estudios de correlación entre RM y matemáticas parece ser bastante heterogéneo. El grupo de edad estudiado, así como las tareas utilizadas para evaluar la RM y las matemáticas (aritméticas), podrían ser aspectos relacionados con esta variabilidad en los resultados de correlación.

En cuanto a la relación entre la ansiedad espacial y el rendimiento de la RM, un aspecto escasamente investigado hasta el momento, el presente estudio ha mostrado una correlación negativa entre estas dos variables, de manera que los niños y niñas con

²³ Tareas que consisten en completar secuencias numéricas, contar magnitudes, contar cubos o estimar longitudes de línea.

mayor ansiedad espacial parecen tener un peor desempeño en la tarea de RM. Sin embargo, esta correlación inversa no llegó a alcanzar un nivel de significación. Un estudio que sirve como punto de partida al nuestro, por haberse realizado en un grupo de edad similar, es el de Ramirez et al. (2012). Estos autores no encontraron un papel directo de la ansiedad espacial sobre la habilidad espacial de RM, es decir, la correlación negativa entre ansiedad y rendimiento espacial no se producía en todos los niños y niñas, sino solo en aquellos con una capacidad de memoria de trabajo más alta (por cierto, de tipo verbal, no visoespacial), así como en el grupo de niñas. Por tanto, el estudio de Gerardo Ramirez y colaboradores apunta a la memoria de trabajo como un factor mediador entre la ansiedad espacial y la capacidad de RM, especialmente en el sexo femenino.

En otro estudio realizado por Wong (2017) a población preescolar, tampoco se ha obtenido una correlación directa entre la ansiedad espacial y la habilidad de RM. Más bien, los resultados sugieren un papel moderador de la ansiedad espacial, de modo que parece relacionarse solo si la RM se correlaciona con tareas matemáticas de conteo.

En nuestro estudio, tampoco hemos observado una correlación significativa entre ansiedad espacial y la habilidad de RM, ni tampoco diferencias de sexo en la ansiedad espacial, tal y como habían encontrado Ramirez y colaboradores, aunque sí es cierto que el sexo femenino obtuvo mayores puntuaciones en el cuestionario de ansiedad espacial, que se extendió a ambos grupos, control y experimental. A diferencia del estudio de Ramirez et al. (2012), nosotros no hemos evaluado la memoria de trabajo,

por lo que no podemos ampliar nuestras conclusiones, como hicieron estos autores, y conocer cuál es la relación en aquellos sujetos con una mayor memoria de trabajo.

Resulta relevante discutir que la relativa discrepancia entre los resultados obtenidos en el presente estudio con respecto al de Ramirez et al. (2012) puedan deberse a la interpretación de los escolares sobre sus sentimientos de nerviosismo ante las diversas actividades espaciales planteadas en el cuestionario. De hecho, en nuestro grupo de edad, preferimos usar la palabra "dificultad" para realizar una tarea específica. Además, es posible que algunas de las preguntas en el cuestionario no se refieran a una situación puramente espacial, implicando otras habilidades como las matemáticas (e.g., indicar cuál de diferentes formas corresponde a un rectángulo), habilidades verbales (i.e., aportar una explicación sobre cómo llegar de casa al colegio) o de conocimiento general (e.g., dificultad que supone marcar una ubicación en un mapa geográfico), diluyendo los resultados relativos a la correlación entre los factores espaciales cognitivos y emocionales. En nuestra opinión, la inclusión de preguntas en situaciones espaciales más específicas –e.g., la facilidad para imaginar rotaciones de objetos, visualizar diferentes perspectivas, etc. – o situaciones espaciales de la vida cotidiana (facilidad para comprender un mapa o las instrucciones de plano de montaje de bricolaje sin tener que girar la información proporcionada) podrían proporcionar aspectos espaciales adicionales a este cuestionario. En este sentido, Lyons et al. (2018) han desarrollado un cuestionario para analizar la ansiedad espacial, el cual está compuesto de 24 preguntas haciendo referencia a situaciones para valorar cuán de

ansioso se siente una persona en el ámbito espacial. En este cuestionario se plantean ocho situaciones de manipulación espacial (p. ej., “imaginar y rotar mentalmente una figura tridimensional”), de reconocimiento espacial (p. ej., “crear un dibujo que reproduzca los detalles de una fotografía con la mayor precisión posible”) y de navegación espacial (p. ej., “encontrar el camino de regreso al hotel después de haberse periodo en una nueva ciudad”). Este tipo de preguntas podrían valorar con mayor precisión la ansiedad o frustración hacia tareas que en sí mismas tienen una naturaleza más espacial, que las situaciones del cuestionario de Ramirez et al. Sin embargo, en nuestra investigación no pudimos usar este cuestionario por llevarse a cabo previamente a la validación del cuestionario desarrollado por Lyons y colaboradores.

Recientemente, Sokolowski et al., (2019) han tratado de explicar las diferencias de sexo tan reconocidas en la ansiedad matemática, valoraron el rol del procesamiento espacial a través de pruebas cognitivas y emocionales (ansiedad espacial). Los autores, que utilizaron con jóvenes universitarios el mencionado cuestionario de ansiedad espacial de Lyons et al. (2018), sí que han encontrado que la RM correlaciona con la ansiedad espacial hacia tareas que implican la manipulación mental de información espacial y la navegación espacial.

Otro factor que se ha relacionado en la literatura con las diferencias individuales de género en el procesamiento visoespacial es la experiencia previa con nuevas tecnologías y videojuegos, que se han atribuido más bien al sexo masculino. Quaiser-Pohl et al. (2006), encontraron que los adolescentes y jóvenes del sexo masculino tienen

una mayor frecuencia de interacción con los videojuegos que el sexo femenino, especialmente con los juegos de "simulación-acción", y que además el mejor rendimiento en la tarea de RM (evaluada con el MRT de Peters et al., 1995) por parte de los chicos podía atribuirse a su mayor interacción con los videojuegos. La relación entre experiencia con videojuegos y rendimiento en RM solo se encontró en el sexo masculino. En la investigación que llevaron a cabo Terlecki y Newcombe (2005) a adultos universitarios, las autoras de este estudio también encontraron una mayor experiencia con ordenadores (incluyendo videojuegos) en el sexo masculino, y que tal experiencia influía en las diferencias de género en las tareas de RM, de manera que los participantes con más experiencia en estas tecnologías obtenían mejores puntuaciones en el MRT de Michael Peters y sus colaboradores. En nuestra investigación se ha encontrado una mayor interacción con los videojuegos en el sexo masculino, sin embargo, no hemos observado una correlación entre la experiencia con videojuegos y la tarea de RM utilizada. Estas diferencias podrían deberse a las propiedades del cuestionario y de la tarea de RM usadas en la presente investigación. El cuestionario utilizado valoró únicamente la experiencia con videojuegos, a diferencia del SSRA que valora varias experiencias espaciales, entre otras las que implican el uso de ordenadores y de videojuegos. En cuanto a la tarea de RM, el EFAI-E podría presentar diferentes propiedades psicométricas a las del célebre MRT de Peters et al. (1995) que ha sido utilizado en los dos estudios mencionados.

En cuanto a la experiencia con videojuegos, llama la atención la correlación negativa entre el CVJ y el EFAI-E, de manera que rinden mejor en la tarea espacial los escolares que menos interacción tienen con videojuegos, en contra de lo esperado. En este caso, con estas medidas sobre la experiencia con videojuegos no sabemos el grado de causalidad de este factor. Quizás, la forma en la que se han otorgado las puntuaciones en el cuestionario CVJ no haya sido la más correcta, en el sentido de que se asignó una menor puntuación a los que jugaban los dos días del fin de semana (dos puntos), que a los que jugaban todos los días entre semana (cuatro puntos). Sin embargo, los participantes podrían haber dedicado más tiempo u horas de juego a lo largo del fin de semana, y de ser así, la forma en la que se asignaron las puntuaciones en el CVJ habría sesgado los resultados de esta variable. En este sentido, quizás hubiera sido más acertado preguntar a los participantes por las horas diarias de juego, tal y como han realizado Contreras et al. (2018) quienes registraron en su estudio con estudiantes universitarios de Arquitectura y de Matemáticas el tiempo, medido como horas diarias, dedicado a juegos de ordenador en 3D.

También nos parece interesante hacer mención de la correlación inversa encontrada entre el CVJ y el rendimiento matemático, asociado quizás a que aquellos participantes que menos interaccionan con este tipo de actividades lúdicas pudieran dedicar más tiempo al estudio de las matemáticas. Pero esto no deja de ser una mera conjetura, ya que la correlación entre videojuegos y las matemáticas solo se observó para aquellos ejercicios numéricos que requerían la comprensión de tablas y figuras.

Para poder profundizar en ese resultado se necesitaría otra información adicional, por ejemplo, relativa a aspectos socioculturales.

2.5.5. Rendimiento durante el PERM y ganancias obtenidas en la habilidad de RM según el nivel espacial de partida

El último objetivo de esta investigación era examinar las posibles diferencias individuales en el rendimiento a través de las diferentes sesiones del programa de entrenamiento de RM, así como en la tarea final (post-entrenamiento) en función del nivel espacial inicial o de partida. Para ello se analizó la precisión (tasa de aciertos) y los tiempos de reacción (TR) a través de las diferentes sesiones en función del nivel espacial de partida (i.e., participantes divididos por bajo y alto rendimiento espacial, utilizando la mediana como punto de corte).

En cuanto a la precisión, en general²⁴ se ha encontrado que la tasa de aciertos es mayor en el grupo de participantes con mayor rendimiento espacial (\downarrow HE = 75% vs. \uparrow HE = 82%). Sin embargo, el análisis individualizado de cada sesión solo ha encontrado diferencias significativas entre estos grupos en la primera y en la última sesión. En cualquier caso, no se ha obtenido una interacción entre el tiempo de evaluación y el

²⁴ Cuando usamos este término a lo largo de este epígrafe nos referimos al cómputo global de las tres sesiones.

nivel de habilidad espacial, lo cual denota que ambos grupos tuvieron un rendimiento similar a través de las tres sesiones.

Respecto a investigaciones realizadas sobre las mejorías que puede producir un entrenamiento en personas con bajos y altos recursos, el estudio de Sims y Mayer (2002) encontró en expertos jugadores del videojuego *Tetris* que estos tenían un rendimiento equiparado al de jugadores inexpertos, pero solo cuando en el entrenamiento se usaban estímulos similares a los del videojuego original. En este sentido es probable que los escolares de nuestro estudio con bajas y altas capacidades hayan diferido en el rendimiento de la tarea espacial de evaluación (EFAI-E), y también en la precisión o tasa de aciertos de la tarea espacial de entrenamiento (PERM), porque ambas tareas comparten procesos y representaciones cognitivas similares, un aspecto que Sims y Mayer (2002) han propuesto para explicar la transferencia de una tarea a otra diferente.

La tasa de aciertos fue mayor en el grupo de niñas, tanto para la muestra total del grupo de entrenamiento, como por nivel de habilidad espacial, y esto ha sido consistente a través de las sesiones, pero sin llegar a un nivel de significación. Además, tanto niños, como niñas tuvieron un rendimiento comparable en la tasa de aciertos a lo largo de todo el programa, por lo que no se encontró una interacción entre los factores tiempo y sexo (niños = 77% vs. niñas = 80%).

Es interesante comprobar que la precisión disminuyó progresiva y significativamente desde la primera a la tercera sesión, en ambos grupos según el nivel

de habilidad espacial, y también en ambos sexos. Pensamos que esta disminución en la precisión de la tarea conforme avanzaba el programa de entrenamiento, pueda deberse a un incremento en el nivel de dificultad de la tarea en cada una de las sesiones.

Respecto a los tiempos de reacción (TR), en general se ha encontrado que estos son mayores en el grupo de participantes con menor rendimiento espacial, lo cual denota que este grupo de escolares se toma un mayor tiempo para analizar la tarea de rotación. Sin embargo, esta diferencia en los TR de ambos grupos no llegó a ser significativa (\downarrow HE = 5113 ms. vs. \uparrow HE = 5041 ms.). Además, ambos grupos describieron un rendimiento similar a lo largo del programa de intervención, de forma que los participantes con bajas y altas habilidades espaciales incrementaron progresivamente sus TR a través de las tres sesiones de entrenamiento.

El perfil de TR a través de las diferentes sesiones y entre ambos sexos tampoco difirió, tan solo se vió un efecto marginal en la última sesión, debido a un incremento significativo en los TR de la primera a la última sesión en el grupo de las niñas, y un descenso progresivo –no significativo– en los TR de los niños a través de las diferentes sesiones. Los mayores TR en el grupo de niñas que se asocian a un mayor tiempo para ejecutar la tarea de rotación, podrían resultar en la mayor tasa de aciertos que se comentaba previamente.

Si bien no se han observado diferencias significativas entre los TR de los niños y las niñas, resulta interesante comprobar que en general los TR han sido menores en el sexo masculino (niños = 4817 ms. vs. niñas = 5338 ms.), un hallazgo similar al obtenido por

Wiedenbauer y Jansen-Osmann (2008), quienes encontraron en escolares de 10 y 11 años que los tiempos de reacción de los niños en una tarea de RM eran menores que los de las niñas. Además, en nuestro estudio las niñas con mejores habilidades espaciales fueron las que necesitaron más tiempo para responder (mayores TR que el resto de los grupos), y precisamente este grupo de niñas fue el que mayor tasa de aciertos obtuvo durante las tres sesiones de entrenamiento, aunque sin alcanzar un nivel de significación respecto al resto de los grupos. Por el contrario, el grupo de niños con mejores habilidades espaciales fue el que más rápido respondió a lo largo de todo el programa de entrenamiento. Sin embargo, esto no supuso que fuera el grupo de escolares con peor rendimiento, en cuanto a tasa de aciertos se refiere, ya que fue el grupo con mayor precisión después de las niñas con altas habilidades espaciales.

Estos resultados se ajustan a la reflexión de Maccoby y Jacklin (1974), quienes sugirieron que las mujeres son más lentas y reflexivas. Por su parte, Kail, Stevenson y Black (1984) también observaron en estudiantes universitarios que el sexo masculino trabajaba más rápido (i.e., menores tiempo de respuesta) con estímulos rotados en el PMA (Thurstone, 1938), pero ambos sexos no difirieron en la frecuencia con la que utilizaban varios procesos para resolver el tipo de tarea espacial.

Si bien en nuestro estudio desconocemos la estrategia utilizada por los participantes, sí que hemos encontrado que la tasa de aciertos es similar en ambos sexos. Conviene mencionar, también, la posible influencia que ha tenido el diseño y la forma de administrar las dos tareas espaciales de nuestro estudio: la prueba de

evaluación (EFAI-E) en formato de papel-lápiz y en condiciones de tiempo limitado; y la tarea de entrenamiento (PERM) en formato informatizado y en condiciones de potencia (sin restricción de tiempo). Aunque el rendimiento ha sido similar en ambos sexos para las dos tareas espaciales de nuestro estudio (EFAI-E y PERM), se observa un rendimiento diferente en cada una de las pruebas para ambos sexos, de manera que las niñas del grupo experimental tuvieron un mejor rendimiento en la tarea de RM informatizada en condiciones de potencia (PERM), pero una peor ejecución en la tarea de RM de papel y lápiz en condiciones de tiempo límite (EFAI-E), un hallazgo que podría estar en la línea de los resultados encontrados por Saccuzzo, Craig, Johnson y Larson (1996), que encontraron que solo en las pruebas de RM con ordenador las mujeres mejoraban con la práctica tanto como los hombres; sin embargo, de manera más específica, esta mejora se daba en formato de tiempo límite.

Las tendencias o patrones en las respuestas, o como prefirieron denominarlos Goldstein, Haldane y Mitchell (1990), factores de rendimiento (*performance factors*), fueron analizados por primera vez por estos autores. En su investigación a estudiantes universitarios, estos autores encontraron que, cuando la prueba MRT V-K se administraba y se puntuaba de la forma convencional, es decir, con restricción de tiempo y considerando las puntuaciones brutas del MRT, el rendimiento era significativamente superior en los hombres, pero cuando se eliminaba el límite de

tiempo (condición de potencia) o se consideraba la puntuación *ratio*²⁵ el rendimiento en ambos sexos era similar. Estos hallazgos han sido corroborados en estudios posteriores que han encontrado resultados similares en adolescentes (Gallagher y Johnson, 1992) y adultos (Voyer, 1997). Otras investigaciones, sin embargo, no han apoyado la influencia de factores procedimentales en las diferencias de rendimiento entre ambos sexos (Delgado y Prieto, 1996; Lohman, 1986; Masters, 1998).

En algunas investigaciones que han planteado la posibilidad de minimizar la brecha en las diferencias individuales tras una intervención, se ha encontrado, por ejemplo, que personas que parten con menores capacidades cognitivas se pueden beneficiar más aún de un entrenamiento que aquellas con niveles de partida superiores, tal y como se ha demostrado en estudios sobre mejorías de atención dividida (Baniqued et al., 2014), memoria de trabajo (Karch et al., 2015), proceso lector (García-Madruga et al., 2013), e incluso de razonamiento espacial (David, 2012).

Pero, en la literatura sobre intervenciones en RM es poco habitual encontrar investigaciones que hayan tratado cómo es el rendimiento a través de un programa de entrenamiento en función de las diferencias individuales, y menos frecuentemente aún en población escolar. En los estudios centrados sobre diferencias de sexo en RM, tal y como hemos venido viendo a lo largo de este trabajo, se han encontrado ciertas discrepancias, porque algunos estudios sostienen que las intervenciones espaciales

²⁵ La *ratio* corresponde a la relación entre el número de ensayos correctos y el número de ítems intentados. Los autores decidieron incorporar este método de puntuación tras comprobar que las mujeres obtenían menos ítems respondidos que los hombres en el MRT.

minimizan las diferencias de género, mientras que otros no encuentran que la brecha de género en rendimiento espacial llegue a reducirse.

En cuanto a las diferencias de sexo en el rendimiento espacial, nuestros resultados convergen con los de aquellos estudios realizados en escolares donde se ha observado que ambos sexos se benefician en la misma medida tras un programa de entrenamiento en razonamiento espacial (Chien, 1986; Hawes et al., 2017; Lowrie et al., 2017; Shavalier, 2004). Aunque los niños han mostrado mayores incrementos de la habilidad espacial tras el entrenamiento, y esto se ha dado en ambos perfiles de habilidades espaciales, es decir en los grupos de participantes con bajo y alto nivel de habilidad espacial, las diferencias en las ganancias no llegaron a ser significativas.

Una investigación reciente realizada por Contreras et al. (2018) en universitarios de Matemáticas y de Arquitectura encontró diferencias significativas en los incrementos pre–postest entre los grupos de altas y bajas habilidades en una tarea Vz, únicamente en el grupo de estudiantes de matemáticas, donde mejoraron más aún aquellos con un nivel inicial más bajo de Vz.

Los resultados de nuestro estudio convergen parcialmente con los de estos autores, ya que los escolares con bajas habilidades espaciales obtuvieron ganancias similares en la habilidad espacial –evaluada antes y después del entrenamiento– a aquellos niños y niñas con altas habilidades espaciales.

2.5.6. Limitaciones del estudio y futuras líneas de investigación

A continuación, se discuten ciertas limitaciones del presente estudio que pueden ser consideradas de cara a la realización de investigaciones futuras sobre esta temática. Una de estas limitaciones es la duración relativamente corta del programa de entrenamiento, que podría tener repercusiones en sus efectos tanto en la durabilidad, como en la transferencia del aprendizaje hacia otras actividades de la vida cotidiana. Los efectos de transferencia de la habilidad espacial a la matemática no ocurren de forma repentina / inmediata. Por tanto, recomendamos que se realicen futuros trabajos longitudinales, similares al de Frick (2018), pero dentro del campo de entrenamiento de habilidades espaciales específicas (RM u otras), para estudiar cómo se produce la transferencia de la aptitud espacial entrenada a tareas matemáticas específicas y en diferentes etapas de desarrollo, comparando la posible transferencia entre estos dominios cognitivos en un grupo de entrenamiento en comparación con otro que no realiza entrenamiento espacial alguno. Esto podría estar en la línea de la sugerencia realizada por Andrea Frick en 2018, quien señaló que "alcanzar una mejor comprensión de los subcomponentes específicos de la aptitud espacial, así como de su desarrollo y de sus consecuencias tempranas para el éxito posterior en matemáticas, podría ser fundamental para desarrollar objetivos e intervenciones bien dirigidas" (Frick, 2018, p. 2).

La influencia de otros factores no evaluados en el presente estudio, como las habilidades lingüísticas, podría ser un aspecto relevante para comprender mejor las variables que influyen en el aprendizaje y la mejora de las habilidades espaciales y su transferencia al rendimiento matemático. Por lo tanto, sería recomendable incluir pruebas que evalúen aspectos lingüísticos para controlar su influencia en las diferencias individuales en el rendimiento matemático, especialmente en problemas aritméticos de enunciado verbal. Otro ejemplo interesante podría ser el de los auto-informes sobre el rendimiento antes y después del entrenamiento. Los resultados muestran que los niños y las niñas han tenido un rendimiento similar en nuestro programa de entrenamiento, pero ¿cómo lo han percibido los propios escolares? ¿Qué piensan los propios participantes sobre su efectividad y su rendimiento espacial? Esto sería otro aspecto sugestivo que podría ser explorado en futuras investigaciones, dado que existe una influencia de los estereotipos en la modulación de las diferencias de sexo (Moè, 2012, 2016).

Finalmente, cabe señalar como una limitación importante el tamaño reducido de la muestra de este estudio, que podría afectar fundamentalmente a las conclusiones relativas a los análisis de correlación, de manera que algunos resultados inesperados en algunas relaciones entre variables podrían estar afectados por la muestra tan limitada. Otro resultado que podría haberse visto afectado a consecuencia del tamaño tan reducido en el número de participantes podría ser el relativo a la ausencia de diferencias de sexo en la habilidad matemática, aunque es cierto que la literatura sobre este tema

ha demostrado que las diferencias de sexo en la aptitud matemática en esta etapa de desarrollo son extremadamente pequeñas (d de Cohen = .07; véase Reilly et al., 2015).

2.6. Conclusiones

En lo que respecta a las contribuciones de este estudio, este trabajo es una de las primeras investigaciones en la etapa de la niñez intermedia que analiza varios aspectos. Hasta la fecha, únicamente las investigaciones de Cheng y Mix (2014) y Hawes et al. (2015) han evaluado a niños de entre 6 y 8 años la influencia que puede tener una intervención de la RM en el área de las matemáticas, pero estos estudios no han considerado otros factores como las diferencias de sexo.

En la presente investigación, hemos evaluado el grado de mejora proporcionado por un programa informático para la práctica de RM, incluyendo en el estudio un GC – un aspecto clave que no siempre se ha considerado en el entrenamiento espacial– y la posible relación entre la RM y la competencia matemática en niños y niñas de 7 y 8 años.

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación se podrían extraer las siguientes conclusiones:

1. Se ha encontrado una mejora significativa en la RM del grupo de entrenamiento respecto al grupo de control.

2. Respecto a las diferencias de sexo en la habilidad espacial de RM, no se han observado diferencias entre ambos sexos en la RM antes del entrenamiento. En cuanto al efecto del entrenamiento, la inteligencia parece controlar las diferencias de sexo, de manera que si esta variable se introduce en el análisis ambos sexos mejoran por igual, pero al controlarla o dejarla fuera, el incremento es significativamente mayor en el grupo de niños.
3. El entrenamiento de RM no ha producido una transferencia hacia la aptitud numérica o las tareas de tipo aritmético.
4. El entrenamiento de RM ha producido una mejora en la inteligencia, que se ha expresado porque el GE ha mejorado significativamente más respecto al GC en las puntuaciones del Raven (inteligencia) en la fase posttest.
5. Se ha observado una correlación positiva significativa de inteligencia con las aptitudes espacial y numérica, y entre la capacidad espacial y la numérica.
6. Se ha hallado una correlación negativa significativa entre la ansiedad espacial y el rendimiento en ejercicios matemáticos con contenido gráfico del tipo tablas y figuras.
7. También, se ha observado una correlación entre un mejor rendimiento en este tipo de tareas numéricas y una menor experiencia con videojuegos.
8. Se han encontrado diferencias de género en cuanto a la experiencia con videojuegos, de manera que los niños interactúan más con este tipo de actividades que las niñas.

9. En relación al rendimiento en el Programa de Entrenamiento de Rotación Mental (PERM) se ha encontrado que, en general, la tasa de aciertos ha sido significativamente mayor en el grupo de escolares con mejores habilidades espaciales de partida. En general, la tasa de aciertos también ha sido mayor en niñas que en niños, pero sin alcanzar niveles de significación.
10. En general, los TR en el PERM han sido mayores en las niñas que en los niños, así como en los participantes con menor nivel de HE respecto a aquellos con mayor rendimiento espacial, aunque no ha habido diferencias significativas, ni por grupos de sexo, ni por nivel HE.
11. En el PERM, se ha encontrado un efecto del factor “tiempo” en la tasa de aciertos, que se explica por una disminución de la precisión a través de las diferentes sesiones para todo el grupo de intervención.
12. En cuanto a las ganancias obtenidas en la habilidad de RM según el nivel espacial de partida, se ha encontrado que el grupo de escolares con menor nivel de habilidad espacial (HE) se beneficia más del entrenamiento, mostrando mayores incrementos en las puntuaciones en el EFAI-E de la fase pretest a la posttest respecto al grupo con niveles mayores de HE, pero sin alcanzar a niveles de significación.
13. Los incrementos obtenidos en el EFAI-E son mayores en los niños que en las niñas de ambos grupos (bajo y alto nivel de HE), aunque sin alcanzar diferencias significativas.

CAPÍTULO 3

Investigación en
estudiantes de
Secundaria

CAPÍTULO 3

Investigación en estudiantes de Secundaria

3.1. Justificación del estudio

De acuerdo con los estudios previos realizados, y a pesar de la extensa investigación realizada hasta el momento sobre las habilidades visoespaciales, resulta relevante estudiar el rendimiento y el grado de mejora conseguido en ambos sexos a través de un programa informático de intervención visoespacial, más concretamente de la componente de rotación mental, valorando la influencia o la transferencia sobre el aprendizaje de la competencia numérica (aritmética). Además, se valoraría la relación de estas aptitudes cognitivas (espacial y matemática) con factores emocionales – ansiedad espacial– y basados en la experiencia –de videojuegos– en un período de desarrollo crucial, como es la adolescencia.

Cabe destacar que, a lo largo de los niveles escolares que cubren la adolescencia – más concretamente, en el cuarto curso de Educación Secundaria del sistema educativo español–, los estudiantes deben decidir el área que desean estudiar (ciencias / tecnología, humanidades y arte), lo cual es decisivo para su futura trayectoria académica. Así, esta etapa del desarrollo y del aprendizaje puede ser decisiva en la elección de una persona hacia su futura carrera académica.

Además, en relación a esta etapa académica, en el *DECRETO 23/2007, de 10 de mayo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria*, se ha especificado que:

la discriminación de formas, relaciones y estructuras geométricas, especialmente con el desarrollo de la visión espacial y la capacidad para transferir formas y representaciones entre el plano y el espacio contribuye a profundizar la competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico” (B.O.C.M. No. 126, 10 de mayo de 2007, p. 118).

Por todo ello, cualquier intervención de habilidades cognitivas importantes, como la espacial, que ocurra antes o después de esta etapa se vuelve esencial, fundamentalmente cuando la presencia de mujeres es escasa en ciertos grados donde las matemáticas y la ciencia, y por lo tanto el razonamiento visoespacial, son importantes.

Hasta donde sabemos, el presente estudio sería el primero en realizarse en este grupo de edad, y que valorase el entrenamiento de RM y la valoración de sus efectos en algunas variables que podrían tener una relación con esta habilidad visoespacial durante la adolescencia.

3.2. Objetivos e hipótesis

Por tratarse de un estudio paralelo al realizado en escolares, los objetivos e hipótesis de este estudio comparten cierta analogía al de la investigación en niños y niñas de Primaria.

El primer objetivo del presente estudio es evaluar en este grupo de estudiantes el grado de mejora de la habilidad visoespacial después de realizar un programa de entrenamiento informatizado en RM. Según los estudios previos que muestran que la RM puede mejorar después del entrenamiento, se espera que un programa de entrenamiento informatizado incremente esta capacidad visoespacial en un grupo de estudiantes adolescentes, de forma que el grupo experimental se beneficiaría más que el grupo control.

El segundo objetivo es analizar las diferencias promedio de sexo en la habilidad espacial antes y después del entrenamiento. De acuerdo con la bibliografía sobre diferencias de género en RM, el rendimiento de esta habilidad en la fase inicial podría ser similar en ambos sexos o ser mayor en el grupo de los chicos. Adicionalmente, el análisis mostraría que los chicos y chicas se beneficiarían de manera similar con el entrenamiento.

El tercer objetivo es estudiar el efecto que tiene la práctica de RM sobre una de las competencias matemáticas, la aritmética, así como la relación entre ambas habilidades. Teniendo en cuenta los resultados de algunas investigaciones que han mostrado el

efecto que tiene la práctica con tareas relacionadas con la rotación y transformación mental de objetos sobre el rendimiento matemático, nuestra hipótesis es que podría haber un efecto de transferencia de la competencia espacial a la matemática.

El cuarto objetivo es examinar si los estudiantes con mayor ansiedad para realizar tareas espaciales presentan un peor rendimiento de la tarea visoespacial, en base a algunos hallazgos de este tipo obtenidos en la literatura. En este sentido, se espera que se presente una correlación negativa entre la ansiedad espacial y la habilidad de RM.

El quinto objetivo es valorar la relación entre la experiencia con videojuegos. En la misma línea que planteábamos en escolares, se espera una mayor experiencia con los videojuegos en el grupo de los chicos, y en general los participantes (chicas o chicos) con una mayor experiencia con videojuegos realizarán mejor la tarea visoespacial.

Finalmente, el sexto objetivo es analizar en el grupo experimental la progresión a través de las diferentes sesiones de entrenamiento, esperando que el grupo de chicos y chicas con un rendimiento inferior en la prueba espacial previa al entrenamiento alcancen un nivel comparable, en términos de ejecución en la tarea de entrenamiento (tasa de aciertos y tiempos de reacción) y en la tarea de evaluación post-entrenamiento, a los chicos y chicas del GE con puntuaciones superiores de partida en la tarea espacial.

3.3. Método

3.3.1. Participantes

Este estudio implicó la participación de 58 estudiantes de tercer curso de Educación Secundaria del Colegio CEU-San Pablo de Montepríncipe (Boadilla del Monte, Madrid), con un nivel sociocultural medio-alto. De todos los estudiantes evaluados, hubo 13 participantes del CG y del GE que no se incluyeron en los análisis finales por no completar algunas partes del estudio (pre, intervención, postest). Finalmente, se analizaron los resultados de 45 estudiantes de 14 y 15 años (chicos: $n = 23$, $M = 14.3$, $DT = 0.40$; chicas: $n = 22$, $M = 14.4$, $DT = 0.45$). Los participantes se distribuyeron al azar en dos grupos: Grupo Experimental (GE), con un total de 21 estudiantes ($M = 14.3$ años, $DT = 0.44$; 11 niños y 10 niñas); y Grupo Control (GC), con 24 estudiantes ($M = 14.3$ años, $DT = 0.41$; 12 niños y 12 niñas). El comité de Ética de la UNED aprobó el estudio, y se facilitó un consentimiento informado por escrito a cada uno de los participantes, de acuerdo a la Declaración de Helsinki.

3.3.2. Materiales

3.3.2.1. Matrices progresivas de Raven (*Standard Progressives Matrices*, Raven et al., 1996)

Se trata del mismo instrumento utilizado en escolares, y su aplicación se llevó a cabo exactamente igual que en ese grupo de edad (véase la descripción de la prueba y forma de aplicación en la anterior sección de “Materiales” del estudio en niños y niñas de 7 y 8 años).

3.3.2.2. Prueba de aptitud espacial “E” del EFAI-3 (Santamaría et al., 2005)

Se trata de la subprueba espacial que forma parte de la batería de pruebas de la Evaluación Factorial de Aptitudes Intelectuales (Santamaría et al., 2005), y que es análoga a la descrita en el estudio con escolares. Para el estudio de las habilidades espaciales en este grupo de adolescentes se ha utilizado el Nivel 3, que es el recomendado para participantes con edades comprendidas entre 12 y 15 años, y adultos. Los estudios realizados por Santamaría et al. indican que la habilidad espacial de este nivel (EFAI-3) presenta índices de fiabilidad de 0.71 (Santamaría et al., 2005). El EFAI- 3 “E” difiere en algunos aspectos respecto al EFAI-1 “E”. Por ejemplo, este nivel consta de 27 ejercicios de evaluación más dos ejemplos de práctica. Además, el nivel de dificultad es sustancialmente mayor respecto al Nivel 1 del EFAI, porque en esta ocasión

la tarea requiere que el participante combine la figura rotada de las opciones de respuesta con otras piezas ya colocadas en el *target* de referencia para que se complete el puzle de referencia (Figura 17). Por lo demás, la tarea del participante es la misma que se describía en el estudio con escolares, disponiendo también de seis minutos, y otorgándole al participante un punto por cada respuesta correcta, por lo que la puntuación máxima de la prueba es de 27 puntos.

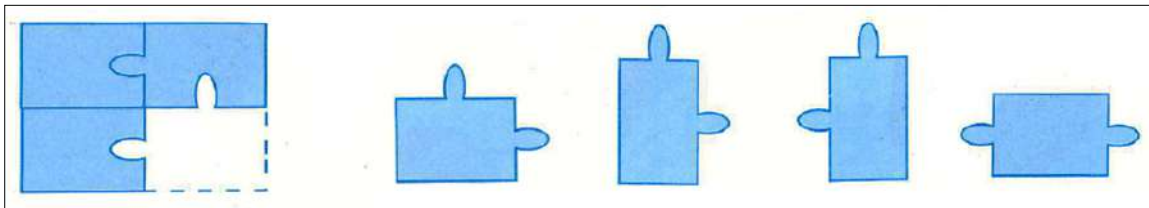


Figura 17. Ejemplo de un ejercicio de la fase de práctica de la prueba de aptitud espacial “E” del EFAI-3. Reimpreso con permiso de Santamaría et al., 2005). Copyright 2005 por TEA Ediciones.

3.3.2.3. Prueba de aptitud numérica “N” del EFAI-3 (Santamaría et al., 2005)

Se trata de la subprueba análoga al EFAI-1 “N”, descrita en el estudio de escolares. Para este nivel 3 (recomendado para sujetos con edades de 12 a 15 años, y adultos), los autores han encontrado índices de fiabilidad de 0.77 en esta tarea. La prueba incluye tres ejemplos y 24 ejercicios de evaluación, e igualmente cada uno de ellos cuenta cuatro respuestas posibles, pero con una sola respuesta correcta. En este nivel los ejercicios también requieren las tres categorías o tipos diferentes de tareas cuantitativas

o numéricas que en el nivel 1: operaciones aritméticas (Figura 18, E3), problemas de cálculo en formato verbal (Figura 18, E4), y problemas numéricos en formato de tabla o gráfico (Figura 18, E5). La duración de la prueba es también de 14 minutos (al igual que en el nivel 1 del EFAI-N), y a cada respuesta correcta se le asigna un punto, por lo que la puntuación máxima de la prueba en este nivel es de 24 puntos.

En otro tipo de problemas pondrás a prueba tu capacidad de trabajo con números. Para eso verás distintos tipos de ejercicios numéricos que deberás resolver. Mira algunos ejemplos:


E3 ¿Cuál de las siguientes respuestas es mayor?

A 2^2 **B** 3×2 **C** $5 - 3$ **D** $8 : 4$

E4 Juan tiene tres años más que María y ésta tiene dos años más que Elena. Si Elena tiene 14 años, ¿cuántos años tiene Juan?

A 9 **B** 16 **C** 17 **D** 19

E5 ¿Cuánto recorrerá una persona que dé una vuelta completa a este campo?



A 25 m.
B 12,5 m.
C 30 m.
D 20 m.

Figura 18. Ejemplo de un ejercicio de la fase de práctica de la prueba de aptitud numérica “N” del EFAI-3. Reimpreso con permiso de Santamaría et al., 2005). Copyright 2005 por TEA Ediciones.

3.3.2.4. Cuestionario de ansiedad espacial (adaptado de Ramirez et al., 2012)

Es el mismo cuestionario descrito en el estudio de escolares, pero readaptado para que las actividades o conceptos espaciales incluidos en cinco de los ítems del cuestionario quedaran ajustados al nivel de edad evaluado (véase ANEXOS 4A y 4B). Los ítems que se modificaron fueron los siguientes: ítem #2 (construir un puzle de 250 piezas, en lugar de una casa de *LEGO*); ítem #4 (reconocer un lugar en un mapa de Europa, en lugar de un mapa de España); ítem #5 (reconocer la mediatriz de segmentos, en lugar de un rectángulo entre diversas formas), ítem #6 (realizar un laberinto de mayor dificultad respecto al mostrado en escolares); e ítem #7 (calcular ángulos y distancias entre dos puntos, en lugar de medir con una regla). La manera en la que se administra y se asignan las puntuaciones es igual que en escolares.

3.3.2.5. Cuestionario sobre la experiencia y preferencia de videojuegos (CVJ)

Se trata del mismo cuestionario utilizado en el grupo de niños y niñas de 7 y 8 años. La manera en la que se administra y se asignan las puntuaciones es exactamente igual que se indicaba en escolares (véase ANEXO 2).

3.3.2.6. Programa de Entrenamiento de Rotación Mental (PERM)

En este grupo de edad, también se realizó un estudio piloto a cuatro participantes para ajustar la tarea de entrenamiento en RM a un diseño adecuado para los propósitos y para la edad de estudio, y para evaluar la fatiga, dificultad, motivación y tiempo aproximado para realizar la prueba. El diseño fue similar al del programa definitivo, con la salvedad de que los estímulos se presentaron en un ordenador, en formato “.pdf”, y las respuestas fueron registradas por el participante de forma escrita en una plantilla de respuestas.

El diseño de los estímulos del programa de entrenamiento informatizado de RM en dos dimensiones, se realizó con ayuda del software informático *Corel Draw® Graphics Suite X3* (Corel Corporation, 2007). El PERM cuenta con 330 presentaciones – 660 decisiones o respuestas del participante–, y cada presentación consiste en: (1) una figura o molde blanco (*target* o estímulo de referencia) localizado en el lado izquierdo, simulando un molde vacío dentro de una caja gris, y (2) otras dos figuras o estímulos ubicados en el lado derecho, enumerados como "1" y "2", con la misma forma que el *target* de referencia, pero con un color o trama de relleno específico y una orientación diferente. Las figuras con formas geométricas o lineales tienen una perspectiva bidimensional. La orientación de las figuras rotadas es de 90 °, 180 ° ó 270 °, y las figuras que no encajan con el *target* son imágenes en espejo a través del eje X, del eje Y, del eje X más una rotación adicional de 90 °, o del eje X más una rotación adicional de 270°. Los

estímulos fueron rotados 90° , 180° ó 270° en las tres sesiones de entrenamiento²⁶. La dificultad dentro de cada sesión y entre sesiones se incrementó, manipulando la complejidad de las figuras, en cuanto a su simetría, número de estímulos, discontinuidad, etc. (Figura 19).

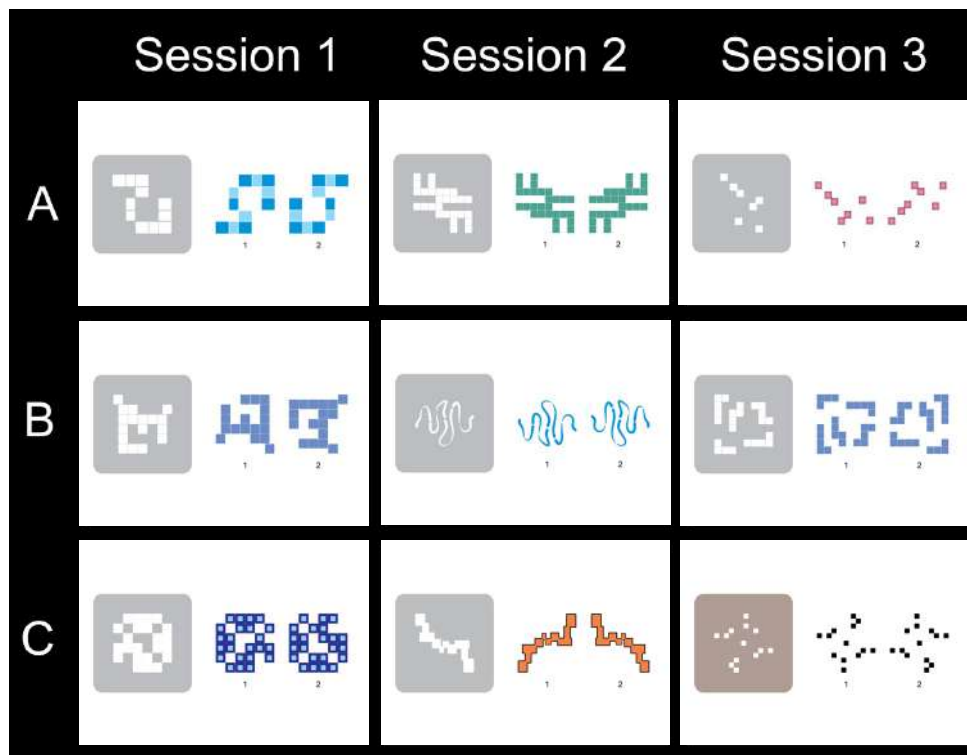


Figura 19. Ejemplos de ensayos utilizados en las tres sesiones del PERM, según las características de las figuras utilizadas: desde más sencillas por su asimetría y relativa sencillez (A), pasando por más complejas por su mayor número de estímulos (B), hasta figuras con mayor simetría y discontinuidad (C).

²⁶ A diferencia de las rotaciones de estímulos del PERM en escolares (ver capítulo 2), que fueron de 90° o 270° en la sesión 1, y de 90° , 270° o 180° en las sesiones 2 y 3.

Los atributos relativos a la orientación de los estímulos rotados (disparidad angular) se contrabalancearon a través de las diferentes fases y sesiones del PERM (véase ANEXO 5A y 5B). La tarea del programa requiere que el participante imagine mentalmente rotaciones para decidir en cada una de las dos figuras "1" y "2" de la derecha si encajan o no en el *target* o molde de referencia de la izquierda cuando se rotan o giran (no cuando se voltean o se reflejan²⁷) (Figuras 19 y 20). En cada lámina o presentación, solo una de las figuras, ambas figuras o ninguna de ellas encajan en el molde de referencia al ser giradas o rotadas (estas posibilidades se contrabalancearon en cada sesión). Por tanto, en cada una de las presentaciones cada participante decide si la figura "1" coincide o encaja en el molde de referencia, respondiendo "1 SÍ" o "1 NO" a través de dos teclas visiblemente designadas en el teclado del ordenador. A continuación, en la misma presentación debe proceder de igual manera con la figura "2", respondiendo "2 SÍ" o "2 NO" (Figura 21). Cada participante respondió pulsando a través de cuatro teclas visiblemente designadas en el teclado del ordenador: "1 SÍ", "1 NO", "2 SÍ", "2 NO". Se utilizó el software informático *E-Prime versión 1.2* (Psychology Software Tools, 2002) para la programación, presentación de estímulos y recopilación de datos del PERM.

²⁷ Cuando nos referimos a las figuras no rotadas del PERM, a lo largo de este trabajo se intercambian los términos "volteo" o "volteo con espejo" que denotan la misma transformación espacial y que, en cualquier caso, no implican una rotación mental por tratarse de una tarea en un formato plano o bidimensional (véase nota al pie de página no.11).

Entrenamiento visoespacial



Figura 20. Fase de práctica del PERM en la que el participante puede observar la rotación progresiva de los estímulos correctos (rotados) justo después de haber dado su respuesta.

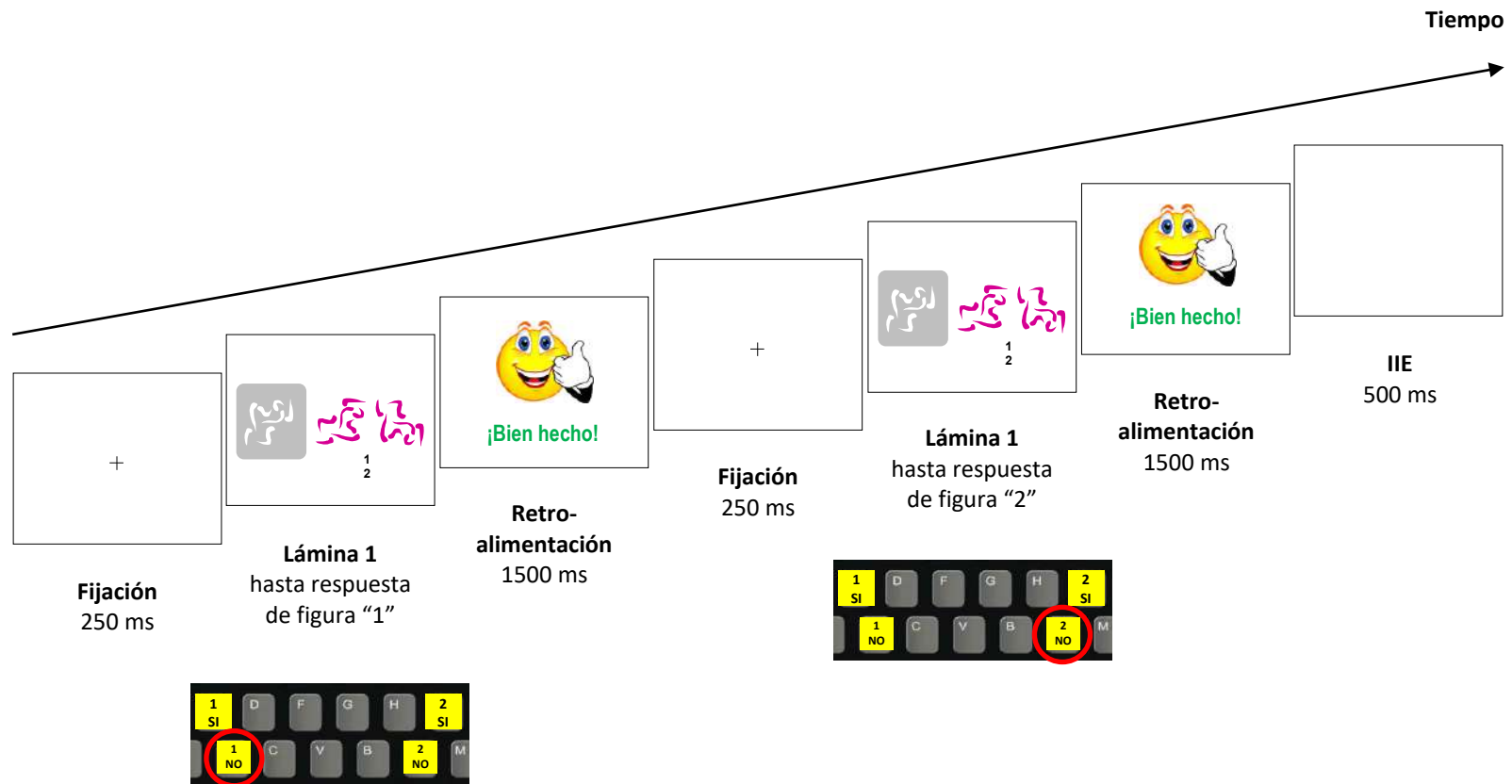


Figura 21. Representación de la secuencia temporal de eventos del entrenamiento con el PERM. IIE: Intervalo entre estímulos.

3.3.3. Procedimiento

Las pruebas descritas en el epígrafe anterior se administraron en cinco días consecutivos, con una sesión por día dentro de una semana, distribuyéndose en tres fases bien diferenciadas.

3.3.3.1. Pretest

Se realizó el primer día en una sala acondicionada para tales efectos (aula de exámenes) con tres examinadores, y las mesas se organizaron individualmente para evitar cualquier tipo de plagio en las respuestas de los participantes (Figura 22). Esta fase tuvo una duración aproximada de unos 120 minutos. Los examinadores observaron discretamente a los participantes para asegurar que las respuestas que daban en las hojas facilitadas se recogían en la forma correcta. También, si los participantes preguntaban la manera en la que tenían que reflejar sus respuestas, los examinadores aclararon sus dudas. El orden de las tareas fue el siguiente, dejando un descanso de cinco minutos entre cada prueba: Matrices progresivas de Raven (versión SPM), subprueba de aptitud espacial "E" (EFAI-3), subprueba de aptitud numérica "N" (EFAI-3),

cuestionario de ansiedad espacial (CSAQ-a) y cuestionario sobre la experiencia y preferencia de videojuegos (CVJ)²⁸.

3.3.3.2. Entrenamiento

El PERM se llevó a cabo colectivamente en la sala de ordenadores del colegio, y cada participante realizó la tarea de manera individual (Figura 23). Solo los participantes del GE llevaron a cabo el PERM en tres sesiones diferentes repartidas en tres días consecutivos, 1 sesión por día, y con una duración aproximada de 40 minutos. Así, la duración total del programa de entrenamiento fue de unos 120 minutos, aunque el tiempo total varió en función de cada participante, ya que no hubo límite de tiempo en la respuesta de cada presentación. Cada sesión del programa constó de dos fases bien diferenciadas. Una de práctica inicial con 10 presentaciones para que los estudiantes se familiarizaran con la tarea y para asegurar que comprendían la actividad. En esta fase, cada respuesta del participante fue seguida de una retroalimentación para que el participante viera si había respondido correcta (se muestra una cara feliz y el texto "bien hecho") o incorrectamente (se presenta una cara triste y el texto "puedes hacerlo

²⁸ A diferencia del estudio en escolares, en este grupo de edad decidimos incluir el cuestionario de ansiedad (CSAQ-a) antes y después del entrenamiento, con el objetivo de valorar la posible disminución de este factor emocional tras la intervención espacial. Además, el cuestionario de videojuegos fue utilizado únicamente en la fase posttest para evitar que la propia intervención espacial en formato informatizado "contaminase" las respuestas del cuestionario.

mejor"), y una animación adicional con la rotación progresiva de cada figura, para confirmar si la figura se ajusta o no al molde de referencia, fortaleciendo la comprensión de la tarea al participante (Figura 20). Previamente a la exposición de cada lámina o presentación se mostró un estímulo de fijación de 250 ms. de duración, y entre la retroalimentación (acierto/error) y el estímulo de fijación de la prueba consecutiva, hubo un intervalo de interestímulo (IIE) de 500 ms. (Figura 21). Antes de cada sesión de entrenamiento, los experimentadores destacaron a los estudiantes la importancia que tenía la precisión y la calidad de las respuestas, más aún que el tiempo que pudieran tardar en responder, y se les animó para que dedicaran el tiempo necesario en hacerlo lo mejor posible. La fase de entrenamiento consistió en 100 presentaciones por sesión en las que los participantes ya no visualizaban la secuencia progresiva de verificación, pero donde sí continuaban recibiendo la retroalimentación relativa a si su respuesta había sido o no la correcta. La fase de entrenamiento tuvo 100 presentaciones o láminas –en la que cada participante debía de realizar 200 decisiones– repartidas en dos bloques de 50 presentaciones, dejando un descanso de 5 minutos entre ambos bloques. Para cada uno de los participantes se registró el número de aciertos y el tiempo de reacción en cada ensayo para cada sesión, y que sirvió para el posterior análisis de las de las diferencias individuales en el rendimiento durante el entrenamiento.

El GC permaneció en su tiempo de descanso (recreo) mientras se llevaba a cabo el programa de entrenamiento en el GC.

3.3.3.3. Postest

Se hizo el último día, en las mismas condiciones y administrando las mismas pruebas que en la fase pretest, con excepción del cuestionario sobre la experiencia y preferencia de videojuegos (CVJ), que no fue necesario repetir.



Figura 22. Momento en el que algunos de los participantes del Colegio “CEU-San Pablo Montepíncipe” realizan una de las pruebas de evaluación durante la fase pretest.



Figura 23. Momento de algunos participantes del grupo experimental del Colegio “CEU-San Pablo Montepíncipe” durante la fase de entrenamiento del PERM.

3.3.4. Análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron con el mismo programa estadístico informático usado en escolares (*SPSS, versión 24.0*; IBM Corp., 2016) y con el nivel de significación de .05. Se realizaron análisis análogos al estudio anterior, considerando algunas variaciones basadas en la forma procedimental. Para confirmar que ambos grupos, y ambos sexos eran comparables en las diferentes pruebas evaluadas, se realizó un ANOVA para las cinco variables dependientes (Raven, EFAI-E, EFAI-N, CSAQ-a y CVJ). Un ANOVA de diseño mixto $2 \times 2 \times 2$ con “grupo” (experimental, control) y “sexo” (niños, niñas) como factores inter-sujetos, y con “tiempo” (pretest, posttest) como factor intra-sujetos se aplicó a las tres variables dependientes EFAI-E, EFAI-N y CSAQ-a para evaluar los posibles cambios en las habilidades espacial y matemática, y en la ansiedad espacial. Adicionalmente, tal y como se procedía en el estudio con escolares (véase capítulo 2) se realizaría el mismo ANOVA $2 \times 2 \times 2$ utilizando las puntuaciones iniciales en inteligencia como covariable para evaluar los efectos principales y las posibles interacciones sobre la variable EFAI-E.

Se realizó un estudio de correlación entre las variables medidas en la fase pretest para la muestra total y otro adicional para el grupo experimental en la fase posttest, a través de una correlación bivariada de Pearson (unilateral).

Para analizar la progresión a través de las diferentes sesiones de entrenamiento en función del nivel de habilidad espacial y del sexo, se llevó a cabo un ANOVA de

medidas repetidas $2 \times 2 \times 2$ con “nivel de habilidad espacial” (bajo, alto) y “sexo” (chicos, chicas) como factores inter-sujetos, y con “tiempo” (sesión 1, sesión 2, sesión 3) como factor intra-sujetos. Este análisis se aplicó a las variables dependientes “tasa de aciertos” (que corresponde al número de ensayos realizados correctamente en cada sesión) y “tiempo de reacción” (tiempo transcurrido entre el comienzo de la presentación del ensayo y la respuesta que da el participante). El nivel de habilidad espacial de los participantes del GE se determinó de acuerdo al rendimiento observado en la prueba espacial (EFAI-E) en la fase previa al entrenamiento, utilizando la mediana como punto de corte.

Finalmente, para analizar en el GE las ganancias obtenidas en el rendimiento espacial (EFAI-E) en función del nivel de habilidad espacial y del sexo, se llevó a cabo un ANOVA de medidas repetidas $2 \times 2 \times 2$ con “nivel de habilidad espacial” (bajo, alto) y “sexo” (chicos, chicas), como factores inter-sujetos, y con “tiempo” (pretest, postest) como factor intra-sujetos.

3.4. Resultados

3.4.1. Análisis preliminares

El análisis preliminar mostró que ambos grupos no difirieron en las puntuaciones de las diferentes tareas evaluadas en la fase de prueba previa [**Raven**: $F(1, 41) = .020$, $MSE = .58$, $p = .89$, $\eta^2_p = .000$; **EFAI-E**: $F(1, 41) = .65$, $MSE = 4.67$, $p = .43$, $\eta^2_p = .016$;

CSAQ-a: $F(1, 41) = .32$, $MSE = 1.03$, $p = .58$, $\eta^2_p = .008$; **CVJ:** $F(1, 41) = 1.25$, $MSE = 2.24$, $p = .27$, $\eta^2_p = .030$], excepto en la habilidad matemática que sí hubo diferencias entre ambos grupos [**EFAI-N:** $F(1, 41) = 6,71$, $MSE = 102$, $p = 0.013$, $\eta^2_p = .14$]. Las comparaciones con Bonferroni mostraron que la puntuación promedio en el EFAI-N fue mayor en el GE respecto al GC (15.40 vs. 12.88; $p = .032$).

Los resultados tampoco revelaron diferencias de sexo para toda la muestra en ninguna de las variables: **EFAI-E:** $F(1, 44) = .088$, $MSE = .63$, $p = .77$, $\eta^2_p = .002$; **EFAI-N:** $F(1, 44) = 1.78$, $MSE = 27.2$, $p = .19$, $\eta^2_p = .042$; **CSAQ-a:** $F(1, 44) = .027$, $MSE = .086$, $p = .87$, $\eta^2_p = .001$; **CVJ:** $F(1, 44) = .060$, $MSE = .11$, $p = .81$, $\eta^2_p = .001$. Sin embargo, se encontró una tendencia hacia la significación en la prueba de inteligencia [**Raven:** $F(1, 44) = 2.49$, $MSE = 72.4$, $p = .12$, $\eta^2_p = .057$], con un mayor rendimiento de las chicas respecto a los chicos en esta prueba (50.66 vs. 47.48; $p = .054$).

En cuanto a las diferencias de sexo x grupo de intervención no se encontraron diferencias en ninguna de las variables evaluadas, salvo en la experiencia previa con videojuegos [**Raven:** $F(1, 44) = .72$, $MSE = 21.1$, $p = .40$, $\eta^2_p = .017$; **EFAI-E:** $F(1, 44) = .19$, $MSE = 1.34$, $p = .67$, $\eta^2_p = .005$; **EFAI-N:** $F(1, 44) = .30$, $MSE = 4.61$, $p = .59$, $\eta^2_p = .007$; **CSAQ-a:** $F(1, 44) = .38$, $MSE = 1.21$, $p = .54$, $\eta^2_p = .009$; **CVJ:** $F(1, 44) = 4.49$, $MSE = 8.04$, $p = .040$, $\eta^2_p = .099$]. Los estadísticos descriptivos de las diferentes variables evaluadas en el GE y en el GC se muestran en la Tabla 12. Los estadísticos descriptivos de las diferentes variables evaluadas en chicos y chicas se muestran en las Tablas 13 y 14, para el GC y el GE respectivamente.

Tabla 12. Valores medios y desviaciones típicas para las medidas de las dos fases en ambos grupos.

Medidas	Total (N = 45)			
	GC (n = 24)		GE (n = 21)	
	M	DT	M	DT
Raven (máx. = 60)				
Pretest	49.5	6.21	49.3	4.51
Posttest	49.4	5.14	50.6	4.62
Incremento	-.13	2.91	1.33	3.04
EFAI-E (máx. = 30)				
Pretest	9.21	2.13	9.86	3.10
Posttest	12.6	3.87	15.3	4.39
Incremento	3.42	3.27	5.48	2.80
EFAI-N (máx. = 30)				
Pretest	12.9	4.11	16.0	3.65
Posttest	14.5	3.61	16.2	3.08
Incremento	1.58	2.78	.29	2.03
CSAQ-a (máx. = 16)				
Pretest	4.17	1.53	4.48	2.00
Posttest	3.92	1.95	3.88	1.81
Incremento	-.25	1.37	-.60	1.10
CVJ (máx. = 6)				
Posttest	3.63	1.50	4.10	1.22

Tabla 13. Valores medios y desviaciones típicas para las medidas de las dos fases en ambos grupos (por sexo) del GC.

Medidas	Grupo Control (N = 24)			
	Chicos (n = 12)		Chicas (n = 12)	
	M	DT	M	DT
Raven (máx. = 60)				
Pretest	47.6	7.73	51.5	3.55
Posttest	47.4	6.29	51.4	2.64
Incremento	-.17	3.59	-.08	2.19
EFAI-E (máx. = 30)				
Pretest	8.92	2.39	9.50	1.88
Posttest	12.2	2.66	13.1	4.87
Incremento	3.25	2.83	3.58	3.78
EFAI-N (máx. = 30)				
Pretest	13.3	3.94	12.4	4.40
Posttest	14.1	3.45	14.8	3.88
Incremento	.75	3.44	2.42	1.68
CSAQ-a (máx. = 16)				
Pretest	3.96	1.64	4.38	1.45
Posttest	3.38	1.51	4.46	2.24
Incremento	-.58	1.22	.083	1.47
CVJ (máx. = 6)				
Posttest	3.25	1.42	4.00	1.54

Tabla 14. Valores medios y desviaciones típicas para las medidas de las dos fases en ambos grupos (por sexo) del GE.

Medidas	Grupo Experimental (N = 21)			
	Chicos (n = 11)		Chicas (n = 10)	
	M	DT	M	DT
Raven (máx. = 60)				
Pretest	48.7	4.78	49.9	4.36
Posttest	50.6	4.23	50.7	5.25
Incremento	1.82	3.31	.80	2.78
EFAI-E (máx. = 30)				
Pretest	9.91	3.51	9.80	2.78
Posttest	15.5	5.20	15.2	3.55
Incremento	5.55	3.11	5.40	2.59
EFAI-N (máx. = 30)				
Pretest	17.0	4.05	14.8	2.94
Posttest	16.8	3.03	15.6	3.17
Incremento	-.18	1.89	.80	2.15
CSAQ-a (máx. = 16)				
Pretest	4.59	2.33	4.35	1.67
Posttest	3.82	1.95	3.95	1.74
Incremento	-.77	1.23	-.40	.97
CVJ (máx. = 6)				
Posttest	4.55	1.13	3.60	1.17

3.4.2. Efectos del entrenamiento y diferencias de sexo (Objetivos e hipótesis 1, 2 y 3)

En el análisis inicial, cuando la inteligencia no fue controlada en el ANOVA, se dio un efecto principal significativo en la tarea espacial debido al tiempo, $F(1, 44) = 90.1$, $MSE = 442$, $p < .01$, $\eta^2_p = .69$, así como una interacción significativa de tiempo x grupo, $F(1, 44) = 4.82$, $MSE = 23.6$, $p = .034$, $\eta^2_p = .11$. Sin embargo, no se encontró una interacción significativa de tiempo x sexo [$F(1, 44) = .010$, $MSE = .049$, $p = .92$, $\eta^2_p = .00$, *post-hoc* de Bonferroni, **EFAI-E**: $\Delta 5.98$ vs. $\Delta 4.41$; $p = .13$], ni de tiempo x grupo x sexo [$F(1, 44) = .065$, $MSE = .32$, $p = .80$, $\eta^2_p = .002$]. Las comparaciones por pares aplicadas a través de la corrección de Bonferroni mostraron que la interacción tiempo x grupo se explicaban porque el incremento en la puntuación del EFAI-E fue significativamente mayor en el GE que en el GC ($\Delta 5.47$ vs. $\Delta 3.42$; $p = .034$).

Al igual que hicimos en el estudio en escolares, se procedió a hacer el análisis de varianza anterior, controlando la inteligencia. Al utilizar la inteligencia (Raven pretest) como covariable, el ANOVA $2 \times 2 \times 2$ no mostró en la tarea espacial (EFAI-E) un efecto principal significativo debido al tiempo [$F(1, 40) = .69$, $MSE = 3.48$, $p = .41$, $\eta^2_p = .017$], ni interacciones entre el factor "tiempo" y la covariable "inteligencia" [$F(1, 40) = .021$, $MSE = .10$, $p = .89$, $\eta^2_p = .001$], tiempo x sexo [$F(1, 40) = .004$, $MSE = .019$, $p = .95$, $\eta^2_p = .000$], tiempo x grupo x sexo [$F(1, 40) = .054$, $MSE = .27$, $p = .82$, $\eta^2_p = .001$]. Sin embargo, se encontró una interacción significativa de tiempo x grupo [$F(1, 40) = 4.72$, $MSE = 23.7$, $p = .036$, $\eta^2_p = .11$]. Las comparaciones por pares aplicadas a través de la

corrección de Bonferroni mostraron que la interacción tiempo x grupo se explicaba porque el incremento en la puntuación del EFAI-E fue significativamente mayor en el GE que en el GC (Δ 5.47 vs. Δ 3.42; $p = .036$).

Otro ANOVA para la tarea matemática (EFAI-N) mostró un efecto significativo debido al tiempo [$F(1, 44) = 6.89$, $MSE = 20.0$, $p = .012$, $\eta^2_p = .14$], pero no se encontraron interacciones significativas para tiempo x grupo [$F(1, 44) = 3.12$, $MSE = 9.08$, $p = .085$, $\eta^2_p = .071$], tiempo x sexo [$F(1, 44) = 3.37$, $MSE = 9.81$, $p = .074$, $\eta^2_p = .076$], ni tiempo x grupo x sexo [$F(1, 44) = .23$, $MSE = .66$, $p = .64$, $\eta^2_p = .005$].

La Figura 24 muestra las interacciones de tiempo x grupo x sexo de las dos medidas EFAI-E (panel A) y EFAI-N (panel B).

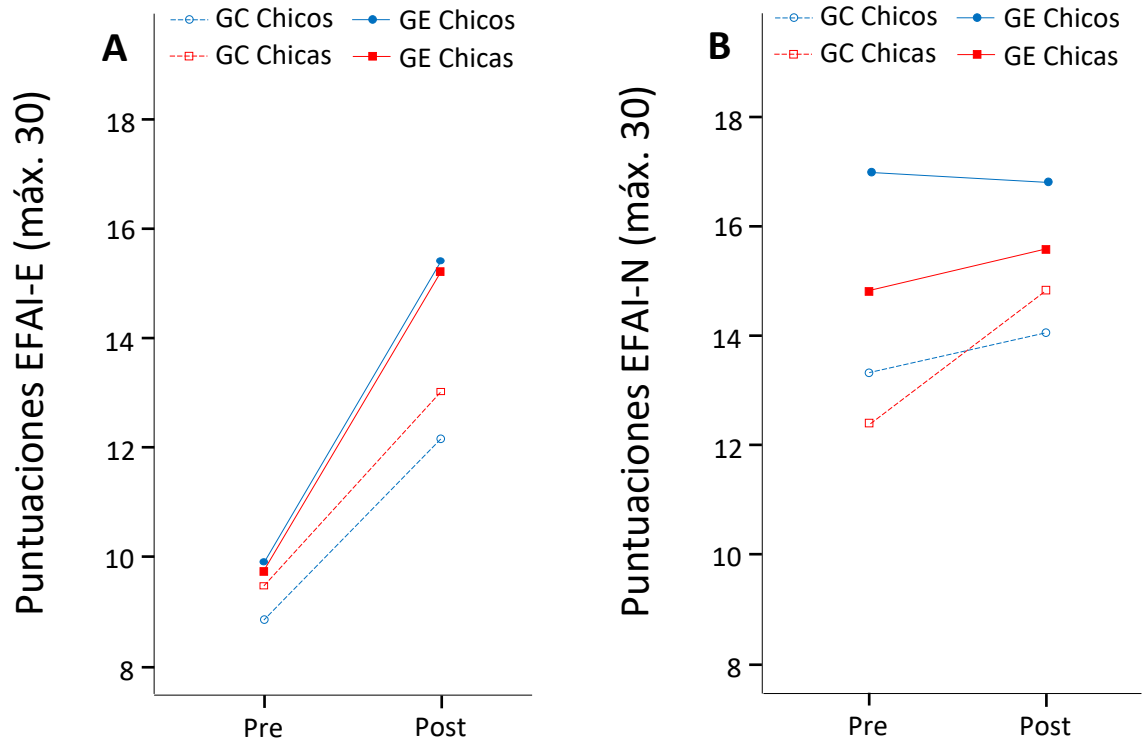


Figura 24. Interacción entre los factores **tiempo x grupo x sexo** para la aptitud espacial, EFAI-E (panel A) y para la aptitud numérica, EFAI-N (panel B).

3.4.3. Correlación entre habilidades, factores emocionales y de experiencia con videojuegos (Objetivos e hipótesis 4 y 5)

En la fase pretest para la muestra total, se encontró una correlación positiva significativa entre la experiencia con videojuegos y la capacidad espacial, de forma que los participantes con una mayor experiencia con videojuegos obtuvieron un mejor rendimiento en la tarea espacial. Se encontró, además, una correlación significativa de la aptitud numérica con la inteligencia y con la aptitud espacial (véase Tabla 15). Para el

GE en la fase postest, no se encontró correlación significativa alguna, por ello no se muestra la matriz de correlaciones.

Tabla 15. Correlaciones entre las diferentes medidas en la fase pretest para la muestra total.

Medidas	1	2	3	4
1. Raven	–			
2. EFAI-E	.06	–		
3. EFAI-N (Total)	.37**	.26*	–	
4. CSAQ-a	.05	-.19	-.06	–
5. CVJ	.00	.30*	.18	.19

Nota. ** $p < .01$, * $p < .05$ (unilateral)

3.4.4. Rendimiento durante el PERM y ganancias obtenidas en la habilidad de RM según el nivel espacial de partida (Objetivo e hipótesis 6)

De la misma forma que se procedió en el grupo de escolares tratado en el capítulo 2, el nivel de habilidad espacial de los chicos y chicas del GE se determinó de acuerdo al rendimiento observado en la prueba espacial (EFAI-E) en la fase previa al entrenamiento, utilizando la mediana como punto de corte, que en este caso también fue de 9 puntos. Los participantes con puntuaciones por debajo de 9 puntos se clasificaron como “bajo nivel de habilidad espacial”, y los que tuvieron una puntuación

por encima de 9 fueron clasificados como grupo de “alto nivel de habilidad espacial”. Los chicos y chicas con una puntuación igual a 9 ($n = 3$) se distribuyeron al azar entre los dos grupos.

Para el análisis sobre el rendimiento del PERM, también en el caso de los adolescentes se excluyeron todos los ensayos con TR inferiores a 500 ms. y superiores a 60.000 ms. Un total de 1420 ensayos, los cuales representaron un 11.26% del total, se excluyeron finalmente. En este caso, el promedio de TR en ms. para cada participante también se calculó solo para las respuestas correctas, siguiendo el criterio de estudios previos con tareas de RM. Ningún participante fue finalmente excluido de estos análisis porque su tasa de aciertos y/o sus TR superaran más de 3.0 DT sobre la media, por tanto, la muestra final para los análisis de resultados de este último objetivo fue la de los 21 participantes que inicialmente conformaba el GE.

3.4.4.1. Rendimiento durante el PERM: precisión (tasa de aciertos)

En relación a la precisión o tasa de aciertos, los análisis descriptivos se muestran en la Tabla 16.

El ANOVA mixto 2 (sexo) x 2 (nivel de habilidad espacial) para las variables dependientes de la “tasa de aciertos” (AC) en cada una de las tres sesiones (S1, S2, S3) y para el total de todas las sesiones (TOTAL), reveló los siguientes efectos principales: se encontró un efecto del **sexo** en la sesión 1, **AC-S1**: $F(1, 17) = 5.02$, $MSE = .058$, $p = .039$,

$\eta^2_p = .23$, de manera que la tasa de aciertos fue mayor en las chicas (**chicas** $M = .84$, **chicos**: $M = .73$, diferencia de medias = $.11$, $p = .039$); también se encontró un efecto del nivel de **nivel de habilidad espacial** en la sesión 3, **AC-S3**: $F(1, 17) = 12.4$, $MSE = .12$, $p = .003$, $\eta^2_p = .42$; y para el total de todas las sesiones, **AC-TOTAL**: $F(1, 17) = 6.64$, $MSE = .052$, $p = .020$, $\eta^2_p = .28$, de forma que en ambos casos el grupo de participantes con alta habilidad espacial obtuvo una mayor tasa de aciertos [**AC-S3**: \downarrow HE: $M = .69$, \uparrow HE: $M = .84$, diferencia de medias = $.15$, $p = .003$; **AC-TOTAL**: \downarrow HE: $M = .72$, \uparrow HE: $M = .82$, diferencia de medias = $.10$, $p = .02$]; finalmente, se observó una mayor tasa de aciertos en el grupo de altas habilidades espaciales en la sesión 2, pero tan solo se encontró un efecto marginal [**AC-S2**: $F(1, 17) = 3.83$, $MSE = .032$, $p = .067$, $\eta^2_p = .18$]. No se encontraron otros efectos principales de **sexo** [**AC-S2**: $F(1, 17) = .40$, $MSE = .003$, $p = .53$, $\eta^2_p = .023$; **AC-S3**: $F(1, 17) = .001$, $MSE = 7,49E-6$, $p = .98$, $\eta^2_p = .000$; **AC-TOTAL**: $F(1, 17) = 1.11$, $MSE = .009$, $p = .31$, $\eta^2_p = .061$], **nivel de habilidad espacial** [**AC-S1**: $F(1, 17) = 2.26$, $MSE = .026$, $p = .15$, $\eta^2_p = .12$], ni interacción **sexo x nivel de habilidad espacial** [**AC-S1**: $F(1, 17) = .69$, $MSE = .008$, $p = .42$, $\eta^2_p = .039$; **AC-S2**: $F(1, 17) = .41$, $MSE = .003$, $p = .53$, $\eta^2_p = .024$; **AC-S3**: $F(1, 17) = 1.69$, $MSE = .016$, $p = .21$, $\eta^2_p = .091$; **AC-TOTAL**: $F(1, 17) = 1.21$, $MSE = .010$, $p = .29$, $\eta^2_p = .066$] (Figura 25).

El ANOVA de medidas repetidas 3 (sesión) x 2 (sexo) x 2 (nivel de habilidad espacial) para la variable dependiente “tasa de aciertos” (AC), mostró una interacción significativa de los factores **tiempo x sexo** [$F(2, 34) = 8.22$, $MSE = .016$, $p = .001$, $\eta^2_p = .33$], que se explicaba por una disminución de la tasa de aciertos de la S1 a la S3 en el

Entrenamiento visoespacial

grupo de las chicas [**S1**: $M = .84$; **S2**: $M = .77$; **S3**: $M = .77$; diferencia de medias **S1-S2** = $.06$, $p = .004$; diferencia de medias **S1-S3** = $.07$, $p = .015$] (Figura 26, panel B). También se obtuvo una interacción significativa de los factores **tiempo x nivel de habilidad espacial** [$F(2, 34) = 4.92$, $MSE = .010$, $p = .013$, $\eta^2_p = .22$], de forma que solo el grupo de participantes con baja habilidad espacial disminuyó la tasa de aciertos de la primera a la última sesión [**S1**: $M = .75$; **S3**: $M = .69$; diferencia de medias **S1-S3** = $.055$, $p = .048$] (Figura 26, panel C). Para esta variable, no se encontraron efectos significativos del factor **tiempo** [$F(2, 34) = 1.25$, $MSE = .002$, $p = .30$, $\eta^2_p = .068$] (Figura 26, panel A), ni interacción significativa de los factores **tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial** [$F(2, 34) = .57$, $MSE = .001$, $p = .57$, $\eta^2_p = .032$] (Figura 26, panel D).

Tabla 16. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de las tasas de aciertos en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.

Medidas	Total (N = 21)							
	Baja habilidad espacial (n = 11)				Alto habilidad espacial (n = 10)			
	Chicos (n = 6)		Chicas (n = 5)		Chicos (n = 5)		Chicas (n = 5)	
	M	DT	M	DT	M	DT	M	DT
AC-S1	.67	.11	.82	.05	.78	.17	.85	.06
AC-S2	.70	.07	.75	.10	.80	.13	.80	.06
AC-S3	.66	.13	.87	.07	.72	.08	.81	.08
AC-TOTAL	.68	.10	.76	.07	.82	.11	.82	.06

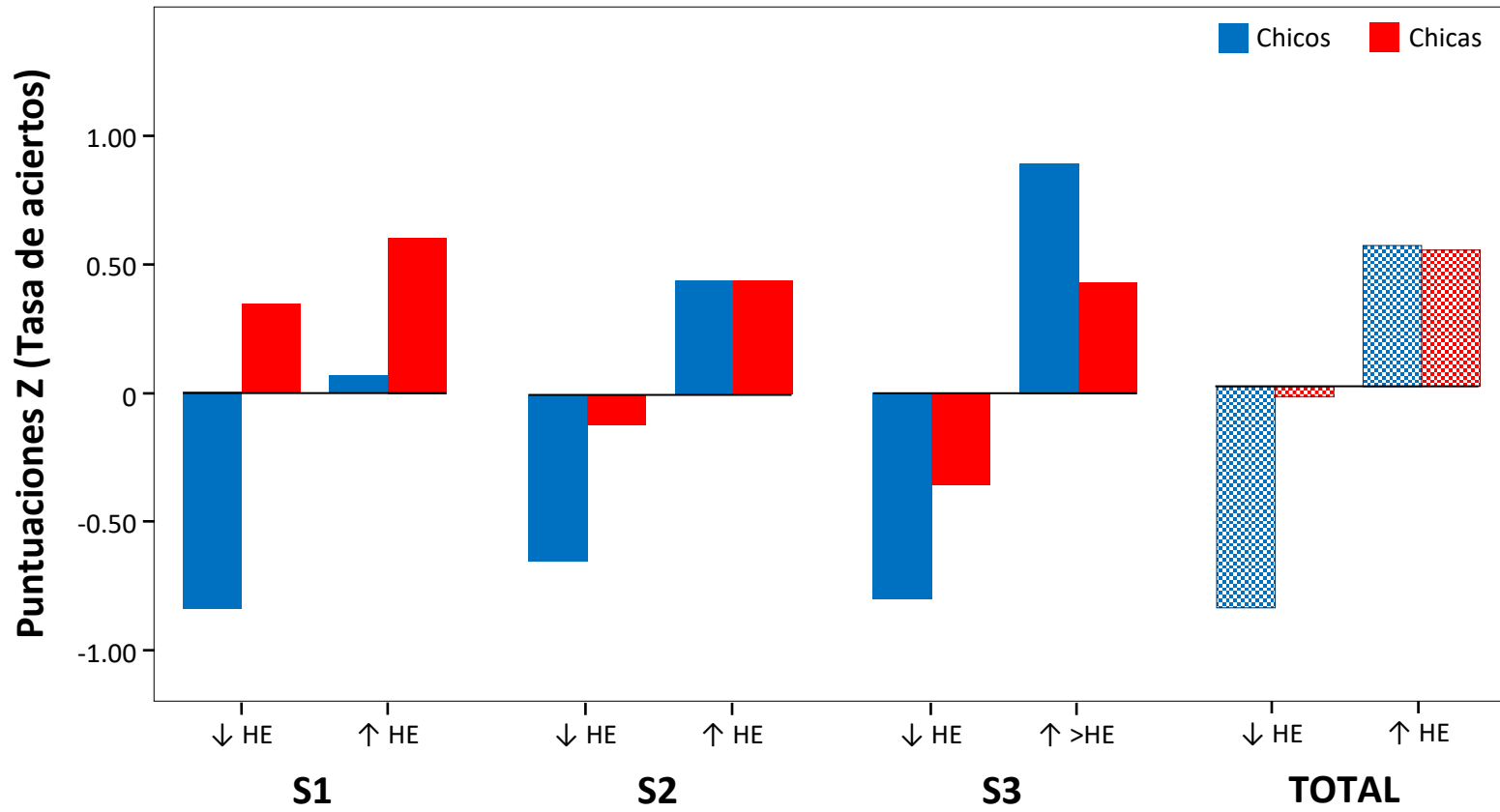


Figura 25. Puntuaciones típicas de las tasas de aciertos en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.

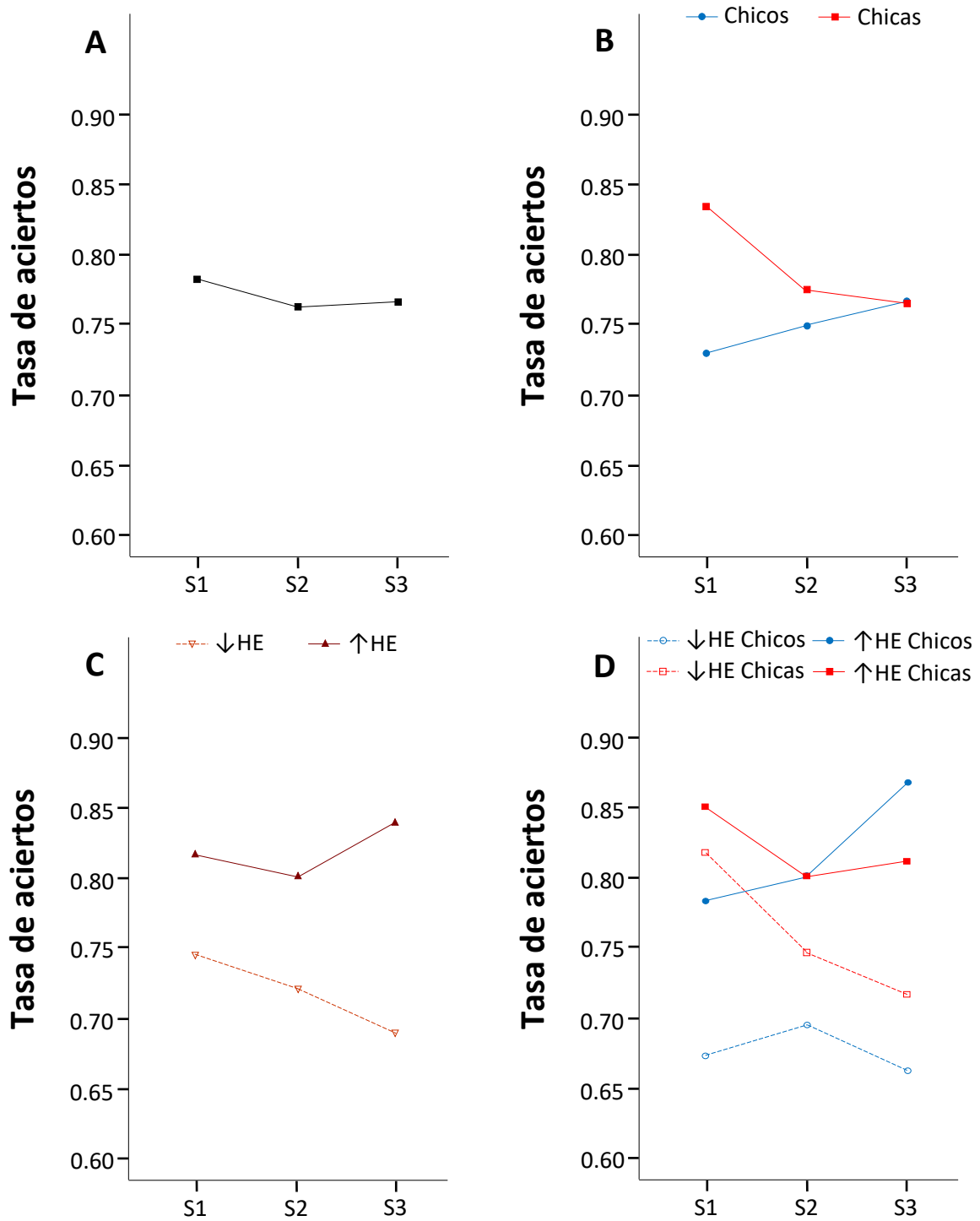


Figura 26. Tasa de aciertos para el factor **tiempo** (A), y para las interacciones **tiempo x sexo** (B), **tiempo x nivel de habilidad espacial** (C) y **tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial** (D).

3.4.4.2. Rendimiento durante el PERM: tiempo de reacción

Respecto a los tiempos de reacción, los análisis descriptivos se muestran en la Tabla 17.

El mismo ANOVA 2 (sexo) x 2 (nivel de habilidad espacial) fue realizado para las variables dependientes del “tiempo de reacción” (TR) para cada una de las tres sesiones (S1, S2, S3) y para el total de todas las sesiones (TOTAL). Tan solo se encontró un efecto marginal de la interacción **sexo x nivel de habilidad espacial** en el TR de la sesión 3 [**TR-S3**: $F(1, 17) = 4.11$, $MSE = 3999591$, $p = .059$, $\eta^2_p = .20$], que se explicó por unos tiempos de reacción menores en los chicos del grupo de baja habilidad espacial y en las chicas del grupo de alta habilidad espacial. No se encontraron efectos significativos del factor **sexo** [**TR-S1**: $F(1, 17) = 1.44$, $MSE = 1850897$, $p = .25$, $\eta^2_p = .078$; **TR-S2**: $F(1, 17) = 2.09$, $MSE = 3625021$, $p = .17$, $\eta^2_p = .11$; **TR-S3**: $F(1, 17) = 3.22$, $MSE = 3131795$, $p = .091$, $\eta^2_p = .16$; **TR-TOTAL**: $F(1, 17) = 2.66$, $MSE = 2022375$, $p = .12$, $\eta^2_p = .14$], ni del factor **nivel de habilidad espacial** [**TR-S1**: $F(1, 17) = 1.41$, $MSE = 1819231$, $p = .25$, $\eta^2_p = .077$; **TR-S2**: $F(1, 17) = .19$, $MSE = 320661$, $p = .67$, $\eta^2_p = .011$; **TR-S3**: $F(1, 17) = .262$, $MSE = 254990$, $p = .62$, $\eta^2_p = .015$; **TR-TOTAL**: $F(1, 17) = .69$, $MSE = 523384$, $p = .42$, $\eta^2_p = .039$], ni una interacción **sexo x nivel de habilidad espacial** [**TR-S1**: $F(1, 17) = 1.96$, $MSE = 2526639$, $p = .18$, $\eta^2_p = .10$; **TR-S2**: $F(1, 17) = .14$, $MSE = 250396$, $p = .71$, $\eta^2_p = .008$; **TR-TOTAL**: $F(1, 17) = 2.57$, $MSE = 1957245$, $p = .13$, $\eta^2_p = .13$] (Figura 27).

El ANOVA de medidas repetidas 3 (sesión) x 2 (sexo) x 2 (nivel de habilidad espacial) para la variable dependiente “tiempo de reacción” (TR), mostró un efecto

principal significativo del factor **tiempo** [$F(2, 34) = 4.62$, $MSE = 3176016$, $p = .017$, $\eta^2_p = .21$], debido a que los tiempos de reacción decayeron de la S1 a la S3. Las comparaciones por pares mostraron TR significativamente más largos en la S1 respecto a la S3 [**S1**: $M = 5156$; **S3**: $M = 4404$; diferencia de medias **S1-S3** = 753, $p = .05$] (Figura 28, panel A). Sin embargo, no se encontró una interacción significativa entre los factores **tiempo x sexo** [$F(2, 34) = .12$, $MSE = 80140$, $p = .89$, $\eta^2_p = .007$] (Figura 28, panel B), **tiempo x nivel de habilidad espacial** [$F(2, 34) = 1.26$, $MSE = 866048$, $p = .30$, $\eta^2_p = .069$] (Figura 28, panel C), **ni tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial** [$F(2, 34) = .87$, $MSE = 600522$, $p = .43$, $\eta^2_p = .049$] (Figura 28, panel D).

Tabla 17. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de los tiempos de reacción en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.

Total (N = 21)								
Medidas	Baja habilidad espacial (n = 11)				Alta habilidad espacial (n = 10)			
	Chicos (n = 6)		Chicas (n = 5)		Chicos (n = 5)		Chicas (n = 5)	
	M	DT	M	DT	M	DT	M	DT
TR-S1	4806	1141	6097	1182	4911	1231	4811	968
TR-S2	4199	1282	5252	1140	4170	1392	4785	1445
TR-S3	3468	678	5118	865	4565	1073	4464	1288
TR-TOTAL	4253	751	5488	915	4549	840	4559	993

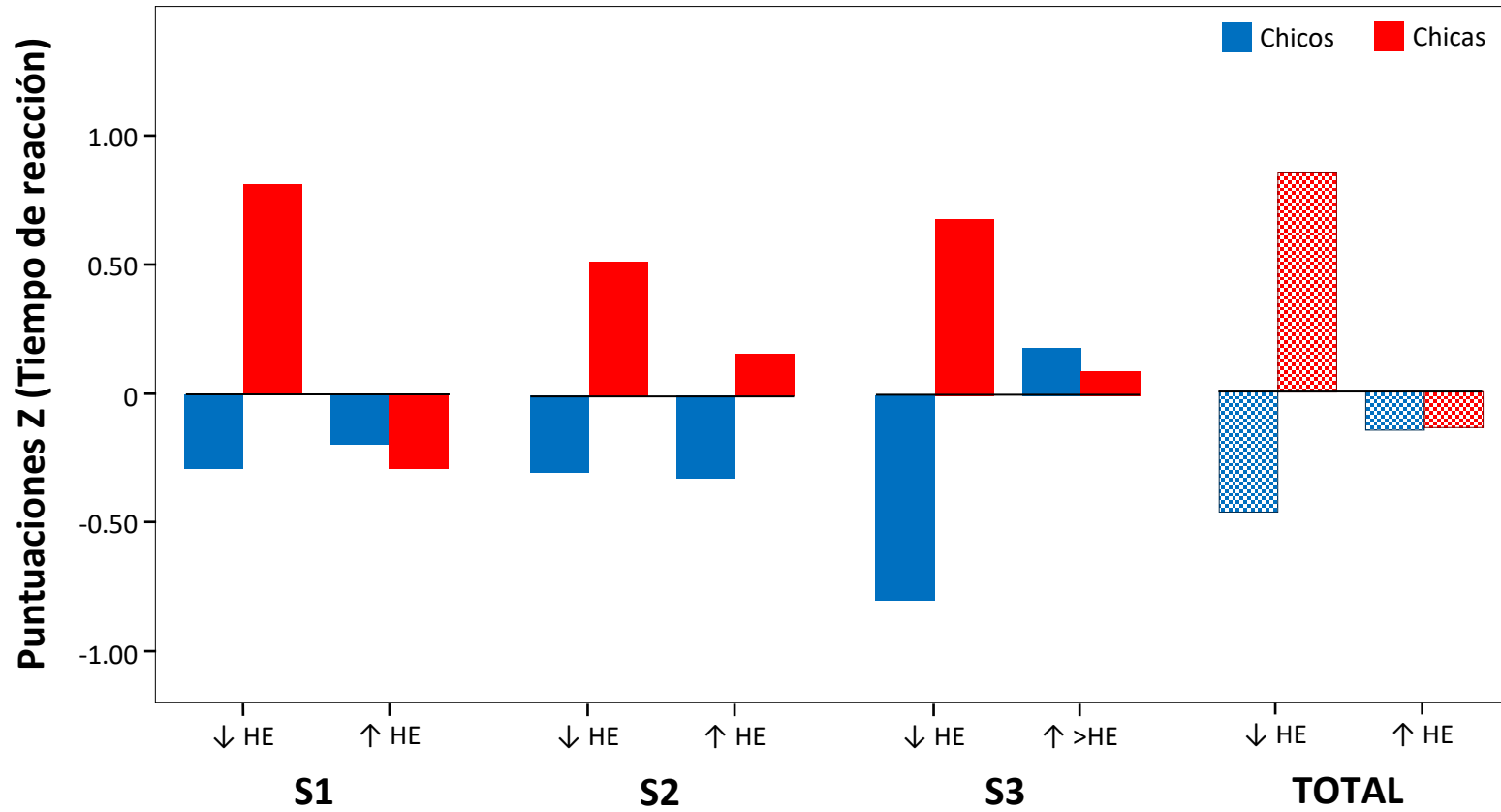


Figura 27. Puntuaciones típicas de los tiempos de reacción en cada sesión y para el total de las tres sesiones del PERM.

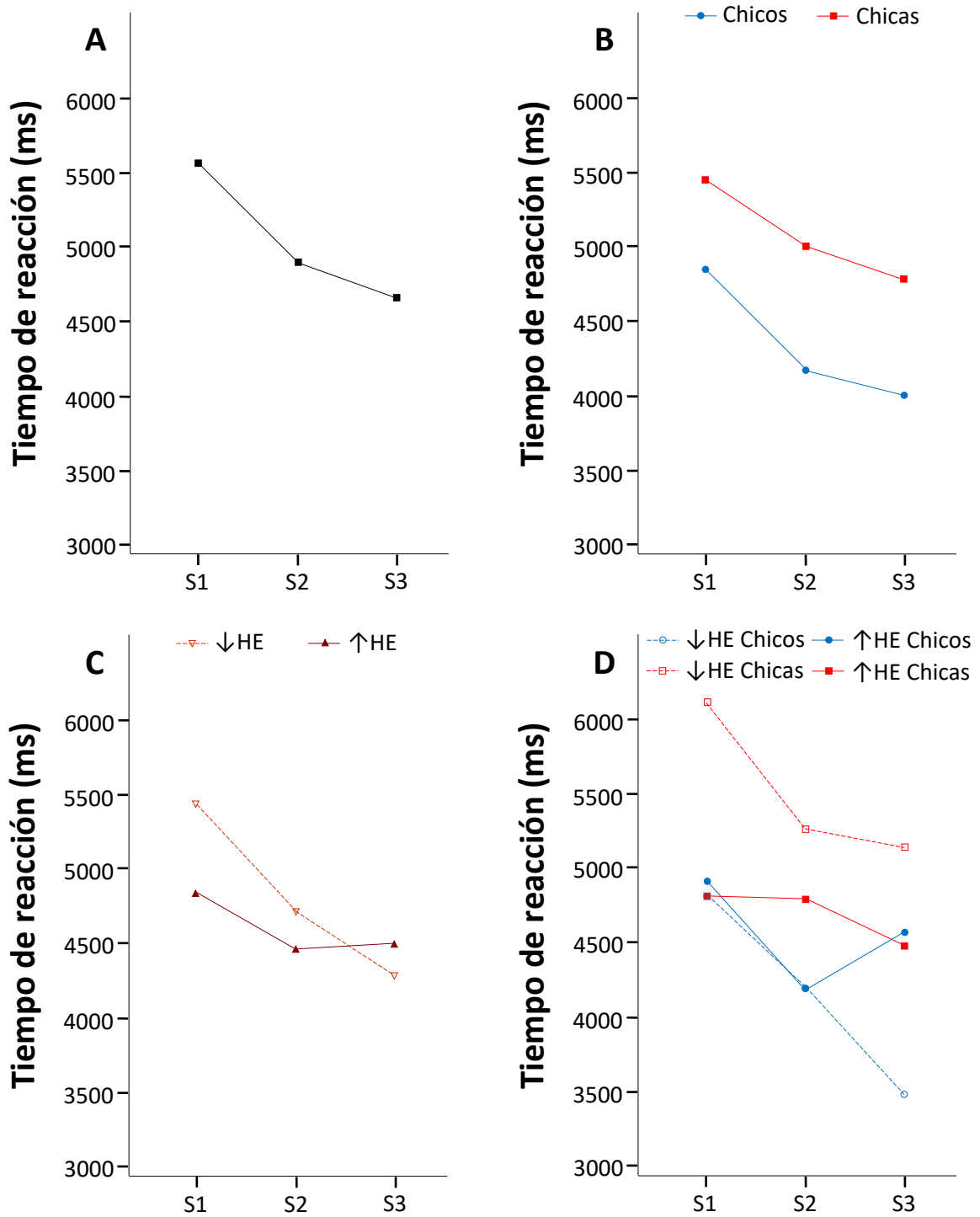


Figura 28. Tiempos de reacción para el factor **tiempo** (A), y para las interacciones **tiempo x sexo** (B), **tiempo x nivel de habilidad espacial** (C) y **tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial** (D).

3.4.4.3. Ganancias obtenidas en la habilidad de RM

Los estadísticos descriptivos de las puntuaciones del EFAI-E en chicos y chicas se muestran en las Tablas 18 y 19 para los grupos de bajo y alto rendimiento espacial respectivamente. El ANOVA de medidas repetidas 2 (tiempo) x 2 (sexo) x 2 (nivel de habilidad espacial) para la variable dependiente “EFAI-E”, tan solo mostró un efecto principal en el factor **tiempo** [$F(1, 17) = 88.1, MSE = 321, p < .001, \eta^2_p = .84$]. No se encontraron otras interacciones significativas de los factores **tiempo x sexo** [$F(1, 17) = .064, MSE = .24, p = .80, \eta^2_p = .004$], **tiempo x nivel de habilidad espacial** [$F(1, 17) = 3.15, MSE = 11.5, p = .094, \eta^2_p = .16$], ni **tiempo x sexo x nivel de habilidad espacial** [$F(1, 17) = 1.21, MSE = 4.41, p = .29, \eta^2_p = .066$].

Tabla 18. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de las puntuaciones obtenidas en el EFAI-E en ambos sexos del grupo de participantes con un bajo nivel en la habilidad espacial.

Baja habilidad espacial (n = 11)						
EFAI-E (máx. = 30)	Chicos (n = 6)		Chicas (n = 5)		TOTAL	
	M	DT	M	DT	M	DT
Pretest	7.50	1.05	7.40	.89	7.45	.93
Posttest	11.5	2.35	12.4	2.30	11.9	2.26
Incremento	4.00	1.67	5.00	2.35	4.45	1.97

Tabla 19. Estadísticos descriptivos (medias y desviaciones típicas) de las puntuaciones obtenidas en el EFAI-E en ambos sexos del grupo de participantes con un alto nivel en la habilidad espacial.

Alta habilidad espacial (n = 10)						
EFAI-E (máx. = 30)	Chicos (n = 5)		Chicas (n = 5)		TOTAL	
	M	DT	M	DT	M	DT
Pretest	12.8	3.19	12.2	1.48	12.5	2.37
Posttest	20.2	3.03	18.0	1.87	19.1	2.64
Incremento	7.40	3.58	5.80	3.03	6.60	3.24

3.5. Discusión

3.5.1. Efectos de mejora en RM

El objetivo principal de este estudio fue evaluar si un programa de intervención en rotación mental (RM) puede mejorar esta habilidad en un grupo de estudiantes adolescentes. Para hacer esto, diseñamos un programa de entrenamiento de RM y lo aplicamos a un grupo experimental (GE), comparando el grado de mejora en una tarea de habilidad espacial diferente a la entrenada en relación con un grupo de control (GC). Los resultados indican que el entrenamiento de RM produce una mejora de esta habilidad visoespacial. El GE mostró un incremento mayor en las puntuaciones de la

prueba visoespacial en la fase posttest en relación con el GC y la diferencia entre ambos grupos fue estadísticamente significativa.

Resulta relevante mencionar algunos aspectos interesantes de este estudio. Uno es el hecho de incluir un grupo de control (que no se somete a la intervención espacial), un aspecto que no siempre se ha considerado en otros estudios en edades similares (Bergner y Neubauer, 2011; Neubauer et al., 2010; Rafi et al., 2008; Samsudin et al., 2011; Sundberg, 1994), y que es importante para comprender mejor la efectividad de estas intervenciones, un aspecto al que han apelado David Uttal y colaboradores en su meta-análisis sobre maleabilidad de habilidades espaciales. Otro aspecto a destacar es que la tarea utilizada durante el entrenamiento fue diferente a la tarea utilizada en la evaluación, otro aspecto que no siempre se ha considerado en investigaciones previas sobre intervenciones visoespaciales (véase Uttal et al., 2013 para una revisión). Algunos estudios realizados en adolescentes han utilizado tareas de intervención relacionadas con la rotación, la traslación (estímulos desplazados), la reflexión y simetría, y la visualización de objetos (Boulter, 1992; Dixon, 1995; Gittler y Glück, 1998; Kwon et al., 2002; Mack, 1992; McClurg y Chaillé, 1987; Pleet, 1991; Rafi et al., 2008; Rosenfield, 1985; Samsudin et al., 2011; Sundberg, 1994; Yates, 1988), pero pocos han utilizado tareas específicas de RM durante la intervención, un aspecto que es importante para conocer mejor la verdadera maleabilidad de esta habilidad espacial a partir de su práctica o entrenamiento en este grupo de edad. Hasta la fecha, el estudio de Sanz de Acedo Lizarraga y García Ganuza (2003) ha sido el único que ha considerado estos

aspectos, realizando una intervención para mejorar la RM a través de tareas impresas y la manipulación de un cubo. En nuestro estudio, decidimos incluir un programa de intervención informatizado similar a un videojuego, con el objetivo de motivar aún más a los participantes de estas edades. De hecho, algunas investigaciones han considerado el impacto positivo que los videojuegos pueden tener en la mejora de RM (De Lisi y Cammarano, 1996; Okagaki y Frensch, 1994). También, la técnica de retroalimentación (que recibe cada participante después de cada respuesta para indicarle si ésta ha sido o no correcta) es una estrategia metodológicamente eficiente que afecta positivamente al rendimiento futuro de la rotación mental (e.g., Kass, Ahlers y Dugger, 1998; Kyllonen, Lohman y Snow, 1984), porque provoca una disminución del número de errores y mejorando el tiempo de reacción. En este sentido, el diseño del programa utilizado en este estudio podría haber tenido un efecto motivador en el grupo experimental.

3.5.2. Rendimiento espacial en ambos sexos

La ausencia de diferencias significativas entre sexos antes del entrenamiento difiere respecto a estudios previos que destacan una ventaja en el sexo masculino como grupo, de manera especial en las tareas de RM (Linn y Petersen, 1985; Maccoby y Jacklin, 1974; Voyer et al., 1995). Sin embargo, nuestros resultados están en línea con los estudios que han demostrado que las diferencias promedio entre grupos de sexo en este tipo de tareas cognitivas se están reduciendo (Bergner y Neubauer, 2011; Hyde

2005; Larson et al., 1999; Neubauer et al., 2010; Parsons et al., 2004; Pleet, 1991; Sanz de Acedo Lizarraga y García Ganuza, 2003). A continuación, se discuten algunos aspectos que explican los resultados obtenidos con respecto a esta hipótesis de las diferencias promedio entre sexos. Un aspecto es que las tareas de RM han producido un mayor tamaño del efecto en términos de diferencias de sexo, en comparación con otros factores visoespaciales como las relaciones espaciales o Vz (Voyer et al., 1995). Además, el tamaño del efecto en RM parece variar según el tipo de tarea utilizada (Voyer et al., 1995); por ejemplo, las tareas en formato tridimensional, como el MRT (Peters et al., 1995; Shepard y Metzler, 1971; Vandenberg y Kuse, 1978), presenta un tamaño de efecto sustancialmente mayor que el de otras pruebas como el *Primary Mental Abilities Test* (PMA; Thurstone, 1938) o el *Cards Rotation Test* (Ekstrom et al., 1976). Los autores de la prueba de evaluación utilizada en este estudio para evaluar la habilidad espacial (subprueba de aptitud espacial "E", EFAI-3; Santamaría et al., 2005), la han considerado como una prueba que evalúa la capacidad de imaginar mentalmente transformaciones y rotaciones de un objeto, reteniendo la información en la memoria de trabajo, e integrando la información con otra adicional. En este sentido, la tarea utilizada podría ajustarse al factor Vz, que se ha definido como la capacidad de rotar, girar o invertir mentalmente un objeto o estímulo presentado pictóricamente donde la capacidad subyacente parece involucrar un proceso de reconocimiento, retención y recuperación de la configuración de un objeto manipulado (McGee, 1979). Por lo tanto, el diseño bidimensional de la prueba EFAI "E", similar al PMA o al CRT, y su demanda potencial de

Vz podrían explicar, al menos en parte, estos resultados. La razón por la que elegimos esta prueba es porque permite evaluar la habilidad espacial en niños y hasta la edad adulta, y esta investigación se ha llevado a cabo en paralelo con el otro estudio realizado en niños y niñas de Educación Primaria que presentábamos en el capítulo anterior. Si bien la versión MRT de Vandenberg y Kuse (1978) o la versión de Peters et al. (1995) se han utilizado en adolescentes, estas pruebas no se usan con frecuencia en formato 3D en niños pequeños y escolares de Educación primaria, y produce un bajo rendimiento en el caso de un MRT con figuras en 2D (Hoyek, Collet, Fargier y Guillot, 2012; Neuburger, Jansen, Heil y Quasier-Pohl, 2011) similares a las de PMA, CRT o EFAI-E. De hecho, Hoyek et al. (2012) vieron la dificultad que supone aplicar el MRT V-K en niños de 7 y 8 años. La tarea del EFAI-E es una prueba tipificada (N = 23793) que se ha validado en diferentes grupos de edad desde los 7 años hasta la edad adulta. Además, aunque la tarea espacial EFAI-E requiere que el participante ponga en práctica una rotación mental, la tarea difiere de la utilizada en el programa de entrenamiento, lo cual permite una evaluación de los efectos del entrenamiento hacia tareas no idénticas a las entrenadas. Con respecto al tiempo que lleva realizar la tarea espacial, conviene recordar que algunos estudios con tareas de RM (MRT original de Vandenberg y Kuse, 1978; versión MRT rediseñada de Peters et al., 1995) han demostrado que las diferencias de sexo se minimizan e incluso desaparecen cuando las condiciones de la tarea se realizan con limitación de tiempo (e.g., Goldstein et al., 1990; Glück y Fabrizii, 2010). Sin embargo, estos resultados no parecen ser concluyentes, ya que algunos estudios que han

manipulado las condiciones de tiempo –por ejemplo, período corto y tiempo ilimitado en el MRT– no han mostrado evidencia de que las diferencias de sexo en el MRT se vean afectadas por las condiciones de tiempo (Masters, 1998). De manera similar, en el estudio de Peters (2005), se observó que las puntuaciones del MRT aumentaron tanto para hombres como para mujeres, pero no hubo una reducción significativa en la magnitud de las diferencias de sexo después de extender el límite de tiempo para realizar el MRT. Es interesante observar que en el estudio que ocupa este capítulo en población adolescente, a pesar de utilizar una tarea espacial con un tiempo limitado en las fases pre y posttest, no se han encontrado diferencias de sexo.

La literatura ha considerado numerosos factores (biológicos, cognitivos, sociales y emocionales, basados en la experiencia y la práctica, o en las características intrínsecas de los estímulos utilizados en la tarea de RM) para explicar las diferencias promedio entre los sexos. Maccoby y Jacklin (1974) encontraron que algunas diferencias de género en la aptitud espacial se producían a favor de las niñas a una edad temprana, con una reversión del efecto a medida que se llegaba a la adolescencia. De manera similar, Bergner y Neubauer (2011), basándose en los resultados obtenidos por Geiser et al. (2008), ofrecieron una posible explicación del aumento de las diferencias de sexo basadas en una mayor participación de los hombres, como grupo, en actividades más espaciales de la vida cotidiana que las mujeres –factor basado en la experiencia–, lo que podría sugerir que los factores ambientales o la experiencia previa pueden influir en el desarrollo de las habilidades espaciales. Sin embargo, creemos que la interacción del

género femenino con las nuevas tecnologías, como tabletas, *smartphones*, realidad virtual o videojuegos, puede contribuir a minimizar las diferencias de sexo promedio en el procesamiento espacial. De hecho, la investigación ya ha demostrado que no hay efectos de sexo cuando las tareas de RM se presentan dentro de un entorno tecnológico (Larson et al., 1999; Neubauer et al., 2010; Parsons et al., 2004). De manera similar, los resultados del presente estudio siguen esta línea con respecto a la experiencia con los videojuegos, donde no encontramos diferencias entre los adolescentes masculinos y femeninos en el uso de estas tecnologías, que pueden haber contribuido en parte a la falta de diferencias de género en la capacidad espacial de este estudio. El hecho de que los chicos muestren una experiencia con videojuegos ligeramente mayor que las chicas, pero sin existir diferencias estadísticamente significativas entre ambos sexos (tal y como se veía en el análisis preliminar), podría indicar que las mujeres, como grupo, cada vez interactúan más con las nuevas tecnologías, incluidos los videojuegos. Los resultados de esta investigación podrían estar en la línea con los obtenidos por Melissa Terlecki y colaboradores en el 2011, quienes encontraron casi tantas similitudes como diferencias entre los sexos en sus preferencias de juego. Sus resultados mostraron que ambos, hombres y mujeres, usan tipos similares de consolas, disfrutan de los juegos de aventuras y quieren juegos divertidos. Terlecki et al. (2011) concluyeron que la brecha entre sexos, favoreciendo a los hombres, puede estar disminuyendo con las tecnologías actuales, y, de hecho, el presente estudio podría confirmar esta tendencia. Aunque no se analizó la interacción con el tipo de videojuego, un análisis *post-hoc* de las respuestas

del cuestionario mostró que las alumnas tenían una clara tendencia hacia los juegos de lógica y los rompecabezas (tipo *Candy Crush*), que pueden requerir ciertos conocimientos cognitivos y habilidades espaciales. Este hallazgo podría estar en línea con los resultados obtenidos por Quaiser-Pohl et al. (2006), quienes observaron que las mujeres preferían los juegos de lógica y de entrenamiento de habilidades. Con respecto al efecto que tiene el hecho de jugar con videojuegos sobre el rendimiento espacial, no se encontraron tales efectos a través de los grupos o de los sexos.

3.5.3. Efectos del entrenamiento de la RM en las matemáticas

Como se ha comentado en varias ocasiones a lo largo de este trabajo, la relación entre las habilidades espaciales y matemáticas ha motivado en gran parte que se hayan llevado a cabo algunas investigaciones para valorar si la práctica con tareas espaciales puede intervenir positivamente sobre la cognición matemática.

La competencia matemática participa de manera muy activa a lo largo de los primeros años académicos, y por ello algunos estudios sobre intervenciones espaciales se han llevado a cabo durante la etapa escolar, tal y como se ha mostrado en la literatura científica expuesta en capítulos anteriores. También, algunas investigaciones en etapas posteriores del desarrollo, que incluyen la adolescencia y la etapa adulta (universitaria), se han centrado en intervenciones para mejorar habilidades espaciales

involucradas muy directamente sobre tareas matemáticas con una gran demanda espacial, como es la geometría.

Hasta la fecha, se han realizado únicamente tres estudios en la década de los 90 que hayan analizado cómo la práctica con material espacial puede producir algún tipo de mejora sobre los conceptos de geometría. Por ejemplo, Sundberg (1994) comparó el efecto que podían aportar dos tipos de entrenamiento sobre las mejoras en el rendimiento espacial y en la ejecución matemática en 32 estudiantes de educación secundaria media (*middle school*, 11 a 14 años). El programa de entrenamiento consistió en 25 horas de aprendizaje sobre conceptos geométricos utilizando dos metodologías diferentes: una, con material impreso y manipulativo para trabajar la rotación, traslación y volteos (o simetría especular) con *geoboards*, cubos, puzles *tangram*, *pentominós* o láminas *MIRA* (grupo espacial); y otra, a través de libros de matemáticas tradicionales para enseñar conceptos de geometría, ángulos, teoremas o análisis de transformaciones y simetría (grupo de geometría). Después de 3 semanas de práctica, se evidenció que la habilidad espacial (evaluada con una tarea de Vz) mejoraba más en el grupo que había recibido la formación de tareas de visualización. Sin embargo, ninguno de los dos grupos mejoró su rendimiento matemático, evaluado mediante el *The 3-R's test, Mathematics Achievement and Quantitative Abilities*.

En otro estudio llevado a cabo por Boulter (1992), realizado a 70 estudiantes canadienses de octavo y noveno grado (12-14 años), se puso de manifiesto que una intervención de unos 400 minutos con instrucciones para la adquisición de traslaciones,

rotaciones y volteos de formas geométricas, en dos formatos diferentes (libros de texto y manipulativo) producían un aprendizaje similar en los conceptos de geometría. Si bien, en este estudio en el que se incluyó un grupo que no recibió ningún tipo de instrucción, y que mejoraba su rendimiento en geometría en la fase posttest respecto a la fase pretest, el autor no deja claro si existen diferencias significativas entre este grupo y los dos grupos de intervención, desconociendo, por tanto, si la intervención realizada era verdaderamente eficaz o si las mejoras que se habían producido eran por un efecto de aprendizaje test-retest.

Por su parte, Pleet (1991) tampoco encontró un efecto de transferencia hacia la adquisición de conceptos de geometría en estudiantes de octavo grado (13 y 14 años). Los resultados mostraron que los dos grupos de intervención que realizaron durante tres semanas (50 minutos por sesión) ejercicios relacionados con rotaciones de figuras en un contexto geométrico no mejoraron más que un grupo control que realizó tareas matemáticas con fracciones y decimales.

A la vista de estos resultados, parece que los resultados en cuanto a la eficacia de este tipo de intervenciones espaciales no sean concluyentes, ya que no se ha demostrado que exista una transferencia de lo espacial a lo matemático, en concreto desde tareas que implican mayormente el uso de la Vz y la manipulación de traslaciones, rotaciones y simetría, sobre el aprendizaje de conceptos relacionados con la geometría. Por el contrario, Contreras et al. (2018) han sugerido que la carga espacial que tienen algunos contenidos estudiados en matemáticas (geometría, análisis de

gráficos, matrices, etc.) en un grupo control de estudiantes universitarios de matemáticas parecen contribuir a la capacidad espacial de VZ, implicando así un entrenamiento indirecto.

En nuestra investigación, centrada en la práctica de un factor espacial concreto como es la RM, tampoco hemos encontrado en población adolescente, que una intervención en forma de juego, y con una duración de unos 120 minutos en total, produzca algún tipo de mejora sobre habilidades matemáticas de tipo aritmético. Estos resultados para este grupo de edad vuelven a ser nulos, al igual que sucedía en el grupo de estudiantes de Educación Primaria. La duración del entrenamiento ha sido más breve que la empleada en los estudios realizados en población adolescente por Pleet (1991), Boulter (1992) y Sundberg (1994), que tampoco mostraron tales mejorías hacia los conceptos de geometría, y esto podría haber sido un factor determinante en la falta de transferencia de lo espacial a lo matemático. Entrenamientos similares de RM realizados a escolares tampoco han producido mejoras hacia una tarea aritmética de tipo no verbal, ni hacia problemas de términos ausentes, a pesar de que el periodo de práctica fuera más largo que los dos estudios que presentamos en este trabajo (Hawes et al., 2015). Pero, desconocemos si una duración más extensa del entrenamiento de RM del presente trabajo habría producido mejoras substanciales en el rendimiento matemático. En nuestra opinión, el programa de entrenamiento no carece de intensidad (200 ensayos por sesión) a pesar de su duración relativamente corta. Los chicos y chicas mostraron sentirse motivados, aunque sí que apreciamos un menor nivel de entusiasmo

y de rivalidad que el encontrado en los niños y niñas de Educación Primaria. De hecho, mientras que en los escolares tan solo se excluyeron el 2.94% de los ensayos del entrenamiento (que en su mayoría estaban asociados a TR por debajo de los 500 ms), en el grupo de adolescentes, el 11.26 % del total de los ensayos fue excluido (también, su mayoría asociados a TR excesivamente cortos). Esto podría denotar que algunos estudiantes de este grupo de edad no se sintieran del todo motivados durante el entrenamiento, respondiendo irreflexivamente en determinados momentos, a pesar de que el programa ofreciera una retroalimentación sobre su nivel de éxito o de aciertos de las respuestas que ofrecían, con la pretensión de que el entrenamiento pudiera estimularles y potenciar su nivel de atención sobre la tarea. Este aspecto nos parece interesante, de cara a que en futuras investigaciones que se lleven a cabo en población adolescente, el diseño de este tipo de intervenciones asegure un nivel de motivación óptimo en los participantes.

En la discusión del capítulo anterior exponíamos algunos argumentos para explicar la ausencia de transferencia entre dominios, pero en vista a que estos resultados se han vuelto a replicar, los argumentos mencionados se podrían hacer extensivos a este estudio, incidiendo incluso en otros aspectos adicionales. Por ejemplo, no podemos asegurar que los estudiantes hayan usado a lo largo de la intervención su rotación mental. A menudo los participantes describen una estrategia relativa al uso de características comunes entre los estímulos de referencia y las opciones de respuesta,

en lugar de utilizar una “pura” rotación mental (Shepard, 1978)²⁹. Algunos autores, han desarrollado análisis de clasificación o preguntas para valorar el tipo de estrategias utilizadas en tareas espaciales. Por ejemplo, Peña et al. (2008) propusieron diferentes patrones de respuesta utilizando análisis *cluster* para determinar el tipo de estrategia empleada por el participante (*segmentada*, *holística dependiente del feedback*, y *holística planificada*) en tareas espaciales dinámicas, que implican el movimiento real de estímulos. También, Peters et al. (1995) en tareas de RM han propuesto diferentes estrategias para la ejecución de la tarea de rotación (holística³⁰, segmentada, verbal, no verbal). Sin embargo, en nuestro estudio no se ha valorado el tipo de estrategias y procesos que podrían haber puesto en juego los participantes durante la tarea de RM. Para un número no trivial de ensayos en una tarea de rotación mental, las respuestas se realizarían sin que participe la rotación mental, en particular para tareas con objetos bidimensionales para los cuales los participantes podrían usar una rápida

²⁹ La rotación mental está determinada por la velocidad con la que los participantes determinan si un estímulo coincide con un objetivo, y esta varía o depende en función de la disparidad angular entre el estímulo de respuesta y el target de referencia. La evidencia sugiere que los participantes giran intuitivamente el objeto en la dirección que requiere la menor cantidad de ángulo para que coincida con su objetivo (Cooper y Shepard, 1973).

³⁰ La estrategia holística en tareas de RM implica un procesamiento y una manipulación de la información visual de manera más global, como un “todo”, de forma que podría suponer un proceso más “puro” de rotación mental que cuando se lleva a cabo un proceso segmentado o por partes del objeto (i.e., buscando características comunes entre los diferentes objetos a comparar y/o “verbalizando” la composición de estos para discernir mejor sus estructuras).

transformación de volteo³¹ (Cooper y Shepard, 1973; Kung y Hamm, 2010; Searle y Hamm, 2012; citado en Young, Levine y Mix, 2018), y esto reflejaría una curva arqueada canónica que relaciona la disparidad angular con la velocidad de rotación (Searle y Hamm, 2017; citado en Young et al., 2018) menos vinculada al patrón que se asocia a los procesos de RM. El PERM, bien podría ajustarse a estos criterios, tanto en el número de ensayos (600), como en la tipología de estímulos (bidimensionales), y además por su alto contenido de estímulos de cierta complejidad que podrían demandar un análisis de características comunes por parte del participante, más que una RM. Si la RM está verdaderamente implicada en las tareas numéricas, esto podría explicar la falta de transferencia de lo espacial a lo matemático. Por el contrario, también se ha sugerido que más que el proceso de transformación angular que se lleva a cabo en la RM, tal vez sea el tipo de transformación rápida de volteo, a la que se aludía anteriormente, o la capacidad para extraer características relevantes de un estímulo espacial, lo que en realidad se relacione con las matemáticas (Young et al., 2018). En relación a estos aspectos, en el presente trabajo se desconocen los procesos que se han llevado a cabo durante el PERM, por no tener un registro de las estrategias utilizadas por parte de los participantes, ni un análisis de los TR en función de las disparidades angulares.

³¹ En la tarea de RM en un formato clásico de tipo Shepard–Metzler, la transformación espacial de rotación consiste simplemente en una rotación rígida del objeto alrededor de un eje fijo. En el contexto o formato tridimensional o en profundidad de esta tarea, la rotación sí podría equiparse a un volteo, por ello los participantes podrían usar esa estrategia rápida de transformación de volteo, sin que implique una verdadera o pura RM.

En definitiva, tanto el reconocimiento de cada una de las partes de los objetos – que se produce por la complejidad de estos–, como el proceso de rotación mental de esos objetos, podrían estar involucrados de manera diferente en actividades matemáticas. Como han explicado Young et al. (2018):

Algunos procesos involucrados en la rotación mental y otras habilidades de visualización espacial, ya sean los procesos utilizados en rotaciones lentas o transformaciones rápidas, pueden ser más importantes que otros para el razonamiento matemático, y esto puede variar según los problemas matemáticos particulares que se examinen y las edades de los participantes: un amplio conjunto de preguntas que requieren estudios adicionales. (traducción propia, pp. 135–136)

Los estudios que han informado sobre la relación en el rendimiento entre tareas espaciales y de matemáticas, como la geometría (Battista, 1990; Delgado y Prieto, 2004; Kyttälä y Lehto, 2008), aritmética mental (Kyttälä y Lehto, 2008; Reuhkala , 2001), resolución de problemas (Hegarty y Kozhevnikov, 1999), e incluso con el sentido numérico en adultos (Thompson et al., 2013), han incluido habitualmente otras medidas cognitivas, y quizás estas correlaciones realmente estén representadas por el vínculo que existe entre las matemáticas y la inteligencia general u otras habilidades cognitivas. De hecho, varias investigaciones han encontrado que muchos aspectos de las habilidades verbales, incluida la comprensión auditiva, el razonamiento verbal y el vocabulario, predicen la competencia aritmética (Durand et al., 2005; Gilligan et al., 2017; LeFevre et al., 2010). En este sentido, la influencia de factores que en este estudio

no se han valorado, por ejemplo, de tipo lingüístico, sea esencial para entender la relación del dominio espacial con las matemáticas tipo numérico, pero en un formato de enunciado verbal.

Los hallazgos de este estudio en cuanto a los efectos nulos en la transferencia hacia la aptitud numérica en adolescentes, junto con los obtenidos en escolares, refuerzan nuestras conclusiones acerca de que en futuras intervenciones sobre razonamiento espacial se utilicen enfoques más apropiados con el objetivo de proporcionar a los estudiantes la inevitable superposición entre las habilidades espaciales y numéricas inherentes a muchas actividades de intervención (Hawes et al., 2017).

3.5.4. Correlación entre habilidades, factores emocionales y basados en la experiencia con videojuegos

Otro aspecto analizado en este trabajo fue la posible relación entre la aptitud numérica, la aptitud espacial y la inteligencia. En este estudio en adolescentes, no se ha encontrado una correlación entre la RM y la aptitud numérica. Si bien, la literatura relativa a la asociación que existe entre rendimiento espacial y matemático es muy extensa, los resultados en cuanto a las correlaciones entre diversas tareas matemáticas-numéricas y el rendimiento en RM, son más bien variados. Por ejemplo, en algunos estudios se han encontrado correlaciones nulas entre tareas de RM y diferentes tareas

matemáticas-numéricas en preescolares (Frick, 2018) y escolares (Hawes et al., 2015; Frick, 2018). Otros estudios han encontrado una correlación significativa baja-moderada entre estos constructos también en las primeras etapas del desarrollo: preescolares (Hawes et al., 2017; Wong, 2017) y escolares (Hawes et al., 2015 y 2017; Frick, 2018). Sin embargo, en estas primeras etapas también se han encontrado correlaciones mayores con tareas de RM específicas y ejercicios matemáticos de términos ausentes (Hawes et al., 2015) y de tipo numérico básico, aritmético y de geometría (Hawes et al., 2019) (véase la discusión del capítulo anterior para una explicación más detallada).

En grupos de edad más similares al de la presente investigación también hay disparidad en cuanto a los resultados de correlación. Por ejemplo, Wei et al. (2016) han encontrado bajas correlaciones entre tareas de RM (con estímulos de tipo S-M) y operaciones aritméticas en sujetos de 11 a 15 años ($r = .16$) y adultos universitarios ($r = .17$). Sokolowski et al. (2019) también han informado de correlaciones significativas, aunque muy bajas entre la RM y tareas aritméticas en adultos universitarios ($r = .17$)

Los resultados de esta investigación en estudiantes de Educación Secundaria no estarían en línea con investigaciones previas que han observado que los individuos con un mejor rendimiento en ciertas tareas de razonamiento espacial a menudo tienen mejores resultados en tareas matemáticas (e.g., Baenninger y Newcombe, 1995; Delgado y Prieto, 2004; Holmes et al, 2008; Rasmussen y Bisanz, 2005). Otros autores (Thompson et al., 2013) han encontrado en adultos una correlación significativa entre la RM y habilidades matemáticas específicas, como tareas numéricas básicas (tarea de

comparación numérica y tarea de mapeo de líneas numéricas). Sin embargo, resulta interesante señalar que la aptitud numérica es solo un componente de la capacidad matemática, y la prueba matemática utilizada en nuestro estudio (con adolescentes) puede incluir funciones más complejas que van más allá de este tipo de representaciones numéricas. De hecho, hemos evaluado la capacidad matemática a través de tres tipos de tareas: operaciones aritméticas, problemas verbales con enunciados y problemas con información numérica de tipo gráficos o tablas. Es posible que cada tipo de problema matemático no requiera las mismas demandas visoespaciales. Como señalan Mix y Cheng (2012), ciertas tareas espaciales podrían estar más relacionadas con tareas matemáticas específicas debido a la similitud de los procesos.

Con respecto al vínculo entre la habilidad espacial y la inteligencia, no hemos encontrado ninguna relación, en contra de lo obtenido a través de estudios factoriales, que han demostrado que las pruebas espaciales son buenas medidas del factor g (e.g., Lohman, 1996). Es posible que esta disparidad se deba a la tarea utilizada en el presente estudio para evaluar la habilidad espacial. Por un lado, es común que los estudios incluyan tareas de RM, como el *PMA*, *MRT* o *CRT*, que podrían ser diferentes en el contexto psicométrico que la tarea espacial EFAI-E, aunque todos ellos exigen una rotación mental. Por otro lado, los estudios realizados por los autores del EFAI-3 (Santamaría et al., 2005) muestran que esta subprueba espacial presenta correlaciones moderadas (0.41) con la prueba paralela del Raven SPM. Santamaría y colaboradores

indicaron que la magnitud de las correlaciones puede estar condicionada por la forma en la que se aplican ambas pruebas (EFAI con restricción de tiempo y Raven SPM en condiciones de potencia), y esta correlación entre Raven y EFAI podría aumentar si ambas pruebas se aplican en condiciones de potencia (Santamaría et al., 2005, p. 80). En cualquier caso, la correlación entre estas habilidades obtenidas en nuestro estudio está lejos de la proporcionada por estos autores. Por tanto, sería interesante la evaluación de este aspecto en estudios futuros para comprender mejor la naturaleza de esta correlación.

En cuanto a los resultados de la correlación entre la capacidad matemática y la inteligencia, se ha encontrado que sí existe tal correlación ($r = .40$ y $r = .42$ para los respectivos análisis de correlación), lo que está en la línea de estudios previos llevados a cabo con participantes de edades similares, de entre 9 y 13 años. (e.g., Pina et al., 2014)

En relación al vínculo entre la RM y la ansiedad espacial, los resultados han mostrado una correlación negativa entre estas dos variables, de forma que los estudiantes con una mayor ansiedad espacial muestran un peor rendimiento en la prueba espacial. Sin embargo, contrariamente a la hipótesis planteada, esta correlación no llegó a ser significativa, un resultado que está en la línea de lo que se ha observado en la investigación paralela realizada a estudiantes de Educación Primaria. Tampoco hemos encontrado que la ansiedad espacial difiera en ambos sexos, aunque en general el grupo de chicas obtuvo mayores puntuaciones de ansiedad espacial en ambas fases del estudio (pretest, postest). Por tanto, estos resultados difieren de los obtenidos por

otros autores que han realizado estudios en la etapa de la niñez (Ramirez et al., 2012) y en adultos (Lawton, 1994), los cuales han mostrado una correlación entre la ansiedad y la capacidad espacial, y la presencia de diferencias de sexo en la ansiedad. Estas discrepancias con respecto a estudios anteriores pueden deberse a la naturaleza de la tarea utilizada para evaluar la ansiedad espacial. Por ejemplo, el estudio de Lawton (1994) centrado en la ansiedad espacial para navegar en un entorno y llevar a cabo ciertas estrategias de orientación, es muy diferente de la tarea de capacidad espacial evaluada y de las situaciones planteadas en el cuestionario de ansiedad espacial en el presente estudio. Es interesante mencionar también el papel mediador de la memoria de trabajo de tipo verbal que vieron Ramirez et al. (2012) en su estudio, de forma que la correlación negativa entre ansiedad y rendimiento espacial solo se producía en aquellos sujetos con una capacidad de memoria de trabajo más alta, y especialmente en el grupo de niñas. Aunque el cuestionario de ansiedad espacial que utilizamos es una adaptación de un breve cuestionario utilizado por Ramirez et al. (2012) sobre el grado de dificultad que una persona tiene en ciertas situaciones en un contexto espacial, los resultados que hemos obtenido también difieren de los informados por estos autores. Esto podría deberse a la diferencia de edad entre ambos estudios (5 a 8 años en el estudio de Ramirez et al. y 14-15 años en esta investigación) y a la interpretación de "nerviosismo" –término proporcionado por los autores– que los niños y niñas dan a una tarea espacial específica. Tal y como se discutía en el capítulo 2, planteamos la posibilidad de que las tareas del cuestionario de ansiedad de Ramirez y colaboradores pudieran ir más allá de

lo puramente espacial e involucrar habilidades matemáticas (trazar la bisectriz de un segmento, ángulos y distancias entre puntos) y verbales (dar la explicación de cómo llegar de un lugar a otro) o de conocimiento general (localizar un lugar en un mapa geográfico), que diluyan el efecto de una ansiedad puramente espacial hacia una dificultad más general con otro tipo de tareas. En este sentido, Lyons et al. (2018) han desarrollado un cuestionario más extenso para analizar la ansiedad espacial, el cual está formado por 24 preguntas que aluden a situaciones que en sí mismas tienen una naturaleza más espacial que las planteadas por el cuestionario de Ramirez et al. En nuestra investigación no pudimos utilizar este cuestionario por llevarse a cabo previamente a la validación del desarrollado por Lyons y colaboradores. Finalmente, nos parece interesante señalar que, aunque no se haya encontrado una correlación entre este factor emocional y la RM, el grupo experimental describió una disminución significativa en la ansiedad espacial, a diferencia del GC que no experimentó tal reducción³². Este efecto no es sorprendente, ya que la experiencia espacial proporcionada a través de la práctica de RM podría haberse traducido en una mayor confianza en sí mismo para realizar ciertas tareas espaciales.

³² En un ANOVA adicional de medidas repetidas para cada grupo de manera independiente y para la variable CSAQ-a, se vio que después de la intervención el grupo experimental mostraba una disminución significativa en la ansiedad espacial, algo que no sucedió para el grupo control [**GE**: $F(1, 20) = 6.12$, $MSE = 3.72$, $p = .022$, $\eta^2_p = .234$; **GC**: $F(1, 23) = .802$, $MSE = .75$, $p = .38$, $\eta^2_p = .034$].

En relación la experiencia con videojuegos, la otra hipótesis inicial era que los estudiantes en general con una mayor experiencia en videojuegos tendrían un mejor rendimiento en la tarea de visoespacial. El análisis de correlación realizado para la muestra total en la fase pretest confirmó que aquellos participantes con una mayor interacción con los videojuegos fueron aquellos con un rendimiento significativamente mejor en la tarea de aptitud espacial. Estos resultados podrían ser afines a los obtenidos en estudios previos que muestran cómo algunos juegos como el *Tetris* o el *Blockout* requieren procesos espaciales como la RM y la Vz (De Lisi y Cammarano, 1996; Okagaki y Frensch, 1994).

3.5.5. Rendimiento durante el PERM y ganancias obtenidas en la habilidad de RM según el nivel espacial de partida

Por último, en este trabajo también nos interesamos en evaluar las posibles diferencias individuales, en función de las habilidades espaciales iniciales (participantes con bajo y alto rendimiento espacial), sobre el rendimiento durante el programa de entrenamiento en RM, así como en las ganancias espaciales tras el entrenamiento. Se analizaron la tasa de aciertos y los tiempos de reacción en las tres sesiones.

Respecto a la tasa de aciertos, en general³³ se ha encontrado en el grupo de estudiantes con mejor rendimiento espacial una precisión significativamente mayor respecto al grupo de bajo rendimiento espacial, sin embargo, el análisis individualizado de cada sesión solo ha mostrado diferencias significativas entre estos grupos en la última sesión. Además, mientras que los participantes con mejores habilidades espaciales han mejorado su precisión desde la primera hasta la tercera sesión, el grupo de estudiantes con bajo rendimiento espacial ha disminuido la tasa de aciertos a lo largo de las tres sesiones. Este resultado explica la interacción tiempo por nivel de habilidad espacial, de manera que ambos grupos describieron un rendimiento diferente a lo largo del programa de entrenamiento, en cuanto a tasa de aciertos se refiere.

De manera similar a lo hallado en el grupo de escolares, en adolescentes también se ha encontrado que ambos grupos según el nivel de habilidad espacial que diferían en la tasa de aciertos del PERM, también se diferenciaban en cuanto al rendimiento en la prueba de evaluación (EFAI-E), quizás por los procesos y representaciones cognitivas comunes a ambas tareas (Sims y Mayer, 2002).

En cuanto a las diferencias de sexo en la tasa de aciertos, también se ha observado una mayor precisión en el grupo de las chicas para la muestra total del grupo experimental, sin embargo, solo difirieron significativamente respecto a los chicos en la primera sesión de entrenamiento. Además, se ha encontrado una interacción de tiempo

³³ Cuando usamos este término a lo largo de este epígrafe nos referimos al cómputo global de las tres sesiones.

por sexo, debido a que el grupo de chicas experimentó una disminución significativa en la tasa de aciertos desde la primera sesión a la última, mientras que los chicos incrementaron su rendimiento a lo largo del programa, aunque las ganancias de estos últimos a través de las diferentes sesiones no fueran significativas.

A diferencia de lo que sucedía en escolares, en este grupo de edad el perfil de la tasa de aciertos entre sesiones en función del nivel de razonamiento espacial y del sexo, es más heterogéneo. Si bien en escolares se producía una disminución progresiva en la tasa de aciertos desde la primera hasta la tercera sesión en los cuatro grupos, para este grupo de edad, únicamente se replica ese comportamiento en el grupo de chicas con bajas habilidades espaciales. Los chicos con mejor rendimiento espacial mejoran su tasa de aciertos conforme avanza el programa. En cualquier caso, no se vieron diferencias significativas de sexo entre grupos de alto y bajo rendimiento espacial, a través de las diferentes sesiones de entrenamiento.

Respecto a los tiempos de reacción (TR), en general se ha encontrado que estos son mayores en el grupo de participantes con menor rendimiento espacial, lo cual denota que este grupo de estudiantes se toma un mayor tiempo para analizar la tarea de rotación. Sin embargo, ambos grupos no difirieron significativamente en sus TR en ninguna de las sesiones de entrenamiento. Aunque solo los estudiantes con peor rendimiento espacial experimentaron una disminución significativa en los TR desde la primera a la última sesión, ambos grupos tuvieron un rendimiento similar a lo largo del entrenamiento en esta variable.

En cuanto a las diferencias de los TR en función del sexo, se ha observado que las chicas necesitan mayores tiempos que los chicos para hacer la rotación mental, sin embargo, tales diferencias no han sido significativas en ninguna de las sesiones de entrenamiento. Este resultado es similar al obtenido por Wiedenbauer y Jansen-Osmann (2008) que vieron en niños y niñas de 10 y 11 años que los tiempos de reacción eran menores en el sexo masculino en una tarea de RM. La mayor tasa de aciertos por parte de las chicas (como se comentaba anteriormente), podría ser la consecuencia de un mayor tiempo de estas para analizar y responder a la tarea de rotación. Este patrón de resultados está en la línea de los obtenidos por Kail, Stevenson y Black (1984) quienes encontraron que el sexo masculino responde más rápido en tareas de RM. Si bien, en nuestro estudio no se ha evidenciado una diferencia significativa entre sexos en ninguna de las pruebas espaciales (evaluación e intervención), es interesante reflexionar cómo ambos sexos se comportan, en términos de precisión, en ambas pruebas. Al igual, que sucedía en escolares, en este estudio con adolescentes hemos visto que la tasa de aciertos en el EFAI-E era mayor en el grupo de chicos, mientras que el cómputo global de las chicas en el entrenamiento era mejor que en los chicos. Por tanto, tal y como se explicaba en la discusión del capítulo anterior, parece que el rendimiento en ambos sexos difiere en función del formato de la prueba (tiempo límite vs. potencia), y sugiere que cuando se les da más tiempo para responder, las chicas se toman más tiempo que los chicos para hacer la decisión, lo que lleva a una mayor precisión (tasa de aciertos)

respecto al sexo masculino. Estos resultados han sido encontrados en estudios previos en adolescentes (Gallagher y Johnson, 1992) y adultos (Voyer, 1997).

Aunque no se han encontrado diferencias entre los TR de los chicos y las chicas en cada uno de los grupos según el nivel de habilidad espacial, resulta interesante observar que en general los TR han sido mayores en las chicas con peores habilidades espaciales. Debemos recordar también que este grupo de chicas tenía menor tasa de aciertos respecto al grupo de chicas con alto rendimiento espacial a lo largo de las tres sesiones de entrenamiento. El grupo de chicos con habilidades espaciales bajas fue el que más rápido respondió a lo largo de todo el programa de entrenamiento, y este mismo grupo fue el que también presentó peor rendimiento en cuanto a tasa de aciertos. Este hallazgo podría ser interesante desde un punto de vista motivacional, en el sentido de que este grupo de participantes, al tener menos habilidades espaciales se sintiera menos motivado durante el entrenamiento, dando como resultado respuestas o decisiones más rápidas que, a su vez, provocó una menor tasa de aciertos y, por tanto, resultó en un perfil de intervención menos exitoso. Estos resultados están en la línea de los encontrados por Peña et al. (2008), que con su tarea espacial dinámica encontraron que los participantes³⁴ que planificaban sus acciones antes de comenzar el ensayo presentaban una mayor latencia de respuesta, pero también una mejor ejecución en la

³⁴ Candidatos a un curso preparatorio de control de tráfico aéreo.

tarea (mayor proporción de respuestas correctas, menor tiempo total invertido y menor desviación de la trayectoria).

Como ya se ha mencionado anteriormente, varias investigaciones en cognición han demostrado que personas que parten con menores habilidades cognitivas se pueden beneficiar más de un programa de intervención (Baniqued et al., 2014; David, 2012; García-Madruga et al., 2013; Karbach et al., 2015). Además, en los estudios centrados sobre diferencias de sexo en RM, tal y como hemos venido viendo a lo largo de este trabajo, se han encontrado ciertas discrepancias, porque algunos estudios sugieren que la práctica y el entrenamiento espacial disminuye la brecha de género en las habilidades espaciales, mientras que otras investigaciones no han encontrado tales resultados. En relación a esto, nuestros resultados en población adolescente convergen con los hallados en otras investigaciones llevadas a cabo en el mismo grupo de edad, que sostienen que ambos sexos se benefician de manera similar tras un programa de entrenamiento en razonamiento espacial (Mack, 1992; Neubauer et al., 2010; Pleet, 1991; Samsudin et al., 2011; Sanz de Acedo Lizarraga y García Ganuza, 2003).

En cuanto a los resultados sobre los niveles de mejora en el presente estudio, estos podrían ser congruentes con los obtenidos por Sims y Mayer (2002), de forma que las ganancias producidas en la habilidad espacial tras el entrenamiento son mayores en el grupo de chicos y de chicas con altas habilidades espaciales, aunque en este caso las diferencias en las ganancias producidas no han sido significativas. Los hallazgos sobre los niveles de mejora en el presente estudio también coinciden, al menos parcialmente, con

los resultados obtenidos por Terlecki et al. (2008), que vieron que los hombres, que en general contaban con una mayor experiencia espacial, rendían significativamente mejor en el MRT respecto a las mujeres con una experiencia espacial alta y baja. Estos autores, que hicieron un seguimiento longitudinal de doce semanas para valorar el rendimiento (puntuaciones) de la RM con el transcurso del entrenamiento con el videojuego *Tetris*, vieron que la evolución según las diferencias individuales de partida eran diferentes (incrementos más marcados inicialmente en los hombres con más experiencia espacial hasta una estabilización, y un comportamiento inverso en las mujeres, que mostraban una mejora inicial más lenta hasta que experimentaban incrementos mayores). En nuestro estudio en estudiantes adolescentes, sin embargo, tan solo hemos valorado el rendimiento a través de tres sesiones de entrenamiento, y no hemos encontrado un perfil similar a Melissa Terlecki y colaboradores, sino más bien unos perfiles opuestos, donde los chicos con alto rendimiento espacial parecen ser los que más mejoran, y las mujeres las que experimentan una disminución en su rendimiento conforme avanzan las sesiones de entrenamiento. En cualquier caso, conviene señalar que tales diferencias no son significativas, y que a diferencia de la investigación de Melissa Terlecki y colaboradores que hacen un seguimiento de 3 meses, nuestro estudio solo ha evaluado el rendimiento durante tres sesiones en tres días consecutivos.

Finalmente, nos resulta de interés mencionar la coincidencia o “solapamiento” encontrado entre el perfil en los niveles de mejoría o de ganancia en la habilidad espacial para los cuatro grupos con el perfil en las tasas de aciertos producidas a lo largo

de todo el entrenamiento también para los cuatro grupos. Dicho de otra forma, los chicos y chicas con altas habilidades espaciales que obtuvieron mayores incrementos también tuvieron mayores tasas de aciertos, y aquellos chicos y chicas con bajas habilidades espaciales que tuvieron menores ganancias espaciales fueron los que menos tasas de acierto en general tuvieron a lo largo del programa.

3.5.6. Limitaciones del estudio y futuras líneas de investigación

Este estudio comparte limitaciones similares a las expuestas en el capítulo anterior, en la investigación paralela en escolares. Por ejemplo, es importante resaltar a la luz de investigaciones futuras, que la tarea de entrenamiento utilizada es relativamente corta, lo cual puede provocar que los efectos del entrenamiento estén limitados. En este sentido, podría ser interesante evaluar la durabilidad de los efectos producidos por el entrenamiento o la transferencia hacia otras actividades espaciales de la vida cotidiana.

De igual manera que se planteaba en el estudio en escolares, en esta investigación tampoco se han evaluado las habilidades lingüísticas. Es interesante recordar que este podría ser un factor clave para entender cómo las aptitudes espacial y verbal influyen, posiblemente, con un “peso” diferente sobre el rendimiento matemático, de manera más específica en las tareas aritméticas con una demanda verbal.

Por último, al igual que señalábamos en el estudio con escolares, debemos hacer hincapié en el reducido tamaño de la muestra de esta investigación, que podría haber interferido en algunos de los resultados obtenidos, por ejemplo, los de correlación entre variables, así como los análisis de varianza, donde al segmentar por grupos de sexo y de nivel de habilidad queda un número muy reducido de participantes por grupo, pudiéndose haber diluido o enmascarado algunos efectos e interacciones. En este sentido, sería plausible replicar el estudio con más muestra para esclarecer si realmente no hay tales efectos o si los resultados obtenidos se han debido a una falta de tamaño muestral.

3.6. Conclusiones

Este trabajo podría ser una de las primeras investigaciones en adolescentes que analiza el grado de mejora proporcionado por un programa informatizado con tareas específicas de RM, y que examina la relación de esta habilidad espacial con el rendimiento en tareas matemáticas que implican la aritmética.

Para nuestro conocimiento, únicamente se han realizado hasta el momento tres estudios en población adolescente que han tratado aspectos sobre los efectos de mejora de las habilidades espaciales sobre las matemáticas, pero estos estudios se han centrado en analizar las estrategias espaciales enfocadas hacia la mejora de conceptos geométricos.

En la presente investigación, se ha examinado el grado de mejora proporcionado por un programa informático dirigido hacia la práctica y el entrenamiento de la habilidad espacial de RM, y se ha evaluado la posible relación entre la RM y la competencia matemática en chicos y chicas de 14 y 15 años.

De los resultados adquiridos en este estudio se podrían extraer las siguientes conclusiones:

1. La aptitud espacial de RM puede mejorar con el entrenamiento en este grupo de edad. Ambos grupos, experimental y control, han diferido en el grado de mejora de la aptitud espacial, siendo significativamente mayor en el grupo de entrenamiento.
2. No se han encontrado diferencias de sexo en cuanto al rendimiento en RM, ni antes, ni después de la intervención espacial, lo cual pone de manifiesto que los chicos y las chicas tienen un rendimiento espacial equiparable.
3. El entrenamiento de RM no ha producido una mejora en los contenidos aritméticos de matemáticas.
4. Se ha observado una correlación positiva significativa de la aptitud numérica con la inteligencia y con la aptitud espacial.
5. Se ha encontrado una correlación positiva significativa entre la experiencia con videojuegos y la capacidad espacial.

6. En contra de la hipótesis de partida, no se ha encontrado una correlación negativa significativa entre la ansiedad espacial y el rendimiento espacial, ni tampoco entre la experiencia con videojuegos y la aptitud espacial.
7. No se han encontrado diferencias de sexo en la experiencia con videojuegos, de forma que los chicos y las chicas parecen interaccionar por igual con este tipo de actividades.
8. En relación al rendimiento en el Programa de Entrenamiento de Rotación Mental (PERM) se ha encontrado que, en general, la tasa de aciertos ha sido significativamente mayor en el grupo de estudiantes con mejores habilidades espaciales de partida. En general, la tasa de aciertos también ha sido mayor en niñas que en niños, pero sin alcanzar niveles de significación.
9. En general, los TR en el PERM han sido mayores en las chicas que en los chicos, así como en los participantes con menor nivel de HE respecto a aquellos con mayor rendimiento espacial, aunque no ha habido diferencias significativas, ni por grupos de sexo, ni por nivel HE.
10. Se ha encontrado una interacción entre los factores “tiempo” y “sexo” en la tasa de aciertos del PERM, debido a una disminución significativa a lo largo de las sesiones únicamente en el grupo de las chicas. Se ha encontrado, además, una interacción de los factores “tiempo” y “nivel de habilidad espacial”, porque se ha producido una disminución significativa a lo largo de las sesiones en el grupo de estudiantes con menores capacidades espaciales,

mientras el grupo de estudiantes con mayor habilidad espacial inicial ha incrementado su precisión a lo largo de la intervención.

11. Finalmente, se ha observado para todo el grupo de intervención, un efecto del factor “tiempo” en los tiempos de reacción, que se explica por un aumento de esta variable a través de las diferentes sesiones.
12. En cuanto a las ganancias obtenidas en la habilidad de RM según el nivel espacial de partida, se ha encontrado que los estudiantes con mejores habilidades espaciales mejoran más que aquellos estudiantes con un menor rendimiento espacial, pero no llega a haber diferencias significativas en los incrementos obtenidos entre estos grupos.
13. Los incrementos obtenidos en el EFAI-E son mayores en los chicos que en las chicas de ambos grupos (bajo y alto nivel de HE), aunque sin alcanzar diferencias significativas.

CAPÍTULO 4

Discusión general
y
Conclusiones

CAPÍTULO 4

Discusión general y conclusiones

4.1. Discusión general

Para desarrollar este epígrafe se considerará una visión panorámica que abarque los dos estudios planteados en este trabajo, discutiendo diversos aspectos que consideramos de mayor relevancia y que, como veremos, algunos de ellos son compartidos en ambos estudios, mientras que otros aspectos presentan ciertas discrepancias. El ANEXO 6 recoge en forma de tabla los diferentes resultados de ambos estudios, para observar (y si se desea, comparar) de forma rápida los diferentes análisis realizados en ambos estudios, mostrando en los que se han encontrado diferencias estadísticamente significativas.

El último apartado de este epígrafe se centrará en mencionar las limitaciones del trabajo (algunas de ellas ya avanzadas previamente) y en proponer algunas líneas de desarrollo que podrían ser consideradas en el futuro.

4.1.1. Maleabilidad y transferencia hacia algunas habilidades cognitivas como resultado de la práctica/entrenamiento con tareas de RM

Uno de los puntos de partida del presente trabajo es el meta-análisis de David Uttal et al. (2013), que muestra que las habilidades espaciales son maleables cuando son entrenadas. Estos autores hacen un llamamiento sobre la falta de investigaciones en diversas edades que tengan similar metodología para poder hacer comparables los resultados. Por ello, el primer objetivo que planteamos en los dos estudios realizados en esta tesis es examinar el grado de mejora de una habilidad visoespacial que se ha relacionado con el rendimiento actividades cotidianas y académicas, la llamada rotación mental (RM). A través de los dos estudios llevados a cabo en edades diferentes del desarrollo, se ha utilizado una metodología similar tanto en las fases de evaluación (inicial y final), como en la fase de entrenamiento, un aspecto importante de cara a comparar los resultados de ambas investigaciones.

Los hallazgos obtenidos en los dos grupos de edad confirman la idea de que la habilidad espacial de RM es maleable y transferible, dado que en el grupo experimental se observa una mejora más pronunciada que en el grupo control. Es interesante recordar que en el meta-análisis de Uttal et al. (2013) se encontró un tamaño del efecto promedio (g de Hedges) para el entrenamiento en relación con la condición control de

0.47. En nuestras respectivas investigaciones, el tamaño del efecto³⁵ encontrado entre ambos grupos ha sido de 0.58 en escolares y de 0.66 en adolescentes, valores superiores al tamaño del efecto promedio encontrado por Uttal et al. (2013).

Respecto a la mejora que ha producido la intervención espacial sobre la habilidad espacial evaluada, pensamos que en parte el propio diseño del PERM, al presentarse en un formato parecido al de un videojuego, ha podido contribuir a tales mejoras. En general, creemos que el entrenamiento espacial ha generado un elevado nivel de motivación en los participantes de los dos estudios. Incluso, en algunos casos, pudimos observar cierto grado de rivalidad entre los participantes, una conducta que en cierto modo les podría haber proporcionado una experiencia positiva, en términos de aprendizaje cognitivo. En relación a esto, se ha sugerido que las nuevas tecnologías pueden llegar a tener ventajas sobre otro tipo de materiales concretos, especialmente si se trata de juegos atractivos y que sean motivadores para el individuo, aumentando el compromiso, reduciendo la frustración y optimizando el aprendizaje (véase, Verdine, Golinkoff, Hirsh-Pasek y Newcombe, 2014). De hecho, algunas investigaciones han considerado el impacto positivo que los videojuegos pueden tener en la mejora de RM (De Lisi y Cammarano, 1996; Okagaki y Frensch, 1994), del control ejecutivo (Basak,

³⁵ Para poder comparar nuestros resultados con los obtenidos en el meta-análisis de Uttal et al. (2013), los valores que aquí se aportan sobre el tamaño del efecto están expresados en *g* de Hedges, un método ligeramente más conservador que la *d* de Cohen. La *g* de Hedges incluye una corrección por sesgos debidos al tamaño de la muestra. El cálculo del tamaño del efecto se realizó de acuerdo a Ellis, P.D. (2009). *Effect size calculators*, recuperado de: <https://www.polyu.edu.hk/mm/effectsizafaqs/calculator/calculator.html>, consultado el 8 de mayo del 2019.

Boot, Voss y Kramer, 2008), de la memoria de trabajo espacial y memoria episódica (Toril, Reales, Mayas y Ballesteros, 2016), y de las funciones atencionales en adultos mayores, contribuyendo a una reducción significativa de la distracción y un aumento del estado de alerta (Mayas, Parmentier, Andrés y Ballesteros, 2014). Y es que, el hecho de practicar con videojuegos podría ayudar a los participantes a mantener la atención y la concentración optimizando su eficiencia, tal y como han sugerido en su investigación Mayas et al. (2014). También, la retroalimentación emitida por el PERM para indicar al participante si su respuesta ha sido o no correcta, podría haber sido una estrategia positiva para el aprendizaje espacial de la rotación mental (e.g., Kass et al., 1998; Kyllonen et al., 1984) y haber mejorado la autoconfianza de los participantes en su habilidad de RM (Hattie y Timperley, 2007; Rahe, Ruthsatz, Jansen y Quaiser-Pohl, 2019).

Sin embargo, tal y como han apuntado Verdine et al. (2014), citando a Cohen, Hadley y Frank (2011, p. 9): "en general, los niños están entusiasmados con los iPads ... pero el dispositivo por sí solo no garantiza el compromiso y el aprendizaje" (p. 18). Estos mismos autores han sugerido que:

Muchos aspectos de la tecnología electrónica y digital deben diseñarse cuidadosamente para su uso con niños, ... además de proporcionar el contenido apropiado para la edad, ajustar el nivel de instrucción para establecer la experiencia y tener una interfaz intuitiva. (Verdine et al., 2014, p. 18)

Por tanto, el hecho de utilizar una intervención en formato de videojuego podría haber contribuido al aprendizaje de una habilidad espacial concreta en nuestros dos estudios, pero esto no siempre aseguraría la generalización de un aprendizaje.

Otro aspecto importante que analizaron Uttal y cols. (2013) en su meta-análisis fue la transferencia que un entrenamiento espacial puede tener hacia otras tareas espaciales específicas no entrenadas, para aportar un beneficio indirecto y mejorar adicionalmente el rendimiento en estas tareas. En los dos estudios de este trabajo se han utilizado dos pruebas espaciales diferentes, una para la evaluación, y otra para el entrenamiento, ambas encuadradas como habilidades de la dimensión o categoría intrínseca-dinámica dentro de la matriz propuesta por Uttal et al. (2013) (véase capítulo 1). Sin embargo, tanto la tarea, como los estímulos utilizados en la prueba de evaluación han sido diferentes, por lo que podríamos considerar que se ha producido una transferencia “cercana”, de acuerdo a la clasificación realizada por Hawes et al. (2015) sobre los diferentes niveles de transferencia entre tareas. Además, de acuerdo a los criterios propuestos por Sims y Mayer (2002), ambas tareas podrían compartir procesos cognitivos, pero no representaciones cognitivas exactas, lo que refuerza la idea de que se haya producido, al menos, una transferencia mínima.

David Uttal y colaboradores (2013) en su meta-análisis también señalaron la importancia de considerar grupos control en este tipo de investigaciones, para no confundir los verdaderos efectos producidos por un entrenamiento de aquellos que se desencadenan a consecuencia del aprendizaje test-retest. Este aspecto también ha sido

considerado en los dos estudios de este trabajo, incorporando un grupo control compuesto por participantes que no llevaron a cabo una intervención espacial de RM, sino que siguieron sus clases habituales mientras los participantes de un grupo experimental llevaban a cabo dicha intervención visoespacial.

En este sentido, pensamos que este trabajo presenta dos contribuciones importantes: una es la incorporación de un grupo control, y la otra es que las tareas de evaluación y de entrenamiento han sido diferentes, un aspecto que no siempre se había considerado en la literatura, y que es clave para valorar los efectos de un entrenamiento visoespacial y el grado de transferencia hacia otras tareas no entrenadas, tal y como señalaban en su meta-análisis David Uttal y colaboradores (2013).

El otro aspecto que enfatizaban David Uttal y colaboradores en el mencionado meta-análisis es el relativo a la durabilidad de los efectos entrenados, apuntando que “para que el entrenamiento espacial sea educacionalmente relevante, sus efectos deben durar más allá de unos pocos días, y deben mostrar al menos alguna transferencia a problemas y tareas no entrenados” (p. 353). No es muy habitual encontrar estudios que analicen los efectos de un entrenamiento a medio-largo plazo, más bien suelen evaluar los efectos entrenados en un periodo de tiempo inmediatamente después a la intervención. Meneghetti et al. (2017) encontraron en estudiantes universitarios que un entrenamiento informatizado de la RM utilizando estrategias de rotación conllevaba una transferencia y una durabilidad de los efectos entrenados hasta un mes después de terminar la intervención espacial. Otras

investigaciones han hallado que los efectos entrenados a nivel cognitivo, un aspecto importante en el campo de las intervenciones cognitivas, no siempre perduran en el tiempo, al menos en población de adultos mayores (Ballesteros et al., 2015). De hecho, estos autores han sugerido que, para mantener las mejoras de entrenamiento, podría ser necesario continuar practicando los juegos de manera ocasional.

Si bien, sí que se ha producido un efecto de transferencia hacia otro tipo de tarea espacial no entrenada, en ninguno de los dos estudios llevados a cabo en el presente trabajo se ha podido valorar la durabilidad de los efectos a largo plazo. Esto debe de considerarse como una limitación importante, de manera que sería recomendable que investigaciones futuras valoren si las habilidades visocognitivas entrenadas se mantienen en el tiempo.

También, en relación a los efectos de aprendizaje producidos a través de la intervención, nos parece interesante mencionar el resultado encontrado en la muestra de escolares, donde vimos que el grupo que llevó a cabo el entrenamiento espacial experimentaba un incremento significativo en cuanto a la inteligencia desde la fase previa a la fase posterior de la intervención, una mejora que no fue observada en el grupo control. Meneghetti et al. (2017), que encontró resultados similares con su tarea de RM, ha propuesto que esto puede deberse a los procesos compartidos de la RM con la memoria de trabajo, y de esta a su vez con la inteligencia fluida. De hecho, estas autoras han sugerido un estudio más exhaustivo de la implicación de un entrenamiento

espacial sobre factores de inteligencia, analizando mejor los beneficios del uso de estrategias al abordar tareas de RM e inteligencia fluida.

4.1.2. Igualdad entre sexos en las habilidades espaciales

Un factor que nos interesaba analizar en nuestras dos investigaciones, y que también era motivo de estudio en el mencionado meta-análisis de David Uttal y colaboradores, eran las posibles diferencias de sexo en el rendimiento espacial (ver objetivo 2 de los respectivos estudios). Nuestra hipótesis de partida era que el rendimiento espacial sería mejor en el género masculino en ambas fases de evaluación, pero los dos sexos podrían beneficiarse de manera similar con el programa de entrenamiento. Los hallazgos encontrados para los dos grupos de edad analizados han sido que ambos sexos tienen un rendimiento espacial similar, tanto antes, como después del entrenamiento. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Fernández-Méndez et al. (2018a), que tampoco han encontrado diferencias de sexo en RM ni antes, ni después de una intervención espacial en población preescolar española.

Debido al solapamiento entre inteligencia general y habilidades espaciales (e.g., Lohman, 1996), y que no hay diferencias de sexo en la inteligencia (Halpern y Lamay, 2000, Neisser et al., 1996), también hipotetizamos que la ventaja en el rendimiento espacial a favor del grupo masculino podría variar al controlar la inteligencia. Al controlar o excluir la inteligencia de los análisis, en el grupo de escolares encontramos

que el grupo de niños mejoraba significativamente más que las niñas en RM, un resultado que no se presentó cuando esta variable no fue controlada. Esto denota que las niñas “compensan” su habilidad espacial con la inteligencia general.

En relación a la intervención espacial, tampoco se han encontrado diferencias de sexo en el rendimiento general del PERM, ni en cuanto a precisión, ni en la velocidad de rotación. Los resultados relativos al rendimiento en el PERM serán discutidos en epígrafes posteriores.

Uno de los factores potenciales de todos los que se han encontrado en la literatura científica que contribuyen a las diferencias de género en el dominio espacial, es una menor experiencia espacial acumulada en el sexo femenino (e.g., Fennema y Sherman, 1977). En los dos estudios de este trabajo estuvimos interesados en analizar la interacción de los participantes con videojuegos, y que en la literatura científica se han descrito como otra vía para educar la cognición espacial, como veremos más adelante. Los resultados encontrados en el estudio con adolescentes nos hacen pensar que la práctica con actividades espaciales pueda estar minimizándose en la sociedad actual, por ejemplo, a través del uso de nuevas tecnologías (i.e., videojuegos o realidad virtual), como se ha visto en los estudiantes de secundaria, donde ambos sexos parecen tener una experiencia similar con videojuegos. Por el contrario, en el estudio con escolares sí que se ha encontrado que los niños tienen una mayor experiencia en videojuegos que las niñas. Sin embargo, al no encontrar diferencias de género en el rendimiento espacial, pensamos que las niñas podrían haber tenido una exposición ambiental hacia lo espacial

a través de diversos juegos y actividades que se han relacionado con un mejor rendimiento en pruebas espaciales, incluida la RM, como juegos específicos con carga espacial (Baenninger y Newcombe, 1989; Doyle, Voyer y Cherney, 2012; Moè, Jansen y Pietsch, 2018; Voyer, Nolan, Voyer, 2000) o la práctica de diferentes deportes (Jansen, Ellinger y Lehmann, 2018; Moè et al., 2018).

A pesar de que las diferencias de género en el dominio espacial han sido explicadas a través de diversos factores (e.g., biológicos, psico-sociales, cognitivos), los hallazgos de Doyle et al. (2012) sugieren que el factor ambiental, es decir, las actividades espaciales realizadas durante la infancia están relacionadas con el rendimiento de tareas espaciales específicas por encima de las diferencias biológicas asociadas con el sexo. Estos autores han sugerido la importancia de la experiencia espacial a través de diversas actividades durante la infancia para promover e igualar en ambos sexos las habilidades espaciales en la edad adulta.

Si la tendencia es que la experiencia espacial se está igualando en ambos sexos en la sociedad actual, esto podría tener un efecto muy positivo de cara a minimizar la baja representación del sexo femenino en campos relacionados con los dominios STEM, un aspecto que ha sido fuertemente reconocido en la literatura. De hecho, los resultados obtenidos por Contreras et al. (2018) sugieren un posible cambio en la tendencia de las diferencias entre sexos, de manera que las mujeres que eligen estudios como Arquitectura o Matemáticas parecen estar tan preparadas como los hombres en las habilidades visuoespaciales. De manera similar, Moè et al. (2018) también han

encontrado que las mujeres que actualmente cursan titulaciones del dominio STEM tenían una mayor preferencia por juegos espaciales en su infancia y su rendimiento en RM es mejor que el de las mujeres que cursan grados no STEM.

4.1.3. Ausencia de transferencia de lo espacial a lo matemático

Hasta la fecha, numerosas investigaciones se han centrado en identificar la relación entre las habilidades espaciales y matemáticas, a través del rendimiento obtenido en pruebas que miden estas dos habilidades. En el campo de las intervenciones visoespaciales, también se han llevado a cabo algunos estudios con individuos de diferentes edades para valorar la implicación en la mejora de varias tareas matemáticas. En población escolar se han obtenido resultados dispares e inconclusos, ya que parece que el entrenamiento de las habilidades espaciales se transfiere hacia algunas tareas matemáticas, pero no a otras (Cheng y Mix, 2014; Hawes et al., 2015, 2017). En estudiantes adolescentes, las pocas investigaciones realizadas habían utilizado tareas relacionadas con la RM para mejorar conceptos relacionados con geometría, encontrando también ciertas discrepancias, e incluso efectos nulos (Boulter, 1992; Pleet, 1991; Sundberg, 1994).

Debido al impacto que puede tener un déficit de las habilidades visoespaciales sobre el rendimiento matemático (Geary, 1993), porque un mejor razonamiento espacial implica un mejor rendimiento en algunas tareas matemáticas (e.g., Delgado y

Prieto, 2004; Holmes et al., 2008), y dado que las habilidades espaciales pueden determinar el futuro académico de una persona (e.g., Wai et al., 2009), vimos apropiado valorar si el entrenamiento de una categoría concreta del dominio espacial (i.e, la RM) podría tener efectos positivos hacia otra categoría específica del dominio matemático (i.e, aritmética) (véase objetivo 3 en ambos estudios).

En ninguno de los dos estudios realizados en estas dos etapas del desarrollo tan importantes a nivel académico, hemos encontrado un efecto de transferencia “lejana” (siguiendo con la nomenclatura de Hawes et al., 2015). Es decir, el entrenamiento de la RM no ha producido una mejoría en el rendimiento de tareas aritméticas. Tal y como explicábamos con detalle en la discusión de los dos capítulos anteriores, los escasos estudios realizados en la etapa escolar han producido una transferencia de la RM hacia algunas tareas matemáticas, pero no a otras que implican el cálculo numérico y la comparación de magnitudes numéricas (Hawes et al., 2015, 2017; Mix y Cheng, 2014). Por su parte, Lowrie et al. (2017) sí encontró una mejor ejecución en tareas sobre conceptos numéricos y de geometría, utilizando un entrenamiento con ejercicios que implicaban diferentes categorías espaciales (RM, Vz y SO).

Hasta el momento, la mayoría de las intervenciones de las habilidades espaciales se han llevado a cabo en un entorno de laboratorio controlado. Quizás una intervención realizada en un entorno más “ecológico”, a tales efectos de entrenamiento espacial, podría suponer un escenario más real y tener más relevancia educativa, tal y como han propuesto Hawes et al. (2017) en un diseño de intervención, novedoso en este sentido.

De hecho, estos autores han sugerido que los cambios en el pensamiento de los estudiantes de su estudio podrían deberse a ese tipo de enfoque más bien educacional, y no tanto a la instrucción espacial específica, apuntando que podría ser un método más efectivo (y ecológicamente válido). Sin embargo, estos investigadores encontraron únicamente la transferencia hacia una de tres tareas relacionadas con la magnitud numérica. En relación a esto, nuestros dos estudios también se llevaron a cabo en el aula de los respectivos centros escolares, utilizando un entrenamiento informatizado acotado hacia una única habilidad espacial, la RM. Sin embargo, no se utilizó un enfoque de pensamiento espacial en un contexto matemático, como realizaron Hawes et al. (2017).

Por tanto, los efectos nulos que hemos obtenido en la transferencia de lo rotacional hacia lo numérico, y poniendo en conjunto nuestros resultados con los obtenidos en las investigaciones mencionadas podrían servir como una reflexión y un punto de partida adicional para que en futuras intervenciones sobre razonamiento espacial se utilicen enfoques y diseños más apropiados. Solo así, un entrenamiento de razonamiento espacial podría tener una mayor repercusión educativa o académica.

En conjunto, estos resultados podrían ser explicados a partir de lo sugerido por Sims y Mayer (2002), que pusieron de manifiesto que la experiencia espacial es altamente específica del dominio y no se transfiere ampliamente a otros dominios. Además, la resolución de un problema de matemáticas requiere el uso de muchas de las capacidades básicas: leer, reflexionar, planificar el proceso de resolución o establecer

estrategias y procedimientos (BOCM No. 175, 25 de julio de 2014, p. 45). Por ejemplo, la influencia de otros factores esenciales en el aprendizaje de las matemáticas, como las habilidades lingüísticas (Gilligan et al., 2017; LeFevre et al., 2010), podrían explicar en parte estos resultados.

En resumen, no hemos encontrado una transferencia de lo rotacional a lo aritmético, quizás porque este tipo de tareas matemáticas subyacen procesos espaciales que no requieren una “pura” rotación mental, o se basan en otros factores no espaciales (e.g., inteligencia, procesos lingüísticos) o bien porque los estudiantes no hayan aplicado sus habilidades espaciales aprendidas, en este caso la habilidad para rotar mentalmente estímulos, a la resolución de problemas que implican operaciones numéricas (i.e., podrían no haber usado estrategias aritméticas mentales que se basan en procesos de razonamiento espacial).

En este sentido, resulta interesante mencionar un estudio llevado a cabo por Hegarty y Kozhevnikov (1999) reveló en estudiantes adolescentes que solo algunas representaciones visoespaciales promueven el éxito en la resolución de problemas, mientras que otras pueden presentar un obstáculo en la resolución de estos. Las autoras de este estudio, también, sugirieron que independientemente de la capacidad espacial de un estudiante, se podría enseñar a los alumnos estrategias productivas para representar espacialmente la información de un problema, fundamentalmente aquellas que implican la construcción de representaciones mentales más generales, y no tanto otras representaciones pictóricas que implican detalles irrelevantes para llegar a la

solución del problema. Por ello, pensamos que podría ser interesante que estudios futuros analicen cuáles son las estrategias más efectivas durante una tarea de RM y que podrían ayudar de forma más directa a desencadenar una transferencia hacia lo matemático.

En relación a esto, se han descrito diferentes estrategias en tareas de RM: rotacional u holística, no espacial o analítica, verbal y basada en toma de perspectivas (véase Meneghetti et al., 2017). Estas autoras llevaron a cabo un interesante estudio para analizar si el hecho de enseñar a los participantes una estrategia de “pura” rotación (estrategia holística) durante una tarea de RM en formato Shepard y Metzler podría producir efectos más beneficiosos que cuando los participantes se limitaban únicamente a hacer una tarea de rotación mental. Adicionalmente evaluaron si los efectos aprendidos podían mantenerse con el tiempo (al menos un mes después). Los resultados mostraron que el hecho de utilizar una estrategia holística (i.e., rotación general de los estímulos) durante la tarea de rotación, producía mayores beneficios en términos de durabilidad, y además producía una transferencia hacia otro tipo de categoría espacial (extrínseca-dinámica), en este caso de toma de perspectivas medida con el *Object Perspective Test (OPT)*, Hegarty y Waller, 2004). La cuestión es si el uso de este tipo de estrategias en el dominio espacial podría generar una transferencia hacia otro dominio, como el matemático.

Reflexionando sobre el uso de estrategias en la tarea de RM de nuestros respectivos estudios, y su transferencia hacia la tarea aritmética, pensamos que podrían

haber existido diferencias individuales en cuanto a la estrategia puesta en juego durante la intervención de RM. Durante la fase de práctica en los dos estudios del presente trabajo, los participantes pudieron visualizar de forma dinámica la rotación de la figura correcta (i.e., rotada) desde su posición de respuesta hasta que encajaba en el molde o *target* de referencia. La visualización de la rotación de la figura en una secuencia dinámica podría haber ayudado a los participantes a reforzar una estrategia holística que implica el proceso de rotación de la figura como un “todo”. Sin embargo, no aseguramos que esa estrategia fuera mantenida por los participantes a lo largo de la fase experimental (donde ya no se visualizaba dinámicamente la rotación), pudiendo cada uno de ellos utilizar otras estrategias, como la analítica.

En relación a esto, Meneghetti et al. (2017) han sugerido que practicar la rotación mental usando una estrategia de rotación produce beneficios más robustos que la práctica de la rotación por sí sola, y esta mejoría en el rendimiento espacial puede extenderse a otras habilidades espaciales y habilidades fluidas, como el razonamiento (p. 429). En ese sentido, podría ser interesante que futuras investigaciones valoren las diferencias individuales en el tipo de estrategia utilizada, analizando si el uso de una estrategia concreta facilita la transferencia hacia contenidos matemáticos específicos.

Por su parte, Bailey (2017) ha apuntado que los estudios sobre relación entre matemáticas y espacio deberían de centrarse en la investigación empírica sobre intervenciones espaciales para identificar mecanismos específicos en la asociación entre

matemáticas y espacio (Bailey, 2017; citado en Casey y Fell, 2018, p.70). Además, se ha recomendado:

(1) una mayor comprensión sobre qué tipos de habilidad espacial se requieren para diferentes contenidos matemáticos, (2) realizar intervenciones enfocadas para desarrollar cada tipo de contenido espacial, (3) y fomentar el uso de estrategias espaciales que se basen en ellas. (Traducción propia; Casey y Fell, 2018, p.71)

De hecho, “el razonamiento espacial desempeña un papel importante en la predicción del éxito general de las matemáticas con un poder predictivo aún mayor que las puntuaciones generales de matemáticas” (Farmer et al., 2013; citado en Hawes et al., 2015). Es por ello, que algunos autores, como Casey y Fell (2018) hayan apuntado recientemente que “las intervenciones tempranas en estudiantes con peor razonamiento espacial podrían eventualmente servir para desarrollar un sentido espacial y abordar los problemas matemáticos, con el beneficio adicional de poder recurrir a estrategias espaciales críticas para la resolución de problemas” (p.71).

4.1.4. Influencia de factores emocionales sobre el rendimiento espacial

En este trabajo también estábamos interesados en conocer un aspecto que ha sido relativamente poco investigado hasta la fecha: la relación entre la llamada “ansiedad espacial” y el rendimiento en RM (véase objetivo 4 en ambos estudios). En relación a este aspecto, un estudio que utilizamos como punto de partida fue el de

Ramirez et al. (2012). En su investigación, estos autores encontraron una correlación negativa entre ansiedad y rendimiento espacial en aquellos escolares, especialmente en el grupo de niñas, con una mayor capacidad de memoria de trabajo de tipo verbal. En nuestros dos estudios usamos una adaptación del cuestionario diseñado por Ramirez et al. (2012), y encontramos una mayor ansiedad espacial en los estudiantes con peor rendimiento en la prueba espacial de RM, pero tal asociación no llegó a ser significativa, a diferencia de lo encontrado por Ramirez y colaboradores. Pensamos que esta discrepancia en los resultados pueda deberse a una interpretación incorrecta o indebida del término "nerviosismo", que fue acuñado por estos autores, y que en nuestros respectivos estudios preferimos sustituir por el término "dificultad" hacia las diferentes tareas planteadas en el CSAQ-a. La disparidad de resultados respecto al estudio de Ramirez et al. (2012), también podría haberse debido a las propias situaciones planteadas en dicho cuestionario, y que podrían involucrar otros aspectos cognitivos no tan "puramente" espaciales. Recientemente, Lyons et al. (2018) han propuesto un cuestionario más extenso de 24 preguntas para valorar el grado de ansiedad espacial de un individuo, con situaciones que en sí mismas tienen una naturaleza más espacial que las planteadas en el CSAQ de Ramirez et al. (2012). Dado que nuestros dos estudios se llevaron a cabo antes de la validación del cuestionario desarrollado por Lyons y colaboradores, no pudimos utilizar este cuestionario. Sin embargo, sería interesante que estudios que valoren en adelante la llamada "ansiedad espacial" consideren el uso del cuestionario de Lyons et al. (2018).

También, con respecto a la ansiedad espacial, es interesante resaltar que en el grupo de adolescentes del grupo experimental se encontró una disminución significativa de este factor emocional, algo que no sucedió en el grupo control³⁶ (ver análisis adicional mostrado en la nota XX a pie de página del epígrafe 3.5.4). Como discutíamos en ese mismo epígrafe, este resultado no es sorprendente, ya que la experiencia espacial del PERM podría haber desencadenado una mayor confianza espacial en los participantes. No obstante, este resultado habría que interpretarlo con cautela, debido a las limitaciones comentadas y que pensamos que presenta el CSAQ-a.

En relación a las diferencias de género en ansiedad espacial, varias investigaciones realizadas en diferentes grupos edad han encontrado que el sexo femenino presenta una mayor ansiedad que el masculino hacia determinadas tareas espaciales (Lawton, 1994; Moè, Meneghetti y Cadinu, 2009; Ramirez et al., 2012). En ninguno de nuestros estudios hemos encontrado un efecto de género en la ansiedad espacial. Estos resultados podrían ser explicados, al menos en parte, por el hecho de que se esté produciendo una igualdad de género en la interacción con actividades espaciales en la sociedad actual, tal y como se planteaba anteriormente. A su vez, el hecho de no haber encontrado diferencias de sexo en la ansiedad espacial podría explicar que no se hayan evidenciado diferencias entre sexos en el rendimiento en ninguna de las dos pruebas espaciales (EFAI-E y PERM) de nuestros estudios.

³⁶ Este mismo análisis adicional de medidas repetidas no pudo ser realizado en el grupo de escolares, debido a que este cuestionario fue utilizado únicamente en la evaluación posttest en este grupo de edad.

4.1.5. La influencia de los videojuegos sobre el razonamiento espacial

Algunos investigadores han encontrado una relación entre una mayor experiencia previa con videojuegos y un mayor rendimiento en tareas espaciales, y, además, han atribuido una mayor interacción con este tipo de juegos en el sexo masculino de jóvenes adultos y universitarios (Quaiser-Pohl et al., 2006; Terlecki y Newcombe, 2005), que podría explicar en parte que este sexo tenga un mejor rendimiento en las habilidades espaciales. En nuestras dos investigaciones estábamos interesados por analizar estos aspectos menos estudiados en escolares y adolescentes (véase objetivo 5 en ambos estudios).

Solo en el grupo de adolescentes encontramos una correlación directa significativa entre la experiencia previa con videojuegos y el rendimiento en RM. En el caso de los escolares no se encontró tal relación, pero sí se vio una diferencia de género en el uso de videojuegos, de manera que los niños parecen tener una mayor interacción con estos. Por el contrario, en el grupo de adolescentes, no se vio una diferencia de sexo en la interacción con videojuegos. Estos resultados en cuanto a la experiencia con videojuegos en función del género podrían denotar que solo se presentan diferencias en este tipo de experiencias en determinadas etapas, en este caso en la escolar, y que a medida que se evoluciona en el desarrollo ambos sexos interaccionan por igual con los videojuegos. Es posible, que en etapas previas las niñas tengan menos interacción con juegos relacionados con las tecnologías, pero dediquen más tiempo a otras actividades

espaciales (e.g., Doyle et al., 2012). Ambas formas de experiencia espacial podrían contribuir a que se minimicen las diferencias de sexo en el procesamiento espacial. De hecho, se ha sugerido que la experiencia espacial en la infancia promueve la igualdad entre sexos en las habilidades espaciales en etapas posteriores del desarrollo (Doyle et al., 2012).

El cuestionario sobre experiencia espacial utilizado en nuestros dos estudios podría presentar bajas propiedades psicométricas (tal y como se explicaba en la discusión del capítulo 2), debido a la asignación de las puntuaciones según el número de días a la semana con la práctica de videojuegos. El cuestionario utilizado en este trabajo es una adaptación de dos cuestionarios: sección B del *Spatial Representation and Activities* (SSRA; Terlecki y Newcombe, 2005) y del *Computer-game experience* (Quaiser-Pohl et al., 2006). En la pregunta 3, que valora la frecuencia de uso con videojuegos, se asigna una puntuación menor cuantos menos días a la semana se juega, sin embargo, la dedicación en número de horas podría ser mayor con menos días de juego (e.g., los fines de semana). Por tanto, la forma en la que se ha hecho el registro de de la experiencia con videojuegos podría haber sesgado los resultados de esta variable. Por ello, instamos que en estudios futuros se utilice un registro por número de horas diarias de juego, tal y como han realizado Contreras et al. (2018).

4.1.6. Rendimiento espacial durante la intervención del PERM

El último de los objetivos de ambos trabajos (véase objetivo 6 en ambos estudios) era analizar en el grupo experimental el rendimiento a lo largo de las tres sesiones de entrenamiento, comparando la precisión y los tiempos de reacción (TR) en ambos sexos, y por niveles de habilidad espacial (baja y alta HE). Basándonos en la literatura previa, esperábamos que los participantes con menores habilidades espaciales al principio del entrenamiento alcanzasen un grado de mejora similar al grupo con mayores habilidades espaciales al final del programa. El nivel de habilidad espacial (baja y alta HE) se analizó en función de la mediana obtenida en las puntuaciones del EFAI-E en la evaluación previa.

El rendimiento en el PERM en ambos grupos de edad fue similar en algunos aspectos, pero difirió en otros. Por ejemplo, en general (i.e., cómputo global de las tres sesiones) no hubo diferencias de sexo ni en la precisión, ni en los TR. A pesar de no encontrarse diferencias significativas entre ambos sexos, es interesante señalar que en ambos grupos de edad se encontraron TR mayores en el sexo femenino, un hallazgo que coincide con los resultados de algunos estudios que han demostrado que el sexo masculino responde más rápido en tareas que implican la RM (Kail et al., 1984; Wiedenbauer y Jansen-Osmann, 2008). Esta velocidad más lenta para decidir la respuesta correcta en la tarea de RM en el sexo femenino ha resultado en una mayor precisión (tasa de aciertos). Por tanto, las niñas/chicas se toman más tiempo y son más

“cuidadosas” en realizar la rotación, resultando en un mayor número de respuestas correctas. Estos resultados están en la línea de los encontrados por Peña et al. (2008), que con su tarea espacial dinámica encontraron que los participantes que planificaban sus acciones antes de comenzar el ensayo presentaban una mayor latencia de respuesta, pero también una mejor ejecución en la tarea (mayor proporción de respuestas correctas, menor tiempo total invertido y menor desviación de la trayectoria).

Por nivel de HE, solo hubo diferencias en la precisión, pero no en los TR, de manera que la tasa de aciertos fue menor en los participantes con un nivel inferior en la HE (especialmente en el sexo masculino). Es interesante matizar que los estudiantes con “baja” HE tuvieron una buena ejecución en el PERM, alcanzando una tasa de aciertos a través de las tres sesiones del 75% y del 72%, en los escolares y adolescentes, respectivamente. En cualquier caso, estos porcentajes en la tasa total de aciertos difieren significativamente de los alcanzados por los participantes del grupo de alta habilidad espacial (82% en escolares y adolescentes).

Respecto a los análisis de los TR por niveles de habilidad espacial, aunque en ninguno de los dos estudios que hemos realizado se han encontrado diferencias significativas en los TR entre los sujetos con mejor y peor habilidad espacial, sí se aprecia una mayor velocidad de respuesta en los estudiantes con un mayor rendimiento espacial (**escolares:** ↓HE: 5113 ms, ↑HE: 5041 ms; **adolescentes:** ↓HE: 4870 ms, ↑HE: 4553 ms). Estos resultados podrían estar en la línea de los encontrados por Mumaw,

Pellegrino, Kail y Carter (1984), que encontraron que los individuos con alta capacidad espacial tenían velocidades de rotación más altas y una mayor precisión que los individuos con menor capacidad espacial, especulando que estos resultados estuvieran relacionados con la forma de procesar la información. Estos autores sugirieron que los individuos con mejores capacidades espaciales utilizan representaciones más sólidas y, por tanto, más holísticas, mientras que aquellos con peores habilidades espaciales suelen utilizar representaciones más frágiles que tienden a “desmoronarse” durante la rotación porque rotan el objeto por partes (i.e., de manera analítica). En la misma línea, Bethell-Fox y Shepard (1988) encontraron que los participantes con mejor rendimiento espacial a través de la práctica desarrollaban representaciones integradas como un “todo” en relación a los sujetos con una menor capacidad espacial que tendían a utilizar estrategias más analíticas y con apoyo verbal. Esto también podría explicar por qué los participantes de nuestros dos estudios con altas habilidades no solo tienen velocidades mayores de rotación, que además resultan en una mayor precisión o tasa de aciertos durante el entrenamiento de RM (**escolares:** ↓HE: 75%, ↑HE: 82%; **adolescentes:** ↓HE: 72%, ↑HE: 82%).

En cuanto a la evolución a lo largo de las tres sesiones también se encontraron ciertos puntos de convergencia y de divergencia entre los dos grupos de edad. En el grupo de escolares la tasa de aciertos decayó significativamente desde la primera a la última sesión, quizás por un incremento en la dificultad de la tarea conforme se avanzaba en el programa de entrenamiento, y no tanto por una falta de motivación,

dado que sus respuestas también eran más lentas conforme avanzaban las sesiones. En cualquier caso, en general, el nivel de precisión en los escolares fue bueno (83% en la sesión 1; 76% en la sesión 3). En el grupo de adolescentes, sin embargo, disminuyeron significativamente los TR desde la primera sesión (5156 ms.) hasta la última (4404 ms.), manteniendo prácticamente constante la precisión a lo largo de las tres sesiones ($\approx 77\%$), lo que podría denotar que, a pesar del incremento en la dificultad de la tarea con las sesiones, su nivel de motivación y/o su aprendizaje les permitía responder más rápido, mientras mantenían su nivel de precisión.

En ninguno de los grupos edad hubo diferencias entre sesiones en el rendimiento, en términos de velocidad de respuesta, por grupos de género y por nivel de HE, aunque los perfiles fueron algo diferentes en ambos grupos de edad. Mientras que en los escolares los TR aumentaron desde la primera a la última sesión por grupos de HE y de sexo (excepto en los niños, que fueron prácticamente constantes a través de las tres sesiones), en el grupo de adolescentes los TR decayeron, tanto en ambos grupos por nivel de HE, como por género.

Los perfiles de precisión sí mostraron diferencias en ambos grupos de edad, de forma que en los escolares no hubo variaciones a través de las tres sesiones por grupos de sexo, ni de HE, mientras que en los adolescentes se produjeron cambios inter-sesión por sexo y por nivel de HE. En ambos grupos de edad, los participantes con bajo nivel de HE disminuyeron progresivamente de la S1 a la S2, mientras que los de mayor HE disminuyeron de la S1 a la S2, pero después aumentaron ligeramente en la S3. En

cualquier caso, las diferencias intragrupalas solo se produjeron en los adolescentes. Respecto al rendimiento por grupos de sexo, las diferencias en la precisión entre sesiones también se produjeron únicamente en los adolescentes, debido a que los chicos mejoraron su rendimiento desde la primera sesión a la última, mientras que las chicas empeoraron desde el comienzo al final del programa de entrenamiento. Estos resultados podrían ser explicados porque los chicos estuvieran más motivados por producir respuestas correctas a lo largo de las diferentes sesiones del PERM, similar a los resultados encontrados por Voyer, Rodgers y McCormick (2004), que sugirieron que los hombres parecen estar más motivados por la necesidad de producir dos respuestas, mostrando un menor comportamiento de adivinación de respuestas. En cualquier caso, aunque no se hayan observado diferencias significativas entre sexos en el rendimiento del PERM conviene recordar que, en general, el sexo femenino ha mostrado una mayor precisión en ambos estudios, dedicando más tiempo para dar las respuestas. También resulta interesante recordar dos aspectos del PERM que podrían haber determinado las diferencias individuales en el rendimiento de los participantes: uno de los aspectos es que el entrenamiento se realizó en condiciones de potencia (sin restricciones de tiempo), lo que supondría una situación favorable para el sexo femenino de cara a mejorar su rendimiento espacial respecto a las condiciones de tiempo límite (Gallagher y Johnson, 1992; Goldstein et al., 1990; Voyer, 1997), y de hecho en los dos estudios se ha encontrado que la precisión espacial se invierte en las dos tareas para ambos sexos, donde el género masculino tiene una mayor tasa de aciertos en el EFAI-E (condición de

tiempo límite) y el femenino una mayor precisión en el PERM (condición de potencia). Este resultado podría reforzar la idea de que el rendimiento espacial de las mujeres es mejor cuando la prueba se lleva a cabo sin restricción de tiempo. Es habitual que el sexo femenino tenga niveles más altos de presión que los hombres en cuanto al tiempo limitado para realizar la tarea de RM, especialmente si no han tenido una práctica previa (Rahe et al., 2019). El otro aspecto relativo al diseño del PERM es que los participantes debían responder a cada uno de los ensayos presentados para poder pasar al siguiente, lo que habría “forzado” a los participantes para responder a todos los ítems presentados, evitando la posibilidad de dejar una respuesta en blanco. Algunas investigaciones sobre análisis de factores de rendimiento (o *performance factors*, como se describe en la literatura científica) han sugerido que las mujeres podrían ser menos propensas a tener un comportamiento de adivinación mientras hacen una tarea de RM cuando describen una baja tasa de elementos erróneos y una alta tasa de ítems sin responder (Goldstein et al., 1990) o, por el contrario, tener más tendencia a adivinar – dada su capacidad espacial limitada– cuando presentan una mayor tasa de ítems erróneos y menos elementos sin responder (Lohman, 1986) (véase Voyer et al., 2004). En nuestros estudios, por el propio diseño del PERM que, como decíamos, no permite dejar omitir una respuesta, y porque han tenido una mayor tasa de aciertos (i.e., menor tasa de errores), además de tomarse más tiempo para responder, podría pensarse que, en general, el sexo femenino ha tenido poca tendencia a adivinar. Estos resultados no se ajustarían a los hallazgos encontrados por Voyer, Rodgers y McCormick (2004), que

vieron que la tendencia hacia una conducta de adivinación de la respuesta en las mujeres se veía más afectada que en hombres, cuando contaban con más tiempo para hacer la tarea de rotación, sugiriendo además que las mujeres son menos cuidadosas en las respuestas a medida que aumenta el tiempo. Sin embargo, estos autores analizaron los ítems sin responder (para poder hacer un estudio de factores de rendimiento), algo que en nuestros estudios no se ha analizado en el EFAI-E, ni tampoco en el PERM por cuestiones de diseño en la metodología. También es interesante añadir que el rendimiento ligeramente diferente en ambas condiciones (tiempo límite vs. potencia) de nuestros dos estudios podrían no estar en la línea de lo sugerido por Lohman (1986), quien argumentó que las diferencias de sexo en la velocidad de procesamiento no es el factor responsable de las diferencias en el rendimiento espacial, por lo que la influencia de factores procedimentales sería mínima, y no contribuye a susodichas diferencias.

Nuestros estudios no han analizado aspectos relativos a factores de rendimiento que han sido valorados en la literatura sobre el tema, habitualmente en población adulta (universitaria). Sin embargo, las observaciones anteriormente planteadas sobre factores de rendimiento y estrategias en tareas de RM podrían servir como una reflexión adicional para considerar futuras investigaciones que examinen estos aspectos en diferentes grupos de edad y con este tipo de tareas en diferentes formatos (e.g., cronométrico vs. psicométrico, tarea de RM en formato S-M vs. formato V-K, versiones no rotadas en espejo vs. estructuralmente diferentes; e.g., Boone y Hegarty, 2017; Rahe et al., 2019).

Por último, un aspecto escasamente valorado en la literatura sobre intervenciones en RM es el de los incrementos o ganancias espaciales producidas en función del nivel espacial de partida. En este trabajo se han encontrado resultados ligeramente diferentes en ambos grupos de edad. En escolares se ha visto que los participantes con bajo nivel espacial son los que más se benefician, en la línea de otros estudios que han demostrado que individuos con menores recursos cognitivos se pueden beneficiar más aun de un entrenamiento que aquellos sujetos con niveles de partida superiores (Baniqued et al., 2014; David, 2012; García-Madruga et al., 2013; Karbach et al., 2015). Por el contrario, en adolescentes los participantes con mejores HE fueron los que mostraron mayores incrementos en la prueba de RM, quizás en la línea de estudios sobre diferencias individuales (de género) que han encontrado que los sujetos con mejores habilidades (i.e., sexo masculino) tienen mayores ganancias espaciales (Rafi et al., 2008). En cualquier caso, aunque nos parece interesante matizar estos resultados, en ninguno de los estudios se alcanzaron niveles de significación en los incrementos según el nivel de HE.

En ambos grupos de edad, el sexo masculino experimentó mayores ganancias espaciales, pero tampoco se encontraron diferencias significativas entre sexos en los incrementos espaciales, por tanto nuestros resultados parecen converger con los obtenidos en otras investigaciones llevadas a cabo en escolares (Chien, 1986; Hawes et al., 2017; Lowrie et al., 2017; Shavalier, 2004) y adolescentes (Mack, 1992; Neubauer et al., 2010; Pleet, 1991; Samsudin et al., 2011; Sanz de Acedo Lizarraga y García Ganuza,

2003), donde se ha observado que ambos sexos se benefician en la misma medida tras un programa de entrenamiento en razonamiento espacial.

4.1.7. Limitaciones y futuras líneas de desarrollo

En los epígrafes anteriores de este capítulo, hemos venido discutiendo una serie de aspectos que nos conducían a señalar algunas limitaciones y estas, a su vez, alentaban para que estudios futuros valoren aspectos inconclusos a lo largo de este trabajo.

Una limitación en este trabajo es el relativamente pequeño tamaño de la muestra en los dos estudios, que se hace más patente aún en el grupo de estudiantes de secundaria (N = 45). Al comparar los grupos por sexo y por nivel de habilidad espacial para analizar las diferencias individuales, se redujo el número de participantes para cada condición, pudiendo afectar a los resultados de los análisis de correlación y de varianza, y, por tanto, debemos ser cautelosos en la generalización de las conclusiones obtenidas. En este sentido, sería deseable que futuras investigaciones contaran con una muestra más numerosa con el fin de incrementar la capacidad de generalización de los resultados.

En cuanto a la durabilidad de los efectos producidos a través de un entrenamiento, algunos estudios que han entrenado la RM han encontrado que tanto

esta habilidad espacial, como otra no entrenada, se mantienen hasta un mes después (Meneghetti et al., 2017). Como ya apuntábamos en epígrafes anteriores, nuestros dos estudios presentan la limitación en cuanto a que no se ha valorado la durabilidad de los efectos aprendidos, realizándose la evaluación posttest un día después de finalizar la intervención espacial. Por ello, sería interesante que se lleven a cabo más estudios que examinen la durabilidad de los efectos a largo plazo.

Otra limitación mencionada con anterioridad es la no valoración de diversos factores que se han asociado al rendimiento matemático, como las habilidades verbales (e.g., Gilligan et al., 2017), la memoria de trabajo (e.g., Kyttälä y Lehto, 2008), la ansiedad matemática (e.g., Delgado y Prieto, 2007), y que pensamos que podrían haber contribuido a la obtención de conclusiones más claras y extensas.

Un aspecto que ha sido motivo de estudio a través de diferentes investigaciones, es el tipo de estrategia puesta en juego en tareas de RM, analizándose si se rotan, por ejemplo, de forma holística o fragmentaria (véase epígrafes anteriores). En la literatura, la inferencia utilizada para valorar el tipo de estrategia usada por el individuo se realiza a partir de los TR en función de la disparidad angular. Siguiendo el paradigma de Cooper y Shepard (1973), la pendiente de la función o línea de regresión (*slope*) entre los TR y la disparidad angular refleja la velocidad de RM y, por tanto, el proceso de rotación mental en sí mismo, mientras que la intersección o intercepto (*intercept*) refleja otros procesos

adicionales, como la codificación de los estímulos, la comparación de estos, la decisión y la respuesta realizada. Estas variables son utilizadas con frecuencia en algunas investigaciones para explicar mejor el tipo de beneficio asociado al rendimiento en un entrenamiento de RM (e.g., Meneguetti et al., 2017). Es habitual que en los estudios sobre cronometría en tareas de RM se utilice pasos angulares 30°, 40°, 45° ó 60° en un rango de 0° a 360°. Sin embargo, en los dos estudios de este trabajo se han utilizado únicamente tres tipos de disparidades angulares en las figuras rotadas: 90°, 180° y 270° (véase ANEXOS 3A, 3B, 5A y 5B). Esta limitación debería de considerarse, para que estudios futuros que utilicen la misma metodología de entrenamiento (PERM) incluyan estímulos con otras disparidades angulares intermedias, además de considerar un mejor contrabalanceo entre ambos estímulos. Incluso se podría plantear la posibilidad de incorporar una versión alternativa del PERM con un mayor número de estímulos de respuesta (i.e., cuatro) que permitan incorporar estímulos no rotados tanto en una versión en espejo, como en una versión estructuralmente diferente (elementos distractores). De esta forma la tarea se asemejaría más al diseño de RM en formato V-K, permitiendo hacer análisis de selección de estrategias en función de la configuración de las opciones de respuestas presentadas (e.g., Boone y Hegarty, 2017).

También, en relación con las diferencias entre sexos en la estrategia puesta en juego durante las tareas de RM, se ha sugerido que las mujeres presentan bajos niveles de confianza en su capacidad para resolver tareas espaciales (Parsons, Adler y Kaczala, 1982), lo que puede llegar a condicionar el tipo de estrategias espaciales durante la

tarea de RM (Raabe, Höger y Delius, 2006; véase también Rahe et al., 2019, para una revisión). Las diferencias en el uso de estrategias podrían ser debidas a las diferencias de sexo en la precisión de juicios de confianza o metacognición en tareas espaciales, como la RM (e.g., Cooke-Simpson y Voyer, 2007; Estes y Felker, 2012; Rahe et al. 2019). Por ejemplo, las mujeres tienen más probabilidades que los hombres de retener respuestas de baja confianza en pruebas de RM que han sido correctamente respondidas, lo que contribuiría a las diferencias de sexo en cuanto a su rendimiento espacial (Cooke-Simpson y Voyer, 2007). En contraste con las investigaciones anteriores centradas exclusivamente en la RM, recientemente Ariel, Lembeck, Moffat y Hertzog (2018) han encontrado que la precisión absoluta y relativa³⁷ de los juicios de confianza no difería en función del sexo, lo que sugiere que las mujeres pueden monitorizar su rendimiento espacial de manera similar a los hombres. Estos autores han sugerido las diferencias respecto a estudios previos se deban a las pruebas espaciales utilizadas (RM en formato V-K, en estudios previos), e indicando que la auto-percepción del individuo puede diferir entre tareas y, a veces, dentro de las tareas en función de la utilización de la estrategia (Mitchum y Kelley, 2010; citado en Ariel et al., 2018, p. 48).

³⁷ La precisión absoluta (también conocida como calibración) se refiere a si la magnitud promedio de los juicios de un individuo corresponde a su nivel general de rendimiento. La precisión relativa se refiere a la capacidad de la persona para discriminar entre decisiones de tareas espaciales correctas e incorrectas (es decir, si manifiesta mayor confianza para respuestas correctas que incorrectas).

En este sentido, sería interesante que en adelante se aborde con más profundidad los juicios de confianza en tareas de RM similares a las utilizadas en nuestros estudios, analizando las posibles diferencias de sexo en la auto-percepción del rendimiento y buscando una asociación de estos resultados sobre meta-cognición con el uso de estrategias específicas, como las que mencionábamos con anterioridad.

Uno de los objetivos principales de este trabajo era conocer mejor la relación entre RM y tareas aritméticas. Sin embargo, aunque los resultados obtenidos pueden contribuir de manera adicional a la literatura científica sobre el vínculo *espacio-matemáticas*, sería necesario que se realicen otros estudios para buscar con más profundidad la asociación entre estos dos dominios. Para analizar de manera más exhaustiva cómo se lleva a cabo el proceso de RM y algunas tareas matemáticas específicas, proponemos estudios con pruebas objetivas adicionales, por ejemplo, a través de la evaluación del rastreo de movimientos oculares (*eye-tracking*). Es bien conocido el vínculo *espacio-matemáticas* a través de estudios que han encontrado correlatos neuronales (véase Hawes, Sokolowski, Ononye y Ansari, en prensa; Kadosh, Lammertyn y Izard, 2008, para una revisión y un meta-análisis, respectivamente). Un enfoque para investigar los procesos visoperceptivos durante el procesamiento cognitivo es registrar y analizar los patrones de movimiento ocular durante una tarea específica, por ejemplo, durante el procesamiento de tareas numéricas y aritméticas (véase Mock, Huber, Klein y Moeller, 2016, para una revisión). Sin embargo, hasta la

fecha son escasos los estudios que han analizado los patrones de rastreo ocular en tareas de RM, y la relación entre las fijaciones oculares y los procesos y estrategias cognitivas en este tipo de tareas espaciales (véase Nazareth, Odean y Pruden, 2019, para una revisión). De hecho, Nazareth et al. (2019) han sugerido que “los patrones de mirada pueden servir como indicadores para los diferentes tipos de estrategias cognitivas utilizadas para resolver tareas de pensamiento espacial” (traducción propia, p. 245). Por tanto, esta técnica de exploración en tareas espaciales (e.g., rotación mental) podría servir de apoyo a las investigaciones realizadas hasta la fecha en el campo de la neurociencia cognitiva con registros de respuestas cerebrales (Gardony, Eddy, Bruny  y Taylor, 2017; N n ez-Peña y Aznar-Casanova, 2009; Zacks, 2008), para conocer algunos procesos y estrategias subyacentes, que podrían ser compartidas en tareas de RM y en otras específicas de matemáticas.

Un resultado relativamente novedoso de este trabajo, que también fue hallado por Meneghetti et al. (2017) en su investigación, es la mejora de la inteligencia fluida a través de la intervención espacial, quizás por el aprendizaje de estrategias que son comunes a ambas habilidades. Hayes, Petrov y Sederberg (2015) sugirieron que las mejoras test-retest encontradas en la prueba de inteligencia de Raven (versión *Advanced Progressive Matrices, APM, Set II*, Raven et al., 1998) podían atribuirse a estrategias aprendidas para la resolución de problemas, que fue demostrado por cambios característicos en los patrones de fijación ocular. En relación a esto, el uso de

técnicas para valorar los patrones de rastreo ocular también sería útil para analizar las estrategias que son compartidas en los procesos que impliquen RM e inteligencia fluida. De esta forma, también podría analizarse porqué el entrenamiento de la RM puede implicar una mejora hacia unas habilidades cognitivas, pero no a otras (i.e., inteligencia fluida y matemáticas).

En relación a los factores emocionales y basados en la experiencia previa analizados en este trabajo y que se han relacionado con la habilidad de RM, también destacamos las siguientes limitaciones. Por ejemplo, el CSAQ de Ramirez et al. (2012) que evalúa la llamada “ansiedad espacial”, podría presentar ciertas limitaciones (también expuestas con anterioridad), recomendando que las investigaciones que se realicen en adelante consideren la opción de utilizar el cuestionario desarrollado recientemente por Lyons et al. (2018), por evaluar aspectos “más” espaciales que los recogidos en el cuestionario de Ramirez et al. (2012). Otra limitación que adelantábamos anteriormente era la referente al cuestionario utilizado para valorar la experiencia con videojuegos, recomendando que en próximas investigaciones similares a esta se contabilice el número de horas diarias de juego (Contreras et al., 2018), con el objetivo de tener un registro más real y evitar posibles sesgos en la medida.

4.2. Resumen y conclusiones finales

Los dos estudios de investigación que aquí se plantean podrían suponer una importante contribución de carácter aplicado al campo de las intervenciones del razonamiento espacial. En este sentido, creemos que los resultados de los dos estudios experimentales planteados, junto con los hallazgos existentes en la literatura sobre intervenciones en aptitudes espaciales, más específicamente de la rotación mental, y la relación de esta aptitud espacial con el rendimiento aritmético, podría ser la manera de obtener nuevas conclusiones en futuros estudios de meta-análisis. Los resultados y conclusiones extraídas de un meta-análisis que valore estos dominios, podrían ser la vía para determinar cuál es la forma más operativa de realizar este tipo de programas de entrenamiento, tal vez con intervenciones centradas en otros tipos de tareas espaciales que estén más involucradas en áreas específicas de las matemáticas, intervenciones que lleven períodos de práctica más largos, la práctica con tareas espaciales que aprovechen entornos y enfoques más educativos (i.e., menos experimentales, como los propuestos por Hawes et al., 2017), y el uso de estrategias y refuerzos cognitivos como la recuperación activa (Lechuga, Ortega-Tudela, Gómez-Ariza, 2015) o el aprendizaje discriminativo (Estévez, Carmona, Esteban y Plaza, 2016), especialmente en tareas conceptualmente complejas, como son los problemas aritméticos en un contexto verbal.

Además, el análisis sobre cuáles son los procesos visoespaciales concretos y más directamente involucrados en el razonamiento de tareas matemáticas específicas, podría aportar la búsqueda de nuevos enfoques para optimizar este tipo de intervenciones (e.g., a través del uso de determinadas estrategias cognitivas) y ayudar a minimizar los riesgos de una intervención fallida que consuma recursos educativos considerables.

A partir de los resultados obtenidos en los dos estudios realizados para este trabajo, podríamos extraer las siguientes conclusiones:

1. La aptitud espacial de rotación mental (RM) es maleable en los dos grupos de edad analizados que comprometen la niñez y la adolescencia, produciéndose al menos una transferencia “cercana”, por compartir ciertas similitudes las tareas de evaluación y de entrenamiento.
2. Respecto a las diferencias de sexo en la habilidad espacial de RM, no se han observado en ninguno de los grupos de edad diferencias entre ambos sexos en la RM ni antes, ni después del entrenamiento, lo que pone de manifiesto que ambos sexos tienen un rendimiento equiparable.
3. La inteligencia parece controlar, al menos en el grupo de escolares, las diferencias entre ambos sexos en el rendimiento espacial, de forma que las niñas compensan su menor habilidad de RM con el razonamiento general.

Entrenamiento visoespacial

4. El entrenamiento informatizado de RM con una duración aproximada de 90 minutos (450 y 600 ensayos en escolares y adolescentes, respectivamente) no ha producido, en ninguno de los grupos de edad, efectos de mejora sobre una prueba con actividades relacionadas con la aritmética.
5. La práctica de RM a través del PERM ha producido una mejora en la inteligencia en el grupo de escolares.
6. Se han encontrado algunas correlaciones entre variables cognitivas, emocionales y basadas en la experiencia, tal y como se esperaba, mientras que otras correlaciones esperadas no se han evidenciado. También se han encontrado otras correlaciones inesperadas. Pensamos que estos hallazgos puedan deberse al reducido número de sujetos, así como a las propiedades psicométricas de algunas de las pruebas usadas y que están basadas en autoinformes, las cuales han podido sesgar los resultados.
7. En relación al rendimiento en el Programa de Entrenamiento de Rotación Mental (PERM), en ambos grupos de edad se ha encontrado un rendimiento significativamente superior en aquellos individuos con mejores habilidades espaciales de partida.
8. En cuanto a las ganancias obtenidas en la habilidad de RM, para ambos grupos de edad, estas son similares en ambos sexos y en ambos grupos según el nivel espacial de partida.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

- Adams, D. M., Stull, A. T. y Hegarty, M. (2014). Effects of mental and manual rotation training on mental and manual rotation performance. *Spatial Cognition & Computation, 14*(3), 169–198. <https://doi.org/10.1080/13875868.2014.913050>
- Alderton, D. L. (1989, Marzo). *The fleeting nature of sex differences in spatial ability*. Paper presentado en el Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, CA.
- Ariel, R., Lembeck, N. A., Moffat, S. y Hertzog, C. (2018). Are there sex differences in confidence and metacognitive monitoring accuracy for everyday, academic, and psychometrically measured spatial ability? *Intelligence, 70*, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2018.08.001>
- Baenninger, M. y Newcombe, N. (1989). The role of experience in spatial test performance: A meta-analysis. *Sex Roles, 20*(5-6), 327–344. <https://doi.org/10.1007/BF00287729>
- Baenninger, M. y Newcombe, N. (1995). Environmental input to the development of sex-related differences in spatial and mathematical ability. *Learning and Individual Differences, 7*(4), 363–379. [https://doi.org/10.1016/1041-6080\(95\)90007-1](https://doi.org/10.1016/1041-6080(95)90007-1)
- Ballesteros, S., Mayas, J., Prieto, A., Toril, P., Pita, C., Laura, P. D. L., ... y Waterworth, J. A. (2015). A randomized controlled trial of brain training with non-action video games in older adults: results of the 3-month follow-up. *Frontiers in Aging Neuroscience, 7*, 45. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00045>
- 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*, 1010. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.01010>

- Basak, C., Boot, W. R., Voss, M. W. y Kramer, A. F. (2008). Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychology and Aging, 23*(4), 765–777. <https://doi.org/10.1037/a0013494>
- Battista, M. T. (1990). Spatial visualization and gender differences in high school geometry. *Journal for Research in Mathematics Education, 21*(1), 47–60. <https://doi.org/10.2307/749456>
- Bennett, G. K., Seashore, H. G. y Wesman, A. G. (1947). *Differential Aptitude Test*. New York: Psychological Corporation.
- Bergner, S. y Neubauer, A. C. (2011). Sex and training differences in mental rotation: A behavioral and neurophysiological comparison of gifted achievers, gifted underachievers and average intelligent achievers. *High Ability Studies, 22*(2), 155–177. <https://doi.org/10.1080/13598139.2011.628849>
- Bethell-Fox, C. E. y Shepard, R. N. (1988). Mental rotation: Effects of stimulus complexity and familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 14*(1), 12–23. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.14.1.12>
- Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, B.O.C.M. (2007). DECRETO 23/2007, de 10 de mayo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria. B.O.C.M. Núm. 126 (10 de mayo de 2007), 48–139. Recuperado de http://www.madrid.org/dat_capital/loe/pdf/curriculo_secundaria_madrid.pdf, consultado el 23 de Mayo del 2019.
- Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, B.O.C.M. (2014). DECRETO 89/2014, de 24 de julio, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el Currículo de la Educación Primaria. B.O.C.M. Núm. 175 (25 de julio de 2014), 10–89. Recuperado de https://www.bocm.es/boletin/CM_Orden_BOCM/2014/07/25/BOCM-20140725-1.PDF, consultado el 23 de Mayo del 2019.

- Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, B.O.C.M. (2015). DECRETO 48/2015, de 14 de mayo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria. B.O.C.M. Núm. 118 (20 de mayo de 2015), 10–309. Recuperado de https://www.bocm.es/boletin/CM_Orden_BOCM/2015/05/20/BOCM-20150520-1.PDF, consultado el 23 de Mayo del 2019.
- 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. <https://doi.org/10.1037/xlm0000370>
- Botella, J, Peña, D., Contreras, M.J., Shih, P.C. y Santacreu, J. (2009) Performance as a function of ability, resources invested, and the strategy employed. *The Journal of General Psychology*, 136(1), 41–69. <http://dx.doi.org/10.3200/GENP.136.1.41-70>
- Boulter, D. R. (1992). *The effects of instruction on spatial ability and geometry performance* (Trabajo Fin de Máster sin publicar). University of Queen's, Kingston, ON.
- Brosnan, M. J. (1998). Spatial ability in children's play with Lego blocks. *Perceptual and Motor Skills*, 87(1), 19–28. <https://doi.org/10.2466/pms.1998.87.1.19>
- Bruce, C. D. y Hawes, Z. (2015). The role of 2D and 3D mental rotation in mathematics for young children: what is it? Why does it matter? And what can we do about it? *ZDM Mathematics Education*, 47(3), 331–343. <https://doi.org/10.1007/s11858-014-0637-4>
- Carpenter, P. A. y Just, M. A. (1986). Spatial ability: An information processing approach to psychometrics. En R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence*, Vol. 3. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carr, M., Alexeev, N., Horan, E., Barsed, N. y Wang, L. (2015, Marzo). *Spatial skills in elementary school predict trajectory of number sense development and achievement*. Poster presented en el Biennial Meeting of the Society for Research in Child Development, Philadelphia, PA.

- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Casey, B. M. y Fell, H. (2018). Spatial Reasoning: A Critical Problem-Solving Tool in Children's Mathematics Strategy Tool-Kit. En K. S. Mix y M. T. Battista (Eds.), *Visualizing Mathematics The Role of Spatial Reasoning in Mathematical Thought* (pp. 47–75). Cham, Switzerland: Springer.
- Casey, M. B., Nuttall, R. L. y Pezaris, E. (2001). Spatial-mechanical reasoning skills versus mathematical self-confidence as mediators of gender differences on mathematics subtests using cross-national gender-based items. *Journal for Research in Mathematics Education*, 32(1), 28–57. <https://doi.org/10.2307/749620>
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Cattell, R. B. (1973). *Technical supplement for the Cultural fair Intelligence Test Scales 2 and 3*. Champaign, IL: Institute for Personality and Ability Testing.
- Cheng, Y-L. y Mix, K. S. (2014). Spatial training improves children's mathematics ability. *Journal of Cognition and Development*, 15(1), 2–11. <https://doi.org/10.1080/15248372.2012.725186>
- Cherney, I. D. (2008) Mom, let me play more computer games: they improve my mental rotation skills. *Sex Roles*, 59(11-12), 776–786. <https://doi.org/10.1007/s11199-008-9498-z>
- 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. <https://doi.org/10.2466/23.25.PMS.119c12z0>
- Chien, S-C. (1986). *The effectiveness of animated and interactive microcomputer graphics on children's development of spatial visualization ability/mental rotation skills* (Tesis Doctoral). The Ohio State University, Columbus, OH. Recuperado de https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=osu148726555441953&disposition=inline

- Clements, D. H., Battista, M. T., Sarama, J. y Swaminathan, S. (1997). Development of students' spatial thinking in a unit on geometric motions and area. *Elementary School Journal*, 98(2), 171–186. <https://doi.org/10.1086/461890>
- Clynes, T. (2016). How to raise a genius: lessons from a 45-year study of super-smart children. *Nature News*, 537(7619), 152–155. <https://doi.org/10.1038/537152a>
- Colom, R., Contreras, M. J., Botella, J. y Santacreu, J. (2001). Vehicles of spatial ability. *Personality and Individual Differences*, 32(5), 903–912. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(01\)00095-2](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(01)00095-2)
- Colom, R., Contreras, M., Shih, P. C. y Santacreu, J. (2003). The assessment of spatial ability with a single computerized test. *European Journal of Psychological Assessment*, 19(2), 92–100. <https://doi.org/10.1027//1015-5759.19.2.92>
- Consejo Escolar del Estado (2018). Informe 2018 sobre el estado del sistema educativo: Curso 2016-2017. Madrid: Ministerio de Educación y Formación Profesional. Recuperado de <http://ntic.educacion.es/cee/informe2018/i18cee-informe.pdf>, consultado el 18 de Marzo del 2019.
- Contreras, M. J., Colom, R., Hernández, J. M. y Santacreu, J. (2003). Is static spatial performance distinguishable from dynamic spatial performance? A latent-variable analysis. *The Journal of General Psychology*, 130(3), 277–288. <https://doi.org/10.1080/00221300309601159>
- Contreras, M. J., Colom, R., Shih, P. C., Álava, M. J. y Santacreu, J. (2001). Dynamic spatial performance: Sex and educational differences. *Personality and Individual Differences*, 30(1), 117–126. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(00\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(00)00015-5)
- Contreras, M. J., Escrig, R., Prieto, G. y Elosúa, M. R. (2018). Spatial Visualization ability improves with and without studying Technical Drawing. *Cognitive Processing*, 19(3), 387–397. <https://doi.org/10.1007/s10339-018-0859-4>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2011.12.010>

- Cooper, L. A. y Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. En *Visual information processing* (pp. 75-176). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-170150-5.50009-3>
- 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. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1177/0956797610366091>.
- Delgado, A. R. y Prieto, G. (2004). Cognitive mediators and sex-related differences in mathematics. *Intelligence*, 32(1), 25–32. [https://doi.org/10.1016/s0160-2896\(03\)00061-8](https://doi.org/10.1016/s0160-2896(03)00061-8)
- De Lisi, R. y Cammarano, D. M. (1996). Computer experience and gender differences in undergraduate mental rotation performance. *Computers in Human Behavior*, 12(3), 351–361. [https://doi.org/10.1016/0747-5632\(96\)00013-1](https://doi.org/10.1016/0747-5632(96)00013-1)
- De Lisi, R. y Wolford, J. (2002). Improving children's mental rotation accuracy with computer game playing. *Journal of Genetic Psychology*, 163(3), 272–283. <https://doi.org/10.1080/00221320209598683>
- D'Oliveira, T. (2004). Dynamic Spatial Ability: an exploratory analysis and a confirmatory study. *The International Journal of Aviation Psychology*, 14(1), 19–38. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap1401_2
- Doyle, R. A., Voyer, D. y Cherney, I. D. (2012). The relation between childhood spatial activities and spatial abilities in adulthood. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 33(2), 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2012.01.002>
- Durand, M., Hulme, C., Larkin, R. y Snowling, M. (2005). The cognitive foundations of reading and arithmetic skills in 7-to 10-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91(2), 113–136. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2005.01.003>

- 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. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.42.6.1259>
- Ekstrom, R. B., French, J. W. y Harman, H. H. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests*. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Estes, D. (1998). Young children's awareness of their mental activity: The case of mental rotation. *Child Development*, 69(5), 1345–1360. <https://doi.org/10.2307/1132270>
- Estes, Z. y Felker, S. (2012). Confidence mediates the sex difference in mental rotation performance. *Archives of Sexual Behavior*, 41(3), 557–570. <https://doi.org/10.1007/s10508-011-9875-5>
- Estévez, A. F., Carmona, I., Esteban, L. y Plaza, V. (2016). Mejora del aprendizaje discriminativo en niños: consecuencias diferenciales y administración manual de diferentes formas de refuerzo. *Anales de Psicología/Annals of Psychology*, 32(3), 783–792. <https://doi.org/10.6018/analesps.32.3.219921>
- Fennema, E. y Sherman, J. (1977). Sex-related differences in mathematics achievement, spatial visualization and affective factors. *American Educational Research Journal*, 14(1), 51–71. <https://doi.org/10.3102/00028312014001051>
- Fernández-Méndez, L. M. (en trámite de defensa como tesis doctoral). *Programa de entrenamiento en Rotación Mental: diferencias individuales y evolutivas en Educación Infantil* (Tesis doctoral no publicada). Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid.
- Fernández-Méndez, L. M., Contreras, M. J. y Elosúa, M. R. (2018a). From what age is Mental Rotation training effective? Differences in Preschool Age but not in Sex. *Frontiers in Psychology*, 9, 753. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00753>
- Fernández-Méndez, L. M., Contreras, M. J. y Elosúa, M. R. (2018b). Developmental differences between 1st and 3rd year of early Childhood Education (Preschool) in Mental Rotation and its Training. *Psychological Research*, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1104-6>

- Fischer, U., Moeller, K., Bientzle, M., Cress, U. y Nuerk, H. C. (2011). Sensori-motor spatial training of number magnitude representation. *Psychonomic Bulletin & Review*, *18*(1), 177–183. <https://doi.org/10.3758/s13423-010-0031-3>
- French, J. W. (1951). *The description of aptitude and achievement tests in terms of rotated factors*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- French, J. W., Ekstrom, R. B. y Price, L. A. (1963). *Kit of reference tests for cognitive factors*. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Frick, A. (2018). Spatial transformation abilities and their relation to later mathematics performance. *Psychological Research*, *in press*. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1080/15248370902966719>
- Frick, A., Ferrara, K. y Newcombe, N. S. (2013). 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. <https://doi.org/10.1007/s10339-012-0534-0>
- Frick, A., Hansen, M. A. y Newcombe, N. S. (2013). Development of mental rotation in 3- to 5-year-old children. *Cognitive Development*, *28*(4), 386–399.
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00428.x>
- Gallagher, S. A. y Johnson, E. S. (1992). The effect of time limits on performance of mental rotations by gifted adolescents. *Gifted Child Quarterly*, *36*(1), 19–22. <https://doi.org/10.1177/001698629203600105>
- Ganley, C. M., Vasilyeva, M. y Dulaney, A. (2014). Spatial ability mediates the gender difference in middle school students' science performance. *Child Development*, *85*(4), 1419–1432. <https://doi.org/10.1111/cdev.12230>

- García-Madruga, J. A., Elosúa, M. R., Gil, L., Gómez-Veiga, I., Vila, J. Ó., Orjales, I., ... y 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. <https://doi.org/10.1002/rrq.44>
- Gardony, A. L., Eddy, M. D., Brunyé, T. T. y Taylor, H. A. (2017). Cognitive strategies in the mental rotation task revealed by EEG spectral power. *Brain and Cognition, 118*, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.07.003>
- Geary, D. C. (1993). Mathematical disabilities: cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Psychological Bulletin, 114*(2), 345–362. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.114.2.345>
- Geiser, C., Lehmann, W., Corth, M. y Eid, M. (2008). Quantitative and qualitative change in children's mental rotation performance. *Learning and Individual Differences, 18*(4), 419–429. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.09.001>
- Gilligan, K. A., Flouri, E. y Farran, E. K. (2017). The contribution of spatial ability to mathematics achievement in middle childhood. *Journal of Experimental Child Psychology, 163*, 107–125. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.04.016>
- Ginsburg, H. P. y Baroody, A. J. (2003). *Test of Early Mathematics Ability—Third Edition form A*. Austin, TX: PRO-ED.
- Gittler, G. y Glück, J. (1998). Differential Transfer of Learning: Effects of Instruction in Descriptive Geometry on Spatial Test Performance. *Journal for Geometry and Graphics, 2*(1), 71–84.
- Glück, J. y Fabrizii, C. (2010). Gender differences in the Mental Rotations Test are partly explained by response format. *Journal of Individual Differences, 31*(2), 106–109. <https://doi.org/10.1027/1614-0001/a000019>
- Goldstein, D., Haldane, D. y Mitchell, C. (1990). Sex differences in visual-spatial ability: the role of performance factors. *Memory & Cognition, 18*(5), 546–550. <https://doi.org/10.3758/BF03198487>

- Guay, R. B. (1977). *Purdue Spatial Visualization Test: Rotations*. West Lafayette, IN: Purdue Research Foundation.
- Guilford, J. P. y Zimmerman, W. S. (1948). The Guilford-Zimmerman Aptitude Survey. *Journal of Applied Psychology*, 32(1), 24–34. <https://doi.org/10.1037/h0063610>
- Gunderson, E. A., Ramirez, R., Beilock, S. L. y Levine, S. C. (2012). The relation between spatial skills and early number knowledge: The role of the linear number line. *Developmental Psychology*, 48(5), 1229–1241. <https://doi.org/10.1037/a0027433>
- Hahn, N., Jansen, P. y Heil, M. (2009). Preschoolers' Mental Rotation: Sex Differences in Hemispheric Asymmetry. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(6), 1244–1250. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21236>
- Halpern, D. (2007). Science, Sex, and Good Sense: Why Women Are Underrepresented in Some Areas of Science and Math. En S. J. Ceci y W. M. Williams (Eds.), *Why aren't more women in science? Top researchers debate the evidence* (pp. 121-130). Washington, DC, US: American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/11546-010>
- Halpern, D. (2011). *Sex Differences in Cognitive Abilities*. Fourth Edition. New York: Psychology Press.
- Halpern, D., Benbow, C., Geary, D. C., Gur, R., Hyde, J. y Gernsbacher, M. A. (2007). The science of sex differences in science and mathematics. *Psychological Science in the Public Interest*, 8(1), 1–51. <https://doi.org/10.1111/j.1529-1006.2007.00032.x>
- Halpern, D. F. y LaMay, M. L. (2000). The smarter sex: A critical review of sex differences in intelligence. *Educational Psychology Review*, 12(2), 229–246. <https://doi.org/10.1023/A:1009027516424>
- Hattie, J. y Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of educational research*, 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- 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*, 1–29.
<https://doi.org/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.
<https://doi.org/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.
<https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2018.12.002>
- Hawes, Z., Sokolowski, H. M., Ononye, C. B. y Ansari, D. (en prensa). Neural Underpinnings of Numerical and Spatial Cognition: An fMRI Meta-Analysis of Brain Regions Associated with Symbolic Number, Arithmetic, and Mental Rotation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.05.007>
- Hayes, T. R., Petrov, A. A. y Sederberg, P. B. (2015). Do we really become smarter when our fluid-intelligence test scores improve? *Intelligence*, 48, 1–14.
<https://doi.org/10.1016/j.intell.2014.10.005>.
- Hegarty, M. y Kozhevnikov, M. (1999). Types of visual-spatial representations and mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 91(4), 684–689.
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.91.4.684>.
- Hegarty, M. y Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32(2), 175–191.
<https://doi.org/10.1016/j.intell.2003.12.001>.
- Holmes, J., Adams, J. W. y Hamilton, C. J. (2008). The relationship between visuospatial sketchpad capacity and children's mathematical skills. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(2), 272–289.
<https://doi.org/10.1080/09541440701612702>

- Hoyek, N., Collet, C., Fargier, P. y Guillot, A. (2012). The use of the Vandenberg and Kuse Mental Rotation Test in children. *Journal of Individual Differences*, 33(1), 62–67. <https://doi.org/10.1027/1614-0001/a000063>
- 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. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.78.2.250>.
- Hunt, E., Pellegrino, J. W., Frick, R. W., Farr, S. A. y Alderton, D. (1988). The ability to reason about movement in the visual field. *Intelligence*, 12(1), 77–100. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(88\)90024-4](https://doi.org/10.1016/0160-2896(88)90024-4)
- Hyde, J.S. (2005). The gender similarities hypothesis. *American Psychologist*, 60(6), 581–592. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.60.6.581>
- IBM Corporation (2016). *SPSS, 24.0*. Armonk, NY.
- Instituto Nacional de Evaluación Educativa, INEE (2012). *PIRLS - TIMMS 2011. Estudio Internacional de Progreso en Comprensión Lectora, Matemáticas y Ciencias. IEA. Volumen I: Informe español*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Recuperado de <http://www.mecd.gob.es/dctm/inee/internacional/pirlstimss2011vol1.pdf?documentId=0901e72b8146f0ca>, consultado el 18 de Marzo del 2019.
- Instituto Nacional de Evaluación Educativa, INEE (2013). *PIACC 2013. Programa Internacional para la Evaluación de las Competencias de la Población Adulta. Informe español (Volumen I)*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Recuperado de <http://www.mecd.gob.es/dctm/inee/internacional/piaac/piaac2013vol1.pdf?documentId=0901e72b81741bbc>, consultado el 18 de Marzo del 2019.
- Instituto Nacional de Evaluación Educativa, INEE (2014). *PISA 2012. Programa para la Evaluación Internacional de los Alumnos. Informe español. Resultados y contexto*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Recuperado de

<http://www.educacionyfp.gob.es/inee/evaluaciones-internacionales/pisa/pisa-2012.html>, consultado el 18 de Marzo del 2019.

Instituto Nacional de Evaluación Educativa, INEE (2016). *PISA 2015. Programa para la Evaluación Internacional de los Alumnos. Informe español*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Recuperado de <http://www.educacionyfp.gob.es/inee/dam/jcr:e4224d22-f7ac-41ff-a0cf-876ee5d9114f/pisa2015preliminarok.pdf>, consultado el 18 de Marzo del 2019.

Instituto Nacional de Evaluación Educativa, INEE (2016). *TIMMS 2015. Estudio Internacional de Tendencias en Matemáticas y Ciencias. IEA. Informe español: Resultados y contexto*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Recuperado de <https://www.mecd.gob.es/dctm/inee/internacional/timss2015final.pdf?documentId=0901e72b822be7f5>, consultado el 18 de Marzo del 2019.

Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J. y Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(19), 6829–6833. <https://doi.org/10.1073/pnas.0801268105>

Jansen, P., Ellinger, J. y Lehmann, J. (2018). Increased physical education at school improves the visual-spatial cognition during adolescence. *Educational Psychology*, 38(7), 964–976. <https://doi.org/10.1080/01443410.2018.1457777>

Jansen, P., Schmelter, A., Quaiser-Pohl, C., Neuburger, S. y Heil, M. (2013). Mental rotation performance in primary school age children: are there gender differences in chronometric tests? *Cognitive Development*, 28, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2012.08.005>

Jaušovec, N. y Jaušovec, K. (2012). Working memory training: improving intelligence—changing brain activity. *Brain and Cognition*, 79(2), 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.02.007>

- Kadosh, R. C., Lammertyn, J. y Izard, V. (2008). Are numbers special? An overview of chronometric, neuroimaging, developmental and comparative studies of magnitude representation. *Progress in Neurobiology*, 84(2), 132–147. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2007.11.001>
- Kail, R. y Park, Y. S. (1990). Impact of practice on speed of mental rotation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 49(2), 227–244. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(90\)90056-E](https://doi.org/10.1016/0022-0965(90)90056-E)
- Kail, R., Stevenson, M. R. y Black, K. N. (1984). Absence of a sex difference in algorithms for spatial problem solving. *Intelligence*, 8(1), 37–46. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(84\)90005-9](https://doi.org/10.1016/0160-2896(84)90005-9)
- Kaplan, B. J. y Weisberg, F. B. (1987). Sex differences and practice effects on two visual-spatial tasks. *Perceptual and Motor Skills*, 64(1), 139–142. <https://doi.org/10.2466/pms.1987.64.1.139>
- Karbach, J., Strobach, T. y Schubert, T. (2015). Adaptive working-memory training benefits reading, but not mathematics in middle childhood. *Child Neuropsychology*, 21(3), 285–301. <https://doi.org/10.1080/09297049.2014.899336>
- Karbach, J. y Unger, K. (2014). Executive control training from middle childhood to adolescence. *Frontiers in Psychology*, 5, 390. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00390>
- Kass, S., Ahlers, R. y Dugger, M. (1998). Eliminating gender differences through practice in an applied visual spatial task. *Human Performance*, 11(4), 337–349. https://doi.org/10.1207/s15327043hup1104_3
- Kaufman, S. B. (2007). Sex differences in mental rotation and spatial visualization ability: Can they be accounted for by differences in working memory capacity? *Intelligence*, 35(3), 211–223. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2006.07.009>

- Kell, H. J., Lubinski, D., Benbow, C. P. y Steiger, J. H. (2013). Creativity and technical innovation: Spatial ability's unique role. *Psychological Science*, 24(9), 1831–1836. <https://doi.org/10.1177/0956797613478615>
- Klingberg, T., Forssberg, H. y Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), 781–791. <https://doi.org/10.1076/jcen.24.6.781.8395>
- Kozhevnikov, M. y Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Memory & Cognition*, 29(5), 745–756. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2003.12.001>
- 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 <https://doi.org/10.1002/icd.1815>
- Kwon, O. N., Kim, S.H. y Kim, Y. (2002). Enhancing spatial visualization through virtual reality (VR) on the web: Software design and impact analysis. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 21(1), 17–31.
- Kyllonen, R.C., Lohman, D. F. y Snow, R. E. (1984). Effects of aptitudes, strategy training and task facets on spatial task performance. *Journal of Educational Psychology*, 76(1), 130–145. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.76.1.130>
- Kyttälä, M., Aunio, P., Lehto, J. E., Van Luit, J. y Hautamäki, J. (2003). Visuospatial working memory and early numeracy. *Educational and Child Psychology*, 20(3), 65–76.
- Kyttälä, M. y Lehto, J. (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. <https://doi.org/10.1007/bf03173141>.

- Lachance, J. A. y Mazzocco, M. M. M. (2006). A longitudinal analysis of sex differences in math and spatial skills in primary school age children. *Learning and Individual Differences, 16*(3), 195–216. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2005.12.001>
- Larson, P., Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., van Rooyen, A., Kratz, K., Neumann, U., Kesselman, C., Thiebaut, M. y van der Zaag, C. (1999). Gender issues in the use of virtual environments. *CyberPsychology & Behavior, 2*(2), 113–123. <https://doi.org/10.1089/cpb.1999.2.113>
- Lawton, C. A. (1994). Gender differences in way-finding strategies: Relationship to spatial ability and spatial anxiety. *Sex Roles, 30*(11-12), 765–779. <https://doi.org/10.1007/BF01544230>
- Lechuga, M. T., Ortega-Tudela, J. M., & Gómez-Ariza, C. J. (2015). Further evidence that concept mapping is not better than repeated retrieval as a tool for learning from texts. *Learning and Instruction, 40*, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.08.002>
- LeFevre, J-A., Fast, L., Skwarchuk, S-L., Smith-Chant, B. L., Bisanz, J., Kamawar, D. y Penner-Wilger, M. (2010). Pathways to mathematics: Longitudinal predictors of performance. *Child Development, 81*(6), 1753–1767. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01508.x>
- Levine, S. C., Huttenlocher, J., Taylor, A. y Langrock, A. (1999). Early sex differences in spatial skill. *Developmental Psychology, 35*(4), 940–949. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.35.4.940>
- Linn, M. C. y Hyde, J. S. (1989). Gender, mathematics, and science. *Educational Researcher, 18*(8), 17–27. <https://doi.org/10.3102/0013189X018008017>
- Linn, M. C. y Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development, 56*(6), 1479–1498. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1985.tb00213.x>
- Lohman, D. F. (1986). The effect of speed-accuracy tradeoff on sex differences in mental rotation. *Perception & Psychophysics, 39*(6), 427–436.

- 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: Erlbaum
- Lohman, D. F. (1989). Human intelligence: An introduction to advances in theory and research. *Review of Educational Research*, 59(4), 333–373. <https://doi.org/10.3102/00346543059004333>
- Lohman, D. F. (1996). Spatial ability and g. En I. Dennis y P. Tapsfield (Eds.), *Human abilities: Their nature and measurement* (pp. 97–116). Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Lohman, D. F. y Nichols, P. D. (1990). Training spatial abilities: Effects of practice on rotation and synthesis tasks. *Learning and Individual Differences*, 2(1), 67–93. [https://doi.org/10.1016/1041-6080\(90\)90017-B](https://doi.org/10.1016/1041-6080(90)90017-B)
- Lowrie, T., Logan, T. y Ramful, A. (2017). Visuospatial training improves elementary students' mathematics performance. *British Journal of Educational Psychology*, 87(2), 170–186. <https://doi.org/10.1111/bjep.12142>
- Lubinski, D. y Benbow, C. P. (2006). Study of mathematically precocious Young after 35 years: uncovering antecedents for the development of math-science expertise. *Perspectives on Psychological Science*, 1(4), 316–345. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2006.00019.x>
- Lyons, I. M., Ramirez, G., Maloney, E. A., Rendina, D. N., Levine, S. C. y Beilock, S. L. (2018). Spatial Anxiety: A novel questionnaire with subscales for measuring three aspects of spatial anxiety. *Journal of Numerical Cognition*, 4(3), 526–553. <https://doi.org/10.5964/jnc.v4i3.154>
- Maccoby, E. E. y Jacklin, C. N. (1974). *The Psychology of Sex Differences*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Mack, W. E. (1992). *The effect of training in computer-aided design on the spatial visualization ability in selected gifted adolescents* (Tesis Doctoral). Faculty of the

- Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA. Recuperado de <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/26102>
- Maeda, Y. y Yoon, S. Y. (2013). A meta-analysis on gender differences in mental rotation ability measured by the Purdue spatial visualization tests: Visualization of rotations (PSVT: R). *Educational Psychology Review*, 25(1), 69–94. <https://doi.org/10.1007/s10648-012-9215-x>
- Marmor, G. S. (1977). Mental rotation and number conservation: are they related? *Developmental Psychology*, 13(4), 320–325. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.13.4.320>
- Marulis, L. M., Liu, L. L., Warren, C. M., Uttal, D. H. y Newcombe, N. S. (2007, Abril). Effects of training or experience on spatial cognition in children and adults: A meta-analysis. Poster presentado en el Biennial meeting of the Society for Research in Child Development, Boston, MA.
- Masters, M. (1998). The gender difference on the mental rotations test is not due to performance factors. *Memory & Cognition*, 26(3), 444–448. <https://doi.org/10.3758/BF03201154>
- Mayas, J., Parmentier, F. B., Andrés, P. y Ballesteros, S. (2014). Plasticity of attentional functions in older adults after non-action video game training: a randomized controlled trial. *PLoS One*, 9(3), e92269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092269>
- McClurg, P. A. y Chaillé, C. (1987). Computer games: Environments for developing spatial cognition? *Journal of Educational Computing Research*, 3(1), 95–111. <https://doi.org/10.2190/9N5U-P3E9-R1X8-ORQM>
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889–918. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.5.889>

- Meneghetti, C., Borella, E. y Pazzaglia, F. (2016). Mental rotation training: transfer and maintenance on spatial abilities. *Psychological Research*, 80(1), 113–127. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0644-7>
- Meneghetti, C., Cardillo, R., Mammarella, I. C., 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. <https://doi.org/10.1007/s00426-016-0749-2>
- Meneghetti, C., Ronconi, L., Pazzaglia, F. y De Beni, R. (2014). Spatial mental representations derived from spatial descriptions: the predicting and mediating roles of spatial preferences, strategies, and abilities. *British Journal of Psychology*, 105(3), 295–315. <https://doi.org/10.1111/bjop.12038>
- Meyer, M. L., Salimpoor, V. N., Wu, S. S., Geary, D. C. y Menon, V. (2010). Differential contribution of specific working memory components to mathematics achievement in 2nd and 3rd graders. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.08.004>.
- Middle Grade Mathematical Project (1983). *Spatial Visualization Test*. Michigan, MI: Michigan State University.
- Miller, D. I. y Halpern, D. F. (2014). The new science of cognitive sex differences. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(1), 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.10.011>
- Mix, K. S. y Cheng, Y-L. (2012). The relation between space and math: developmental and educational implications. *Advances in Child Development and Behavior*, 42, 197–243. doi: 10.1016/B978-0-12-394388-0.00006-X
- Mix, K. S., Levine, S. C., Cheng, Y-L., Young, C., Hambrick, D. Z., 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. <https://doi.org/10.1037/xge0000182>

- Mock, J., Huber, S., Klein, E. y Moeller, K. (2016). Insights into numerical cognition: Considering eye-fixations in number processing and arithmetic. *Psychological Research*, 80(3), 334–359. <https://doi.org/10.1007/s00426-015-0739-9>
- Moè, A. (2012). Gender difference does not mean genetic difference: Externalizing improves performance in mental rotation. *Learning and Individual Differences*, 22(1), 20–24. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.11.001>
- Moè, A. (2016). Does experience with spatial school subjects favour girls' mental rotation performance? *Learning and Individual Differences*, 47, 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2015.12.007>
- Moè, A., Jansen, P. y Pietsch, S. (2018). Childhood preference for spatial toys. Gender differences and relationships with mental rotation in STEM and non-STEM students. *Learning and Individual Differences*, 68, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2018.10.003>
- Moè, A., Meneghetti, C. y Cadinu, M. (2009). Women and mental rotation: Incremental theory and spatial strategy use enhance performance. *Personality and Individual Differences*, 46(2), 187–191. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2008.09.030>
- Moè, A. y Pazzaglia, F. (2006). Following the instructions! Effects of gender beliefs in mental rotation. *Learning and Individual Differences*, 16(4), 369–377. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.01.002>
- Mumaw, R. J., Pellegrino, J. W., Kail, R. V. y Carter, P. (1984). Different slopes for different folks: Process analysis of spatial aptitude. *Memory & Cognition*, 12(5), 515–521.
- National Council of Teachers of Mathematics, NCTM. (2000). *Principles and Standards for School Mathematics, PSSM*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- National Governors Association Center for Best Practices and Council of Chief State School Officers (2010). *Common Core State Standards Initiative (CCSSI)*.

Washington D.C: National Governors Association Center for Best Practices, Council of Chief State School Officers

Nazareth, A., Odean, R. y Pruden, S. M. (2019). The Use of Eye-Tracking in Spatial Thinking Research. En *Early Childhood Development: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 588-609). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7507-8.ch029>

Neisser, U. C., Boodoo, G., Bouchard, T. J., Jr., Boykin, A. W., Brody, N., Ceci, S. J., ... y Urbina, S. (1996). Intelligence: Knowns and unknowns. *American Psychologist*, *51*(2), 77–101. <http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.51.2.77>

Neubauer, A. C., Bergner, S. y Schatz, M. (2010). Two-vs. three-dimensional presentation of mental rotation tasks: Sex differences and effects of training on performance and brain activation. *Intelligence*, *38*(5), 529–539. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2010.06.001>

Neuburger, S., Jansen, P., Heil, M. y Quasier-Pohl, C. (2011). Gender differences in pre-adolescent mental rotation performance. *Personality and Individual Differences*, *50*(8), 1238–1242. doi 10.1016/j.paid.2011.02.017

Newcombe, N. S. y Frick, A. (2010). Early education for spatial intelligence: Why, what, and how. *Mind, Brain, and Education*, *4*(3), 102–111. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2010.01089.x>

Newcombe, N. S. y Shipley, T. F. (2015). Thinking about spatial thinking: New typology, new assessments. En *Studying visual and spatial reasoning for design creativity* (pp. 179-192). Dordrecht NL: Springer

Noda, M. (2010). Manipulative strategies prepare for mental rotation in young children. *European Journal of Developmental Psychology*, *7*(6), 746–762. <https://doi.org/10.1080/17405620903465771>

Núñez-Peña, M. I. y Aznar-Casanova, J. A. (2009). Mental rotation of mirrored letters: Evidence from event-related brain potentials. *Brain and Cognition*, *69*, 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.07.003>

- Okagaki, L. y Frensch, P. (1994). Effects of videogame playing on measures of spatial performance: Gender effects in late adolescence. *Journal of Applied Developmental Psychology, 15*(1), 15, 33–58. [https://doi.org/10.1016/0193-3973\(94\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0193-3973(94)90005-1)
- Olkun, S., Altun, A. y Smith, G. (2005). Computers and 2D geometric learning of Turkish fourth and fifth graders. *British Journal of Educational Technology, 36*(2), 317–326. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2005.00460.x>
- Parsons, J. E., Adler, T. F. y Kaczala, C. M. (1982). Socialization of achievement attitudes and beliefs: Parental influences. *Child Development, 53*(2), 310–321. <https://doi.org/10.2307/1128973>
- Parsons, T. D., Larson, P., Kratz, K., Thiebaut, M., Bluestein, B., Buckwalter, J. G. y Rizzo, A. A. (2004). Sex differences in mental rotation and spatial rotation in a virtual environment. *Neuropsychologia, 42*(4), 555–562. [doi:10.1016/j.neuropsychologia.2003.08.014](https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.08.014)
- Pellegrino, J. W., Alderton, D. L. y Shute, V. J. (1984). Understanding spatial ability. *Educational Psychologist, 19*(4), 239–253. <https://doi.org/10.1080/00461528409529300>
- Pellegrino, J. W. y Hunt, E. B. (1989). Computer-controlled assessment of static and dynamic spatial reasoning. En R. F. Dillon y J. W. Pellegrino (Eds.), *Testing: Theoretical and Applied Perspectives* (pp. 174-198). New York, NY, England: Praeger Publishers.
- 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 Psychologica, 128*, 1–14.
- Peters, M. (2005). Sex differences and the factor of time in solving Vandenberg and Kuse mental rotation problem. *Brain and Cognition, 57*(2), 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.08.052>

- Peters, M., Chisholm, P. y Laeng, B. (1995). Spatial ability, student gender, and academic performance. *Journal of Engineering Education*, 84(1), 69–73. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.1995.tb00148.x>
- Pina, V., Fuentes, L. J., Castillo, A. y Diamantopoulou, S. (2014). Disentangling the effects of working memory, language, parental education, and non-verbal intelligence on children's mathematical abilities. *Frontiers in Psychology*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00415>
- Pleet, L. J. (1991). *The effects of computer graphics and Mira on acquisition of transformation geometry concepts and development of mental rotation skills in grade eight* (Tesis Doctoral). Oregon State University, Corvallis, OR.
- Psychology Software Tools (2002). *Inc. E-prime 1.2*. Sharpburg, PA.
- Quaiser-Pohl, 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. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2005.07.015>
- Raabe, S., Höger, R. y Delius, J. D. (2006). Sex differences in mental rotation strategy. *Perceptual and Motor Skills*, 103(3), 917–930. <https://doi.org/10.2466/pms.103.3.917-930>
- 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.
- Rahe, M., Ruthsatz, V., Jansen, P. y Quaiser-Pohl, C. (2019). Different practice effects for males and females by psychometric and chronometric mental-rotation tests. *Journal of Cognitive Psychology*, 31(1), 92–103. <https://doi.org/10.1080/20445911.2018.1561702>
- Ramani, G. B. y Siegler, R. S. (2008). Promoting broad and stable improvements in low-income children's numerical knowledge through playing number board games. *Child Development*, 79(2), 375–394. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01131.x>

- 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. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(3), 474–487. <https://doi.org/10.1080/17470218.2011.616214>
- Rasmussen, C. y Bisanz, J. (2005). Representation and working memory in early arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91(2), 137–157. <https://doi.org/10.3201/eid1105.040934>
- Raven, J., Court, J. H. y Raven, J. C. (1996). *Standard Progressive Matrices*. Oxford, UK: Oxford Psychologists Press.
- Reilly, D., Neumann, D. L. y Andrews, G. (2015). Sex differences in mathematics and science achievement: A meta-analysis of National Assessment of Educational Progress assessments. *Journal of Educational Psychology*, 107(3), 645–662. <https://doi.org/10.1037/edu0000012>
- Reuhkala, M. (2001). Mathematical skills in ninth-graders: Relationship with visuo-spatial abilities and working memory. *Educational Psychology*, 21(4), 387–399. <https://doi.org/10.1080/01443410120090786>
- Rosenfield, D. W. (1986). Spatial relations ability skill training: The effect of a classroom exercise upon the skill level of spatial visualization of selected vocational education high school students. (Tesis Doctoral). The University of Cincinnati, Cincinnati, OH.
- Saccuzzo, D. P., Craig, A. S., Johnson, N. E. y Larson, G. E. (1996). Gender differences in dynamic spatial abilities. *Personality and Individual Differences*, 21(4), 599–607. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(96\)00090-6](https://doi.org/10.1016/0191-8869(96)00090-6)
- Samsudin, K., Rafi, A. y Hanif, A. S. (2011). Training in mental rotation and spatial visualization and its impact on orthographic drawing performance. *Journal of Educational Technology & Society*, 14(1), 179–186.

- Santacreu, J. y Rubio, V. (1998). *SODT-R and SVDT: Dynamic computerized tests for the assessment of spatial ability*. Technical Report. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Santamaría, P., Arribas, D., Pereña, J. y Seisdedos, N. (2005). *EFAI, Evaluación Factorial de las Aptitudes Intelectuales*. Madrid: Departamento I+D TEA Ediciones.
- 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. <https://doi.org/10.1023/A:1024656408294>
- Seisdedos, N. (1995). *Manual de las matrices progresivas de Raven. Escalas CPM, SPM y APM*. Madrid: TEA.
- Shavaliar, M. (2004). The effects of CAD-like software on the spatial ability of middle school students. *Journal of Educational Computing Research*, 31(1), 37–49. <https://doi.org/10.2190/X8BU-WJGY-DVRU-WE2L>
- 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. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.3.604>.
- Shepard, R. N. (1978). The mental image. *American Psychologist*, 33(2), 125–137. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.33.2.125>
- Shepard, R. N. y Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701–703. <https://doi.org/10.1126/science.171.3972.701>
- Sherman, J. (1979). Predicting mathematics performance in high school girls and boys. *Journal of Educational Psychology*, 71(2), 242–249. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.71.2.242>
- Sims, V. K. y Mayer, R. E. (2002). Domain specificity of spatial expertise: The case of video game players. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 16(1), 97–115. <https://doi.org/10.1002/acp.759>

- Skemp, R. R. (1986). *The psychology of learning mathematics*. London: Penguin Books.
- Sokolowski, H. M., Hawes, Z. y Lyons, I. M. (2019). What explains sex differences in math anxiety? A closer look at the role of spatial processing. *Cognition*, *182*, 193–212. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.10.005>
- Sorby, S. (2009). Developing spatial cognitive skills among middle school students. *Cognitive Processing*, *10*(2), 312–315. <https://doi.org/10.1007/s10339-009-0310-y>
- Stannard, L., Wolfgang, C. H., Jones, I. y Phelps, P. (2001). A longitudinal study of the predictive relations among construction play and mathematical achievement. *Early Child Development and Care*, *167*(1), 115–125. <https://doi.org/10.1080/0300443011670110>
- Suinn, R. M., Taylor, S. y Edwards, R. W. (1988). Suinn mathematics anxiety rating scale for elementary school students (MARS-E): Psychometric and normative data. *Educational and Psychological Measurement*, *48*(4), 979–986. <https://doi.org/10.1177/0013164488484013>
- Sundberg, S. E. (1994). *Effect of spatial training on spatial ability and mathematical achievement as compared to traditional geometry instruction* (Tesis Doctoral). School of Education, University of Missouri, Kansas City, MO.
- Suydam, M. N. (1985). The shape of instruction in geometry: Some highlights from research. *The Mathematics Teacher*, *78*(6), 481–486.
- Terlecki, M. S, Brown, J., Harner-Steciw, L., Irvin-Hannum, J., Marchetto-Ryan, N., Ruhl, L. y Wiggins, J. (2011). Sex Differences and Similarities in Video Game Experience, Preferences, and Self-Efficacy: Implications for the Gaming Industry. *Current Psychology*, *30*(1), 22–33. <https://doi.org/10.1007/s12144-010-9095-5>
- Terlecki, M. S. y Newcombe, N. S. (2005). How important is the digital divide? Relating computer and videogame usage to spatial ability. *Sex Roles*, *53*(5-6), 433–441. <https://doi.org/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: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 22(7), 996–1013. <https://doi.org/10.1002/acp.1420>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.05.009>
- Thurstone, L. L. (1938). *Primary Mental Abilities*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Thurstone, L.L. (1947). *Multiple-factor analysis*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Thurstone, L. L. y Thurstone, T. G. (1941). *Factorial studies of intelligence*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Tillotson, M. L. (1984). *The effect of instruction in spatial visualization on spatial abilities and mathematical problem solving* (Tesis Doctoral). University of Florida, Gainesville, FL. Recuperado de <http://ufdc.ufl.edu/AA00031531/00001/3x>
- 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. <https://doi.org/10.1080/17405620802548214>
- Toril, P., Reales, J. M., Mayas, J. y Ballesteros, S. (2016). Video game training enhances visuospatial working memory and episodic memory in older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 206. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00206>
- Tzuriel, D. (1995). The Cognitive Modifiability Battery (CMB). *Assessment and intervention: User's manual*. Tel Aviv, Israel: School of Education, Bar-Ilan University.
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01482.x>

- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C. y Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, *139*(2), 352–402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>
- Vandenberg, S. G. y Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, *47*(2), 599–604. <https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>
- Verdine, B. N., Golinkoff, R. M., Hirsh-Pasek, K. y Newcombe, N. S. (2014). Finding the missing piece: blocks, puzzles, and shapes fuel school readiness. *Trends in Neuroscience and Education*, *3*(1), 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2014.02.005>
- Voyer, D. (1997). Scoring procedure, performance factors, and magnitude of sex differences in spatial performance. *The American Journal of Psychology*, *110*(2), 259–276. <https://doi.org/10.2307/1423717>
- Voyer, D. y Jansen, P. (2016). Sex differences in chronometric mental rotation with human bodies. *Psychological Research*, *80*(6), 974–984. <https://doi.org/10.1007/s00426-015-0701-x>
- Voyer, D., Nolan, C. y Voyer, S. (2000). The relation between experience and spatial performance in men and women. *Sex Roles*, *43*(11-12), 891–915. <https://doi.org/10.1023/A:1011041006679>
- Voyer, D., Rodgers, M. A. y McCormick, P. A. (2004). Timing conditions and the magnitude of gender differences on the Mental Rotations Test. *Memory & Cognition*, *32*(1), 72–82. <https://doi.org/10.3758/BF03195821>
- 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. <https://doi.org/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.
<https://doi.org/10.1037/a0016127>
- Webb, R. M., Lubinski, D. y Benbow, C. P. (2007). Spatial ability: A neglected dimension in talent searches for intellectually precocious youth. *Journal of Educational Psychology*, 99(2), 397–420. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.99.2.397>.
- Wechsler, D. (2003). *Wechsler Intelligence Scale for Children – 4th Edition (WISC-IV®)*. San Antonio, TX: Harcourt Assessment.
- Wei, W., Chen, C. y Zhou, X. (2016). Spatial ability explains the male advantage in approximate arithmetic. *Frontiers in Psychology*, 7, 306.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00306>
- Wheatley, G. H. (1978). *The Wheatley Spatial Ability Test (manuscrito sin publicar)*. Purdue University, West Lafayette, IN.
- Wiedenbauer, G. y Jansen-Osmann, P. (2007). Mental rotation ability of children with spina bifida: what influence does manual rotation training have? *Developmental Neuropsychology*, 32(3), 809–824. <https://doi.org/10.1080/87565640701539626>
- Wiedenbauer, G. y Jansen-Osmann, P. (2008). Manual training of mental rotation in children. *Learning and Instruction*, 18(1), 30–41.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.09.009>
- Wiedenbauer, G., Schmid, J. y Jansen-Osmann, P. (2007). Manual training of mental rotation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 19(1), 17–36.
<https://doi.org/10.1080/09541440600709906>
- Wohlschläger, A. y Wohlschläger, A. (1998). Mental and manual rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(2), 397–412.
<https://doi.org/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.
<https://doi.org/10.1080/02568540109594958>.

- Wong, W. I. (2017). The space-math link in preschool boys and girls: Importance of mental transformation, targeting accuracy, and spatial anxiety. *British Journal of Developmental Psychology*, 35(2), 249–266. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12161>
- Woodcock, R. W. (1977). *Woodcock-Johnson Psycho-Educational Battery*. Technical Report. Allen, TX: DLM Teaching Resources.
- 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. <https://doi.org/10.3758/PBR.15.4.763>
- Yates, B. C. (1988). *The computer as an instructional aid and problem solving tool: An experimental analysis of two instructional methods for teaching spatial skills to junior high school students* (Tesis Doctoral), University of Oregon, Eugene, OR.
- Yeh, S. C., Wang, J. L., Wang, C. Y., Lin, P. H., Chen, G. D. y Rizzo, A. (2014). Motion controllers for learners to manipulate and interact with 3D objects for mental rotation training. *British Journal of Educational Technology*, 45(4), 666–675. <https://doi.org/10.1111/bjet.12059>
- Young, C., Levine, S. C. y Mix, K. S. (2018). What Processes Underlie the Relation Between Spatial Skill and Mathematics? En K. S. Mix y M. T. Battista (Eds.), *Visualizing Mathematics The Role of Spatial Reasoning in Mathematical Thought* (pp. 117–148). Cham, Switzerland: Springer.
- Zacks, J. M. (2008). Neuroimaging studies of mental rotation: a meta-analysis and review. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(1), 1-19. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20013>
- Zhang, X., Koponen, T., Räsänen, P., Aunola, K., Lerkkanen, M. K. y Nurmi, J. E. (2014). Linguistic and spatial skills predict early arithmetic development via counting sequence knowledge. *Child Development*, 85(3), 1091–1107. <https://doi.org/10.1111/cdev.12173>

Entrenamiento visoespacial

Zhao, X., Wang, Y., Liu, D. y Zhou, R. (2011). Effect of updating training on fluid intelligence in children. *Chinese Science Bulletin*, 56(21), 2202–2205.
<https://doi.org/10.1007/s11434-011-4553-5>

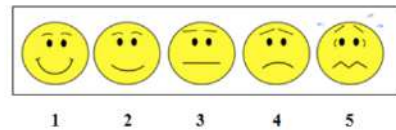
ANEXOS

ANEXO 1A. Cuestionario de ansiedad espacial utilizado en el grupo de escolares

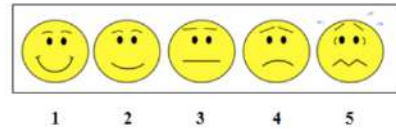
(adaptado del *Child Spatial Anxiety Questionnaire, CSAQ*; Ramirez et al., 2012).



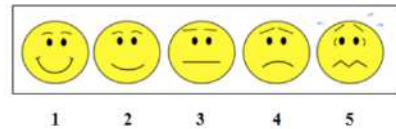
1. ¿Cómo te sientes cuando te preguntan por la derecha y la izquierda?



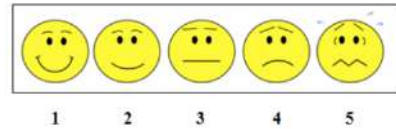
2. ¿Cómo te sientes si tu profesor te pide construir esta casa de piezas en 5 minutos?



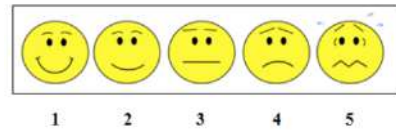
3. ¿Cómo te sientes si te dan este problema: “Juan es más alto que María y María es más alta que Cristina ¿Quién es más bajo, Juan o Cristina?”



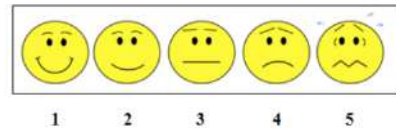
4. ¿Cómo te sientes cuando te preguntan que señales un lugar determinado en un mapa como éste?



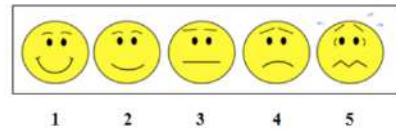
5. ¿Cómo te sientes cuando tu profesor te pregunta si estas formas son rectángulos y por qué lo son?



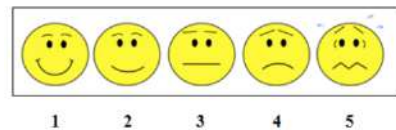
6. ¿Cómo te sientes cuando tienes que resolver un laberinto como éste en un minuto?



7. ¿Cómo te sientes si te piden medir algo con una regla?



8. ¿Cómo te sientes cuando un amigo te dice que le expliques como llegarías del colegio a tu casa?



ANEXO 1B. Material de apoyo para el CSAQ-a en el grupo de escolares

Imágenes de apoyo para pregunta #2

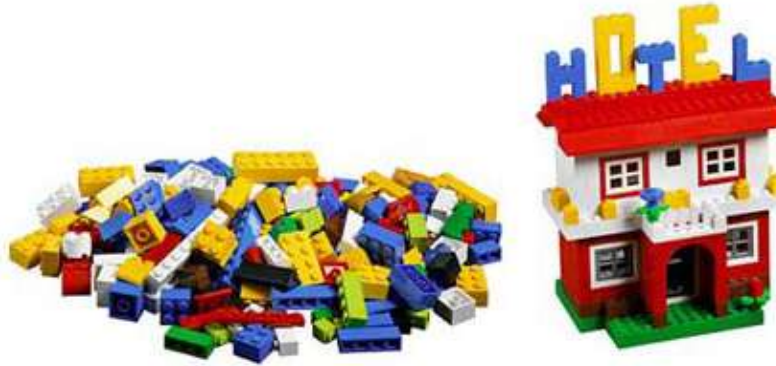
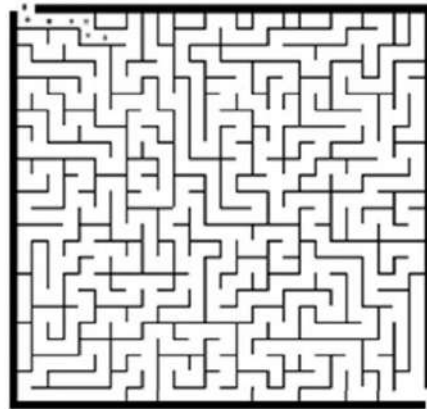


Imagen de apoyo para pregunta #4



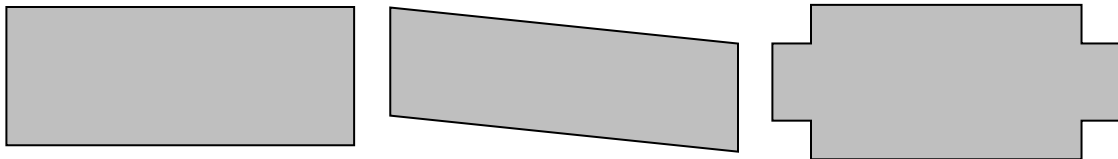
Imagen de apoyo para pregunta #6

Comienzo



Final

Imágenes de apoyo para pregunta #5



ANEXO 2. Cuestionario sobre la experiencia y preferencia de videojuegos (CVJ)

1. ¿Juegas a videojuegos? SI NO

2. ¿Te gustan los videojuegos? SI NO

3. ¿Con qué frecuencia juegas a los videojuegos?

- 1 día a la semana
- 3 días a la semana
- Todos los días de la semana
- Fines de semana

4. ¿Cómo te sientes cuando juegas con los videojuegos?

- Soy muy bueno
- Soy bueno
- Soy poco hábil
- Soy malo

5. ¿Cuál es tu juego preferido? _____

(Tipo de plataforma: _____)

ANEXO 3A. Características de los estímulos utilizados en el PERM de escolares

SESIÓN 1 (S1)			
Láminas	Opción correcta	Opción incorrecta	Combinación Correcta + Incorrecta
0 – 75	Rotación 90°	Espejo "X"	90 / X X / 90
		Espejo "X" + Rotación 90° Espejo "X" + Rotación 270°	270 / X X / 270 90 / Y Y / 90
76 – 150	Rotación 270°	Espejo "Y"	270 / Y Y / 270
		Espejo "X" + Rotación 90° Espejo "X" + Rotación 270°	90 / X+90 X+90 / 90 270 / X+90 X+90 / 270 90 / X+270 X+270 / 90 270 / X+270 X+270 / 270

SESIÓN 2 (S2)			
Láminas	Opción correcta	Opción incorrecta	Combinación Correcta + Incorrecta
0 – 38		Espejo "X"	90 / X X / 90
		Espejo "X" + Rotación 90° Espejo "X" + Rotación 270°	270 / X X / 270 90 / Y
39 – 75	Rotación 90° Rotación 180°	Espejo "Y"	270 / Y Y / 270
		Espejo "X" + Rotación 90° Espejo "X" + Rotación 270°	90 / X+90 X+90 / 90 270 / X+90 X+90 / 270 90 / X+270 X+270 / 90
75 – 150	Rotación 270°	Espejo "X"	270 / X+270 X+270 / 270
		Espejo "Y" Espejo "X" + Rotación 90° Espejo "X" + Rotación 270°	180 / X X / 180 180 / Y Y / 180 180 / X+90 X+90 / 180 180 / X+270 X+270 / 180

SESIÓN 3 (S3)			
Láminas	Opción correcta	Opción incorrecta	Combinación Correcta + Incorrecta
0 – 150	Rotación 90° Rotación 180° Rotación 270°	Espejo "X"	90 / X X / 90 270 / X X / 270
		Espejo "Y" Espejo "X" + Rotación 90° Espejo "X" + Rotación 270°	90 / X+90 X+90 / 90 270 / X+90 X+90 / 270 90 / X+270 X+270 / 90 270 / X+270 X+270 / 270 180 / Y Y / 180 180 / X+90 X+90 / 180 180 / X+270 X+270 / 180

ANEXO 3B. Características de los estímulos utilizados en el PERM de escolares

Lámina S1	Estímulo 1	Estímulo 2
001p	X+270	270
002p	90	X
003p	270	X+270
004p	X	90
005p	270	Y
006p	90	X+270
007p	X+90	270
008p	Y	270
009p	X+90	90
010p	90	X+90
001	X	90
002	X+270	270
003	270	X+270
004	X	270
005	90	x+90
006	90	x+90
007	X	270
008	x+270	90
009	x+270	90
010	270	X
011	90	X
012	x+90	90
013	270	x+90
014	90	X
015	270	x+270
016	x+270	270
017	x+90	270
018	90	X
019	x+90	270
020	90	X
021	270	x+270
022	x+270	90
023	x+90	270
024	X	270
025	270	x+270
026	90	x+270
027	x+90	270
028	90	X
029	90	x+90
030	x+270	90
031	270	x+270
032	270	x+270
033	270	x+90
034	90	x+90
035	X	270
036	270	x+270
037	X	90
038	x+90	90
039	270	X+90
040	x+270	270
041	X	90
042	270	x+90
043	90	x+90
044	x+270	270

Lámina	Estímulo 1	Estímulo 2
045	X	90
046	90	X
047	90	x+270
048	X	270
049	x+90	90
050	x+90	90
051	270	x+270
052	90	x+90
053	X	90
054	270	x+270
055	X	270
056	x+90	270
057	X	90
058	270	x+270
059	x+90	90
060	x+90	270
061	270	X
062	90	X
063	90	x+270
064	x+90	90
065	270	X
066	x+270	90
067	90	x+90
068	x+270	90
069	x+270	270
070	90	x+90
071	270	X
072	90	X
073	x+270	270
074	90	x+90
075	X	270
076	x+270	270
077	Y	270
078	Y	270
079	90	x+270
080	90	x+270
081	270	Y
082	Y	90
083	90	Y
084	x+270	270
085	Y	270
086	90	Y
087	270	Y
088	x+270	90
089	x+270	270
090	270	x+270
091	90	x+90
092	x+270	270
093	90)	Y
094	x+270	270
095	270	x+90
096	Y	90
097	x+270	90
098	270	Y

Lámina	Estímulo 1	Estímulo 2
099	90	x+270
100	x+90	270
101	270	Y
102	x+90	270
103	x+90	90
104	Y	90
105	270	x+90
106	90	Y
107	x+270	90
108	90	x+90
109	270	x+270
110	90	x+90
111	x+90	90
112	270	X+90
113	x+90	270
114	270	Y
115	90	x+270
116	Y	90
117	x+90	90
118	270	x+90
119	x+270	270
120	1(90)	Y
121	x+270	270
122	x+90	270
123	270	Y
124	x+270	90
125	90	x+90
126	x+270	270
127	90	Y
128	90	Y
129	x+90	90
130	Y	270
131	x+270	270
132	90	x+90
133	270	x+90
134	x+90	90
135	270	x+270
136	90	x+90
137	270	x+270
138	Y	270
139	90	x+90
140	x+270	270
141	Y	270
142	270	X+90
143	x+270	90
144	90	x+90
145	x+270	270
146	Y	90
147	x+90	90
148	90	x+270
149	270	x+90
150	Y	90

ANEXO 3B. (CONTINUACIÓN)

Lámina S2	Estímulo 1	Estímulo 2
011p	90	Y
012p	270	X+90
013p	X+270	180
014p	180	X+90
015p	X+270	90
016p	X+90	270
017p	90	X
018p	Y	270
019p	X+270	180
020p	270	X
151	X	90
152	90	X+270
153	180	X
154	X+90	270
155	90	X+270
156	X+90	90
157	X+270	90
158	270	X
159	180	X+270
160	180	X+90
161	X	90
162	X+90	180
163	90	X
164	X	180
165	270	X+270
166	X+90	90
167	X+90	90
168	270	X+270
169	X+90	90
170	270	X
171	X	180
172	270	X+270
173	90	X+90
174	X	180
175	X+90	270
176	180	X
177	90	X
178	270	X+270
179	X+270	270
180	X+90	180
181	270	X+90
182	90	X+270
183	X+90	180
184	X+270	180
185	270	X+90
186	X	270
187	X+270	90
188	X+90	180
189	90	x+270
190	270	Y
191	X+270	180
192	90	Y
193	X+90	270
194	180	Y

Lámina	Estímulo 1	Estímulo 2
195	270	x+270
196	90	X+90
197	x+270	90
198	Y	180
199	x+270	90
200	270	X+90
201	Y	180
202	x+270	90
203	270	x+270
204	270	X+90
205	X+90	90
206	Y	270
207	x+270	180
208	90	Y
209	X+90	270
210	180	x+270
211	270	x+270
212	X+90	90
213	Y	180
214	180	X+90
215	x+270	270
216	180)	Y
217	X+90	180
218	X+90	270
219	270	Y
220	90	X+90
221	x+270	90
222	180	Y
223	180	Y
224	X+90	90
225	270	x+270
226	90	X+270
227	Y	180
228	90	X+90
229	X	270
230	X+270	180
231	270	X+90
232	X+270	90
233	Y	180
234	X	180
235	270	X+270
236	90	X+90
237	X+90	90
238	X	270
239	X+270	180
240	90	X+270
241	Y	180
242	X+270	90
243	X+90	270
244	180	Y
245	180	X+90
246	X+90	90
247	270	Y
248	X+270	270

Lámina	Estímulo 1	Estímulo 2
249	90	X+270
250	90	X
251	X+90	90
252	270	X
253	X+270	180
254	270	X+90
255	270	X+270
256	X+270	90
257	X+90	90
258	180	X+90
259	270	Y
260	X+270	180
261	180	X+90
262	270	X+90
263	X	270
264	Y	180
265	X+90	180
266	270	X+90
267	X	90
268	X+270	270
269	X+270	90
270	Y	270
271	180	X
272	180	X+270
273	Y	270
274	90	X+90
275	90	X+270
276	270	X+90
277	X+270	180
278	X+90	90
279	X+90	270
280	90	X+270
281	180	X+90
282	X+270	270
283	X+270	90
284	180	X
285	Y	180
286	X	270
287	90	X+270
288	X+90	180
289	270	Y
290	90	X
291	X+270	90
292	90	X+270
293	180	X+90
294	180	X+90
295	270	Y
296	X+270	270
297	90	X+90
298	270	Y
299	X+90	180
300	180	X

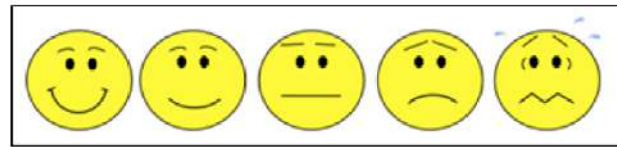
ANEXO 3B. (CONTINUACIÓN)

Lámina S3	Estímulo 1	Estímulo 2
021p	X+90	180
022p	X+270	270
023p	90	Y
024p	180	Y
025p	X+90	90
026p	180	X
027p	X+90	90
028p	270	X+270
029p	180	X
030p	X+270	270
301	X+90	90
302	Y	180
303	270	X+90
304	90	X
305	90	X+90
306	X	270
307	180	X+90
308	270	X+270
309	270	X+270
310	X+270	90
311	Y	180
312	90	X+90
313	90	X+270
314	X+90	180
315	180	X+90
316	X+270	270
317	90	X+90
318	X	
319	X+90	270
320	90	X+270
321	X+270	90
322	Y	180
323	X+270	270
324	X	270
325	90	X+270
326	270	X
327	X	270
328	X+90	180
329	90	X+90
330	90	X+270
331	270	X
332	Y	180
333	Y	180
334	90	X+270
335	X	270
336	X+90	180
337	90	X
338	90	X+270
339	90	X
340	X+270	270
341	180	X+90
342	180	Y
343	X+270	270
344	X	90

Lámina	Estímulo 1	Estímulo 2
345	X+270	270
346	Y	180
347	90	X+90
348	X+270	270
349	180	Y
350	1 (180)	X+90
351	X	90
352	X+90	270
353	270	X+90
354	180	X+270
355	X	90
356	270	X+90
357	180	Y
358	90	X+90
359	X+270	90
360	X+90	270
361	X+270	180
362	90	X+270
363	X+90	90
364	180	X+270
365	X+270	270
366	180	X+270
367	X+90	270
368	X+90	90
369	180	Y
370	X+90	270
371	X+270	180
372	180	Y
373	270	X+90
374	180	X+270
375	180	Y
376	90	X+90
377	Y	180
378	X+270	90
379	180	X+90
380	180	Y
381	X+270	90
382	X+90	270
383	90	X+90
384	270	X+270
385	180	Y
386	X+270	270
387	X+270	90
388	X	270
389	Y	180
390	90	X
391	90	X+90
392	X+270	180
393	X+90	180
394	270	X+90
395	X	90
396	X+270	180
397	90	X
398	X+90	180

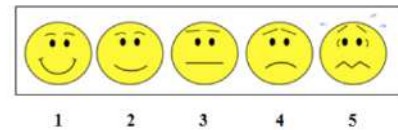
Lámina	Estímulo 1	Estímulo 2
399	90	X
400	270	X+90
401	Y	180
402	X+270	90
403	180	X+270
404	90	X+270
405	180	Y
406	90	X
407	X+270	90
408	X+270	180
409	270	X+90
410	X+90	90
411	X+270	180
412	270	X+270
413	X+90	90
414	Y	180
415	270	X+270
416	180	X+270
417	X+270	90
418	X+90	270
419	270	X+90
420	90	X+270
421	270	X+270
422	X+270	270
423	90	X+270
424	X+270	90
425	Y	180
426	X	270
427	270	X+270
428	180	Y
429	Y	180
430	X	270
431	270	X+270
432	X+90	90
433	270	X+90
434	Y	180
435	X+90	270
436	90	X+90
437	180	X+90
438	270	X
439	X	270
440	90	X+90
441	X+90	180
442	X	270
443	90	X+90
444	180	Y
445	X	270
446	270	X+90
447	X+90	90
448	180	X+90
449	X+270	270
450	180	Y

ANEXO 4A. Cuestionario de ansiedad espacial utilizado en el grupo de estudiantes de E.S.O (adaptado del *Child Spatial Anxiety Questionnaire, CSAQ*; Ramirez et al., 2012).

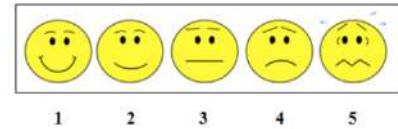


1	2	3	4	5
No me pongo nervioso	Me pongo solo un poco nervioso	Me pongo algo nervioso	Me pongo muy nervioso	Me pongo muy, muy nervioso

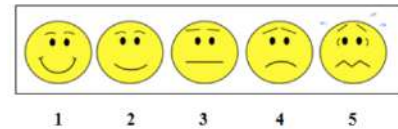
1. ¿Cómo te sientes cuando te preguntan por la derecha y la izquierda?



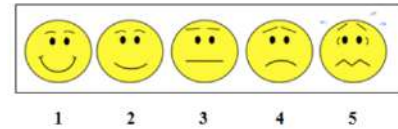
2. ¿Cómo te sientes si tu profesor te pide construir un puzle de 250 piezas como éste en 1 hora?



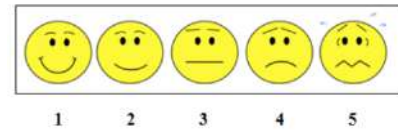
3. ¿Cómo te sientes si te dan este problema: “Luis es medio metro más alto que Carmen y Carmen es un metro más alta que Cristina ¿Quién es más bajo, Luis o Cristina?”



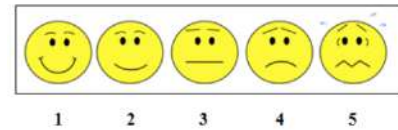
4. ¿Cómo te sientes cuando te preguntan que señales un lugar determinado en un mapa como éste?



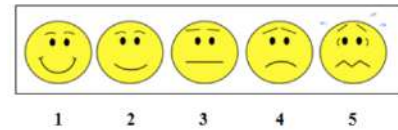
5. ¿Cómo te sientes cuando tu profesor te pregunta si alguno de estos segmentos están marcados por su mediatriz?



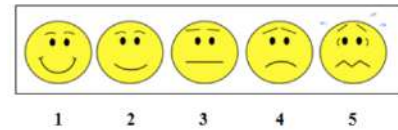
6. ¿Cómo te sientes cuando tienes que resolver un laberinto como éste en un minuto?



7. ¿Cómo te sientes si te piden calcular ángulos y distancias entre dos puntos?



8. ¿Cómo te sientes cuando un amigo te dice que le expliques como llegarías del colegio/instituto a tu casa?



ANEXO 4B. Material de apoyo para el CSAQ-a en el grupo de estudiantes de E.S.O.

Imágenes de apoyo para pregunta #2



Imagen de apoyo para pregunta #4

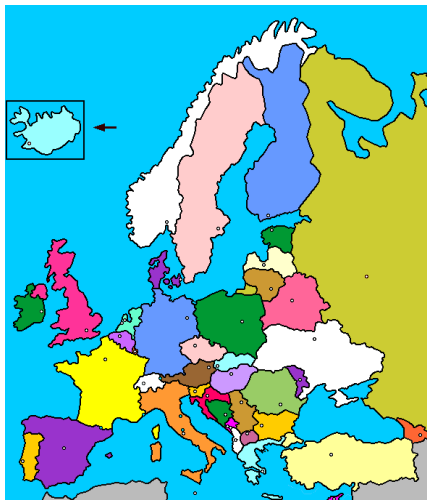
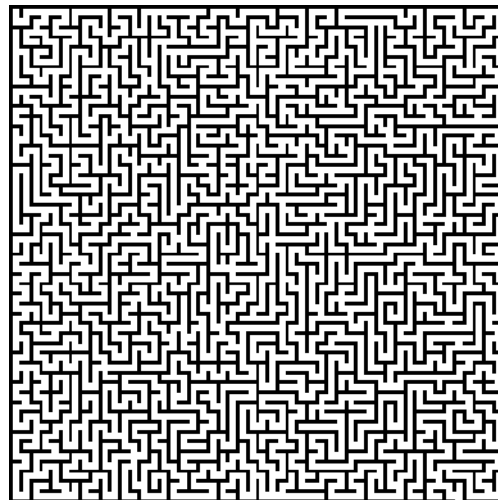
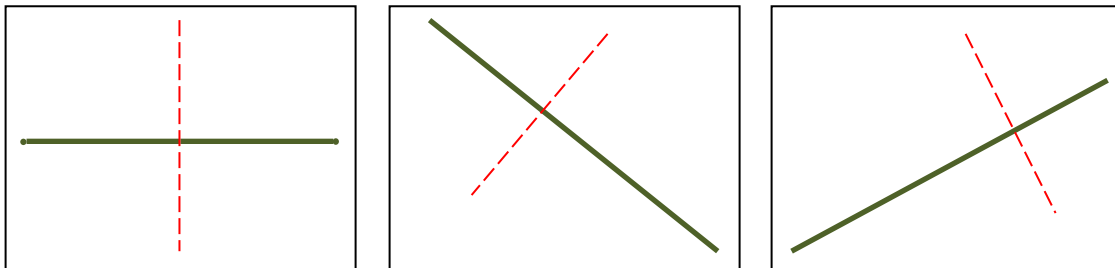


Imagen de apoyo para pregunta #6



Imágenes de apoyo para pregunta #5



ANEXO 5A. Características de los estímulos utilizados en el PERM de E.S.O

Número de estímulos (ensayos) en base a sus características					
Opción correcta (estímulos 1 y 2)	Opción incorrecta (estímulo 1) Opción correcta (estímulo 2)		Opción correcta (estímulo 1) Opción incorrecta (estímulo 2)		Opción incorrecta (estímulos 1 y 2)
	90 > 16 180 > 17 270 > 17	X > 6 Y > 6 X + 90 > 6 X + 270 > 7	90 > 8 180 > 8 270 > 9	90 > 8 180 > 9 270 > 8	
Total = 50 estímulos	T = 25 est.	T = 25 est.	T = 25 est.	T = 25 est.	Total = 50 estímulos

Número de presentaciones (láminas) en base a la combinación de los estímulos intra-lámina			
Opción correcta (estímulos 1 y 2)	Opción incorrecta (estímulo 1) Opción correcta (estímulo 2)		Opción incorrecta (estímulos 1 y 2)
	90 / 180 [†] > 8 270 / 180 [†] > 8 90 / 270 [†] > 9	X / 180 > 6 Y / 90 > 2 Y / 180 > 1 Y / 270 > 3 X + 90 / 90 > 4 X + 90 / 270 > 2 X + 270 / 90 > 2 X + 270 / 180 > 1 X + 270 / 270 > 4	
Total = 25 ensayos	Total = 25 ensayos	Total = 25 ensayos	Total = 25 ensayos

Nota. En la tabla superior se representa el número de estímulos (o ensayos) con sus características relativas a la rotación (opción correcta) y al espejo o espejo con rotación (opción incorrecta) en cada sesión, es decir, 200 ensayos (en 100 presentaciones). En la tabla inferior se representan las características de cada presentación (i.e., combinación de los dos estímulos o ensayos). El contrabalanceo fue el mismo en cada sesión, aunque el orden de presentación varió entre sesiones. Las características de cada presentación fueron repartidas de forma equitativa, de manera que en cada sesión se presentaron 25 ensayos con los dos estímulos rotados, 25 ensayos con el primer estímulo en espejo (pudiendo estar, además, rotado) y el segundo rotado, 25 ensayos con el primer estímulo rotado y el segundo en espejo (pudiendo estar, además, rotado), y 25 ensayos con ambos estímulos en espejo (pudiendo estar, además, rotado uno de ellos). (*) El orden especificado se refiere al estímulo 1 y estímulo 2 o viceversa. Para las presentaciones donde un estímulo es correcto y el otro incorrecto el orden que se detalla es el referente a los estímulos 1 y 2, respectivamente.

ANEXO 5B. Características de los estímulos utilizados en el PERM de estudiantes E.S.O

Lámina S1	Estímulo 1	Lámina S1	Estímulo 2
001pa	90	001pb	X+90
002pa	X+270	002pb	270
003 pa	270	003pb	90
004 pa	X	004pb	Y
005 pa	180	005pb	X+90
006 pa	X+270	006pb	180
007 pa	Y	007pb	X+270
008 pa	X+90	008pb	180
009 pa	270	009pb	X
010 pa	270	010pb	90
001a	Y	001b	90
002a	90	002b	Y
003a	90	003b	180
004a	X	004b	Y
005a	180	005b	90
006a	180	006b	X
007a	X	007b	180
008a	270	008b	X+270
009a	90	009b	X+90
010a	X	010b	X+270
011a	90	011b	270
012a	X+270	012b	90
013a	Y	013b	X+270
014a	180	014b	X
015a	Y	015b	X+90
016a	180	016b	90
017a	90	017b	Y
018a	Y	018b	270
019a	X+270	019b	270
020a	X	020b	X+90
021a	270	021b	180
022a	X+270	022b	Y
023a	X+90	023b	Y
024a	X+90	024b	180
025a	X	025b	180
026a	90	026b	X+270
027a	90	027b	270
028a	270	028b	X+270
029a	Y	029b	90
030a	Y	030b	X
031a	180	031b	90
032a	X+90	032b	270
033a	270	033b	Y
034a	X+270	034b	Y
035a	X+90	035b	X
036a	X+270	036b	X
037a	180	037b	X
038a	X+90	038b	270
039a	180	039b	270
040a	270	040b	X+90
041a	Y	041b	X
042a	90	042b	270
043a	X+90	043b	270
044a	X	044b	180
045a	X+270	045b	90

Lámina S1	Estímulo 1	Lámina S1	Estímulo 2
046a	270	046b	180
047a	180	047b	X+270
048a	270	048b	90
049a	180	049b	270
050a	X+270	050b	X
051a	X+90	051b	270
052a	180	052b	X+90
053a	90	053b	180
054a	90	054b	Y
055a	X+270	055b	270
056a	X	056b	180
057a	270	057b	90
058a	270	058b	X+270
059a	X	059b	X+90
060a	Y	060b	270
061a	X+90	061b	Y
062a	180	062b	270
063a	270	063b	Y
064a	X	064b	X+90
065a	X+90	065b	X
066a	Y	066b	270
067a	X	067b	X+270
068a	180	068b	X
069a	90	069b	180
070a	X	070b	180
071a	Y	071b	X
072a	270	072b	90
073a	90	073b	X+90
074a	180	074b	X
075a	Y	075b	X+270
076a	X	076b	180
077a	Y	077b	X+90
078a	180	078b	270
079a	270	079b	90
080a	X+90	080b	Y
081a	X+270	081b	90
082a	X+270	082b	Y
083a	90	083b	180
084a	270	084b	Y
085a	X	085b	Y
086a	X	086b	X+270
087a	Y	087b	180
088a	X+90	088b	90
089a	180	089b	270
090a	90	090b	X+270
091a	180	091b	X+90
092a	180	092b	270
093a	180	093b	X
094a	270	094b	90
095a	X+90	095b	90
096a	X+270	096b	90
097a	90	097b	180
098a	90	098b	X+90
099a	270	099b	X+270
100a	270	100b	180

ANEXO 5B. (CONTINUACIÓN)

Lámina S2	Estímulo 1	Lámina S2	Estímulo 2
011pa	Y	011pb	X
012pa	180	012pb	X+90
013pa	90	013pb	X+270
014pa	X+270	014pb	180
015pa	270	015pb	180
016pa	X+90	016pb	90
017pa	X+90	017pb	270
018pa	270	018pb	X+270
019pa	270	019pb	90
020pa	X	020pb	Y
101a	X+90	101b	270
102a	180	102b	270
103a	270	103b	180
104a	270	104b	180
105a	X+270	105b	Y
106a	180	106b	90
107a	X+90	107b	270
108a	Y	108b	90
109a	180	109b	90
110a	270	110b	X+90
111a	90	111b	Y
112a	90	112b	180
113a	X	113b	180
114a	X+270	114b	X
115a	X+270	115b	X
116a	270	116b	X+270
117a	180	117b	X
118a	180	118b	270
119a	X+90	119b	270
120a	90	120b	270
121a	X	121b	Y
122a	180	122b	X
123a	90	123b	X+90
124a	X	124b	X+270
125a	Y	125b	X
126a	180	126b	90
127a	X+270	127b	270
128a	270	128b	90
129a	180	129b	X+270
130a	90	130b	Y
131a	X+90	131b	X
132a	Y	132b	X
133a	90	133b	X+270
134a	270	134b	X+270
135a	X+270	135b	90
136a	Y	136b	X+90
137a	X+270	137b	Y
138a	X+90	138b	Y
139a	Y	139b	270
140a	270	140b	Y
141a	X	141b	180
142a	90	142b	270
143a	Y	143b	X+270
144a	180	144b	X
145a	X	145b	X+90

Lámina S2	Estímulo 1	Lámina S2	Estímulo 2
146a	X+90	146b	180
147a	Y	147b	90
148a	X+270	148b	90
149a	90	149b	270
150a	X	150b	180
151a	X+90	151b	90
152a	180	152b	X+90
153a	Y	153b	180
154a	270	154b	90
155a	90	155b	180
156a	180	156b	270
157a	180	157b	270
158a	X+270	158b	90
159a	X	159b	X+270
160a	270	160b	Y
161a	180	161b	X
162a	X	162b	X+270
163a	X+270	163b	90
164a	270	164b	X+270
165a	180	165b	270
166a	X+270	166b	270
167a	270	167b	Y
168a	X	168b	180
169a	X+90	169b	90
170a	90	170b	180
171a	Y	171b	X+270
172a	X	172b	Y
173a	X	173b	180
174a	270	174b	180
175a	90	175b	180
176a	90	176b	X+270
177a	90	177b	X+90
178a	180	178b	270
179a	X+90	179b	270
180a	270	180b	X+270
181a	X+90	181b	Y
182a	90	182b	180
183a	270	183b	90
184a	X+90	184b	X
185a	180	185b	X
186a	180	186b	X
187a	Y	187b	270
188a	180	188b	X+90
189a	90	189b	Y
190a	Y	190b	270
191a	90	191b	X+90
192a	X	192b	180
193a	X	193b	X+90
194a	Y	194b	X
195a	Y	195b	X+90
196a	X+270	196b	Y
197a	X	197b	X+90
198a	X+90	198b	Y
199a	270	199b	90
200a	270	200b	90

ANEXO 5B. (CONTINUACIÓN)

Lámina S3	Estímulo 1	Lámina S3	Estímulo 2
021pa	X	021pb	180
022pa	90	022pb	Y
023pa	270	023pb	180
024pa	X+90	024pb	X+270
025pa	X+90	025pb	270
026pa	180	026pb	90
027pa	270	027pb	Y
028pa	270	028pb	X+90
029pa	X	029pb	X+90
030pa	X+270	030pb	90
201a	180	201b	90
202a	X	202b	X+90
203a	X+270	203b	Y
204a	X+90	204b	180
205a	270	205b	X+270
206a	Y	206b	90
207a	270	207b	X+90
208a	270	208b	180
209a	90	209b	270
210a	180	210b	90
211a	270	211b	Y
212a	X+270	212b	Y
213a	X+90	213b	270
214a	90	214b	Y
215a	X	215b	180
216a	X+90	216b	270
217a	X+270	217b	X
218a	180	218b	X
219a	180	219b	270
220a	Y	220b	X
221a	90	221b	270
222a	X+90	222b	270
223a	X	223b	180
224a	180	224b	X+270
225a	X+270	225b	X
226a	X+270	226b	90
227a	180	227b	270
228a	270	228b	90
229a	90	229b	X+270
230a	Y	230b	90
231a	90	231b	X+90
232a	Y	232b	270
233a	X+90	233b	Y
234a	Y	234b	X
235a	X+90	235b	X
236a	270	236b	180
237a	X	237b	180
238a	90	238b	270
239a	Y	239b	X+90
240a	90	240b	180
241a	180	241b	90
242a	Y	242b	X+270
243a	X+270	243b	270
244a	90	244b	Y
245a	X	245b	Y

Lámina S3	Estímulo 1	Lámina S3	Estímulo 2
246a	180	246b	X
247a	270	247b	X+270
248a	X	248b	X+270
249a	X+270	249b	90
250a	180	250b	X
251a	X	251b	X+270
252a	X+90	252b	90
253a	180	253b	X
254a	90	254b	180
255a	270	255b	90
256a	180	256b	270
257a	270	257b	90
258a	90	258b	X+90
259a	270	259b	90
260a	X	260b	X+270
261a	X+90	261b	Y
262a	270	262b	90
263a	Y	263b	X+270
264a	Y	264b	X+90
265a	X+90	265b	Y
266a	X+270	266b	Y
267a	X	267b	Y
268a	Y	268b	180
269a	X+270	269b	90
270a	270	270b	Y
271a	90	271b	X+270
272a	180	272b	270
273a	270	273b	X+270
274a	X+90	274b	90
275a	X+270	275b	90
276a	90	276b	180
277a	180	277b	X+90
278a	270	278b	180
279a	X	279b	X+90
280a	90	280b	Y
281a	Y	281b	X
282a	270	282b	X+270
283a	X+90	283b	X
284a	90	284b	180
285a	180	285b	X+90
286a	X+270	286b	270
287a	X	287b	X+90
288a	180	288b	270
289a	Y	289b	270
290a	90	290b	180
291a	90	291b	X+90
292a	X	292b	180
293a	X+90	293b	270
294a	X	294b	180
295a	180	295b	X
296a	270	296b	Y
297a	Y	297b	270
298a	X	298b	180
299a	180	299b	X
300a	180	300b	270

ANEXO 6. Resumen de resultados de los dos estudios realizados

Escolares de 2º curso E.P.O (N = 79)			Adolescentes de 3º curso E.S.O (N = 45)		
Niños: n = 36, 7.70 (0.45) años			Chicos: n = 23, 14.3 (0.40) años		
Niñas: n = 43, 7.69 (0.71) años			Chicas: n = 22, 14.4 (0.45) años		
GE (n = 40): 7.68 (0.66) años; 17 niños y 23 niñas			GE (n = 21): 14.3 (0.44) años; 11 chicos y 10 chicas		
GC (n = 39): 7.70 (0.55) años; 19 niños y 20 niñas			GC (n = 24): 14.3 (0.41) años; 12 chicos y 12 chicas		
ANÁLISIS PRELIMINARES					
Grupo			Grupo		
Raven	NS	---	Raven	NS	---
EFAI-E	NS	---	EFAI-E	NS	---
EFAI-N	NS	---	EFAI-N	*	GE > GC
CVJ	NS	---	CVJ	NS	---
Sexo			Sexo		
Raven	NS	---	Raven	NS	---
EFAI-E	NS	---	EFAI-E	NS	---
EFAI-N	NS	---	EFAI-N	NS	---
CVJ	*	M > F	CVJ	NS	---
Grupo x Sexo			Grupo x Sexo		
Raven	NS	---	Raven	NS	---
EFAI-E	NS	---	EFAI-E	NS	---
EFAI-N	NS	---	EFAI-N	NS	---
CVJ	NS	---	CVJ	*	F (GC) > M (GE) M (GE) > F (GC)

EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO					
<i>Tiempo</i>			<i>Tiempo</i>		
EFAI-E	***	post > pre	EFAI-E	***	post > pre
EFAI-E (g)	NS	---	EFAI-E (g)	NS	---
EFAI-N	***	post > pre	EFAI-N	*	post > pre
<i>Tiempo x Grupo</i>			<i>Tiempo x Grupo</i>		
EFAI-E	**	GE > GC	EFAI-E	*	GE > GC
EFAI-E (g)	**	GE > GC	EFAI-E (g)	*	GE > GC
EFAI-N	NS	---	EFAI-N	NS	---
Raven (†)	*	GE > GC	Raven (†)	NS	---
<i>Tiempo x Sexo</i>			<i>Tiempo x Sexo</i>		
EFAI-E	NS	---	EFAI-E	NS	---
EFAI-E (g)	*	M > F	EFAI-E (g)	NS	---
EFAI-N	NS	---	EFAI-N	NS	---
<i>Tiempo x Grupo x Sexo</i>			<i>Tiempo x Grupo x Sexo</i>		
EFAI-E	NS	---	EFAI-E	NS	---
EFAI-E (g)	NS	---	EFAI-E (g)	NS	---
EFAI-N	NS	---	EFAI-N	NS	---

CORRELACIONES (‡)												
<i>Pretest (Total) - Posttest (GE)</i>						<i>Pretest (Total)</i>						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5
1 Raven	XXXX	.31*	.49**	--	--	--	1 Raven	XXXX	--	--	--	--
2 EFAI-E	--	XXXX	38**	--	--	--	2 EFAI-E	--	XXXX	--	--	--
3 EFAI-N	61**	--	XXXX	--	-.32*	--	3 EFAI-N	.37**	26*	XXXX	--	--
4 EFAI-N ^(TF)	--	--	--	XXXX	-.31*	-.28*	4 CSAQ-a	--	--	--	XXXX	--
5 CSAQ-a	--	--	--	--	XXXX	--	5 CVJ	--	30*	--	--	XXXX
6 CVJ	--	-21*	--	--	--	XXXX						

RENDIMIENTO EN EL PERM: TASA DE ACIERTOS					
Análisis Intersujetos					
Sexo			Sexo		
AC-S1	NS	---	AC-S1	*	F > M
AC-S2	NS	---	AC-S2	NS	---
AC-S3	NS	---	AC-S3	NS	---
AC-TOTAL	NS	---	AC-TOTAL	NS	---
Nivel HE			Nivel HE		
AC-S1	*	↑HE > ↓HE	AC-S1	NS	---
AC-S2	NS	---	AC-S2	NS	---
AC-S3	*	↑HE > ↓HE	AC-S3	**	↑HE > ↓HE
AC-TOTAL	*	↑HE > ↓HE	AC-TOTAL	*	↑HE > ↓HE
Sexo x Nivel HE			Sexo x Nivel HE		
AC-S1	NS	---	AC-S1	NS	---
AC-S2	NS	---	AC-S2	NS	---
AC-S3	NS	---	AC-S3	NS	---
AC-TOTAL	NS	---	AC-TOTAL	NS	---
Análisis Intrasujetos					
Tiempo			Tiempo		
	***	S1 > S2 = S3			
S1-S2	***	S1 > S2	S1-S2	NS	---
S1-S3	***	S1 > S3	S1-S3	NS	---
S2-S3	NS	---	S2-S3	NS	---
Tiempo x Sexo			Tiempo x Sexo		
				***	S1 > S2 = S3 (F)
S1-S2	NS	---	S1-S2	**	S1 > S2 (F)
S1-S3	NS	---	S1-S3	*	S1 > S3 (F)
S2-S3	NS	---	S2-S3	NS	---

<i>Tiempo x Nivel HE</i>			<i>Tiempo x Nivel HE</i>		
				**	S1 > S2 > S3 (↓HE)
S1-S2	NS	---	S1-S2	NS	---
S1-S3	NS	---	S1-S3	**	S1 > S3 (↓HE)
S2-S3	NS	---	S2-S3	NS	---
<i>Tiempo x Sexo x Nivel HE</i>			<i>Tiempo x Sexo x Nivel HE</i>		
S1-S2	NS	---	S1-S2	NS	---
S1-S3	NS	---	S1-S3	NS	---
S2-S3	NS	---	S2-S3	NS	---

RENDIMIENTO EN EL PERM: TIEMPO DE REACCIÓN

Análisis Intersujetos

<i>Sexo</i>			<i>Sexo</i>		
TR-S1	NS	---	TR-S1	NS	---
TR-S2	NS	---	TR-S2	NS	---
TR-S3	NS	---	TR-S3	NS	---
TR-TOTAL	NS	---	TR-TOTAL	NS	---
<i>Nivel HE</i>			<i>Nivel HE</i>		
TR-S1	NS	---	TR-S1	NS	---
TR-S2	NS	---	TR-S2	NS	---
TR-S3	NS	---	TR-S3	NS	---
AC-TOTAL	NS	---	TR-TOTAL	NS	---
<i>Sexo x Nivel HE</i>			<i>Sexo x Nivel HE</i>		
TR-S1	NS	---	TR-S1	NS	---
TR-S2	**	F > M (en ↑HE)	TR-S2	NS	---
TR-S3	NS	---	TR-S3	NS	---
TR-TOTAL	*	F > M (en ↑HE)	TR-TOTAL	NS	---

Análisis Intersujetos					
Tiempo			Tiempo		
				$p = .017$	S1 > S2 > S3
S1-S2	NS	---	S1-S2	NS	---
S1-S3	NS	---	S1-S3	$p = .05$	S1 > S3
S2-S3	NS	---	S2-S3	NS	---
Tiempo x Sexo			Tiempo x Sexo		
S1-S2	NS	---	S1-S2	NS	---
S1-S3	NS	---	S1-S3	NS	---
S2-S3	NS	---	S2-S3	NS	---
Tiempo x Nivel HE			Tiempo x Nivel HE		
S1-S2	NS	---	S1-S2	NS	---
S1-S3	NS	---	S1-S3	NS	---
S2-S3	NS	---	S2-S3	NS	---
Tiempo x Sexo x Nivel HE			Tiempo x Sexo x Nivel HE		
S1-S2	NS	---	S1-S2	NS	---
S1-S3	NS	---	S1-S3	NS	---
S2-S3	NS	---	S2-S3	NS	---

GANANCIAS OBTENIDAS					
<i>Tiempo</i>			<i>Tiempo</i>		
EFAI-E	***	post > pre	EFAI-E	***	post > pre
<i>Tiempo x Sexo</i>			<i>Tiempo x Sexo</i>		
EFAI-E	NS	---	EFAI-E	NS	---
<i>Tiempo x Nivel HE</i>			<i>Tiempo x Nivel HE</i>		
EFAI-E	NS	---	EFAI-E	NS	---
<i>Tiempo x Sexo x Nivel HE</i>			<i>Tiempo x Sexo x Nivel HE</i>		
EFAI-E	NS	---	EFAI-E	NS	---

Nota. (†) Apreciése que solamente se incorpora esta variable para mostrar esta interacción, dado que no era un objetivo inicial analizar los efectos, ni las interacciones sobre la inteligencia, pero inesperadamente se observó una interacción sobre esta variable; (§) Para simplificar no se incluyen las variables del EFAI-N por categorías matemáticas (salvo la de tablas y figuras, donde si se vieron correlaciones con otras variables). *** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$, NS = no significativo.



Algunos de los miembros y amigos del grupo **SpaceEducation**, mi familia científica con la que he tenido la enorme oportunidad de aprender y disfrutar. *De izquierda a derecha:* Pedro R. Montoro, Antonio Rodán, María José Contreras, Patricia Gimeno, Laura Fernández, María Fernández.



<https://spacededucation.wixsite.com/spacededucation>