

Diferencias de género en test de rotación mental: una perspectiva desde la enseñanza de la geometría

Gender differences in mental rotation test: a geometry-teaching perspective

Isabel Ramírez-Uclés ^{1*} 
Rafael Ramírez Uclés ² 

¹ Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Spain

² Universidad de Granada, Spain

* Autor de correspondencia. E-mail: iramirez@psi.uned.es

Cómo referenciar este artículo/How to reference this article:

Ramírez-Uclés, I., & Ramírez Uclés, R. (2023). Diferencias de género en test de rotación mental: una perspectiva desde la enseñanza de la geometría. [Gender differences in mental rotation test: a geometry-teaching perspective]. *Educación XX1*, 26(2), 351-372. <https://doi.org/10.5944/educxx1.33150>

Date received: 15/02/2022

Date accepted: 22/07/2022

Published online: 13/06/2023

RESUMEN

De acuerdo con la literatura, los hombres obtienen puntuaciones superiores a las mujeres en ciertas pruebas de rotación mental y en ejercicios de resolución de problemas complejos. Este estudio analiza los tipos de errores cometidos en la subprueba de relaciones espaciales de habilidades mentales primarias (PMA) por 328 estudiantes de secundaria (edades comprendidas entre los 13 y 16 años). De ellos, 143 participaban en un programa de estímulo del talento matemático, dado que habían mostrado habilidades en la resolución de problemas matemáticos complejos. Los tipos de errores detectados se definen en términos del ángulo de rotación del objeto y la presencia de simetrías en los ítems del test. Los resultados muestran un rendimiento significativamente mayor de los alumnos con alta habilidad matemática. Las diferencias de género únicamente se evidencian a favor de los chicos en la puntuación global del test y en el número de ítems no contestados. Sin embargo, no se encuentran diferencias de género en ninguno de los tipos de errores asociados a las

propiedades geométricas de los ítems. Además, no existe interacción significativa entre las variables independientes género y habilidad para la resolución de problemas complejos. Las conclusiones extraídas de esos hallazgos introducen matices en la comprensión de las diferencias de género identificadas tradicionalmente en las habilidades de visualización, particularmente en relación con las propiedades geométricas en las pruebas de rotación mental. Se enfatiza que la investigación educativa puede focalizarse en otros aspectos, como pueden ser los emocionales o actitudinales que afectan al proceso de realización de los test, como la rapidez o el uso de estrategias menos eficientes.

Palabras clave: rotación mental, test PMA, resolución de problemas complejos, diferencias de género

ABSTRACT

According to reports in the literature, males score higher on certain mental rotation tests and complex problem-solving exercises than females. This study analyzes the types of errors made in the Primary Mental Abilities (PMA) space relations sub-test test by 328 secondary school students (ages 13 to 16), 143 of whom, having exhibited complex mathematical problem-solving abilities, were participating in a mathematical talent enhancement programme. The error types detected are defined in terms of angle of rotation of the object and the presence of symmetries in the items of the test. The findings show significantly higher performance in the more mathematically gifted students. Gender differences are only evidenced in the total score of the test and the number of non-answered items, where boys got higher scores than girls. Moreover, there is no significant interaction between the independent variables gender and complex mathematical problem-solving abilities. The conclusions drawn from those findings introduce nuances in the understanding of the gender difference traditionally identified in visualisation, particularly in connection with geometric properties in mental rotation tests. It is stressed that educational research focuses on other aspects, like emotional or behavioural ones that can impact test execution, like speed or the use of less efficient strategies.

Keywords: mental rotation, PMA test, complex problem solving, gender differences

INTRODUCCIÓN

La literatura ha identificado diferencias de género a favor de los hombres en el rendimiento en pruebas estandarizadas que miden el dominio de las matemáticas (Hyde et al. 1990; Scheiber et al. 2015, entre otros), así como en las habilidades espaciales (Halpern et al., 2007; Voyer & Saunders, 2004), sobre todo en las relativas a la rotación mental (Hyde, 2014; Xu et al., 2016). Sin embargo, las diferencias de género son menos evidentes cuando se utilizan otros instrumentos de evaluación (Ganley & Vasilyeva, 2011; Gibbs, 2010). Otros estudios que valoran el aprendizaje

en el aula o las competencias definidas en el currículo han observado que las chicas obtienen puntuaciones más altas que los chicos (Corbett et al. 2008; Liu & Wilson, 2009; Voyer & Voyer, 2014; Yarbrough et al., 2017). Varios autores han observado que, por regla general, las mujeres obtienen mejores resultados en las pruebas que miden las habilidades numéricas y los hombres en las tareas que exigen razonamiento matemático (Gibbs, 2010; Scheiber et al., 2015).

Estas diferencias tienen claras implicaciones educativas dado que la práctica con tareas espaciales puede salvar la brecha de género en este tipo de razonamiento (Rodán et al., 2022; Wu & Shah, 2004). A modo de ejemplo, se han encontrado evidencias de que el entrenamiento en rotación mental puede mejorar el rendimiento en tareas matemáticas como la ejecución en problemas de cálculo (Cheng & Mix, 2014). En este sentido, las habilidades visuoespaciales pueden condicionar el éxito en áreas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), donde las chicas asisten en menor medida a cursos avanzados o titulaciones relacionadas (Reinking & Martín, 2018). La literatura de investigación sobre diferencias de género documenta la naturaleza entrelazada del desarrollo espacial y de las habilidades matemáticas, sugiriendo que las actividades dirigidas a incrementar las habilidades espaciales pueden tener efectos positivos en el aprendizaje de las matemáticas por parte de los estudiantes (Johnson et al., 2021). Si las diferencias obtenidas se relacionasen con los contenidos matemáticos implicados, los resultados proporcionarían pautas para el diseño de tareas y el proceso de aprendizaje, ya que dichas diferencias deberían ser atendidas mediante una adecuada instrucción para la atención a la diversidad. Esto también tendría consecuencias en el diseño de programas curriculares, la formación del profesorado y la planificación del aula, porque las tareas presentadas serían más eficaces si se maximiza el potencial educativo para salvar las diferencias (Rodán et al., 2022). Sin embargo, un reciente metaanálisis muestra que el entrenamiento espacial es eficaz para mejorar la comprensión y el rendimiento matemático, lo que pone de manifiesto la escasa comprensión de los mecanismos que apoyan esta transferencia y exige más estudios respaldados teóricamente (Hawes et al., 2022).

En relación con las habilidades espaciales y las matemáticas, algunos autores sostienen que las habilidades espaciales pueden determinar el rendimiento matemático, en particular en lo que se refiere a la geometría (Ganley & Vasilyeva, 2011). Una posible explicación del papel de la rotación mental en las puntuaciones matemáticas está relacionada con las estrategias de resolución de problemas (Delgado & Prieto, 2004). La resolución de problemas geométricos, a diferencia de las tareas aritméticas o numéricas simples, puede verse afectada por factores distintos a la capacidad matemática, como las aptitudes visuoespaciales (Clements, 1980; Delgado & Prieto, 2004; Harris et al., 2021). El efecto de las aptitudes espaciales podría explicar las diferencias en la resolución de problemas complejos en los que se requieren dichas aptitudes para su ejecución. Algunos autores han encontrado

que los hombres obtienen mejor rendimiento en la resolución de problemas geométricos que requieren visualización (González-Calero et al., 2018; Ramírez-Uclés et al., 2013). Otros, por el contrario, han señalado que, si bien se pueden encontrar diferencias de género entre estudiantes de secundaria en la visualización espacial y el rendimiento en tareas geométricas, no se observaron tales diferencias en la capacidad de razonamiento o en las estrategias utilizadas (Battista, 1990). Por otro lado, diversos estudios han mostrado que una mayor habilidad matemática para resolver problemas se traduce en mayores puntuaciones en pruebas de rotación mental (Ramírez-Uclés et al., 2013) y en tareas geométricas que implican visualización (por ejemplo, Rabab'h & Veloo, 2015; Ramírez & Flores, 2017; Rivera, 2011).

Para explicar esa variabilidad, distintas revisiones y metaanálisis han identificado la complejidad como un factor que influye en las diferencias de género en el rendimiento en matemáticas (Else-Quest, et al., 2010; Lindberg et al., 2010). Estudios sobre diferencias de género que no detectaron variaciones significativas en errores numéricos, nociones geométricas o conceptos matemáticos básicos y competencia indicaron, sin embargo, que los hombres resolvían problemas matemáticos complejos con mayor eficacia que las mujeres (Stewart et al., 2017). En esa misma línea, otros autores que no observaron diferencias de género en tareas sencillas o en capacidad espacial, encontraron que los chicos eran significativamente más capaces de enfrentarse a tareas más difíciles (Manger y Eikeland, 1998). Estas diferencias de género también se han identificado en pruebas que miden el talento matemático (Benbow y Stanley, 1996).

En esta investigación se analizó esta cuestión desde una perspectiva descriptiva del instrumento de medida, dado que varios estudios han detectado indicios de que las características de una tarea pueden explicar las diferencias de género observadas en las pruebas de rotación mental (Lauer et al., 2019). En este caso, el objetivo se centró en comprender las diferencias relacionadas con el género en el rendimiento en una prueba de rotación mental, en función de la complejidad geométrica del ítem de la prueba. Más concretamente, la cuestión planteada fue: “¿puede atribuirse el rendimiento desigual entre chicas y chicos a las características geométricas de la propia prueba de rotación mental?”. El objetivo principal es determinar si las diferencias de género se deben a las propiedades geométricas de la rotación mental en cuanto a la presencia de simetrías y diferentes ángulos de rotación. Ninguna explicación universalmente aceptada apoya la premisa de que tales características determinen específicamente las diferencias de género. Los procesos llevados a cabo durante la prueba determinan la eficiencia de los participantes en la resolución de una tarea espacial, por lo que las diferencias bien podrían derivarse de factores identificados en otros estudios, como la puntuación de la prueba, las limitaciones del tiempo de respuesta o el uso de estrategias eficaces (Contreras et al., 2012).

En este sentido, también se han intentado conocer las diferencias entre chicos y chicas no sólo en su capacidad cognitiva para resolver problemas complejos que requieren razonamiento matemático, sino también en su aproximación al trabajo escolar y estrategias de aprendizaje, comportamiento en el aula o autorregulación, autoeficacia matemática y estrategias de planificación y atención (Yarbrough et al., 2017). Se han detectado diferencias de género en la autoconfianza, siendo las mujeres las que menos la exhiben (Preckel et al., 2008), por ejemplo, en situaciones en las que puntuaban más bajo sí eran conscientes de que la tarea en cuestión pretendía analizar diferencias de género (Spencer et al., 1999) o en contextos competitivos en los que se mostraban más sensibles a la presión (Niederle & Vesterlund, 2010). Bench et al. (2015) proporcionaron información útil sobre la autoconfianza: al completar un examen de matemáticas, se observó que los hombres juzgaban su éxito más positivamente que las mujeres, lo que creaba un sesgo positivo. No obstante, las mujeres que obtienen éxitos anteriores en tareas matemáticas también sobrevaloraban su propio rendimiento (Bench et al., 2015). Por consiguiente, en este estudio la capacidad matemática de los sujetos se consideró importante para comprender las diferencias de género asociadas a los estereotipos en matemáticas.

Las diferencias de género se abordan esencialmente desde una perspectiva psicométrica, analizando el rendimiento de los sujetos en una prueba estandarizada (Steinmayr & Spinath, 2008; Wach et al., 2015). Estudios anteriores han identificado que procedimientos de administración o puntuación de estas pruebas, como la limitación del tiempo permitido (Maeda & Yoon, 2016; Peters, 2005) o el uso de puntuaciones brutas (Goldstein et al., 1990; Stumpf, 1993), pueden condicionar dichas diferencias, mientras que otros autores no han encontrado evidencias del efecto de dichos factores (Voyer et al., 2004; Yoon & Mann, 2017). En esta investigación se utilizó la herramienta de relaciones espaciales del test *Primary Mental Abilities* (PMA-SR, Thurstone & Thurstone, 1943), una prueba de rotación mental en la que se ha observado que los hombres y los sujetos con capacidad de resolución de problemas complejos obtienen mejores resultados, aunque no se ha detectado interacción entre esas dos variables (Ramírez-Uclés & Ramírez Uclés, 2020).

Diferencias de género en el sub-test PMA-SR

Varios estudios han identificado diferencias de género en el rendimiento en el PMA-SR (Campos, 2014; Lauer et al., 2019; Linn & Petersen, 1985; Stericker & LeVesconte, 1982). Los ítems del PMA-SR pueden realizarse eficazmente tanto con estrategias espaciales (diferenciando entre simetrías de figuras simétricas giradas) como con la resolución “analítica” de problemas, que implica comparar

las características de las respuestas para identificar rasgos coincidentes (forma, por ejemplo). Se ha observado que este último procedimiento lo utilizan más las mujeres que los hombres (Linn & Petersen, 1985). Es posible que los hombres se basen más en estrategias espaciales que impliquen visualizar la rotación de los objetos o partes de ellos, mientras que las mujeres pueden basarse más en estrategias de comparación de las características (como el tamaño, la forma y el color de los componentes y sus interrelaciones) (Just & Carpenter, 1985; Pezaris & Casey, 1991). Aunque se desconocen las razones de las diferencias de género en el uso de estrategias, se ha indicado que la utilización de diversas estrategias es un elemento que afecta a las diferencias en las habilidades de rotación mental durante el desarrollo infantil (Lauer et al., 2019). Investigaciones con tareas similares a los ítems de PMA, con letras rotadas en forma de espejo, mostraron que la estrategia utilizada implicaba realizar rotaciones mentales de las imágenes hasta quedar orientadas verticalmente, y luego otra rotación fuera del plano para devolverla a la posición normal (Núñez-Peña & Aznar-Casanova, 2009). Al realizar dicho proceso para identificar las respuestas correctas en la prueba de PMA, los ítems relacionados con ángulos mayores o que presentaban simetrías requieren más tiempo de comprobación. Esta estrategia aplicada a la prueba PMA (véase el ejemplo de la Figura 1), podría establecer diferencias entre las acciones requeridas en la imagen A (girar 90 grados para comparar con la muestra) y B (girar 45 grados y aplicar una simetría). Sin embargo, otra estrategia podría ser comparar entre las distintas alternativas de respuestas, como girar B 45 grados para obtener C, que es directamente igual a aplicar la simetría a la muestra. Aunque el género no presenta diferencias a priori para resolver correctamente la tarea, sí puede condicionar la selección de un determinado proceso que puede ser más eficiente para encontrar la solución (Contreras et al., 2007; Peña et al., 2008). Algunas estrategias pueden basarse en fundamentos geométricos, evitando un enfoque estrictamente visual. Por ejemplo, uno de los estudiantes, al darse cuenta de que la composición de dos simetrías equivale a una rotación, identificó correctamente las figuras giradas aplicando simetrías a la respuesta incorrecta: la respuesta D (figura 1) puede rotarse para obtener una figura simétrica a C, que a su vez es simétrica a la muestra, por lo que D puede obtenerse directamente como una rotación de la muestra. Más que la visualización espacial de manera aislada, un mejor sentido espacial (National Council of Teachers of Mathematics, 2000) proporcionaría un mayor rendimiento potencial en esta prueba, ya que también podrían ponerse en juego ciertos conocimientos previos y relaciones geométricas conocidas.

Lo expuesto anteriormente motiva la necesidad de explorar las características geométricas de los ítems, ya que varios estudios sobre pruebas espaciales han mostrado que el ángulo de rotación y/o la presencia de simetrías afectan a las puntuaciones. El tiempo necesario para encontrar las respuestas correctas varía en

función del ángulo de rotación y aumenta con la presencia de simetrías (Petrusic et al., 1978; Núñez-Peña & Aznar-Casanova, 2009). Mayores ángulos de rotación también se han asociado con un aumento de la complejidad y una disminución del rendimiento (Alansari et al., 2008; Xu et al., 2016). No obstante, en algunos ítems de PMA con una tasa bastante alta de respuestas erróneas no se observó que un mayor ángulo de rotación diera lugar a una mayor complejidad (Cruz & Ramírez, 2018). Como se ha señalado en trabajos anteriores, esto pudo deberse a que el impacto en la puntuación total de ciertos ítems sesgados fue solo marginal (Maeda & Yoon, 2016).

Ante los escasos resultados acerca de las propiedades de las pruebas espaciales, se demanda investigación específica sobre las características geométricas de la dirección y el ángulo de rotación contenidos en los ítems asociados a diferencias de género (Maeda & Yoon, 2016) y sobre la complejidad de las formas geométricas utilizadas en dichas pruebas (Arendasy & Sommer, 2012). Este estudio es una respuesta a esta demanda para determinar si los procesos cognitivos pueden diferir en función de las características de los ítems (como la forma del objeto, la dirección y el ángulo de rotación y la complejidad de la tarea rotacional) y si la forma en que afectan estas características está relacionada con el género (Maeda & Yoon, 2016). Este artículo aborda dos tipos de errores cometidos en la subprueba de relaciones espaciales del PMA, caracterizados en función de dos propiedades geométricas, el ángulo de rotación y la presencia de simetrías. El objetivo es analizar las diferencias entre chicos y chicas, y entre sujetos más y menos hábiles matemáticamente. A partir de las premisas anteriores, el estudio parte de las siguientes hipótesis: 1) los sujetos con mayores habilidades matemáticas obtienen mejores resultados en la prueba analizada; 2) los chicos obtienen puntuaciones más altas en las pruebas que las chicas, pero no se observan diferencias de género derivadas de las propiedades geométricas; y 3) podría existir una interacción entre las variables independientes género y habilidad matemática en relación con la variable dependiente puntuación en la prueba.

METODOLOGÍA

Participantes

La muestra estuvo constituida por 328 estudiantes de Educación Secundaria con edades comprendidas entre los 13 y los 16 años (media: 15 años y desviación típica: 0.97). De ellos, 143 fueron seleccionados por pertenecer a un proyecto de estimulación del talento matemático en dos regiones de España (Andalucía y Castilla-León). El número de mujeres que participan en el proyecto condiciona

la distribución desigual de género en el grupo CP. La menor representatividad de mujeres en este tipo de programas coincide con lo que se encuentra en otras investigaciones (Hyde et al., 2014). El grupo control (NCP) lo formaban 184 sujetos de diferentes colegios de secundaria de las mismas regiones que el grupo CP, sin que ninguno de ellos estuviera considerado por su profesor con la competencia para resolver problemas matemáticos complejos (Tabla 1).

Tabla 1.

Distribución de la muestra según género y habilidad para resolver problemas complejos

	CP	NCP	Total
Chicos	103	96	199
Chicas	40	89	129
Total	143	185	328

Nota. CP (Resolución de Problemas Complejo), NCP (No resolución de Problemas Complejos)

Instrumentos

En este estudio se utilizó la versión en español del Thurstone (Thurstone & Thurstone, 1976) Primary Mental Abilities Test - Spatial Relations publicado por TEA Ediciones. El coeficiente Alfa de Cronbach calculado para la muestra fue .89, cercano al valor .93 del instrumento original. Esta prueba mide la capacidad de interpretar y reconocer objetos que cambian de posición en el espacio pero que conservan su estructura interna. Constituye una herramienta de uso frecuente en las evaluaciones del aula, se completa en cinco minutos y se puede administrar a un grupo amplio de sujetos con instrucciones simples. Cada uno de los 20 elementos incluye una figura de muestra y otras seis más, resultado de rotar la muestra alrededor de un punto central (rotación plana). Las opciones restantes son imágenes que involucran simetrías y rotaciones de planos. Cada figura rotada en un plano que se identifica correctamente constituye una respuesta correcta, mientras que el resto se consideran respuestas incorrectas.

En las instrucciones para la realización de la prueba no se utilizaron términos geométricos (rotación, ángulos, simetrías), los evaluadores se referían a las opciones correctas como “las figuras que son exactamente iguales a la muestra, pero en una posición diferente”. En el caso de las respuestas incorrectas, las instrucciones eran “Ninguno de los otros es idéntico a la muestra, incluso si los coloca en posición vertical o están del revés”. Se aludía a estrategias visuales para identificarlos: “Solo hay que ponerlos derechos para ver que son exactamente iguales; No le des la

vuelta a la hoja de prueba. Déjalo plano sin levantarlo del escritorio. Tienes que girar las figuras mentalmente para ver cómo se verían”. Se dieron tres ejemplos con las respectivas respuestas, señalando que “el número total de figuras idénticas puede variar de una fila a otra”. En la Figura 1, por ejemplo, las respuestas correctas son las A, D y F.

Figura 1

Ejemplo de ítem presentado en las instrucciones para la realización del test



El instrumento tiene la particularidad de que el sujeto desconoce el número de respuestas correctas en cada ítem y el criterio de corrección, por lo que no se hace alusión a las posibles ventajas de omitir o responder ante la duda en un apartado. La puntuación total se obtiene como opciones correctas menos opciones incorrectas. Por lo tanto, los errores pueden ser de dos tipos: excluir un giro que era correcto o incluir una simetría incorrecta.

Procedimiento

Se considera que los 143 sujetos pertenecientes al proyecto de estímulo matemático poseen la habilidad para resolver problemas matemáticos complejos (grupo CP). Para acceder al proyecto deben superar una prueba de selección basada en la resolución de problemas matemáticos complejos y no rutinarios de lógica, aritmética o geometría. Un ejemplo de estos problemas es el siguiente:

“Un cuadrado mágico es un cuadrado de números 3x3 de forma que la suma de los números de cada fila, de cada columna y de cada diagonal es la misma. Esta suma es la “suma mágica” del cuadrado ¿Existe un cuadrado mágico formado por nueve números impares consecutivos entre los que aparecen siete números primos? ¿Cuáles son estos números?”

La realización de los test se realizó de manera colectiva, en formato papel y en el tiempo establecido de cinco minutos. Los sujetos realizaron la prueba de manera voluntaria y los investigadores fueron los encargados de administrarlos en el aula del proyecto para el grupo CP y en las aulas ordinarias de clase para el grupo NCP.

Diseño y variables

Se utilizó un diseño bifactorial entregrupos 2 x 2. Las variables independientes fueron género (chico/chica) y habilidad matemática (CP o tener la habilidad para resolver problemas matemáticos complejos/ NCP o grupo de control). Las variables dependientes las constituyen: la puntuación total en la prueba PMA, los indicadores globales de error y los tipos de error (descritos a continuación).

Tipos de errores

La respuesta a un ítem se considera incorrecta cuando no se marcan todas las opciones idénticas o cuando se señalan incorrectamente como iguales una o más de las figuras que no lo son. Dado que las figuras idénticas son rotaciones y las no idénticas simetrías, se definen dos tipos de errores: “exclusión de rotaciones” e “inclusión de simetrías”. Para caracterizar geoméricamente estos errores, se consideran los movimientos necesarios para convertir la muestra de cada ítem en la figura de cada opción en la respuesta. Al estudiar los ítems, se observa que hay giros donde los ángulos agudos suelen variar entre 30 y 60 grados aproximadamente y los obtusos entre 120 y 150 aproximadamente, así como direcciones perpendiculares correspondientes a ángulos rectos (Cruz & Ramírez, 2018). Atendiendo a estas características, los giros se clasifican en cuatro clases: intervalo abierto de 0 a 90 grados, 90 grados, intervalo abierto de 90 a 180 grados y 180 grados (que en algunas figuras podrían interpretarse como 0 grados al componerlo con la simetría correspondiente). El sentido de giro antihorario es considerado positivo, obteniéndose así los primeros 7 tipos de errores derivados de excluir los giros y por lo tanto no señalar una opción correcta en el test. Al considerar la composición de cada uno de los giros anteriores con una simetría, se obtienen los restantes 7 tipos de errores que se corresponden con las opciones incorrectas del test (ver Tabla 3). Así por el ejemplo, el error Tipo 6 se debe a que el estudiante no marcó una opción correcta que se correspondía a un giro de 90 grados respecto a la muestra del ítem. En el Tipo 14, en cambio, marcó una opción incorrecta que se obtenía como simetría de un giro de -90 grados. Y, además, se consideran aquellos en los que no se contesta ninguna de las opciones (Tipo 0 = No contesta).

La agrupación de los distintos tipos de errores asociados a giros y simetrías permiten definir una serie de indicadores globales de error tal y como se describen en la Tabla 4.

Este análisis descriptivo permite clasificar las respuestas de cada una de las opciones de los ítems analizados atendiendo al error cometido según las características geométricas (Tabla 5).

Tabla 2

Tipo de errores asociados al reconocimiento de simetrías y ángulo de rotación

	0º a 90º	90º	90º a 180º	180º
PR: Rotación positiva excluida	1	2	3	4
NR: Rotación negativa excluida	5	6	7	X
PS: Rotación positiva con simetría incluida	9	10	11	12
NS: Rotación negativa con simetría incluida	13	14	15	X

Nota. Los tipos de errores 8 y 16 están incluidos en los tipos 4 y 12 respectivamente, ya que se obtienen tanto si gira en sentido positivo o negativo.

Agrupando los tipos de error asociados a rotaciones y simetrías se obtuvieron indicadores globales de error definidos en la Tabla 3.

Tabla 3

Indicadores globales de error

Indicador	Característica	Tipos de errores incluidos
PR	Rotaciones positivas excluidas	1+2+3
NR	Rotaciones negativas excluidas	5+6+7
R	Rotaciones excluidas	1+2+3+4+5+6+7
PS	Rotaciones positivas con simetrías incluidas	9+10+11
NS	Rotaciones negativas con simetrías incluidas	13+14+15
S	Rotaciones con simetrías incluidas	9+10+11+12+13+14+15

RESULTADOS

Para el análisis de los datos se utilizaron ANOVAS 2 x 2 considerando en todos los casos las variables independientes y dependientes descritas anteriormente. Se incluye también los valores del estadístico eta cuadrado parcial (η^2_p), como indicador del tamaño del efecto. La significación estadística se fijó en un intervalo de confianza del 95 %, con $p < .05$ como criterio. Los análisis se realizaron con el programa SPSS (v. 19 para Windows).

Los resultados ponen de manifiesto que los estudiantes con capacidad para resolver problemas complejos -CP- obtienen puntuaciones superiores a los

estudiantes controles -NCP- [$F(1, 323) = 58.91, p = .000, \eta^2_p = .154$]. No se encuentran efectos significativos del sexo de los sujetos ni tampoco de la interacción de las dos variables independientes sobre la ejecución en el test.

Indicadores globales de error

Tal y como se muestra en la Tabla 6, los estudiantes con capacidad para resolver problemas complejos -CP- obtienen puntuaciones significativamente menores que los estudiantes controles -NCP- en todos los indicadores globales de error: excluyen menos giros en general (R) [$\eta^2_p = .110$], tanto giros positivos (PR) [$\eta^2_p = .107$] como giros negativos (NR) [$\eta^2_p = .085$]. También incluyen menos simetrías (S) [$\eta^2_p = .076$], tanto positivas (SP) [$\eta^2_p = .065$] como negativas (SN) [$\eta^2_p = .075$]. No se han obtenido diferencias significativas del género en ninguno de los indicadores globales de error. En cuanto a la relación entre las dos variables independientes, no se encuentra ningún efecto de la interacción significativo.

Tipos de errores

Los resultados muestran un número significativamente menor de errores registrados por los estudiantes CP que por los controles de NCP en todos los tipos de errores analizados (véase la Tabla 5): Tipo 0 [$\eta^2_p = .039$]; Tipo 1 [$\eta^2_p = .074$]; Tipo 2 [$\eta^2_p = .040$]; Tipo 3 [$\eta^2_p = .099$]; Tipo 4 [$\eta^2_p = .079$]; Tipo 5 [$\eta^2_p = .023$]; Tipo 6 [$\eta^2_p = .033$]; Tipo 7 [$\eta^2_p = .107$]; Tipo 9 [$\eta^2_p = .046$]; Tipo 10 [$\eta^2_p = .030$]; Tipo 11 [$\eta^2_p = .038$]; Tipo 12 [$\eta^2_p = .027$]; Tipo 13 [$\eta^2_p = .041$]; Tipo 14 [$\eta^2_p = .037$] y Tipo 15 [$\eta^2_p = .078$]. Al igual que en el caso de los indicadores globales, no se observaron diferencias significativas en la interacción entre las dos variables independientes para ninguno de los tipos de error analizados. Tampoco se observaron diferencias significativas en función del género para ninguno de los errores globales

En relación con las diferencias de género encontradas en el error Tipo 0, la tabla 6 muestra el porcentaje de respuestas no contestadas por ítem.

Tabla 4
Medias, desviaciones típicas y valores de F para los indicadores globales de error en función del sexo y la habilidad matemática

	CP						NCP						F (1, 324)		
	Chicos		Chicas		Chicos		Chicas		Chicos		Chicas			Género	Interacción
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	H. Matemática				
	INDICADORES GLOBALES DE ERROR														
PR	1.73	1.35	1.43	0.87	3.11	2.91	3.37	2.65	38.72**	(p= .000)	.09	(p=.930)	1.09	(p= .297)	
NR	1.08	1.33	1.00	1.24	2.30	2.55	2.71	2.91	29.92**	(p= .000)	.37	(p= .541)	.81	(p= .368)	
R	3.12	2.70	2.73	1.84	6.49	6.54	7.26	6.75	40.20**	(p= .000)	.92	(p= .762)	.87	(p= .353)	
PS	0.45	0.74	0.25	0.63	1.15	1.90	1.09	1.47	22.53**	(p= .000)	.67	(p= .437)	.19	(p= .667)	
NS	0.46	0.87	0.32	0.57	1.40	2.03	1.42	2.18	26.30**	(p= .000)	.08	(p= .779)	.15	(p= .703)	
S	1.16	1.89	0.77	1.25	3.14	4.73	3.11	4.09	26.63**	(p= .000)	.23	(p= .630)	.18	(p= .670)	

Nota. ** p< .01; * p< .05.

Tabla 5
Medias, desviaciones típicas y valores de F para los distintos tipos de error considerando el género y la habilidad matemática

	CP						NCP						F (1, 324)	Género	Interacción
	Chicos			Chicas			Chicos			Chicas					
	M	SD		M	SD		M	SD		M	SD				
	TIPO DE ERROR														
Total PMA	32.26	9.98	30.55	10.05	23.40	12.57	18.28	11.72	59.43**	(p= .000)	6.20*	(p= .013)	1.54	(p= .215)	
Tipo 0	6.38	3.83	7.30	3.67	7.66	3.94	9.29	3.73	13.00**	(p= .000)	9.95**	(p= .005)	0.62	(p= .431)	
Tipo 1	1.23	0.88	1.13	0.68	1.71	1.17	1.91	1.18	25.95**	(p= .000)	0.15	(p= .705)	1.57	(p= .211)	
Tipo 2	0.18	0.46	0.20	0.33	0.40	0.71	0.59	1.16	13.41**	(p= .000)	0.01	(p= .938)	0.05	(p= .822)	
Tipo 3	0.31	0.59	0.10	0.30	0.81	1.14	0.90	1.11	35.77**	(p= .000)	0.33	(p= .568)	1.57	(p= .173)	
Tipo 4	0.31	0.63	0.30	0.46	1.07	1.65	1.18	1.68	27.87**	(p= .000)	0.09	(p= .757)	0.14	(p= .706)	
Tipo 5	0.28	0.51	0.30	0.61	0.29	0.54	0.55	0.85	7.47**	(p= .007)	0.16	(p= .688)	0.03	(p= .852)	
Tipo 6	0.33	0.72	0.37	0.63	0.66	1.03	0.78	1.07	10.94**	(p= .001)	0.56	(p= .456)	0.11	(p= .736)	
Tipo 7	0.47	0.70	0.32	0.57	1.15	1.29	1.38	1.67	38.76**	(p= .000)	0.12	(p= .733)	1.83	(p= .177)	
Tipo 9	0.20	0.45	0.13	0.40	0.48	0.95	0.55	0.88	15.59**	(p= .000)	0.02	(p= .966)	0.71	(p= .398)	
Tipo 10	0.09	0.28	0.05	0.22	0.28	0.69	0.22	0.52	9.88**	(p= .002)	0.64	(p= .424)	0.27	(p= .870)	
Tipo 11	0.16	0.41	0.08	0.35	0.39	0.70	0.31	0.57	12.91**	(p= .000)	1.38	(p= .248)	0.05	(p= .942)	
Tipo 12	0.25	0.81	0.20	0.40	0.59	1.28	0.61	1.23	9.03**	(p= .003)	0.25	(p= .874)	0.69	(p= .783)	
Tipo 13	0.18	0.52	0.15	0.36	0.54	1.06	0.54	1.00	14.02**	(p= .000)	0.34	(p= .854)	0.03	(p= .872)	
Tipo 14	0.07	0.25	0.00	0.00	0.21	0.54	0.22	0.55	12.38**	(p= .000)	0.25	(p= .619)	0.66	(p= .417)	
Tipo 15	0.20	0.45	0.18	0.38	0.65	0.87	0.65	0.90	27.46**	(p= .000)	0.02	(p= .896)	0.84	(p= .843)	

**p < .01; *p < .05.

Tabla 6*Porcentaje de respuestas no contestadas por ítem*

	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10
Chicos	1.98	2.97	3.96	2.97	2.47	4.95	5.44	12.37	14.85	21.78
Chicas	1.55	1.55	3.10	1.55	1.55	6.2	10.82	25.58	20.93	31.00
	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20
Chicos	35.14	40.09	46.53	53.96	60.39	72.27	76.73	83.16	87.62	89.10
Chicas	44.96	52.71	62.01	71.31	78.29	86.04	90.69	92.24	91.47	93.79

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, se puede afirmar que el análisis de los tipos de errores identificados en la prueba PMA introduce un nuevo matiz en la habilidad matemática y las diferencias de género observadas en estudios anteriores.

En este estudio se encontraron diferencias significativas entre los alumnos con y sin la habilidad matemática para resolver problemas complejos. Los primeros cometieron significativamente menos errores en todos los tipos analizados, diferenciando más eficazmente entre rotación y simetría independientemente del ángulo de rotación. Dicho hallazgo es coherente con informes anteriores que asociaban una mayor competencia matemática con un mayor rendimiento en este tipo de herramientas de evaluación (Ramírez Uclés et al., 2013).

No se observó que el género tuviera un efecto significativo en ninguno de los errores ni en los indicadores globales derivados de las propiedades geométricas. No se detectaron diferencias de género en el rendimiento en relación con los ángulos de rotación o las simetrías. En otras palabras, ser chico o chica no afectó a la presencia de errores por omitir respuestas correctas para un determinado ángulo de rotación o en incluir incorrectamente una simetría. Ese hallazgo permitiría dar una primera respuesta a una de las cuestiones identificadas como de interés en la literatura (Maeda & Yoon, 2016), infiriendo que las diferencias de género encontradas en el rendimiento en la prueba pueden deberse a otras causas. Dichos factores parecen estar relacionados con el hecho de que los chicos contestan más ítems que las chicas (Goldstein et al., 1990; Maeda & Yoon, 2016; Peters, 2005). Contrariamente a los recogido en otros trabajos anteriores (Alansari et al., 2008; Petrusic et al., 1978; Xu et al., 2016), no se percibió una mayor complejidad con ángulos de rotación más amplios ni con la presencia de simetrías.

Sin embargo, se observaron diferencias significativas de género en las puntuaciones obtenidas en la prueba y en el número de ítems no contestados, especialmente los derivados de la falta de tiempo (Ramírez-Uclés & Ramírez Uclés, 2020). La Tabla 6 muestra que, a partir del ítem 11, más del 50% de las chicas no contestan, lo que apunta al uso de estrategias que exigen más tiempo en la respuesta. Dadas las características específicas de la prueba y el hecho de que los sujetos desconocen el número de opciones correctas, parece interesante estudiar en futuros trabajos si las diferencias se derivan de rasgos de personalidad relacionados con una escasa autoconfianza o con la necesidad de comprobar constantemente los resultados.

Tampoco se observó ningún efecto significativo de la interacción entre las dos variables independientes (género y habilidad para la resolución de problemas matemáticos complejos). En los ítems analizados, el dominio de la resolución de problemas complejos fue la característica que determinó un mayor rendimiento en la prueba, sin que se observaran diferencias en función del género. Estos resultados introducen un matiz de interés en la comprensión de las diferencias de género tradicionalmente identificadas en las aptitudes visuoespaciales y, más concretamente, en la rotación mental. En este caso, los sujetos más hábiles matemáticamente mostraron un mayor rendimiento en la prueba, independientemente del género. Esa mejora en el rendimiento puede atribuirse a otros factores que forman parte de la racionalidad geométrica, como la comprensión de propiedades que no se ven alteradas por la isometría (se mantienen el paralelismo, la perpendicularidad y la posición relativa), las composiciones de orden 2 (una composición de dos simetrías es una rotación; una de dos rotaciones es una tercera rotación; una de una rotación y una simetría, una segunda simetría) o las estrategias analíticas (Linn y Petersen, 1985).

El profesorado de matemáticas insiste en la importancia de establecer conexiones entre la habilidad visuoespacial y la resolución de problemas (Arcavi, 2003; Clements y Battista, 1992). Además de la visualización, el desarrollo en el aula del sentido espacial (National Council of Teachers of Mathematics, 2000) conlleva otras características del conocimiento geométrico, como los movimientos en el plano y en el espacio. Los ítems de rotación mental podrían ser realizados más eficientemente por sujetos con un sentido espacial más desarrollado. No obstante, tareas asociadas a ese sentido espacial como las que requieren construcción física, conversión mental de objetos plegables o no rígidos o la identificación de formas simples incluidas en formas más complejas, no suelen considerarse en las tareas de rotación mental y quedan excluidas de ciertos metaanálisis (Lauer et al. 2019). Las diferencias de género detectadas en las pruebas de rotación mental podrían comprenderse mejor si la investigación se centrara al mismo tiempo en el razonamiento geométrico implicado en la realización de las tareas para abordar la controversia identificada en varios estudios (como Battista, 1990; y González-Calero

et al., 2018). Por ejemplo, la estrategia de los chicos para trabajar más rápido en esta prueba les supuso un mayor rendimiento. Otras áreas de interés serían los rasgos de personalidad, más allá de los factores cognitivos, que podrían afectar a la puesta en juego de estrategias más eficaces y eficientes (Preckel et al., 2008; Yarbrough et al., 2017). Factores como la autoconfianza pueden ser una consecuencia no sólo del género del sujeto, sino también de su capacidad matemática (Bench et al., 2015). Dado que las habilidades de rotación mental se mejoran supuestamente fomentando creencias motivacionales y mejorando las percepciones de autocompetencia, los aspectos motivacionales adquieren relevancia en los procesos educativos para mejorar las habilidades de rotación mental (Moè, 2021).

Una de las limitaciones de este estudio es que no se incluye ningún test de inteligencia general que relacione la capacidad para resolver problemas complejos con el factor G intelectual. En futuros estudios sería interesante incluir ambas variables para observar la posible relación entre los constructos correspondientes. Otra limitación del trabajo viene dada por el estudio de un test concreto y una muestra particular con diferente número de chicos y chicas. Sin embargo, los resultados aportan información educativa interesante en relación con las diferencias de género encontradas en STEM. En una prueba que tradicionalmente muestra diferencias de género, los resultados evidencian que dichas diferencias no provienen de las características geométricas analizadas. Que los contenidos matemáticos no fuesen los causantes de las diferencias podría orientar el proceso educativo para salvar las diferencias abordando aspectos emocionales y de comportamiento, como la autoconfianza.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación forma parte del proyecto de I+D+i PID2020-117395RB-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alansari, B. M., DerEgowski, J. B., & McGeorge, P. (2008). Sex differences in spatial visualization of Kuwaiti school children. *Social Behavior and Personality*, 36(6), 811-824. <https://doi.org/10.2224/sbp.2008.36.6.811>
- Arendasy, M. E., & Sommer, M. (2012). Gender differences in figural matrices: The moderating role of item design features. *Intelligence*, 40(6), 584-597. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2012.08.003>
- Arcavi, A. (2003). The role of visual representations in the learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 52(3), 215-241. <https://doi.org/10.1023/A:1024312321077>

- 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>
- Benbow, C. P., & Stanley, J. C. (1996). Inequity in equity: How “equity” can lead to inequity for high potential students. *Psychology, Public Policy and Law*, 2, 249-292. <https://doi.org/10.1037/1076-8971.2.2.249>
- Bench, S. W., Lench, H. C., Liew, J., Miner, K., & Flores, S. A. (2015). Gender gaps in overestimation of math performance. *Sex Roles*, 72, 536-546. <https://doi.org/10.1007/s11199-015-0486-9>
- Campos, A. (2014). Gender differences in imagery. *Personality and Individual Differences*, 59, 107–111. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2013.12.010>
- Cheng, 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>
- Clements, M. K. (1980). Analyzing children’s errors on written mathematical tasks. *Educational Studies in Mathematics*, 11, 1-21. <https://doi.org/doi:10.1007/BF00369157>
- Clements, D. H., & Battista, M. T. (1992). Geometry and spatial reasoning. En D.A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 420-464). MacMillan.
- Contreras, M. J., Martínez-Molina, A., & 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>
- Contreras, M. J., Rubio, V., Peña, D., Colom, R., & Santacreu, J. (2007). Sex differences in dynamic spatial ability: The unsolved question of performance factors. *Memory & Cognition*, 35(2), 297-303. <https://doi.org/10.3758/BF03193450>
- Corbett, C., Hill, C., & St. Rose, A. (2008). *Where the girls are: The facts about gender equity in education-executive summary*. Educational Foundation, American Association of University Women.
- Cruz, A., & Ramírez, R. (2018). Componentes del sentido espacial en un test de capacidad espacial. En L. J. Rodríguez-Muñiz, L. Muñiz-Rodríguez, A. Aguilar-González, P. Alonso, F. J. García-García, & A. Bruno (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXII* (pp. 211-220). SEIEM.
- Delgado, A., & Prieto, G. (2004). Cognitive mediators and sex-related differences in mathematics. *Intelligence*, 32, 25-32. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(03\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(03)00061-8)
- Else-Quest, N. M., Hyde, J. S., & Linn, M. C. (2010). Cross-national patterns of gender differences in mathematics: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 136(1), 103-127. <https://doi.org/10.1037/a0018053>

- Ganley, C. M., & Vasilyeva, M. (2011). Sex differences in the relation between math performance, spatial skills and attitudes. *Journal of Applied Developmental Psychology, 32*(4), 235-242. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2011.04.001>
- Gibbs, B. G. (2010). Reversing fortunes or content change? Gender gaps in math-related skill throughout childhood. *Social Science Research, 39*(4), 540-569. <https://doi.org/10.1016/j.ssresearch.2010.02.005>
- Goldstein, D., Haldane, D., & 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>
- González-Calero, J. A., Cózar, R., Villena, R., & Merino, J. M. (2018). The development of mental rotation abilities through robotics-based instruction: An experience mediated by gender. *British Journal of Educational Technology, 50*(6), 3198-3213. <https://doi.org/10.1111/bjet.12726>
- Halpern, D. F., Benbow, C. P., Geary, D. C., Gur, R. C., Shibley, J. S., & 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>
- Harris, D., Lowrie, T., Logan, T., & Hegarty, M. (2021). Spatial reasoning, mathematics, and gender: Do spatial constructs differ in their contribution to performance? *British Journal of Educational Psychology, 91*(1), 409-441. <https://doi.org/10.1111/bjep.12371>
- Hawes, Z., Gilligan-Lee, K., & Mix, K. (2022). Effects of spatial training on mathematics performance: A meta-analysis. *Development Psychology, 58*(1), 112-137. <https://doi.org/10.1037/dev0001281>
- Hyde, J. S. (2014). Gender similarities and differences. *Annual Review of Psychology, 65*, 373-398. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115057>
- Hyde, J. S., Fennema, E., & Lamon, S. (1990). Gender differences in mathematics performance: A meta-analysis. *Psychological Bulletin, 107*, 139-55. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.107.2.139>
- Johnson, T., Burgoyne, A., Mix, K., & Young, C. (2021). Spatial and mathematics skills: Similarities and differences related to age, SES, and gender. *Cognition, 218*(2), Artículo 104918. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104918>
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1985). Cognitive coordinate systems: Accounts of mental rotation and individual differences in spatial ability. *Psychological Review, 92*(2), 137-172. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.92.2.137>
- Lauer, J. E., Yhang, E., & Lourenco, S. F. (2019). The development of gender differences in spatial reasoning: A meta-analytic review. *Psychological Bulletin, 145*(6), 537-565. <https://doi.org/10.1037/bul0000191>
- Lindberg, S. M., Hyde, J. S., Petersen, J., & Linn, M. C. (2010). New trends in gender and mathematics performance: A meta-analysis. *Psychological Bulletin, 136*, 1123-1135. <https://doi.org/10.1037/a0021276>

- Linn, M. C., & 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/10.2307/1130467>
- Liu, O. L., & Wilson, M. (2009). Gender differences and similarities in PISA 2003 mathematics: A comparison between the United States and Hong Kong. *International Journal of Testing*, 9(1), 20-40. <https://doi.org/10.1080/15305050902733547>
- Maeda, Y., & Yoon, S. Y. (2016). Are gender differences in spatial ability real or an artifact? Evaluation of measurement invariance on the Revised PSVT. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 34(4), 397-403. <https://doi.org/10.1177/0734282915609843>
- Manger, T., & Eikeland, O. (1998). The effects of spatial visualization and students' sex on mathematical achievement. *British Journal of Psychology*, 89, 17-25. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1998.tb02670.x>
- Moè, A. (2021). Doubling mental rotation scores in high school students: Effects of motivational and strategic trainings. *Learning and Instruction*, 74, 101461. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2021.101461>
- National Council of Teachers of Mathematics (2000). *Principles and standards for school mathematics*. NCTM.
- Niederle, M., & Vesterlud, L. (2010). Explaining the gender gap in math test scores: The role of competition. *Journal of Economic Perspectives*, 24(2), 129-44. <https://doi.org/10.1257/jep.24.2.129>
- Núñez-Peña, M. I., & Aznar-Casanova, J. A. (2009). Rotación mental: Cómo la mente rota las imágenes hasta colocarlas en su posición normal. *Ciencia Cognitiva: Revista Electrónica de Divulgación*, 3(2), 58-61.
- Peña, D., Contreras, M. J., Shih, P. C., & Santacreu, J. (2008). Solution strategies as possible explanations of individual and sex differences in a dynamic spatial task. *Acta Psychologica*, 128(1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2007.09.005>
- Peters, M. (2005). Sex differences and the factor of time in solving Vandenberg and Kuse mental rotation problems. *Brain and Cognition*, 57(2), 176-184. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.08.052>
- Petrusic, W. M., Varro, L., & Jamieson, D. G. (1978). Mental rotation validation of two spatial ability tests. *Psychological Research*, 40(2), 139-148. <https://doi.org/10.1007/BF00308409>
- Pezaris, E., & Casey, M. B. (1991). Girls who use “masculine” problem-solving strategies on a spatial task: Proposed genetic and environmental factors. *Brain and Cognition*, 17(1), 1–22. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(91\)90062-D](https://doi.org/10.1016/0278-2626(91)90062-D)
- Preckel, F., Goetz, T., Pekrun, R., & Kleine, M. (2008). Gender differences in gifted and average-ability students: Comparing girls' and boys' achievement, self-concept, interest, and motivation in mathematics. *Gifted Child Quarterly*, 52(2), 146-159. <https://doi.org/10.1177/0016986208315834>

- Rabab'h, B., & Veloo, A. (2015). Spatial visualization as mediating between mathematics learning strategy and mathematics achievement among 8th grade students. *International Education Studies*, 8(5), 1-11. <https://doi.org/10.5539/ies.v8n5p1>
- Ramírez, R., & Flores, P. (2017). Habilidades de visualización de estudiantes con talento matemático: Comparativa entre los test psicométricos y las habilidades de visualización manifestadas en tareas geométricas. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 179-196. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2152>
- Ramírez-Uclés, R., Ramírez-Uclés, I., Flores, P., & Castro, E. (2013). Analysis of spatial visualization and intellectual capabilities in mathematically gifted students. *Revista Mexicana de Psicología*, 30, 24-31.
- Ramírez-Uclés, I., & Ramírez Uclés, R. (2020). Gender differences in visuospatial abilities and complex mathematical problem solving. *Frontiers Psychology*, 11(191), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00191>
- Reinking, A., & Martín, B. (2018). La brecha de género en los campos STEM: Teorías, movimientos e ideas para involucrar a las chicas en entornos STEM. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 70(2), 160-166. <https://doi.org/10.7821/naer.2018.7.271>
- Rivera, F. D. (2011). *Towards a visually-oriented school mathematics curriculum*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0014-7>
- Rodán, A., Montoro, P. R., Martínez-Molina, A., & Contreras, M. J. (2022). Effectiveness of spatial training in elementary and secondary school: everyone learns. *Educación XX1*, 25(1), 381-406. <https://doi.org/10.5944/educXX1.30100>
- Scheiber, C., Reynolds, M. R., Hajovsky, D. B., & Kaufman, A. S. (2015). Gender differences in achievement in a large, nationally representative sample of children and adolescents. *Psychology in the Schools*, 52, 335-348. <https://doi.org/doi:10.1002/pits.21827>
- Spencer, S. J., Steele, C. M., & Quinn, D. M. (1999). Stereotype threat and women's math performance. *Journal of Experimental Social Psychology*, 35, 4-28. <https://doi.org/10.1006/jesp.1998.1373>
- Steinmayr, R., & Spinath, B. (2008). Sex differences in school achievement: What are the roles of personality and achievement motivation? *European Journal of Personality*, 22, 185–209. <http://dx.doi.org/10.1002/per.676>
- Stericker, A., & LeVesconte, S. (1982). Effect of brief training on sex-related differences in visual-spatial skill. *Journal of Personality and Social Psychology*, 43(5), 1018–1029. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.43.5.1018>
- Stewart, C., Root, M. M., Koriakin, T., Choi, D., Luria, S. R., Bray, M. A., Sassu, K. Maykel, C., O'Rourke, P., & Courville, T. (2017). Biological gender differences in students' errors on mathematics achievement tests. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 35(1-2), 47-56. <https://doi.org/10.1177/0734282916669231>

- Stumpf, H. (1993). Performance factors and gender-related differences in spatial ability: Another assessment. *Memory & Cognition*, 21(6), 828-836. <https://doi.org/10.3758/BF03202750>
- Thurstone, L. L., & Thurstone, T. G. (1943). *Chicago tests of primary mental abilities: Manual of instructions*. Science Research Association.
- Thurstone, L. L., & Thurstone, T. G. (1976). *P.M.A.: Aptitudes Mentales Primarias*. TEA.
- Voyer, D., Rodgers, M. A., & 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., & Saunders, K. A. (2004). Gender differences on the mental rotations test: A factor analysis. *Acta Psychologica*, 117(1), 79-94. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2004.05.003>
- Voyer, D., & Voyer, S. D. (2014). Gender differences in scholastic achievement: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 140(4), 1174-1204. <https://doi.org/10.1037/a0036620>
- Wach, F. S., Spengler, M., Gottschling, J., & Spinath, F. M. (2015). Sex differences in secondary school achievement — The contribution of self-perceived abilities and fear of failure. *Learning and Instruction*, 36, 104–112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.01.005>
- Wu, H., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88, 465-492. <https://doi.org/10.1002/sce.10126>
- Xu, X., Kim, E. S., & Lewis, J. E. (2016). Sex difference in spatial ability for college students and exploration of measurement invariance. *Learning and Individual Differences*, 45, 176-184. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2015.11.015>
- Yarbrough, J. L., Cannon, L., Bergman, S., Kidder-Ashley, P., & McCane-Bowling, S. (2017). Let the data speak: Gender differences in math curriculum-based measurement. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 35(6), 568-580. <https://doi.org/10.1177/0734282916649122>
- Yoon, S. Y., & Mann, E. L. (2017). Exploring the spatial ability of undergraduate students: Association with gender, STEM majors, and gifted program membership. *Gifted Child Quarterly*, 61(4), 313-327. <https://doi.org/10.1177/0016986217722614>