

## CUANDO EL SEXO SÍ IMPORTA: LA COGNICIÓN ESPACIAL

*Victoria D. Chamizo*

*Facultad de Psicología, Universitat de Barcelona e  
Instituto de Neurociencias, Universitat de Barcelona*

### RESUMEN

El presente manuscrito aborda el complejo tema de la cognición espacial, donde es frecuente encontrar diferencias de sexo (normalmente en beneficio del sexo masculino) desde edades tempranas. El trabajo comienza con una breve descripción de la figura de Sheryl Sorby y su magnífico legado, haciendo especial hincapié en su problema inicial, las proyecciones ortogonales. A continuación, se describe brevemente qué es una proyección ortogonal y su relación con la rotación mental. Se busca una explicación que permita entender las diferencias de sexo en las habilidades espaciales, insistiendo en las repercusiones que ello tiene, no solo en las carreras denominadas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), sino en todo el plan de estudios en general. El trabajo acaba mirando al futuro, con la esperanza de que todo el material de apoyo que está apareciendo en los últimos años, en buena medida gracias a las nuevas tecnologías, ayude en la eliminación de estas diferencias.

### 1. INTRODUCCIÓN

Pocos testimonios me han impresionado tanto como el que ofrece Sheryl Sorby en su conferencia ‘TEDx’ de 2014 titulada “Reclutamiento de mujeres para la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas” (<https://www.youtube.com/watch?v=cJZih128HFI>). En esta conferencia, Sorby explica con gran franqueza su paso por las distintas etapas de su formación. Fue una alumna brillante en todas las asignaturas durante la etapa de primaria y secundaria. Esta situación duró hasta que entró en la universidad y se matriculó en una ingeniería. Fue entonces, por primera vez en su vida, cuando tuvo problemas importantes con una determinada asignatura de dibujo en la que tenía que hacer proyecciones ortogonales (un tipo de gráficos de ingeniería). ¡No daba crédito a lo que le estaba pasando! Especialmente por tratarse de algo que resultaba fácil para la mayoría de sus compañeros... Con esfuerzo, pudo superar su problema. Y no solo terminó la ingeniería que había comenzado, sino que permaneció como docente en la universidad y llegó a ganar una cátedra de la asignatura que tanto le costó aprobar.

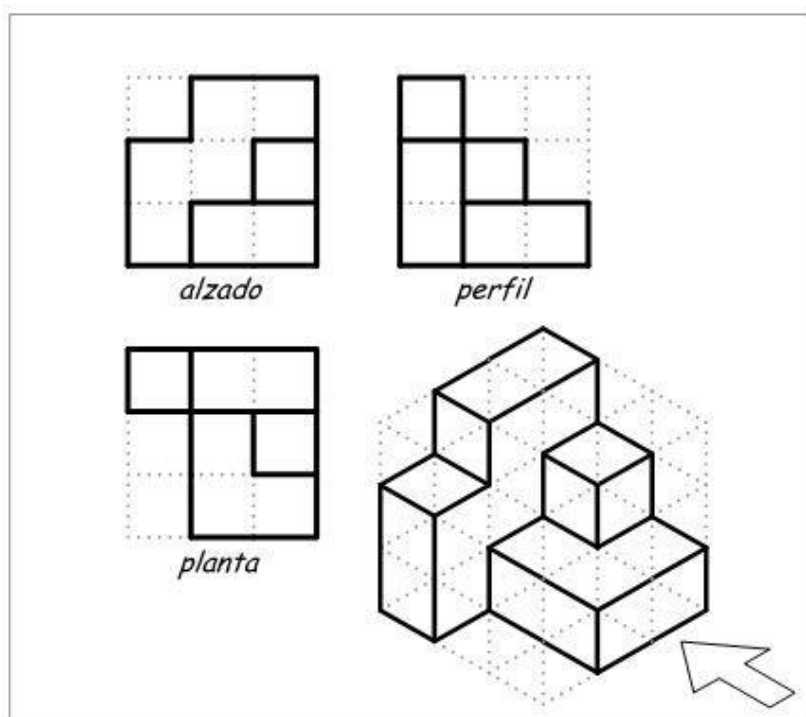
La historia de Sheryl Sorby, actualmente catedrática emérita de la Universidad del Estado de Ohio (USA), es ejemplar, lo que hace que su testimonio sea especialmente valioso. Su impactante conferencia acaba con consejos prácticos, dirigidos a padres y educadores, acerca de las actividades y de los juguetes que les convienen a sus hijos (fundamentalmente, los que les convienen a sus hijas): fomentar los juegos de arquitectura con bloques; implicar a las niñas en tareas espaciales prácticas; manipular, construir y dibujar objetos en 3D; jugar a videojuegos en 3D, utilizar mapas, y no el GPS, en las excursiones... ¡Una auténtica lección de humildad e integridad que debería hacernos reflexionar a todos! Igual de importante, según Sorby, es tener siempre presente el poder de las expectativas y decir a las niñas que pueden aprender esas habilidades igual que aprenden cualquier otra cosa...

En la actualidad, múltiples investigaciones han puesto de manifiesto que el problema que tuvo Sorby afecta con mayor frecuencia a las mujeres que a los hombres y que es reversible si se utilizan las herramientas adecuadas (Sorby, Veurink y Streiner, 2018). ¿A qué se deben estas diferencias? Posiblemente las causas son múltiples y no hay acuerdo entre investigadores. Según Sorby (WEPAN, 19 de julio de 2021, <https://www.wepan.org/>), "no es una cuestión de aptitudes, sino de oportunidades. Los chicos tienen más probabilidades que las chicas de jugar con Legos cuando son niños, o de utilizar juegos de ordenador en 3D, o de asistir a clases prácticas de talleres, y son ese tipo de actividades las que proporcionan práctica para desmontar y volver a montar las cosas, el tipo de actividades que ayudan a una persona a desarrollar sus habilidades espaciales en 3D". Esta investigadora ha dedicado gran parte de su vida profesional a desarrollar y poner a prueba material didáctico con la finalidad de ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades espaciales, especialmente a las futuras ingenieras (a modo de ejemplo ver Sorby, 2009; Sorby y Baartmans, 2020). Sorby ha recibido numerosos premios y su trabajo tiene una enorme influencia en la actualidad, de manera muy notable en el campo de las ingenierías. Es fundadora de la empresa de consultoría educativa *Higher Education Services* (HES), que trabaja para hacer avanzar la investigación y la formación espacial en todo el mundo (<https://www.higheredservices.org/>).

## 2. PROYECCIONES ORTOGONALES Y ROTACIÓN MENTAL

Una proyección ortogonal es un sistema de representación mediante el cual un objeto, que está en el espacio, se dibuja, o "se proyecta", sobre un plano, o dos. Si nos fijamos en la parte superior e izquierda de la Figura 1, dado el perfil, el alzado y la planta de un objeto, hay que imaginarlo mentalmente en el objeto tridimensional representado abajo, a la derecha de la figura. Es decir, hemos pasado de una representación bidimensional (anchura y altura), a otra tridimensional (anchura, altura y profundidad).

*Figura 1*  
*Ejemplo de proyección ortogonal.*



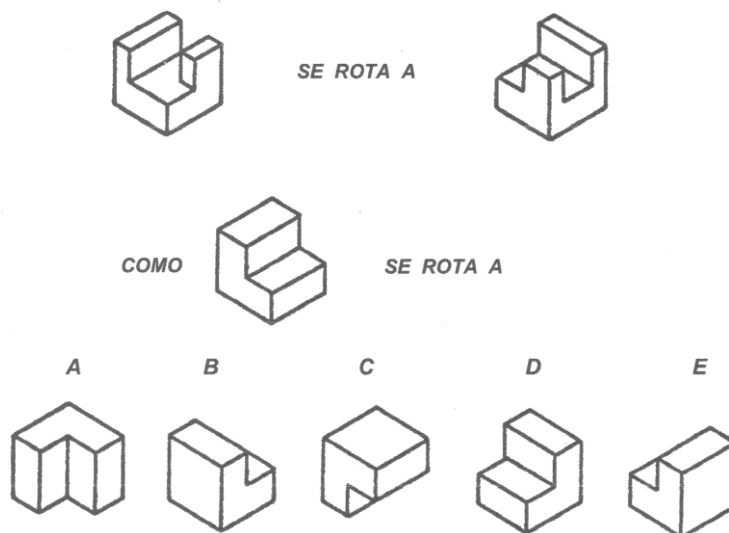
Para hacer proyecciones ortogonales resulta especialmente útil una capacidad que los psicólogos denominan *visualización espacial*, que es la capacidad de representar y manipular mentalmente objetos en tres dimensiones. Según Mackintosh (2011), hay distintas maneras de evaluar

esta capacidad mental. Normalmente las pruebas consisten en dibujar patrones, formas o figuras visuales relativamente complejas y con las que se pueden realizar distintas operaciones (como rotarla mentalmente, descomponer la figura en sus partes o recombinar estas últimas en un nuevo patrón). La prueba más frecuente es la rotación mental, cuya medida se popularizó en los años setenta del siglo pasado (Guay, 1976; Shepard-Metzler, 1971; Vandenberg y Kuse, 1978), especialmente la *velocidad de rotación mental*. En la actualidad existen numerosas variaciones de estas pruebas, tanto en lo referente a los estímulos que se presentan (formas geométricas tridimensionales, letras, manos, números, diversos objetos... todo ello con diferentes orientaciones) como a la forma de presentación y a lo que exactamente se pide a los participantes. Por ejemplo, tras presentar pares de imágenes con diferentes orientaciones, pedir que decidan rápidamente si se trata o no de la misma figura; o tras presentar una figura objetivo y, a continuación, otras múltiples figuras con diferentes orientaciones (de las cuales solo una es la misma que la figura objetivo), pedirle al participante que elija cual de ellas coincide con la figura objetivo... etc. En el caso de pares de imágenes, los resultados más frecuentes muestran que el tiempo en responder aumenta a medida que el ángulo de rotación es mayor y que los hombres son más rápidos que las mujeres –aunque las diferencias de sexo pueden desaparecer en función de distintos factores, como la forma o los colores de los estímulos empleados (Jansen-Osmann y Heil, 2007).

### 3. UN EJEMPLO DE ROTACIÓN MENTAL

Un material muy empleado por Sheryl Sorby son las Pruebas de Visualización Espacial de Purdue: Visualización de Rotaciones (PSVT:R), elaboradas por Guay (1976), de las que se presenta un ejemplo en la Figura 2.

Figure 2  
Prueba de Visualización Espacial de Purdue (Guay, 1976).



Según Guay (1976, sección 2) este ejemplo requiere varios pasos: 1. Estudiar como rota el objeto de la línea superior de la pregunta, 2. Imaginar mentalmente cómo es el objeto mostrado en la línea central de la pregunta cuando se gira exactamente de la misma manera y 3. seleccionar de entre los cinco dibujos (A, B, C, D o E) que se presentan en la línea inferior de la pregunta el que concuerda con el objeto rotado de la línea central. En el ejemplo anterior solo el dibujo D se ajusta a la rotación requerida.

La capacidad de hacer proyecciones ortogonales, así como las visualizaciones espaciales se encuentran dentro de un conjunto amplio y muy variado de capacidades cognitivas dentro del dominio espacial que, aunque con diversos matices, han recibido diferentes nombres: “habilidades espaciales”, “cognición espacial”, “inteligencia espacial”, “pensamiento espacial”, “razonamiento espacial” ... etc.

Este tipo de habilidades son múltiples (sin que exista un acuerdo entre investigadores para poderlas agrupar), como también lo son las pruebas específicas que las miden (como la rotación mental). Posiblemente la habilidad espacial más estudiada es la denominada *orientación espacial o navegación*, que se refiere a la capacidad de los organismos para navegar. Los ejemplos más frecuentes para describirla hacen alusión al mundo de la caza (los cazadores tienen un buen sentido de la direccionalidad, saben dónde se encuentran a pesar de la distancia que hayan podido recorrer y son capaces de regresar al punto de partida por la ruta más corta). A pesar de las diferencias existentes entre las distintas habilidades espaciales se ha visto que correlacionan positivamente, de forma que la mejora en una de ellas afecta positivamente en las otras (para excelentes revisiones, ver Voyer, Voyer y Bryden, 1995; Uttal y cols., 2013).

#### **4. UNA EXPLICACIÓN QUE PERMITA ENTENDER LAS DIFERENCIAS DE SEXO EN LAS HABILIDADES ESPACIALES**

En una publicación reciente (2020) titulada *El rompecabezas de las diferencias espaciales entre los sexos: Estado actual y requisitos previos para las soluciones*, su autora, Nora Newcombe, enfatiza la maleabilidad de las habilidades espaciales (que pueden mejorar con la práctica), así como diferencias importantes en función de la tarea espacial específica y de variaciones culturales. Además, Newcombe afirma que los datos disponibles sugieren que estas diferencias, al menos en humanos, aumentan con la edad (normalmente en beneficio de los hombres), por lo que se trata de un patrón complejo que dificulta teorizar acerca de su causalidad.

¿Qué otras opiniones hay y qué nos aportan los estudios llevados a cabo con sujetos no humanos? Con sujetos no-humanos, la conclusión más ampliamente aceptada, es decir, el mejor predictor de las diferencias de sexo, se refiere al tamaño del territorio que se visita a lo largo de la vida, una hipótesis biológica (para revisiones ver Chamizo, 2021; Mackintosh 2011; Geary 2020). Esta hipótesis concuerda con el argumento de que las diferencias de sexo que se encuentran en muchas especies de mamíferos (incluida la especie humana) son el resultado de alguna forma de selección natural. Ambos sexos habrían desarrollado estrategias de búsqueda y de navegación diferentes debido a presiones selectivas del medio ambiente, que habrían dado lugar a habilidades espaciales distintas. Así, mientras que los machos parecen más propensos a emplear información geométrica para orientarse (como ángulos, puntos cardinales y distancias), las hembras tienden más a utilizar puntos de referencia (es decir, señales prominentes: un prado, un puente, un determinado saliente geográfico...).

En humanos, muchos autores indican que la razón crítica podría consistir en que durante mucho tiempo se practicó una división del trabajo entre ambos sexos (Dahlberg, 1981; Lee y De Vore, 1968). Mientras que los hombres fundamentalmente se dedicaban a la caza, especialmente a la caza mayor (cubriendo por tanto un territorio extenso), las mujeres practicaban más la recolección –que ocurría en lugares cercanos al campamento base. Las sociedades de cazadores-recolectoras duraron más de cien mil años y, como indica Kimura (2004), debemos tener en cuenta que sus cerebros y los nuestros en la actualidad son prácticamente idénticos. Un período de tiempo tan largo puede explicar nuestras predisposiciones actuales, que se observan ya desde la primera infancia (para una revisión ver Lauer, Yhang y Lourenco, 2019). En otros animales la explicación más frecuente se refiere a la poliginia, un sistema de apareamiento en el que los machos promiscuos visitan diversas hembras en una sola temporada de reproducción por lo que el territorio por el que se desplazan es mayor que el de las hembras, cosa que no ocurre en los machos monógamos. Y solo en el primer caso se han encontrado diferencias de sexo en tareas de aprendizaje espacial cuando se han estudiado en condiciones controladas de laboratorio (Gaulin et al. 1989; Jasarevic et al., 2012).

Aunque la división del trabajo entre nuestros antepasados es la explicación más ampliamente aceptada para explicar las diferencias de sexo en el dominio espacial, son muchas las incógnitas que quedan por resolver. En un trabajo reciente (Haas y cols., 2020) llevado a cabo en la cordillera de los Andes, al sur del Perú (en un lugar denominado Wilamaya Patjxa), un grupo de investigadores ha

encontrado una chica de entre 17 y 19 años, enterrada hace unos 8.000 años junto a un magnífico juego de herramientas de caza. Según los autores, es importante relacionar este descubrimiento con las prácticas funerarias del Holoceno y su parafernalia (un elemento fundamental del ritual funerario era el ajuar funerario, o las “ofrendas”, que se colocaban junto al cuerpo de la persona difunta; por lo general se trataba de objetos de dicha persona y eran un indicador de su estatus social). El hallazgo sugiere que la caza de grandes animales no era exclusiva de los hombres prehistóricos y cuestiona la supuesta división del trabajo que ocurrió en nuestros primeros antepasados. Tras este descubrimiento, Haas y cols. (2020) revisaron otro centenar de enterramientos y encontraron que más de un tercio de los supuestos cazadores ¡eran en realidad cazadoras! ¿Una casta de mujeres guerreras? Investigaciones futuras tendrán que dar respuesta a los diversos interrogantes que ha abierto este trabajo.

## **5. LAS CARRERAS STEM Y LA BRECHA DE GÉNERO**

En un interesante artículo publicado en el diario de Barcelona La Vanguardia (con fecha 17/03/2020), Mireia Furriol, presidenta de la *Comisión de Equidad, Tecnología y Futuro de los Ingenieros Industriales de Cataluña*, comentaba que resulta una constatación dolorosa que la presencia de la mujer en el mundo de la ciencia y la técnica es minoritaria. Según Furriol, “hoy más que nunca se hace necesario que la aplicación de la tecnología se construya desde la diversidad, porque si los algoritmos reproducen los sesgos de quienes los programan y la mayoría son hombres, corremos el peligro de que las aplicaciones o programas presentes y futuros tengan comportamientos sexistas”. Qué duda cabe que en la tecnología hombres y mujeres deberían colaborar más. Sin embargo, por desgracia, el porcentaje de mujeres trabajando en el mercado tecnológico está en torno al 20% y, según Furriol, en los últimos años se registra un preocupante descenso en el número de chicas matriculadas en las carreras técnicas, las denominadas STEM (en castellano, carreras CTIM –siglas de *Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas*). ¿Cómo se puede invertir esta tendencia? Investigaciones recientes han demostrado que son muchas las variables que pueden estar implicadas en esta realidad (familiares, sociales, biológicas...) por lo que el cambio no podrá ser de un día para otro y posiblemente requerirá de “intervenciones” específicas, desde el parvulario, si queremos acelerarlo.

## **6. HABILIDADES ESPACIALES Y PLANES DE ESTUDIO**

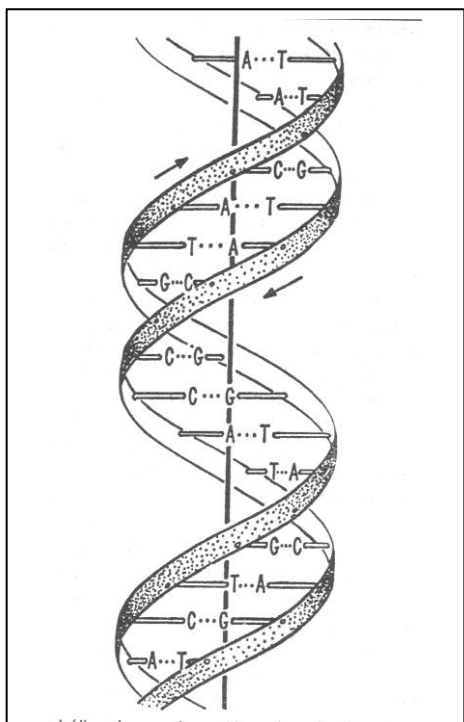
Las habilidades espaciales son múltiples y muy variadas. Se pueden aprender, como tantas otras habilidades, aunque no se suelen enseñar formalmente. Estas afirmaciones se han reconocido abiertamente en el influyente libro del Consejo Nacional de Investigación de USA, titulado *Aprender a pensar espacialmente (Learning to Think Spatially)*, que se publicó en 2006 y que ha tenido un gran impacto en el currículo escolar de primaria y secundaria en muchos países. Tras un laborioso estudio, el Consejo Nacional de Investigación ha considerado que “el pensamiento espacial es una forma de pensamiento que se basa en una amalgama constructiva de tres elementos: conceptos de espacio, herramientas de representación y procesos de razonamiento; y que es el concepto de espacio lo que hace que el pensamiento espacial sea una forma distintiva de pensamiento” (p. 7). El libro enfatiza que al pensamiento espacial se le debe reconocer como parte fundamental de la educación que va desde el parvulario hasta los doce años (etapa que con frecuencia se denomina K-12).

En esta obra (2006) pide abiertamente pasar a la acción en el currículo escolar, describiendo la situación como un "importante punto ciego" en la educación (p. 7). En definitiva, el libro hace recomendaciones específicas y se justifica diciendo textualmente “La premisa de este informe es la necesidad de un cambio educativo sistémico. Para este cambio es fundamental un compromiso nacional con el objetivo de la alfabetización espacial. El pensamiento espacial debe ser reconocido como una parte fundamental y necesaria del proceso de educación K-12. El comité no ve el pensamiento espacial como una pieza más que añadir a una estructura curricular ya sobrecargada. Por el contrario, considera que el pensamiento espacial es un integrador y un facilitador de la resolución de problemas en todo el plan de estudios. El pensamiento espacial no es, ni debe ser, un elemento aislado,

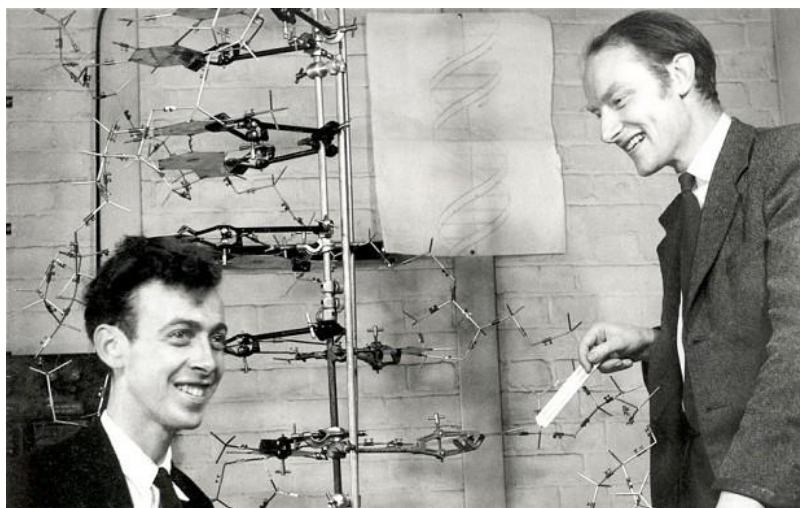
pero igualmente, sin prestarle atención explícita no podemos cumplir con nuestra responsabilidad de equipar a la próxima generación de estudiantes para la vida y el trabajo en el siglo XXI” (p. 10).

Un ejemplo de pensamiento espacial que se destaca en *Aprender a pensar espacialmente* (2006) es la descripción de la estructura molecular del gen, la estructura de doble hélice del ADN, que se descubrió gracias a un modelo tridimensional construido a partir de alambres y planchas metálicas (ver Figuras 4 y 5). Por este descubrimiento, uno de los mayores logros de la ciencia del siglo XX, Francis Crick y James Watson recibieron el Premio Nobel de Medicina en 1962, junto al físico Maurice Wilkins (para un relato en primera persona ver Watson, 2011). El descubrimiento revolucionó el estudio de la genética, el cómo se transmite la herencia física y fisiológica de una generación a otra.

*Figura 3*  
*Ejemplo de diagrama del ADN*



*Figura 4*  
*Los descubridores de la estructura del ADN, Watson y Crick, con su modelo.*



## **7. MIRANDO AL FUTURO: VIDEOS, LIBROS, JUEGOS Y TECNOLOGÍA INNOVADORA DESDE LA PRIMERA INFANCIA**

Es indudable que el sistema educativo no ha sido ejemplar para que los infantes puedan desarrollar y demostrar su capacidad en el campo de las ciencias y las ingenierías. Posiblemente el profesorado no ha tenido la preparación adecuada y tampoco ha contado con suficientes recursos ni material de apoyo. Pero afortunadamente, las cosas están cambiando, al menos en algunos países. Un ejemplo reciente de un excelente material para los profesores es el informe norteamericano de las Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina titulado *La ciencia y la ingeniería a través de los grados elementales: La brillantez de los niños y la fuerza de los educadores* (*Science and Engineering Through Elementary Grades: The Brilliance of Children and the Strengths of Educators*), publicado en 2022, que pretende ayudar a mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia y la ingeniería con los más pequeños. Asimismo, a raíz del coronavirus, al menos en USA, la Fundación Nacional de la Ciencia (National Science Foundation) ha fomentado una auténtica proliferación de excelentes videos, muchos de ellos gratuitos, con finalidad didáctica, que los alumnos pueden ver tranquilamente desde su casa y que constituyen una magnífica ayuda para mejorar el pensamiento espacial (ver <https://multiplex.videohall.com/presentations/1687>).



Qué duda cabe que la publicación de cuentos como *Al bebé le encanta la ingeniería aeroespacial* (Spiro, 2019 –ver Figura 7) o el libro *365 experimentos para pequeños científicos* (Varios, 2015) resultan muy útiles como material de apoyo. Estos textos permiten que los pequeños aprendan conceptos sofisticados de ciencia e ingeniería sin apenas esfuerzo, fomentando la enorme curiosidad que sienten los infantes por el mundo que les rodea. En el cuento de Spiro (2019) los protagonistas son una niña y un pájaro. La historia, poco a poco, se adentra en las maravillas del vuelo, desde el batir de las alas de un pájaro hasta los motores de un avión y el lanzamiento de un cohete en órbita.

Figura 5  
Ejemplo de libro infantil muy didáctico para temas espaciales.



Los juegos tienen un enorme poder de aprendizaje y aquellos que se basan en las nuevas tecnologías son especialmente importantes de cara al futuro. Por ejemplo, se ha comprobado que jugar al Tetris (un juego digital que consiste en encajar unas piezas que caen dando vueltas para completar un muro sin dejar huecos), favorece la plasticidad cerebral de las niñas (Haier, Karama, Leyba y Jung, 2009). Otros estudios con Tetris (Terlecki, Newcombe y Little, 2008) han mostrado grandes mejoras en rotación mental, empleando diversos tipos de pruebas, que se mantuvieron durante varios meses. Estos investigadores afirman que las diferencias en los niveles de experiencia espacial inicial no son un obstáculo para su crecimiento posterior, aunque las personas con poca experiencia puedan tardar en empezar a mostrar ganancias espaciales. Por tanto, con ayuda de experiencia, educación y entrenamiento adecuado, el éxito en el rendimiento espacial está al alcance tanto de hombres como de mujeres. Terlecki y cols (2008) son partidarios del entrenamiento con videojuegos como un método eficaz para lograr este objetivo. Diversos trabajos han mostrado que los videojuegos, así como los juegos 3D de consola, pueden reducir las diferencias de sexo en la cognición espacial (Cherney, 2008; Feng, Spence, y Pratt, 2007; Hawes, Moss, Caswell y Poliszczuk, 2015; Roberts y Bell, 2000).

Veamos un videojuego muy interesante para la primera infancia (especialmente para las niñas). Se titula *Formas matemáticas de arena* (*Sandy Math Shapes*, <https://www.pinterest.es/pin/sandy-math-3d-shapes--687010118131402959/>). Este videojuego, con figuras 3D, está centrado en la geometría y el sentido espacial. Se utiliza en la etapa de preescolar y enseña este tipo de figuras, sus nombres y qué aspecto adoptan cuando se rotan. ¡Todo ello mientras los infantes construyen divertidos castillos de arena! Cada vez hay más investigadores que opinan que este tipo de juegos pueden ayudar a reducir en edades tempranas las diferencias de sexo que se observan en la infancia. Por ejemplo, el trabajo de Hawes y cols. (2015) mostró que un grupo de niños que recibió entrenamiento espacial tuvo posteriormente una mejor actuación en diversas medidas de rotación mental que otros niños de control,

que no recibieron dicho entrenamiento. Este hallazgo claramente sugiere que el entrenamiento puede haber tenido un efecto general en la capacidad espacial de los niños (ver también Lowrie, Harris, Logan y Hegarty, 2021).

## 8. EN CONCLUSIÓN

Es urgente una mayor atención al pensamiento espacial en la enseñanza primaria y en otras etapas de la educación. Es así como podremos ayudar a reducir, ya en edades tempranas, las diferencias de sexo que se observan desde la primera infancia (y que, al menos en parte, se pueden deber a nuestra historia evolutiva). En la actualidad tenemos el reto de erradicar la brecha de sexo en el dominio espacial y, de resultas, en las carreras STEM. El material de apoyo que ha aparecido en los últimos años, en buena medida gracias a la magnífica tecnología actual, sin duda facilitará este objetivo. ¿Seremos capaces de conseguirlo?

## 9. REFERENCIAS

- Chamizo, V. D. (2021). Las mujeres se orientan peor que los hombres: ¿mito o realidad? *Mente y Cerebro*, 107, 29-35.
- Cherney, I. D. (2008). Mom, let me play more computer games: They improve my mental rotation skills. *Sex Roles*, 59, 776-786.
- Dahlberg, F., Ed. (1981). *Woman the Gatherer*. New Haven and London: Yale University Press.
- Feng, J., Spence, I. y Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological Science*, 18, 850-855.
- Gaulin, S. J. C., Fitzgerald, R.W. y Wartell, M. S. (1989). Sex differences in spatial ability and activity in two vole species. *Journal of Comparative Psychology*, 104, 88-93.
- Geary, D. C. (2020). *Male, Female: The Evolution of Human Sex Differences*. Tercera edición. American Psychological Association.
- Guay (1976). *Purdue Spatial Visualization Test*. Purdue Research Foundation.
- Haas y cols. (2020). Female hunters of the early Americas. *Science Advances*, 6, no. 45, eabd0310.
- Haier, R. J., Karama, S., Leyba, L. y Jung, R. E. (2009). MRI assessment of cortical thickness and functional activity changes in adolescent girls following three months of practice on a visual-spatial task. *BMC Research Notes*, 2: 174.
- 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, 60-68.
- Jansen-Osmann, P. y Heil, M. (2007). Suitable stimuli to obtain (no) gender differences in the speed of cognitive processes involved in mental rotation. *Brain and Cognition*, 64, 217-227.
- Jasarevic, E., Williams, S. A., Roberts, R. M., Geary, D. C., Rosenfeld, C. S. (2012). Spatial navigation strategies in *Peromyscus*: a comparative study. *Animal Behaviour*, 84, 1141-1149.
- Kimura, D. (2004). *Sexo y capacidades mentales*. Barcelona: Ariel (del original inglés de 2000).
- Lauer, J. E., Yhang, E., & Lourenco, S. F. (2019). The development of gender differences in spatial reasoning: A meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, 145, 537-565.
- Lee, R.B. y De Vore, I., Eds. (1968). *Man the Hunter*. Chicago: Aldine Pub. Co.
- Lowrie, T., Harris, D., Logan, T., & Hegarty, M. (2021). The impact of a spatial intervention program on students' spatial reasoning and mathematics performance. *Journal of Experimental Education*, 89, 259-277.
- Mackintosh, N. J. (2011). *IQ and human intelligence*. Segunda edición. Oxford University Press.
- National Research Council (2006). *Learning to Think Spatially*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11019>.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022). *Science and Engineering in Preschool Through Elementary Grades: The Brilliance of Children and the Strengths of Educators*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26215>.



- Newcombe, N. (2020). The Puzzle of Spatial Sex Differences: Current Status and Prerequisites to Solutions, *Child Development Perspectives*, 14, 251-257.
- Roberts, J. y Bell, M. (2000). Sex differences on a computerized mental rotation task disappear with computer familiarization. *Perceptual and Motor Skills*, 91, 1027-1034.
- Shepard, R. N. y Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Sorby, S. A. (2009). Educational research in developing 3-d spatial skills for engineering students. *International Journal of Science Education*, 31, 459-480.
- Sorby, S., Veurink, N. y Streiner, S. (2018). Does spatial skills instruction improve STEM outcomes? The answer is 'yes'. *Learning and Individual Differences*, 67, 209-222.
- Sorby, S. A. y Baartmans, B. J. (2020). The Development and Assessment of a Course for Enhancing the 3-D Spatial Visualization Skills of First Year Engineering Students. *Journal of Engineering Education*, 89, 301-307.
- Spiro, R. (2019). *Al bebé le encanta la ingeniería aeroespacial* (edición bilingüe inglés-castellano). Ed. Charlesbridge Publishing Inc.
- Terlecki, M. S., Newcombe, N. S. y Little, M. (2008). Durable and Generalized Effects of Spatial Experience on Mental Rotation: Gender Differences in Growth Patterns. *Applied Cognitive Psychology*, 22, 996-1013.
- 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, 352-402.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotation, a group test of three-dimensional spatial visualisation. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 599-604.
- Varios (2015). *365 experimentos para pequeños científicos*. Ed. Usborne (128 pag.).
- 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, 250-270.
- Watson, J. D. (2011). *La doble hélice: relato personal del descubrimiento de la estructura del ADN*. Madrid: Alianza Editorial (del original inglés de 1968).