

# 3D–SYM: un juego de cristalografía para ejercitar la capacidad de visión espacial

Mateo, E.<sup>1</sup>, Mayayo, M.J.<sup>2</sup> y Barbed, F.

<sup>1</sup>*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Zaragoza,*

<sup>2</sup>*Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza.*

[emateog@unizar.es](mailto:emateog@unizar.es)

## RESUMEN

Esta comunicación describe una propuesta de actividad de enriquecimiento a desarrollar con alumnos de distintos niveles educativos en las Aulas de Desarrollo de Capacidades y los resultados obtenidos en su implementación en un grupo de alumnos de 5º y 6º de Primaria. 3D-SYM es un juego de mesa basado en el análisis de la simetría de modelos cristalográficos sencillos que simulan las formas geométricas que presentan los cristales. Los resultados obtenidos muestran que 3D-SYM es una herramienta útil para: profundizar en el estudio de la simetría en tres dimensiones, trabajar la capacidad de visión espacial, introducir el estudio de la Cristalografía de manera sencilla y divertida y que, además, puede contribuir a ampliar el modelo de mineral.

## Palabras clave

Simetría, juego educativo, altas capacidades, visión espacial, modelo de mineral

## INTRODUCCION

El Departamento de Educación, Universidad, Cultura y Deporte del Gobierno de Aragón desarrolla, desde el curso 2007/2008, el Programa de Desarrollo de Capacidades que tiene como principal objetivo ampliar y enriquecer la atención educativa del alumnado que destaca por su elevado rendimiento escolar o por su capacidad o talento especial en algún área y competencia del currículo (BOA 185 de 21/09/2012). La participación en el Programa requiere la elaboración de un Proyecto en el que se recoja, entre otros aspectos, una propuesta de actividades que pueden estructurarse en torno a ámbitos sociolingüísticos, científico-técnicos de Matemáticas, Ciencias y Tecnología, o a talleres temáticos orientados al desarrollo de talentos y capacidades específicas. El material didáctico disponible para la planificación de actividades en las aulas de desarrollo de capacidades no es muy abundante, entre este material cabe destacar el Banco de Recursos para el Desarrollo de la Creatividad y de las Altas Capacidades, <http://www.altacapacidad.org>, (López, 2012). La actividad presentada en este trabajo es adecuada para contribuir al desarrollo de talentos relacionados, especialmente, con las disciplinas de Matemáticas, Geometría espacial y Conocimiento del Medio.

A nivel universitario se realizan prácticas que incluyen la observación y manipulación de modelos tridimensionales y, frecuentemente, el estudio de su simetría. Diversos autores han investigado sobre los beneficios que las actividades prácticas con modelos tridimensionales suponen en el desarrollo de la capacidad de visión espacial y en el aprendizaje de las ciencias en alumnos de universidad (Copolo & Hounshell, 1995; Ozdemir, 2009). En el caso de alumnos más jóvenes, de primaria y secundaria, existen

juegos y actividades para el trabajo y estudio de la simetría en 2D pero el material para practicar el estudio de la simetría en tres dimensiones es prácticamente inexistente.

La propuesta de actividad denominada 3D-SYM (© 2013 Mayo-Mateo-Barbed y Universidad de Zaragoza, <http://3dsym.unizar.es>), es un juego de mesa basado en el análisis de la simetría de modelos cristalográficos sencillos que simulan las formas geométricas que presentan los cristales, que constituye una herramienta eficaz para ejercitar la capacidad de visión espacial mediante el estudio de la simetría en 3D.

Nuestra hipótesis de partida se basa en el convencimiento de que algunos conceptos básicos de Cristalografía, en concreto el análisis de la simetría de modelos cristalográficos, se pueden trabajar con alumnos de niveles de educación no universitarios. La práctica de este tipo de análisis contribuye a desarrollar la capacidad de visión espacial a edades tempranas. Puede conseguirse que una materia tan abstracta y poco atractiva para los alumnos, como es la Cristalografía, pueda conocerse de manera amena al ser transformada en un juego de mesa. Además, dado que todos los minerales son cristales, el conocimiento de la simetría cristalina contribuye a ampliar el modelo de mineral. Los objetivos de este trabajo son: presentar el juego de mesa 3D-SYM, demostrar que es posible simplificar el estudio de la Cristalografía para que resulte divertido y comprensible a alumnos de Educación Obligatoria, mostrar los resultados de la implementación del juego en un grupo reducido de alumnos de Primaria con altas capacidades y su utilidad en el ejercicio de la capacidad de visión espacial.

## **MARCO TEORICO**

La capacidad de visión espacial es fundamental en la comprensión, aprendizaje y desarrollo de numerosos conceptos propios de diversas disciplinas científicas (Geología, Biología, Química, Matemáticas o Física): es necesaria para imaginar movimientos de traslación y rotación de objetos tridimensionales, comprender el Sistema Solar, interpretar un mapa, entender la estructura de las moléculas y los procesos biológicos, analizar gráficas, etc. Existen diversos estudios de investigación que indican que existe una correlación positiva entre la capacidad de visión espacial de los alumnos y la facilidad que poseen para estudiar Ciencias (Piburn, 1980; Lord, 1985; Carter et al., 1987) y que dicha habilidad de visión espacial puede ser desarrollada al trabajarla con instrucciones adecuadas (Piburn, 1992; Mateo et al., 2013).

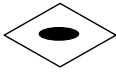



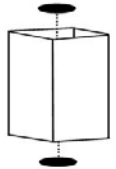

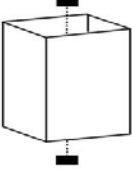
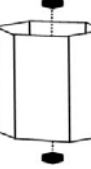
La Cristalografía es la ciencia que estudia los cristales, su estructura, simetría, génesis, clasificación, defectos, usos industriales, etc. Es una disciplina que se imparte en los grados universitarios de Geología y Química y en otras disciplinas en las que también se estudian materiales como Física o diversas Ingenierías. Las figuras que contiene 3D-SYM son “modelos cristalográficos” de las formas geométricas tridimensionales que pueden adoptar los cristales cuando crecen libremente, sin limitaciones de espacio. La simetría de estas formas geométricas es un reflejo de la estructura interna de los cristales, en la que los átomos están ordenados periódicamente. Los minerales son cristales y como tales poseen simetría, por tanto, la simetría es un aspecto fundamental en el modelo de mineral. En cualquier nivel de enseñanza, los minerales constituyen un tema fundamental ya que son los materiales de los que está formada la Tierra, los que soportan los diferentes procesos geológicos y la materia prima con la que se fabrican la mayoría de los objetos cotidianos. Durante la formación obligatoria, los alumnos deberían observar, comparar y clasificar los minerales, identificar sus propiedades (color, dureza, brillo, exfoliación etc.) y explicar las relaciones entre las características de algunos minerales y los usos a los que se destinan. No obstante, al acabar los

estudios obligatorios los alumnos únicamente conocen la parte más “académica” del estudio de los minerales y no se analiza la simetría que poseen como resultado de su orden interno (De Posada, 1993). Al estudiar la simetría de las formas cristalinas de gran belleza que, a menudo, presentan los minerales, se trabaja la visión espacial, tan útil para la vida cotidiana (Ozdemir, 2010; Harle y Towns, 2011). 3D-SYM es una introducción a la Cristalografía y a la Mineralogía.

El estudio de la simetría en tres dimensiones es un aspecto que no se trabaja formalmente en las aulas, y que tiene una importante relación con diversas disciplinas científicas. El estudio de la simetría de modelos cristalográficos puede constituir un tema adecuado para realizar una actividad de ampliación a distintos niveles educativos en la Educación Obligatoria (último ciclo de Educación Primaria, Educación Secundaria o Aulas de Desarrollo de Capacidades) y para la realización de talleres de enriquecimiento extraescolares, ya que contribuye tanto al desarrollo de la capacidad de visión espacial como a la ampliación del modelo de mineral.

Por otra parte, la actividad propuesta es un juego. En la etapa de Educación Infantil el juego es considerado como algo muy valioso en la educación general del alumno; sin embargo, a medida que los escolares van avanzando de curso, se desvalora su valor educativo. No obstante, el juego puede ser una herramienta con un especial interés didáctico y el acto de jugar una actividad interesante y valiosa en la educación científica que, en algunos casos, es difícilmente sustituible. Valorar si un juego es o no adecuado para que los escolares avancen en la reelaboración de sus ideas sobre las entidades propias de la Ciencia implica preguntarse aspectos tales como: si el tema planteado en el juego es o no relevante científicamente, si posibilita establecer relaciones con otros contenidos trabajados, si aumenta el grado de complejidad en los modelos explicativos del alumno, si facilita un papel activo de los escolares, si mejora la capacidad de análisis y de toma de decisiones, si fomenta la relación entre aspectos científicos y sociales, si permite observar cambios en las actitudes del alumnado y cambios en sus pautas de comportamiento, etc. (Pujol, 2003).

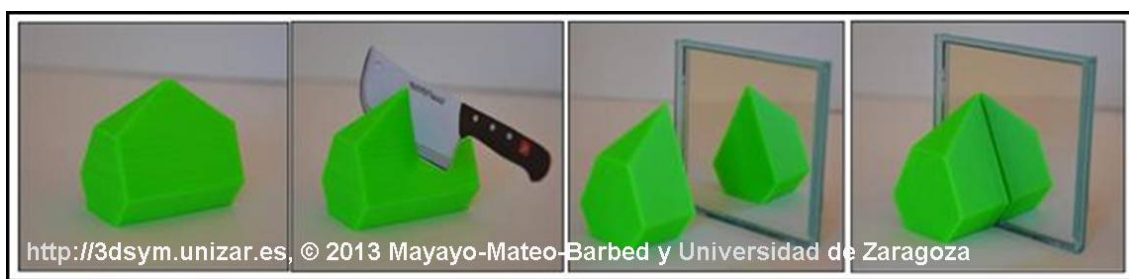
Para poder jugar a 3D-SYM es necesario conocer unos principios básicos sobre simetría. Los cristales se agrupan en siete “Sistemas Cristalinos” en función de su simetría. Los *ejes de rotación* son elementos de simetría, líneas imaginarias, que atraviesan completamente las figuras pasando por su centro. Si la figura se hace rotar alrededor del eje de rotación, todos los elementos (caras, aristas y vértices) se repiten a ángulos iguales y fijos que dependen del tipo de eje. En 3D-SYM se incluyen modelos cristalográficos con cuatro tipos posibles de ejes de rotación (Tabla 1) que se pueden situar en posición vertical u horizontal.

Nombre	Ejes de orden 2 binarios	Ejes de orden 3 ternarios	Ejes de orden 4 cuaternarios	Ejes de orden 6 senarios
Vista en planta y símbolos				
Vista en alzado y símbolos				
Actuación de los ejes	Repite elementos idénticos cada 180°	Repite elementos idénticos cada 120°	Repite elementos idénticos cada 90°	Repite elementos idénticos cada 60°

*Tabla 1. Tipos de ejes de rotación, y sus símbolos, que se pueden identificar en las figuras incluidas en 3D-SYM*

Dichos ejes pueden atravesar las figuras de vértice a vértice, de arista a arista, de cara a cara, de arista a cara o de vértice a cara. El eje de rotación de mayor simetría, o en ocasiones el más largo, se coloca en posición vertical. Este juego no incluye figuras con ejes de rotación de orden 1, ejes de rotoinversión y ejes en posición inclinada (propios de simetrías del sistema cúbico), por su alta dificultad para alumnos de enseñanza obligatoria (Mateo et al, 2013).

Los *planos de simetría* son superficies planas imaginarias que atraviesan completamente las figuras pasando por el centro. Si una figura con un plano de simetría se cortase por el plano se obtendrían dos mitades simétricas respecto al plano. Los planos de simetría pueden ser imaginados como espejos (Fig. 1), de ahí que en textos en inglés se representen con la letra m (mirror). Los planos de simetría de los cristales pueden estar orientados perpendiculares o paralelos a los ejes de rotación.



*Figura 1. Ejemplo de cómo los planos de simetría pueden ser visualizados como un espejo*

En los cristales se pueden identificar 32 tipos de combinaciones posibles de ejes de rotación y planos de simetría. Estas combinaciones se denominan Grupos Puntuales de Simetría y se agrupan en 7 Sistemas Cristalinos. Todos los elementos de simetría de un Grupo Puntual pasan por un punto, exactamente por el centro de la figura. 3D-SYM incluye figuras pertenecientes a 18 Grupos Puntuales de Simetría (Tabla 2).

De cara a testar la efectividad del juego, además de la observación en el aula, se diseñó un instrumento de medida, un cuestionario sobre simetría, que se utilizó antes y después de la implementación de la propuesta didáctica. Los estudiantes completaron el cuestionario una semana antes del comienzo del taller, con ello se pretendía conocer las habilidades y conocimientos de partida de los alumnos y así adecuar el nivel de las explicaciones previas. El análisis de los cuestionarios anterior y posterior a la actividad y la integración del conjunto de las observaciones realizadas y resultados obtenidos sirvió para mejorar la propuesta docente.

## **DESCRIPCION DE 3D-SYM**

El juego didáctico 3D-SYM incluye (Fig. 2): 30 figuras geométricas tridimensionales de plástico ABS, 30 tarjetas de preguntas y soluciones, 60 tarjetas de respuestas, un reloj de arena, una “Guía del profesor” y un DVD con animaciones que muestran la simetría

de cada figura. La numeración de las figuras responde al sistema cristalino al que pertenecen dada su simetría (Tabla 2) y el código de colores de las figuras y las tarjetas indica el grado de dificultad: verde dificultad baja, naranja dificultad media y rojo dificultad alta



Figura 2. Contenido de 3D-SYM.

SISTEMA	FIGURAS Nº	GRUPO PUNTUAL	DESCRIPCIÓN
Monoclínico	1-1	m	Un plano que se toma vertical.
	1-2	2/m	Un plano vertical y un eje binario perpendicular a él, en posición horizontal.
Rómbico	2-1, 2-2, 2-3, 2-4	2mm	Un eje binario vertical y dos planos de simetría verticales que lo contienen. Los planos forman entre sí ángulos de 90°.
	2-5, 2-6, 2-7, 2-8	2/m2/m2/m	Tres ejes binarios mutuamente perpendiculares y tres planos de simetría, cada uno perpendicular a uno de los ejes binarios.
	2-9	222	Tres ejes binarios mutuamente perpendiculares.
Trigonal y Hexagonal	3-1	3m	Un eje ternario en posición vertical y tres planos de simetría que lo contienen. Los planos forman entre sí ángulos de 60°.
	3-2	6mm	Un eje senario en posición vertical y seis planos de simetría que lo contienen. Los planos forman entre sí ángulos de 30°.
	3-3	6/m	Un eje senario en posición vertical y un plano de simetría perpendicular a él.
	3-4, 3-5	6/m2/m2/m	Un eje senario en posición vertical y seis ejes binarios perpendiculares a él y que forman entre sí ángulos de 30°. Además cada eje de rotación tiene un plano de simetría perpendicular a él.
	3-6	3	Un eje ternario en posición vertical.
	3-7	6	Un eje senario en posición vertical.
	3-8	32	Un eje ternario en posición vertical y tres ejes binarios perpendiculares a él. Los binarios forman entre sí ángulos de 60°.
	3-9	622	Un eje senario en posición vertical y seis ejes binarios perpendiculares a él y que forman entre sí ángulos de 30°.
	Tetragonal	4-1	4/m
4-2, 4-3		4mm	Un eje cuaternario vertical y cuatro planos de simetría verticales que contienen al eje cuaternario. Los planos forman entre sí ángulos de 45°.
4-4, 4-5, 4-6, 4-7		4/m2/m2/m	Un eje cuaternario en posición vertical y cuatro ejes binarios perpendiculares a él. Además cada eje de rotación tiene un plano de simetría perpendicular a él. Los binarios forman entre sí ángulos de 45°.
4-8, 4-9		4	Un eje cuaternario en posición vertical

4-10	422	Un eje cuaternario en posición vertical y cuatro ejes binarios perpendiculares. Los binarios forman entre si ángulos de 45°.
------	-----	--

Tabla 2. Relación y descripción de la simetría de las figuras incluidas en el juego, ordenadas por sistema cristalino y grupo puntual.

Pueden jugar dos jugadores o dos, o más, equipos de dos jugadores. Cada equipo coge al azar una tarjeta “Preguntas y Soluciones” (Fig. 3) y la figura correspondiente a la tarjeta “Preguntas y Soluciones” que ha tomado el equipo contrario. Los jugadores (alumnos) manipulan la figura que han tomado, analizan su simetría durante cinco minutos y responden a las preguntas de la tarjeta “Preguntas y Soluciones” que le plantean los miembros del equipo contrario. Las respuestas se anotan en las tarjetas “Respuestas”, rellenándose las cinco casillas de cada pregunta, cada una con un número (el cero es una de las respuestas posibles). El equipo contrario será quien valore las respuestas y entre todos justificarán las respuestas correctas. Cada respuesta correcta vale un punto, por tanto, la puntuación máxima serán 10 puntos. Hay que responder a las dos preguntas antes de conocer la solución y sumar la puntuación. Gana el equipo que más puntos obtiene. El profesor dispondrá de un DVD con las soluciones de las figuras en forma de animaciones.

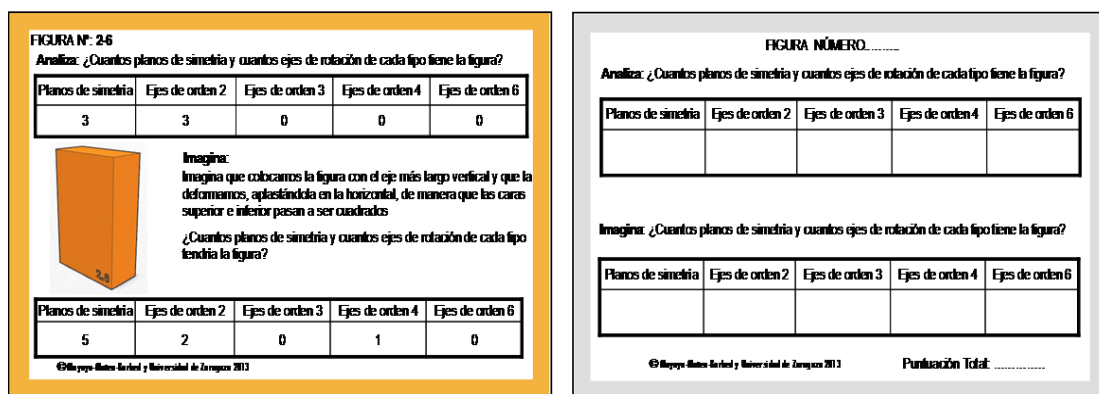


Figura 3. Ejemplo de tarjeta “Preguntas y Soluciones” y de tarjeta “Respuestas”.

## INTERES DIDACTICO DEL JUEGO

Tras el estudio de las nociones básicas de simetría, el protagonismo en la clase debe pasar al alumno, quedando el profesor como guía que ayuda a resolver los interrogantes que se vayan planteando. Al trabajar con los modelos cristalográficos, la observación y descripción de la forma de las caras, número de caras iguales, número de aristas, ángulos que forman entre si los diferentes elementos y la comparación de los modelos permitirá construir explicaciones sobre las formas cristalinas. Estas explicaciones requieren una elevada demanda cognitiva (Ozdemir, 2010) y una gran capacidad de visión espacial, relativas a los elementos de simetría implicados en cada caso concreto. La construcción de explicaciones exige además, capacidad de síntesis para relacionar elementos observables y clasificables con elementos imaginarios que requieren a su vez una gran competencia de abstracción.

La pregunta “analiza” para empezar a trabajar es: ¿cuántos planos de simetría y cuantos ejes de rotación de cada tipo tiene la figura? Esta pregunta estimula al estudiante a hacer una observación, una comprobación y/o una búsqueda de información. Además, conduce a establecer relación entre aquello conocido (caras iguales que se repiten) y la cuestión que se plantea (cómo se repite una cara al aplicar un elemento de simetría). Una vez se ha respondido a la pregunta analiza, el equipo contrario formula la pregunta “imagina”. Algunas de estas preguntas pueden ser: ¿cómo se modificaría la forma geométrica de un modelo cristalográfico si hubiera un plano de simetría en un determinado lugar? ¿o si hubiera un eje binario? ¿qué ocurriría si este modelo cristalográfico se deformase (modificación de las dimensiones relativas) en una dirección determinada? ¿qué pasaría si este modelo se cizalla (modificación de las relaciones angulares)? ¿qué pasaría si determinadas caras fueran de distinto color? Con estas preguntas, se pretende incrementar la capacidad de ver y hablar de la simetría desde puntos de vista diferentes a los iniciales y de valorar las diferencias. Las preguntas promueven que el alumnado no se limite a reproducir la respuesta, sino que mire, piense, actúe y practique la visión espacial para construir una respuesta ya que en cada modelo cristalográfico los elementos de simetría son distintos.

Durante el juego, al practicar con los modelos cristalográficos, los alumnos adquieren una buena base de construcción del aprendizaje, por ello se irá aumentando la dificultad de los modelos. Para utilizar todo el potencial didáctico del juego se recomienda discutir en grupo las respuestas ofrecidas, especialmente si estas son erróneas, hasta que los jugadores visualicen la simetría correcta de las figuras con las que los dos equipos han jugado. Realizados cierto número de poliedros, se hace una puesta común con el profesor actuando de moderador para concretar y sistematizar los conceptos aprendidos y trabajar los errores que se hayan podido producir.

Con esta actividad el alumno construye progresivamente los conceptos de simetría, forma cristalográfica y cristal y los relaciona con el resto de conceptos que configura el modelo de mineral, modificando los conceptos previos e ideas alternativas que tenían. Además se desarrollan destrezas tales como: habilidades de visión espacial, observación objetiva, uso del lenguaje científico, capacidad de abstracción al relacionar elementos visibles con elementos no visibles y se aprende a hablar de simetría desde puntos de vista diferentes a los iniciales.

## **EXPERIENCIA DE IMPLEMENTACION DE 3D-SYM EN EL AULA**

El juego se probó con 16 alumnos de 5º y 6º de Primaria de la Asociación Aragonesa de Altas Capacidades Sin Límites. Antes de que los alumnos comenzasen a jugar se explicaron unas nociones básicas de simetría similares a las que se han descrito anteriormente en el apartado “Marco Teórico” y que están recogidas en la “Guía para el profesor” que se incluye en el juego. Tras un pequeño apoyo del profesor en la primera figura, los alumnos ya fueron capaces de jugar libremente, prescindiendo de la ayuda del profesor, durante más de una hora. Al finalizar la actividad, todos los alumnos eran capaces de hacer correctamente las figuras verdes, parte de los alumnos resolvían también correctamente figuras amarillas, e incluso algunos se atrevieron a intentarlo con las figuras rojas. Tras la actividad se pasó un cuestionario de valoración del juego. La valoración general del juego resultó muy positiva. Aunque la mayoría de alumnos consideraron que se trata de un juego difícil (8 alumnos) a muy difícil (2 alumnos), el juego les resultó divertido o muy divertido a 14 y solo 2 lo consideraron aburrido.

Por otra parte, la mejora en la visualización de la simetría en 3D por parte de los alumnos, se testeó con el análisis de un cuestionario que se realizó antes y después de la actividad y con las observaciones “in situ” y grabaciones en video realizadas en el aula. Los resultados obtenidos, aunque no se pueden extrapolar directamente a otras situaciones, ponen de manifiesto que la actividad presentada en forma de juego es adecuada para que los escolares avancen en la reelaboración de ideas sobre entidades científicas (Pujol, 2003).

## CONCLUSIONES

Los complejos conceptos de Cristalografía han podido ser simplificados hasta haber sido transformados en un juego de mesa que pudo ser usado satisfactoriamente por alumnos con altas capacidades de Educación Obligatoria. 3D-SYM es una herramienta amena y útil para trabajar el estudio de la simetría en 3D y ejercitar así la capacidad de visión espacial. Un reto actual es llevar este juego didáctico a clases ordinarias de Educación Primaria (último ciclo) y de Educación Secundaria para comprobar su eficacia como actividad para trabajar la visión espacial y/o ampliar el modelo de mineral.

## BIBLIOGRAFIA

- Carter, C.S., LaRussa, M.A., Bodner, G.M. (1987). A study of two measures of spatial ability as predictors of success in different levels of general chemistry. *Journal of research in Science Teaching*, 23, 727-737.
- Copolo, C.F. y Hounshell, P.B. (1995). Using Three-Dimensional Models to Teach Molecular Structures in High School Chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 4(4), 295-305.
- De Posada, J.M. (1993). Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 11 (1), 12-19.
- Harle, M. y Towns, M. (2011). A review of spatial ability literature, its connection to chemistry, and implications for instruction. *Journal of Chemical Education*, 88 (3), 351-360.
- López, J.C. (2012). *Didáctica para alumnos con altas capacidades*. Madrid: Síntesis.
- Lord, T.R. (1985). Enhancing the visuo-spatial aptitude of students. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 395-405.
- Mateo, E.; Mayayo, M.J.; Martínez, M.B. (2013): “¿Tengo visión espacial? Simetría en modelos cristalográficos para alumnos de altas capacidades”, *Enseñanza de las Ciencias, Extra*, 2209-2213.
- Ozdemir, G. (2010). Exploring visuospatial thinking in learning about Mineralogy: spatial orientation ability and spatial visualization ability. *International journal of science and mathematics education*, 8, 737-759.
- Piburn, M.D. (1980). Spatial reasoning as a correlate of formal thought and science achievement for New Zealand students. *Journal of Research in Science Teaching*, 17, 443-448.



Piburn, M.D. (1992). Meta-analytic and multivariate procedures for the study of attitude and achievement in science. *International Council of Association for Science Education*, Dortmund, Germany.

Pujol, R.M. (2003). Didáctica de las ciencias en educación primaria. Madrid: Síntesis Educación.