

¡El irresistible encanto de la simetría! 3DSYM: una propuesta para desarrollar la capacidad de visión espacial en enseñanza de las ciencias

The irresistible charm of symmetry! 3DSYM: a proposal to develop spatial vision in science education

ESTER MATEO GONZÁLEZ^{1*}, M^a JOSÉ MAYAYO BURILLO^{2*}, BEATRIZ BRAVO TORIJA³ Y M^a BEGOÑA MARTÍNEZ PEÑA^{1*}

¹ Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Zaragoza. c/Pedro Cerbuna, 12. 50009, Zaragoza. E-mails: emateog@unizar.es y bpena@unizar.es.

² Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. c/Pedro Cerbuna, 12. 50.009, Zaragoza. E-mail: mayayo@unizar.es.

³ Departamento de Didácticas Específicas. Universidad Autónoma de Madrid. c/Francisco Tomás Valiente, 3. 28.049, Madrid. E-mail: beatriz.bravo@uam.es

* Instituto Universitario de Ciencias Ambientales (IUCA) de la Universidad de Zaragoza

Resumen En este trabajo se presenta una propuesta educativa denominada “3DSYM, descubriendo la simetría de los cristales” en la que el alumnado tiene que analizar la simetría en 3D de las formas cristalográficas que, a menudo, presentan algunos minerales. Para ello tendrán que observar, reconocer y relacionar elementos de simetría y, a partir de las observaciones realizadas, construir explicaciones, justificando la simetría de cada modelo cristalográfico. Por lo tanto, el objetivo de esta propuesta es doble: a) promover el desarrollo de la visión espacial del alumnado, ya que dicha habilidad es crucial para entender multitud de contenidos científicos y b) profundizar en el estudio de la simetría en 3D mediante la construcción progresiva de conceptos como simetría, forma cristalográfica y cristal, contribuyendo con ello a ampliar el modelo de mineral. También, se discute cómo podría utilizarse este recurso en los distintos niveles educativos y qué adaptaciones serían necesarias para ello.

Palabras clave: Alfabetización científica, juego, mineral, simetría cristalina, visión espacial.

Abstract *In this paper we present the educational proposal "3DSYM, discovering the symmetry of crystals". In this proposal, students have to analyse the 3D symmetry of crystallography forms that are usually present in some minerals. To do so, students have to observe, recognise and relate different symmetry elements and, based on their observations, they should build explanations, justifying the symmetry of each crystallography model. Therefore, this proposal has a twofold objective: a) to promote the development of the students' spatial vision, since this ability is crucial in order to understand plenty of scientific concepts; and b) to deepen into the study of symmetry in 3D, through the progressive building up of concepts such as symmetry, crystallography form and crystal, contributing to expand the mineral model. We conclude with a discussion of how this proposal can be used at different educational levels and what adaptations this would require.*

Keywords: *Crystal symmetry, game, mineral, scientific literacy, spatial vision.*

INTRODUCCIÓN

La Geología es una materia relevante para la sociedad debido a que proporciona ideas e instrumentos que ayudan a entender cómo funciona la Tierra y cómo gestionar sus recursos (Pedrinaci, 2016). La enseñanza de la Geología, desde la Didáctica de las Ciencias, es importante porque además del objeto en sí de su estudio, permite desarrollar contenidos

que difícilmente son encontrados en otras partes del currículo como el pensamiento sistémico y holístico, la visión espacial o la perspectiva de tiempo (King, 2008; Márquez y Artés, 2016). Las propuestas curriculares que alternan las visiones globales con otras que focalizan en las relaciones entre algunos subsistemas permitirían aprovechar mejor la extraordinaria capacidad explicativa de las Ciencias de la Tierra. Pedrinaci (2000) insiste en que deben programarse

estrategias de intervención que ayuden a los estudiantes a modificar su visión sobre la Tierra desde posiciones estáticas hacia perspectivas dinámicas.

El alumnado, además de conocer los fenómenos, procesos o estructuras geológicas también tiene que tener la oportunidad de analizarlos, explicarlos y comprenderlos. Un hecho a destacar es que dichos procesos, en la realidad tienen lugar en tres dimensiones (3D), siendo por tanto limitantes las dos dimensiones del papel que encontramos en libros de texto y manuales. La enseñanza de la Geología escolar está basada en la visualización y construcción de modelos 3D a partir de representaciones en dos dimensiones. Esto hace que su comprensión por parte del alumnado no siempre es factible, ya que en ocasiones tienen dificultades para realizar dicha interpretación. Por tanto, es necesario diseñar propuestas para trabajar el pensamiento y razonamiento espacial a través de herramientas manipulativas en 3D, ya que la visión espacial es clave para poder comprender el paso del plano al espacio (Silva y Compiani, 2006; Harle y Towns, 2011; Newcombe y Stieff, 2012).

En este trabajo se presenta una propuesta de actividad donde los alumnos analizan la simetría en 3D (planos de simetría y ejes de rotación) de modelos cristalográficos que simulan las formas geométricas que presentan en ocasiones los minerales. El principal objetivo del recurso es desarrollar la capacidad de visión espacial con materiales en 3D que los alumnos pueden manipular, lo que a su vez podría potenciar la comprensión de contenidos científicos de otras disciplinas.

MARCO TEÓRICO

La visión espacial es considerada como la capacidad de percibir con exactitud las imágenes visuales, construir representaciones mentales e imaginarias de la información visual y ser capaz de entender las relaciones espaciales entre objetos o partes de objetos. Por ejemplo, girar mentalmente un objeto para imaginar cómo podría ser visto desde otro ángulo o perspectiva (Yenilmez y Kakmaci, 2015; Swe, 2017). Las personas no aprendemos de la misma manera, ni a través de los mismos canales, en gran parte porque tenemos distintas combinaciones de inteligencias. Dentro de la teoría de las inteligencias múltiples de Gardner (1998), la capacidad de la visión espacial está relacionada con la inteligencia espacial definida como aquella que el individuo utiliza formando un modelo mental del mundo en 3D.

En 2006, el National Research Council destacó la importancia de tener una adecuada visión espacial en la Ciencia, reconociéndola como una de las habilidades fundamentales en la comprensión y aprendizaje de conceptos propios de disciplinas científicas como Geología, Biología, Química y Física (Macnab y Johnstone, 1990; Mattewson, 1999) así como de otras disciplinas involucradas en educación STEM como Tecnología y Matemáticas (Stieff y Uttal, 2015; Swe, 2017). Por ejemplo, es una capacidad necesaria para comprender el funcionamiento del Sistema Solar, la Tectónica de Placas, la estructura celular,

las fuerzas que actúan sobre un sólido o la estructura atómica de los cristales, así como para interpretar un mapa o analizar gráficas. Además, se establece una correlación positiva entre la visión espacial de los alumnos y su facilidad para aprender Ciencias (Piburn, 1980; Lord, 1985; Carter, LaRussa y Bodner, 1987), ya que el alcance de los modelos científicos va más allá de las expresiones verbales o imágenes simples al integrar representaciones visuales y espaciales (Oh y Oh, 2011).

La integración de actividades que desarrollen el pensamiento espacial en la enseñanza obligatoria puede contribuir a cumplir los objetivos curriculares ya que dicha habilidad se puede desarrollar al ser trabajada con las instrucciones adecuadas (Piburn, 1992; Ozdemir, 2010; Mateo, Mayayo y Martínez-Peña, 2013; Swe, 2017). Por ello, sería conveniente trabajar la visión espacial desde los primeros ciclos de educación obligatoria (Newcombe y Stieff, 2012; National Research Council, 2006).

Existen estudios que ponen de manifiesto que uno de los factores de fracaso en algunas disciplinas científicas es la falta de visión espacial por parte de los alumnos, tanto en la educación obligatoria como en la educación universitaria: al trabajar poliedros y figuras de revolución, volúmenes y relaciones de semejanza, proporcionalidad y escala en geometría (Cantillana y Vázquez, 2001), en la educación matemática (Arrieta, 2006), estructuras y procesos químicos tridimensionales (Harle y Tows, 2011; Pinto, 2012) o simplemente al realizar una lectura de las imágenes de los libros de texto que ilustran modelos espaciales (Constable, Campbell y Brown, 1988; Macnab y Johnstone, 1990). Respecto a otras disciplinas científicas, en Geología se utilizan con mayor frecuencia representaciones gráficas tridimensionales (Rowley-Jolivet, 2004); por ejemplo, entender algunos cortes geológicos o la simetría de un mineral, escenarios en los que es imprescindible desarrollar una visión espacial adecuada para comprenderlos y explicarlos.

En este trabajo, se propone un recurso para ejercitar la capacidad de visión espacial a través de actividades donde se trabaja la simetría que poseen los minerales. Se ha escogido el modelo de mineral por tratarse de un tema fundamental en la enseñanza de la Geología debido a que los minerales forman la parte inerte de la Tierra; soportan los procesos geológicos y constituyen la materia prima con la que se fabrican muchos de nuestros objetos cotidianos (Regueiro, 2008). Por ello, diversos estudios han señalado la importancia de diseñar propuestas que pongan de manifiesto el valor científico de los minerales, ampliando el conocimiento de los estudiantes sobre sus características, propiedades y usos (Jiménez-Millán et al., 2008; Carrillo-Rosúa, Morales y Bagur-González, 2012). Durante la formación obligatoria, el alumnado debería observar, comparar y clasificar minerales, identificar sus propiedades y relacionar éstas y los usos a los que se destinan. No obstante, al acabar los estudios los alumnos únicamente conocen la parte más “académica” de los minerales y no se analiza que los minerales al ser cristales y, por tanto, tener una estructura interna en la que los átomos constituyentes están ordenados de manera periódica, poseen simetría (de Posada,

1993). Al estudiar la simetría de las formas cristalográficas que, a menudo, presentan los minerales (por ejemplo, algunos cubos de halita, Fig. 1) se trabaja la visión espacial, tan útil para la vida cotidiana (Muñoz-Rojas, 2009; Ozdemir, 2010; Harle y Towns, 2011).

A nivel universitario, la simetría de los cristales se trabaja mediante actividades prácticas que incluyen la observación, manipulación y el estudio de simetría de cristales naturales y, con mayor frecuencia, “modelos cristalográficos” que representan las formas geométricas tridimensionales que pueden adoptar cristales y minerales (reflejo de su estructura interna) cuando crecen. Diversos autores han investigado sobre los beneficios que las actividades prácticas con modelos en 3D suponen en el incremento de la capacidad de visión espacial y en el aprendizaje de las Ciencias en estudiantes universitarios (Copolo y Hounshell, 1995; Ozdemir, 2010). Además, otros como Newcombe y Stieff (2012) afirman que la educación espacial es posible y necesaria en todos los niveles educativos. De esta manera, los autores consideramos que se podría trabajar la visión espacial con alumnado de educación primaria y secundaria llevando al aula estos modelos 3D de manera adaptada al nivel educativo. Para estos alumnos, existen actividades para el estudio de la simetría en 2D pero el material para practicar el estudio de simetría en 3D es insuficiente. Además, apenas se encuentran investigaciones que exploren cómo el alumnado de educación de primaria y secundaria desarrolla la visión espacial, qué dificultades encuentra y cómo distintos materiales promueven el desempeño de los alumnos en dicha habilidad.

En este artículo se presenta una propuesta donde, a través del análisis de la simetría de modelos cristalográficos en 3D, alumnos de diversos niveles de educación (no solamente en estudios superiores) pueden mejorar su visión espacial. Consideramos que el estudio de la simetría de modelos cristalográficos puede constituir un tema adecuado para realizar una actividad de ampliación a distintos niveles educativos (último ciclo de educación primaria, educación secundaria obligatoria y bachillerato) así como en clases de enriquecimiento específicas para grupos reducidos de alumnos de altas capacidades (Mateo et al., 2013). La simetría es un aspecto fundamental en el desarrollo de la visión espacial y en el modelo de mineral que apenas se trabaja formalmente en las aulas de Educación Obligatoria.

Se decidió escoger como formato para la actividad el juego ya que es una necesidad para los niños y un complemento fundamental para los adultos como seres pensantes y productores (García, 2016). Mediante el juego, los alumnos descubren y conocen su entorno natural y social, aprenden a reconocer y aceptar a los demás, desarrollan aptitudes verbales e intelectuales y se promueve la comunicación. Esta visión del juego le confiere un especial interés didáctico, y hace del mismo y del acto de jugar una actividad atractiva y valiosa en la educación científica que, en algunos casos, es difícilmente sustituible por otro tipo de actividades (Pujol, 2003; Abdul Jabbar y Felicia, 2016).



Fig. 1. Cubo de halita y modelo cristalográfico que simula su forma geométrica.

DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA: 3DSYM

Se ha diseñado un juego de mesa llamado “3DSYM: descubriendo la simetría de los cristales” (<http://3dsym.unizar.es/>) basado en el análisis de la simetría de modelos cristalográficos. Recientemente, la propuesta “3DSYM, descubriendo la simetría de los cristales” ha obtenido el premio ENCIENDE-SEM al Fomento de las vocaciones científicas entre escolares y jóvenes en el ámbito de la Mineralogía, Petrología y Geoquímica concedido por la Sociedad Española de Mineralogía en 2015. Por otra parte, se ha coordinado un proyecto con la oficina de transferencia de resultados de investigación (OTRI) para facilitar la adquisición de dicho juego a los diferentes centros educativos.

Materiales

El juego 3DSYM incluye: 30 figuras geométricas tridimensionales de plástico ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) que simulan las formas geométricas de algunos minerales, 30 tarjetas de preguntas y soluciones, 60 tarjetas de respuestas, 1 reloj de arena, una guía para el profesor con la descripción del juego y nociones básicas de simetría y un DVD con las soluciones de cada figura (Fig. 2).

La numeración de las figuras responde al sistema cristalino al que pertenecen, dada su simetría: las figuras que comienzan por 1 pertenecen al sistema monoclínico, las que comienzan por 2 al sistema rómbico, por 3 a los sistemas trigonal y hexagonal y por 4

Fig.2. Juego 3DSYM, descubriendo la simetría de los cristales.



al sistema tetragonal (Tabla I). El código de colores de las figuras y las tarjetas indica el grado de dificultad: baja (verde), media (anaranjado) y alta (rojo).

Puesta en práctica

En el juego se enfrentan dos equipos de dos jugadores. Cada equipo escoge una tarjeta "Preguntas y Soluciones" (Fig. 3) y la figura 3D correspondiente a la tarjeta que ha cogido el equipo contrario y que será la figura de la que tiene que analizar su simetría (Fig. 4). Los jugadores (alumnos) manipulan la figura, analizan su simetría y responden a las preguntas de la tarjeta "Preguntas y Soluciones" que le plantea el equipo contrario.

Tabla I. Relación y descripción de la simetría de las figuras incluidas en el juego 3DSYM.

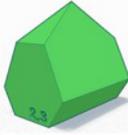
SISTEMA CRISTALINO	Nº FIGURAS	GRUPO PUN-TUAL	DESCRIPCIÓN DE LA SIMETRÍA
Monoclí-nico	1-1	m	Un plano de simetría.
	1-2	2/m	Un plano de simetría y un eje binario perpendicular a él.
Rómbico	2-1, 2-2, 2-3, 2-4	2mm	Un eje binario y dos planos de simetría que lo contienen. Los planos forman entre sí ángulos 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 y tres planos de simetría que lo contienen. Los planos forman entre sí ángulos de 60°.
	3-2	6mm	Un eje senario y seis planos de simetría que lo contienen. Los planos forman entre sí ángulos de 30°.
	3-3	6/m	Un eje senario y un plano de simetría perpendicular a él.
	3-4, 3-5	6/m2/m2/m	Un eje senario 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.
	3-7	6	Un eje senario.
	3-8	32	Un eje ternario y tres ejes binarios perpendiculares a él. Los ejes binarios forman entre sí ángulos de 60°.
	3-9	622	Un eje senario y seis ejes binarios perpendiculares a él. Los ejes binarios forman entre sí ángulos de 30°.
	Tetragonal	4-1	4/m
4-2, 4-3		4mm	Un eje cuaternario y cuatro planos de simetría verticales que contienen al eje cuaternario y forman entre sí ángulos de 45°.
4-4, 4-5, 4-6, 4-7		4/m2/m2/m	Un eje cuaternario y cuatro ejes binarios perpendiculares a él. Además, cada eje de rotación tiene un plano de simetría perpendicular a él. Los ejes binarios forman entre sí ángulos de 45°.
4-8, 4-9		4	Un eje cuaternario.
4-10		422	Un eje cuaternario y cuatro ejes binarios perpendiculares. Los binarios forman entre sí ángulos de 45°.

Tras el análisis, las respuestas se anotan en las tarjetas "Respuestas" (Fig. 3), 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 será de 10 puntos. Conviene responder a las dos preguntas antes de conocer la solución y sumar la puntuación. Ganará el equipo que más puntos obtiene.

FIGURA Nº: 2-3
Analiza: ¿Cuántos planos de simetría y cuantos ejes de rotación de cada tipo tiene la figura?

Planos de simetría	Ejes de orden 2	Ejes de orden 3	Ejes de orden 4	Ejes de orden 6
2	1	0	0	0

Imagina
 Imagina que de las dos caras con seis lados, una fuese de color amarillo y otra fuese de color rojo.
 ¿Cuántos planos de simetría y cuantos ejes de rotación de cada tipo tendría la figura?



Planos de simetría	Ejes de orden 2	Ejes de orden 3	Ejes de orden 4	Ejes de orden 6
1	0	0	0	0

© Mayayo-Mateo-Barbed y Universidad de Zaragoza 2013

FIGURA Nº: 2-6
Analiza: ¿Cuántos planos de simetría y cuantos ejes de rotación de cada tipo tiene la figura?

Planos de simetría	Ejes de orden 2	Ejes de orden 3	Ejes de orden 4	Ejes de orden 6
3	3	0	0	0

Imagina:
 Imagina que colocamos la figura con el eje más largo vertical y que la deformamos, aplastándola en la horizontal, de manera que las caras superior e inferior pasan a ser cuadrados.
 ¿Cuántos planos de simetría y cuantos ejes de rotación de cada tipo tendría la figura?



Planos de simetría	Ejes de orden 2	Ejes de orden 3	Ejes de orden 4	Ejes de orden 6
5	4	0	1	0

© Mayayo-Mateo-Barbed y Universidad de Zaragoza 2013

FIGURA Nº: 4-8
Analiza: ¿Cuántos planos de simetría y cuantos ejes de rotación de cada tipo tiene la figura?

Planos de simetría	Ejes de orden 2	Ejes de orden 3	Ejes de orden 4	Ejes de orden 6
0	0	0	1	0

Imagina
 Imagina que las cuatro caras más pequeñas de la figura no existen.
 ¿Cuántos planos de simetría y cuantos ejes de rotación de cada tipo tendría la figura?



Planos de simetría	Ejes de orden 2	Ejes de orden 3	Ejes de orden 4	Ejes de orden 6
4	0	0	1	0

© Mayayo-Mateo-Barbed y Universidad de Zaragoza 2013

FIGURA NÚMERO.....
Analiza: ¿Cuántos planos de simetría y cuantos ejes de rotación de cada tipo tiene la figura?

Planos de simetría	Ejes de orden 2	Ejes de orden 3	Ejes de orden 4	Ejes de orden 6

Imagina: ¿Cuántos planos de simetría y cuantos ejes de rotación de cada tipo tiene la figura?

Planos de simetría	Ejes de orden 2	Ejes de orden 3	Ejes de orden 4	Ejes de orden 6

© Mayayo-Mateo-Barbed y Universidad de Zaragoza 2013 Puntuación Total:

Fig. 3. Tarjetas de "Preguntas y Soluciones" de diferentes niveles de dificultad y tarjeta de "Respuestas".

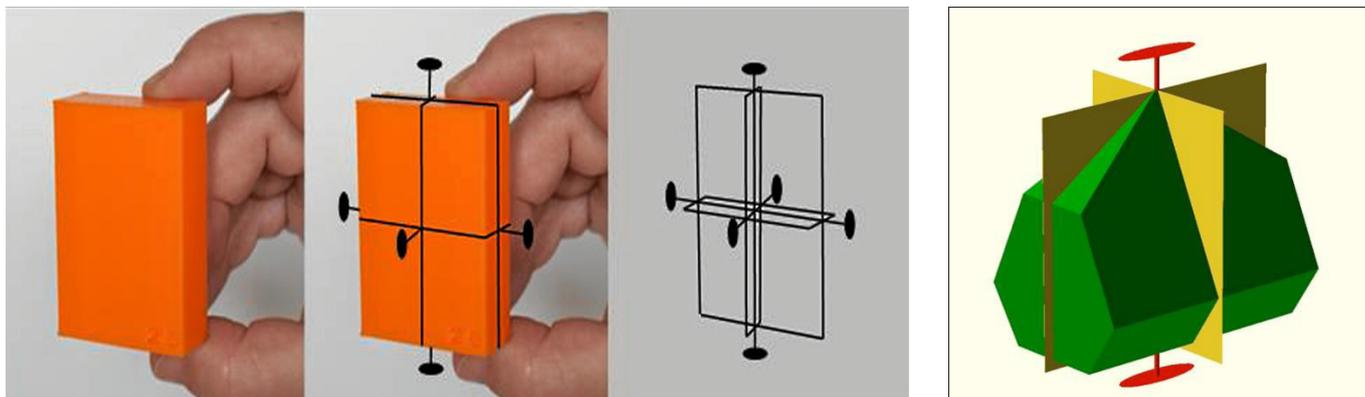


Fig. 4. Análisis de la simetría de un modelo cristalino correspondiente a un poliedro de dificultad media con tres ejes binarios perpendiculares entre sí y un plano de simetría perpendicular a cada eje (Sistema Rómbico, Grupo Puntual $2/m2/m2/m$).

Durante la actividad, los alumnos tienen que observar las caras de la figura, establecer relaciones entre las que se repiten, y entre ellas y los elementos de simetría (Fig. 4). Con el objetivo de resolver la simetría de los modelos cristalográficos, el docente dispondrá de un DVD con las soluciones de los modelos. En este dispositivo se detalla la disposición de los planos de simetría y los ejes de rotación de cada uno de los modelos cristalográficos y se muestran animaciones en archivos de video (.avi) de cada una de ellos (Fig. 5).

Destinatarios y temporalización

Los destinatarios de esta actividad son especialmente alumnos de distintas etapas educativas:

- 5º y 6º de educación primaria.
- Desde 1º hasta 4º de educación secundaria obligatoria.
- Grupos reducidos de alumnos con altas capacidades de educación obligatoria. Este colectivo puede ser un posible destinatario debido a que estos alumnos no deberían trabajar contenidos de cursos superiores, sino realizar actividades de ampliación/profundización horizontal. Por lo tanto, existe una alta demanda de actividades específicas y sin embargo, no es muy abundante el material didáctico disponible para este colectivo (López, 2012).

Además, 3DSYM sería apto para alumnos de 1º y 2º de bachillerato y para estudiantes universitarios, concretamente para 2º y 3º curso del grado en Magisterio en educación primaria desde las asignaturas asignadas a los departamentos de Didáctica de las Ciencias Experimentales, dado que parte del público objetivo de estudio serían sus futuros alumnos.

En función del nivel educativo se irá incrementando el nivel de dificultad, dado que cambian las características del alumnado. En la tabla II se realizan distintas propuestas de trabajo en función del nivel educativo. En el caso de los grupos reducidos de alumnos con altas capacidades, se debería valorar inicialmente cuáles son sus conocimientos previos y establecer los grupos puntuales con los que empezar a trabajar.

Es necesario remarcar que en este juego didáctico únicamente se trabajan las figuras pertenecientes a los grupos puntuales de los sistemas rómbico, trigonal, hexagonal, tetragonal y monoclinico (excepto el grupo puntual 2) adecuadas para niveles desde 5º de educación primaria hasta 4º de educación secundaria obligatoria. Este juego no incluye figuras con ejes de rotoinversión, ni figuras de los sistemas cúbico y triclínico, porque consideramos que tienen una dificultad alta para alumnos de enseñanza obligatoria. Estas figuras pueden ser objeto de estudio en 1º y 2º de bachillerato. En estudios universitarios, además, pueden trabajar la proyección estereográfica de las figuras y la identificación del grupo puntual y el sistema cristalino.

La duración de la actividad será variable dependiendo del nivel educativo y del tiempo disponible: desde una única sesión de 2 horas hasta varias sesiones semanales de 1 hora a lo largo del curso escolar.

Conceptos y destrezas que se trabajan

En la tabla III se presentan, de forma resumida, los conceptos y destrezas que los autores consideramos que se pueden trabajar con el recurso propuesto.

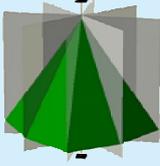
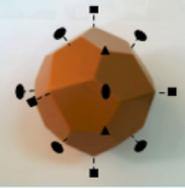
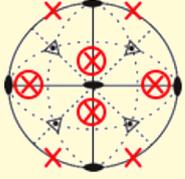
Al empezar el juego, tras el estudio de las nociones básicas de simetría (qué son los ejes de rotación y los planos de simetría y sus posibles combinaciones), el protagonismo en la clase debe pasar al alumno, quedando el profesor como guía que ayuda a resolver los interrogantes que se vayan planteando.

Al ir trabajando con los modelos cristalográficos, la observación y descripción de la forma de las caras, el número de caras iguales, el número de aristas, los ángulos que forman entre sí los diferentes elementos y la comparación de los modelos permitirán construir explicaciones cada vez más complejas sobre las formas cristalinas. Estas explicaciones requieren de una elevada demanda cognitiva (Ozdemir, 2010) y una gran capacidad de visión espacial, relativas a los elementos de simetría implicados en cada caso. 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.

En el juego propuesto se plantean dos tipos de preguntas (“pregunta analiza” y “pregunta imaginaria”) con objetivos diferentes (Fig. 3):

Fig.5. Modelo cristalográfico donde se muestra la situación de los elementos de simetría que contiene.

Tabla II. Propuesta de trabajo teniendo en cuenta el nivel educativo.

NIVEL EDUCATIVO	PROPUESTA DE ACTIVIDAD	EJEMPLO
5 ^º y 6 ^º Primaria	<p>Análisis de figuras con planos de simetría y un solo eje de rotación de orden 2, 3, 4 ó 6 (excepto grupo puntual 2 del sistema monoclinico)</p> <p>Grupos puntuales: m, 2/m, 2mm, 3m, 6mm, 6/m, 4/m, 4mm</p> <p>Reconocer formas cristalinas sencillas: prisma, bipirámide, pirámide, pedión, domo</p>	
1 ^º y 2 ^º ESO	<p>Introducción de figuras con planos de simetría y más de un eje de rotación</p> <p>Introducción de grupos puntuales: 2/m2/m2/m, 6/m2/m2/m, 4/m2/m2/m</p> <p>Introducción de formas cristalinas: pinacoide</p>	
3 ^º y 4 ^º ESO	<p>Introducción de figuras sin planos de simetría</p> <p>Introducción de grupos puntuales: 222, 3, 6, 32, 622, 4, 422</p> <p>Introducción de formas cristalinas: biesfenoide, trapezoidros.</p>	
AMPLIACIÓN PARA ALUMNOS DE ENSEÑANZA NO OBLIGATORIA		
Bachillerato	<p>Introducción de figuras con ejes de rotoinversión, grupos puntuales de los sistemas cúbico y triclínico y grupo puntual 2 del sistema monoclinico</p> <p>Grupos Puntuales: , 2/m, , m2, , 2m, 23, 432, 2/m, 3m, 4/m2/m, 1, , 2</p> <p>Introducción de formas cristalinas: romboedro, escalenoidros, esfenoide, sistema cúbico</p>	
Universidad	<p>Identificación del grupo puntual y el sistema</p> <p>Proyección estereográfica</p> <p>Reconocimiento de todas las formas cristalinas y sus combinaciones</p>	

CONCEPTOS	DESTREZAS
<p>- Elementos de simetría: planos de simetría y ejes de rotación.</p> <p>- Forma cristalográfica</p> <p>- Simetría</p> <p>- Mineral y cristal</p>	<p>I. Desarrollar la capacidad de visión espacial.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observar, reconocer, relacionar planos de simetría y ejes de rotación para determinar la simetría tridimensional de la figura geométrica. - Establecer relaciones entre las caras iguales que se repiten y los elementos de simetría. - Desarrollar la capacidad de abstracción que permita relacionar elementos visibles (caras, aristas y vértices) con elementos no visibles (elementos de simetría).
	<p>II. Construir explicaciones a partir de las observaciones realizadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comparar y evaluar los resultados a partir de los datos y la teoría disponible. - Utilizar el lenguaje científico al justificar la simetría de una figura. - Construir explicaciones y conclusiones conjuntas entre los miembros del grupo (capacidad de trabajar en equipo)
	<p>III. Aplicar lo aprendido a otras situaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hablar de simetría desde puntos de vista diferentes a los iniciales. - Aplicar la capacidad de visión espacial para resolver problemas de otras disciplinas (Matemáticas, Física, Biología, Geología, etc.).

Tabla III. Conceptos y destrezas que se trabajan con la actividad propuesta.

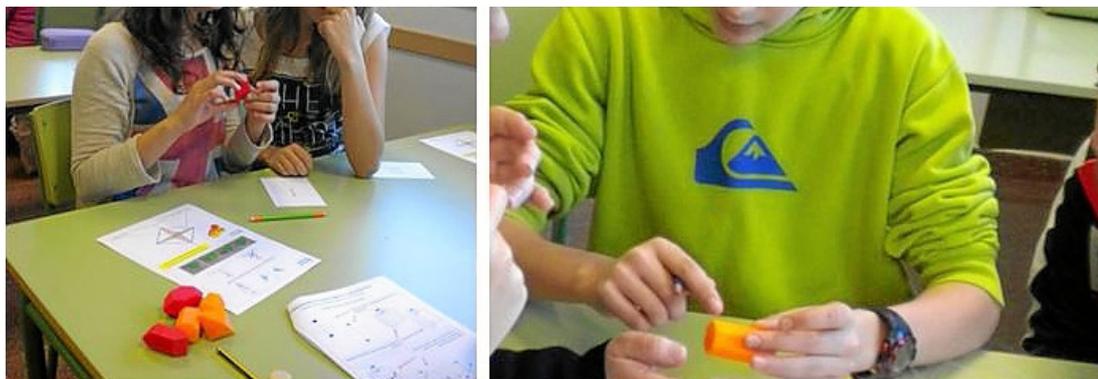


Fig.6. Alumnos de Educación Secundaria Obligatoria analizando y discutiendo la simetría de diferentes modelos cristalográficos.

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 búsqueda de información mediante una observación de la figura y una comprobación de las hipótesis. Además, conduce a establecer relación entre aquello conocido (caras iguales que se repiten) y la cuestión que se plantea (¿qué elemento de simetría relaciona entre sí las caras que se repiten?).

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)? o ¿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; obligan al alumno a imaginar una transformación en la figura e imaginar en tres dimensiones como sería su simetría. Las preguntas promueven que el alumnado no se limite a reproducir una respuesta aprendida, sino que mire, piense, actúe y practique la visión espacial para construir una respuesta adecuada, ya que en cada modelo cristalográfico los elementos de simetría son distintos.

Durante el juego, al practicar con los modelos cristalográficos, a medida que los alumnos resuelvan las figuras, se puede ir 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 (Fig. 6). Analizados cierto número de poliedros, se hace una puesta en común con el profesor actuando de moderador para concretar y sistematizar los conceptos aprendidos y trabajar a partir de los errores que se hayan producido.

De este modo, se pretende que antes, durante y después de la actividad, el alumno construya progresivamente los conceptos de elementos de simetría, forma cristalográfica y cristal (Tabla III) y los relacione con el resto de conceptos que configura

el modelo de mineral, modificando los conceptos previos e ideas alternativas que tenían y que, a su vez, se ejercite su capacidad de visión espacial.

Este juego se ha implementado con grupos reducidos de alumnos de altas capacidades de Educación Primaria y Secundaria. Como trabajo futuro a largo plazo, se llevará a cabo en diferentes niveles educativos y se realizará un seguimiento longitudinal de los resultados obtenidos por los alumnos que han trabajado la actividad propuesta en las asignaturas de ciencias. Además, se examinará si trabajar la capacidad de visión espacial con el juego propuesto influye en la comprensión de algunos modelos 3D propios de otras disciplinas científicas, como algunos de los mencionados al inicio del artículo.

COSIDERACIONES FINALES

Las herramientas facilitadas a los alumnos al jugar con “3DSYM, descubriendo la simetría de los cristales” pueden contribuir a ampliar su capacidad de visión espacial, ya que dicha capacidad es susceptible de ser desarrollada si se trabaja adecuadamente (Piburn, 1992; Ozdemir, 2010), así como a aumentar la complejidad de su modelo inicial de mineral. Los alumnos pueden utilizar lo aprendido cuando trabajen otros contenidos que necesiten la aplicación de una adecuada visión espacial para su comprensión.

3DSYM permite trabajar procedimientos científicos ya que, al jugar con la propuesta confeccionada, el alumno tiene que manejar material, observar, describir observaciones, clasificar, identificar hechos o fenómenos observables, reconocer la situación problemática, identificar y relacionar variables, identificar estrategias para la resolución del problema, interpretar observaciones, establecer conclusiones a partir de los resultados, realizar juicios críticos de los resultados encontrados y del proceso seguido y comunicarse con sus compañeros. Estos contenidos procedimentales son objeto de enseñanza ya que su aprendizaje no es innato. Es necesario trabajarlos con una dedicación igual que otros contenidos, y junto a ellos, utilizando tiempo para enseñarlos mediante situaciones de aprendizaje intencionadas, de tal manera que el alumno sea capaz de usar estos procedimientos en diferentes situaciones escolares y no escolares (de Pro, 2013).

AGRADECIMIENTOS

Financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (proyecto EDU2016-76743-P) y el Fondo Social Europeo y el Gobierno de Aragón a través del Grupo BEAGLE. También, queríamos agradecer a los revisores anónimos que han contribuido a la mejora del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Abdul Jabbar, A.I. y Felicia, P. (2015). Gameplay engagement and learning in game-based learning: A systematic review. *Review of Educational Research*, 85.4, 740-779.

Arrieta, M. (2006). La capacidad espacial en la educación matemática. *Educación Matemática*, 18.1, 99-132.

Cantillana, C. y Vázquez, A.M. (2001). El espacio en diédrico. Manual de prácticas para el desarrollo de la visión espacial. *Revista de Enseñanza Universitaria*, 18, 91-95.

Carrillo-Rosúa, F.J., Morales Ruano, S. y Bagur-González, M.G. (2012). Minerales y medioambiente. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20.2, 151-158.

Carter, C.S., LaRussa, M.A. y 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.

Constable, H., Campbell, B. y Brown, R. (1988). Sectional drawings from science textbooks: an experimental investigation into pupils' understanding. *British Journal of Educational Psychology*, 58, 89-102.

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, 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.

De Pro, A. (2013). Enseñar procedimientos: por qué y para qué. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 73, 69-76.

García Aretio, L. (2016). El juego y otros principios pedagógicos. Supervivencia en la educación a distancia y virtual. *RIED: Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 19.2, 9-23.

Gardner, H. (1998). *Inteligencias múltiples. La teoría en la práctica*. Barcelona: Paidós.

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.

Jiménez-Millán, J., Alfaro, P., Muñoz, M.C., Cañaveras Jiménez, J.C. y Alfaro, N.C. (2008). Actividades didácticas con minerales y rocas industriales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.3, 295-308.

King, C.J.H. (2008). Geoscience education: an overview. *Studies in Science Education*, 44.2, 187-222.

López, J.C. (2012). *Didáctica para alumnos con altas capacidades*. Ed. Síntesis Educación, 222 p.

Lord, T.R. (1985). Enhancing the visual-spatial aptitude of students. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 395-405.

Macnab, W. y Johnstone, A.H. (1990). Spatial skills which contribute to competence in the biological sciences. *Journal of Biological Education*, 24.1, 37-41.

Márquez, C. y Artés, M. (2016). Propuesta de análisis de representaciones sobre el modelo cambio geológico del alumnado del grado de educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24.2, 169-181.

Mateo, E., Mayayo, M.J. y Martínez, M.B. (2013). ¿Tengo visión espacial? Simetría en modelos cristalográficos para alumnos de altas capacidades. *IX Congreso Internacional sobre investigación en Didáctica de las Ciencias*, 2209-2213.

Mathewson, J.H. (1999). Visual-spatial thinking: an aspect of science overlooked by educators. *Science Education*, 83, 33-54.

Muñoz-Rojas, D. (2009). La simetría, una altra manera de mirar els materials. *Educació Químic*, 2, 16-23.

National Research Council (2006). *Learning to think spatially: GIS as a support system in the K-12 curriculum*. DC: National Academies, 467 p.

Newcombe, N.S. y Stieff, M. (2012). Six myths about spatial thinking. *International Journal of Science Education*, 34.6, 955-971.

Oh, P.S. y Oh, S.J. (2011). What teachers of science need to know about models: an overview. *International Journal of Science Education*, 33.8, 1109-1130.

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.

Pedrinaci, E. (2000). La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento geológico. En F.J. Perales y P. Cañal (eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 479-503. Colección Ciencias de la Educación. Ed. Marfil, 644 p.

Pedrinaci, E. (2016). Qué debe saber todo ciudadano acerca del planeta en que habita. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 83, 7-12.

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*, 17.5, 443-448.

Piburn, M.D. (1992). Meta-analytic and multivariate procedures for the study of attitude and achievement in science. *Empirical Research in Chemistry and Physics Education. Proceedings of the Interenational Seminar. International Council of Association for Science Education*, 91-111. Germany: Hans-Jürgen Schmidt.

Pinto, G. (2012). An example of body-centered cubic crystal structure: the atomium in Brussels as an educative tool for introductory materials chemistry. *Journal of Chemical Education*, 89, 921-924.

Pujol, R.M. (2003). *Didáctica de las ciencias en educación primaria*. Ed. Síntesis Educación, 352 p.

Regueiro, M. (2008). Los minerales industriales en la vida cotidiana. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.3, 276-286.

Rowley-Jolivet, E. (2004). Different visions, different visuals: a social semiotic analysis of field-specific visual composition in scientific conference presentations. *Visual Communication*, 3, 145-175.

Stieff, M. y Uttal, D. (2015). How much can spatial training improve STEM achievement? *Educational Psychology Review*, 27.4, 607-615.

Silva, F.K.M. y Compiani, M. (2006). Las imágenes geológicas y geocientíficas en libros didácticos de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24.2, 207-218.

Swe, M. (2017). Spatial cognition: key to STEM success, 3-8. *Visual-spatial ability in STEM education. Transforming research into Practice*. Ed. Springer. 262p.

Yenilmez, K. y Kakmaci, O. (2015). Investigation of the relationship between the spatial visualization success and visual/spatial intelligence capabilities of sixth grade students. *International Journal of Instruction*, 8.1, 189-204. ■

Este artículo fue recibido el día 16 de febrero de 2017 y aceptado definitivamente para su publicación el 9 de abril de 2017.