

El currículo de Geología a través del Concurso de Cristalización en la Escuela

Geology curriculum through the School Crystal Growing Competition

JORGE MARTÍN-GARCÍA¹ Y MARÍA EUGENIA DIES ÁLVAREZ¹

¹ Departamento de Didácticas Específicas-IUCA, Facultad de Educación, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna, 12. 50009 Zaragoza. E-mails: araujo@unizar.es; medies@unizar.es

Resumen La enseñanza de las ciencias se encuentra inmersa en una búsqueda constante de recursos con los que incrementar el interés de los estudiantes. En los últimos tiempos parece que lo está logrando gracias a eventos como las ferias y los concursos de ciencias. No obstante, estas actividades no son sólo un complemento ocasional para divertir a los participantes, sino que pueden tener una gran influencia desde el punto de vista formativo.

En este trabajo se presenta un análisis del currículo de la Comunidad de Aragón centrado en las materias asociadas a la Geología en las etapas de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato. En él pretende determinar qué elementos del mismo se pueden trabajar a través de la participación en el Concurso de Cristalización en la Escuela. Los resultados muestran que el concurso permite cubrir contenidos de varios bloques curriculares, contribuyendo a cumplir con los objetivos establecidos para las diferentes materias analizadas y a hacer frente a las concepciones alternativas de los estudiantes.

Palabras clave: Biología y Geología, Cristalización, Currículo, Educación Secundaria, Indagación.

Abstract *Teachers have been looking for different materials and resources that allowed them to increase their student's interest and motivation in scientific subjects. Recently it seems that they have found a way to do it by using non-formal activities such as scientific fairs and contests. However, these activities are not just an occasional complement for formal education but an interesting teaching aid which can be very useful to improve education. In this article an analysis of Aragon's curriculum is presented. It is focused in the geology-related subjects in compulsory and non-compulsory secondary education. The aim of the study is to determine which contents could be covered while participating in a school growing-crystals competition named Concurso de Cristalización en la Escuela. Results showed that the contest's activities may be useful to work different contents from several topics as well as to reach the objectives that are proposed for the subject. Finally, it has been discovered that the contest could be an interesting tool to change some of the student's misconceptions.*

Keywords: *Biology and Geology, Crystallization, Curriculum, Secondary Education, Inquiry.*

INTRODUCCIÓN

La investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales lleva tiempo advirtiendo que la falta de motivación y las negativas actitudes hacia la ciencia del alumnado están produciendo una tendencia descendente en el interés de los jóvenes por estas materias científicas (Toma, Ortiz y Greca, 2019). En esta línea, parece que los grados vinculados con las ciencias comienzan a mostrar un problema de vocaciones y enrolamiento, por lo que lograr

reclutar y mantener a los estudiantes en los campos STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) es uno de los principales desafíos dentro de la educación científica (Welch, 2010).

El informe “*Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*” (Rocard et al., 2007) avisa del “*peligro capital para el futuro de Europa*” que supone esta situación y propone la enseñanza de las ciencias mediante la indagación, precisamente para combatir la desmotivación e impulsar los procesos de observación, documentación,

experimentación y modelización. Existe cierto consenso en cuanto a la necesidad de transformar la enseñanza hacia un modelo que oriente el aprendizaje como proceso de investigación guiada, en la que se propicie la participación activa de los estudiantes en la construcción del conocimiento y la aplicación de los procesos del método científico (Carrascosa, Furó y Guisasola, 2008). Desde esta perspectiva, algunos centros, con el apoyo de diferentes organismos e instituciones destinadas a la investigación científica y la divulgación de la ciencia, han comenzado a programar eventos como semanas de la ciencia o exposiciones escolares, que pretenden ofrecer una visión más atractiva de la ciencia y que suponen una buena oportunidad para que los estudiantes puedan entrar en contacto directo con las diferentes disciplinas científicas e involucrarse en actividades relacionadas con la ciencia y la tecnología. Estas estrategias no formales de educación, como lo son también los concursos (Díez Álvarez *et al.*, 2017; Martín-García *et al.*, 2019) y las ferias (Oliva, Matos y Acevedo, 2008), tienen gran impacto en la formación de estudiantes y una fuerte influencia educadora, contribuyendo al desarrollo de aprendizajes, habilidades y competencias derivadas de sus propios procesos de investigación (González *et al.*, 2017; Retana *et al.*, 2018; Stancescu *et al.*, 2018 o a la adquisición de un conocimiento más detallado y profundo de los contenidos de la materia.

Por otro lado, Welch (2010) y Jones *et al.* (2011), muestran cómo las experiencias extraescolares juegan un papel relevante en el desarrollo de actitudes e intereses relacionados con las ciencias y refuerzan la importancia de las actividades abiertas y de la investigación para generar interés en la ciencia. Asimismo, Stancescu *et al.* (2018) reportan cómo son los propios estudiantes los que consideran que involucrarse en actividades no formales incrementa su motivación por aprender. En definitiva, puede decirse que existe un cierto consenso en las investigaciones llevadas a cabo en el campo de la didáctica de las ciencias en cuanto a que estos nuevos espacios educativos, donde la ciencia se presenta de una manera más amena, constituyen un mecanismo para el desarrollo de intereses científicos y actitudes positivas hacia las ciencias, así como para despertar la curiosidad y la motivación de los estudiantes.

Sin embargo, los sistemas educativos actuales están totalmente centrados en satisfacer las exigencias curriculares, lo que obliga al docente a trabajar con programas enciclopédicos saturados de contenidos que el profesorado no puede cubrir en el tiempo de que dispone y que el alumnado tampoco puede aprender (Pedrinaci, 2016). Por ello, no siempre es posible participar en actividades complementarias, por la imposibilidad real de encontrar el tiempo que se ha de dedicar para preparar y aprovechar adecuadamente este tipo de espacios formativos. El mismo Informe Rocard (Rocard *et al.*, 2007), apunta en sus conclusiones a esa sobrecarga de contenidos abstractos, no apoyados en la observación y la experimentación y no vinculados a la cotidianidad de los estudiantes, como uno de los principales culpables del desinterés que estos muestran por las ciencias.

En este contexto, por lo tanto, es necesario plantear que cualquier iniciativa de este tipo se estruc-

ture, diseñe y desarrolle conforme a los principios didácticos que desde la investigación se considera que deben regir la enseñanza de las ciencias. Del mismo modo, también sería deseable que estas actividades comenzasen a concebirse y a organizarse de manera que permitan abordar una parte de los contenidos curriculares. Por estos motivos, en este trabajo se presenta un análisis del currículo de las materias de “Biología y Geología” de Educación Secundaria, y de “Biología y Geología” y “Geología” de Bachillerato, con el objetivo de identificar qué elementos curriculares pueden ser trabajados durante la participación en el Concurso de Cristalización en la Escuela (CCE).

CONTEXTO

El CCE constituye uno de estos proyectos no formales que, como se ha expuesto, van poco a poco consolidándose como complemento y refuerzo de la enseñanza formal, y que contribuyen a enriquecerla y mejorarla (Oliva *et al.*, 2008). Celebrado por primera vez en Andalucía en el año 2009 (<http://www.lec.csic.es/concurso/>) se ha ido extendiendo por el resto de la geografía nacional. El formato ha llegado incluso a traspasar fronteras internacionales, con un concurso a nivel europeo, y el surgimiento de iniciativas similares en países como Argentina, Bélgica, Estados Unidos o Puerto Rico, entre otros. En el caso de Aragón, en este curso 2019/2020 se ha celebrado la VII edición, y a lo largo de los años ya han pasado por él más de 110 centros y 8000 alumnos. El concurso pretende, en última instancia, incentivar el espíritu científico e investigador de los estudiantes de Educación Secundaria, aprovechando el atractivo inherente al trabajo de laboratorio e involucrándoles en el diseño y desarrollo de proyectos de investigación sobre la cristalografía, los cristales y el crecimiento cristalino, para que puedan descubrir de una forma más estimulante cómo se trabaja en el ámbito científico y adquirir algunas de las destrezas propias del trabajo en ciencias.

MÉTODO

El trabajo que se presenta forma parte de una investigación de mayor envergadura, que se circunscribe al concurso. En este marco, se emplea una estrategia de investigación descriptiva, a través de una metodología selectiva que se concreta en un estudio de encuestación, en el cual se emplean dos cuestionarios elaborados ad-hoc, tanto para los estudiantes participantes como para sus profesores. En concreto, en el presente trabajo, se ha llevado a cabo un análisis de la Orden ECD/489/2016, de 26 de mayo, por la que se aprueba el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y se autoriza su aplicación en los centros docentes de la Comunidad Autónoma de Aragón. También se ha analizado, por el mismo procedimiento, la Orden ECD/494/2016, de 26 de mayo, por la que se aprueba el currículo del Bachillerato y se autoriza su aplicación en los centros docentes de la Comunidad Autónoma de Aragón. En ambos casos se ha tenido en cuenta la organización del currículo

en distintos niveles y asignaturas, centrando la atención en aquellas secciones destinadas a las materias de “Biología y Geología” en Educación Secundaria, que corresponden al primer y tercer curso, “Biología y Geología” de 1º de bachillerato y “Geología” de 2º de bachillerato, las cuales se recogen, en ambos casos, en el Anexo II de las órdenes. Se han estudiado los tres tipos de elementos que configuran los currículos tras la entrada en vigor de la *Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa* (LOMCE, BOE de 10 de diciembre de 2013): contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables.

Por otro lado, ningún análisis curricular está completo si no se tienen en cuenta los objetivos, ya que son estos elementos los que marcan las intenciones y orientan el diseño curricular. Por ello, y a pesar de que una de las modificaciones introducidas por la LOMCE es la desaparición de los objetivos de cada materia (Martínez Peña *et al.*, 2015), estos serán también analizados, ya que la normativa de la Comunidad Autónoma de Aragón sí presenta un listado de objetivos para cada asignatura. Por el mismo motivo, las orientaciones metodológicas, que también se contemplan en la normativa autonómica, serán también analizadas.

Trabajos como los de Vázquez y Manassero (2017) definen este tipo de análisis como exhaustivo, mientras que Delgado y Calonge (2018) lo consideran un análisis de contenido. En cualquier caso, se trata de una estrategia de investigación analítica que bien podría considerarse un análisis documental tal y como lo describe Bisquerra (2004, pp. 349-350).

RESULTADOS

A la hora de analizar las respuestas dadas por los profesores que participan en el CCE a diferentes preguntas (motivos para participar, objetivos, expectativas de aprendizaje, utilidad de lo aprendido, contenidos que pueden ser trabajados...etc) se ha encontrado que muchas de ellas pueden ser distribuidas en categorías como “Mejorar la enseñanza de la Geología y la Cristalografía”, “Acercar la Geología y la Mineralogía al alumnado”, “Aprender Geología” con respuestas como:

- << [Creo que la participación me puede ayudar para] Desarrollar de forma sencilla la parte experimental de Geología de 1º de ESO y el Ámbito CT de 1º PMAR.>>
- << [Espero aprender] Nuevas formas de enseñar Geología.>>
- << [Espero que me pueda servir para] Atraer más alumnos a la asignatura de Geología.>>
- << [Participo para] Hacer algo práctico relacionado con la Geología.>>
- << [Participo para] Introducir un poco más la Geología en secundaria.>>
- << [Mi objetivo es] Profundizar conceptos de Geología.>>
- << [Podemos trabajar contenidos como] Minales y rocas.>>

- << [Podemos trabajar] Contenidos y conceptos de Geología.>>

Teniendo en cuenta estos resultados, parece justificado plantear un estudio que profundice en mayor medida en el análisis de la utilidad real que puede tener el concurso desde la perspectiva de la enseñanza de la Geología y del currículo que para ella se ha diseñado. De este modo, se muestran a continuación los resultados de dicho estudio, detallando los objetivos cubiertos en cada etapa y una serie de tablas que resumen los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables que pueden ser trabajados desde el normal desarrollo de las actividades del CCE.

Educación Secundaria Obligatoria

Dentro de los diez objetivos que recoge la Orden ECD/489/2016 para la materia de “Biología y Geología” en Educación Secundaria (ByG) se han encontrado al menos cinco a los que se puede contribuir con la participación en el concurso. Todos ellos aluden a elementos relacionados con la actividad científica como, por ejemplo, conocer los fundamentos del método científico (**Obj. BG.2.**), comprender y expresar mensajes con contenido científico (**Obj. BG.3.**), obtener información sobre temas científicos (**Obj. BG.4.**), adoptar actitudes críticas fundamentadas en el conocimiento científico para analizar cuestiones científicas (**Obj. BG.5.**) o entender el conocimiento científico como algo integrado, en continua progresión (**Obj. BG.8.**)

Por otro lado, con respecto a los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables, las materias de “Biología y Geología” de los cursos primero y tercero de la ESO se presentan de forma conjunta ya que los elementos curriculares de ambas coinciden ampliamente en cuanto a los bloques que se pueden trabajar con el concurso. En concreto, en ambos cursos se presenta un primer bloque (Tabla I) que podría considerarse referido a

Tabla I. Contenidos, Criterios de Evaluación y Estándares de Aprendizaje Evaluables para el Bloque 1 de Biología y Geología de 1º y 3º de ESO.

| BLOQUE 1: HABILIDADES, DESTREZAS Y ESTRATEGIAS. METODOLOGÍA CIENTÍFICA. | |
|---|--|
| CONTENIDOS: La metodología científica. Características básicas. La experimentación en Biología y Geología: obtención y selección de información a partir de la selección y recogida de muestras del medio natural. | |
| CRITERIOS DE EVALUACIÓN | ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE EVALUABLES |
| Crit.BG.1.1. Utilizar adecuadamente el vocabulario científico en un contexto preciso y adecuado a su nivel. | Est.BG.1.1.1. Identifica los términos más frecuentes del vocabulario científico, expresándose de forma correcta tanto oralmente como por escrito. |
| | Est.BG.1.2.1. Busca, selecciona e interpreta la información de carácter científico a partir de la utilización de diversas fuentes. Transmite la información seleccionada de manera precisa utilizando diversos soportes. |
| Crit.BG.1.3. Realizar un trabajo experimental con ayuda de un guion de prácticas de laboratorio o de campo describiendo su ejecución e interpretando sus resultados. | Est.BG.1.3.1. Conoce y respeta las normas de seguridad en el laboratorio, respetando y cuidando los instrumentos y el material empleado. |
| | Est.BG.1.3.2. Desarrolla con autonomía la planificación del trabajo experimental, utilizando tanto instrumentos ópticos de reconocimiento, como material básico de laboratorio, argumentando el proceso experimental seguido, describiendo sus observaciones e interpretando sus resultados. |

| BLOQUE 2: La Tierra en el Universo. | |
|--|---|
| CONTENIDOS: Los minerales y las rocas: sus propiedades, características y utilidades. | |
| CRITERIOS DE EVALUACIÓN | ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE EVALUABLES |
| Crit.BG.2.7. Reconocer las propiedades y características de los minerales y de las rocas, distinguiendo sus aplicaciones más frecuentes y destacando su importancia económica y la gestión sostenible. | Est.BG.2.7.1. Identifica minerales y rocas utilizando criterios que permitan diferenciarlo. |
| | Est.BG.2.7.2. Describe y reconoce algunas de las aplicaciones más frecuentes de los minerales y rocas en el ámbito de la vida cotidiana, así como la importancia del uso responsable y la gestión sostenible de los recursos minerales. |

Tabla II. Contenidos, Criterios de Evaluación y Estándares de Aprendizaje Evaluables para el Bloque 2 de Biología y Geología de 3º de ESO.

la actividad científica; un segundo bloque donde se encuentran los contenidos asociados con los minerales y las rocas (Tabla II) y al que los profesores aluden con cierta frecuencia a la hora de considerar los contenidos trabajables con el concurso, y un bloque final (Tabla III) que hace referencia a la realización de un proyecto de investigación y que también se presenta en la asignatura de ByG de 4º de ESO (Bloque 4: Proyecto de investigación).

Bachillerato

En el bachillerato, la Orden ECD/494/2016 establece nueve objetivos para la asignatura de "Biología y Geología". Se ha encontrado que dos de ellos son fácilmente abordables a través de las actividades del concurso, pues ambos se refieren, de nuevo, a la familiarización del alumnado con la forma de trabajar de los científicos y mencionan, por ejemplo, el uso con autonomía de destrezas de investigación (**Obj.BG.8.**) o el desarrollo de habilidades que se asocian con el trabajo científico (**Obj.BG.9.**).

Por otro lado, sobre los contenidos, criterios y estándares, aparecen todos asociados al séptimo bloque de la asignatura y corresponden, como

ocurría en el segundo bloque de 3º de ESO, a contenidos relacionados con los minerales y las rocas.

Con respecto a la asignatura de "Geología" en 2º de Bachillerato, el currículo marca diez objetivos, pero, en este caso, solamente uno encajaría plenamente en la mecánica de trabajo del concurso. Como en los casos anteriores, se trata de un objetivo que se asocia al trabajo científico y que plantea que los estudiantes deberán utilizar con autonomía las estrategias características de la investigación científica (**Obj.GO.3.**)

En cuanto a los bloques, tanto el 1 como el 2 incluyen contenidos que encajan en la metodología del concurso: el primero que, como ocurría en los primeros cursos de la ESO, se destina al tratamiento de la actividad científica, aunque contextualizado en el marco de la Geología; y el segundo, más en la línea que se apreciaba en la asignatura de "Biología y Geología" de 1º de Bachillerato, centrado en los minerales y las rocas, aunque este alude, específicamente, a la materia cristalina y su relación con las propiedades físicas y la composición de los minerales. (Tablas V y VI).

Tabla III. Contenidos, Criterios de Evaluación y Estándares de Aprendizaje Evaluables para el Bloque 7 de Biología y Geología de 1º y 3º de ESO y el Bloque 4 de Biología y Geología de 4º de ESO.

| BLOQUE 7: Proyecto de investigación. | |
|---|--|
| CONTENIDOS: Proyecto de investigación en equipo. | |
| CRITERIOS DE EVALUACIÓN | ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE EVALUABLES |
| Crit.BG.7.1. Planear, aplicar, e integrar las destrezas y habilidades propias del trabajo científico. | Est.BG.7.1.1. Integra y aplica las destrezas propias del método científico. |
| Crit.BG.7.2. Elaborar hipótesis y contrastarlas a través de la experimentación o la observación y la argumentación. | Est.BG.7.2.1. Utiliza argumentos justificando las hipótesis que propone. |
| Crit.BG.7.4. Participar, valorar y respetar el trabajo individual y en equipo. | Est.BG.7.4.1. Participa, valora y respeta el trabajo individual y grupal. |
| Crit.BG.7.5. Exponer, y defender en público el proyecto de investigación realizado. | Est.BG.7.5.1. Diseña pequeños trabajos de investigación sobre los contenidos de la materia para su presentación y defensa en el aula. Expresa con precisión y coherencia tanto verbalmente como por escrito las conclusiones de sus investigaciones. |

| BLOQUE 7: ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA TIERRA. | |
|---|---|
| CONTENIDOS: MINERALES Y ROCAS. CONCEPTOS. CLASIFICACIÓN GENÉTICA DE LAS ROCAS. | |
| CRITERIOS DE EVALUACIÓN | ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE EVALUABLES |
| Crit.BG.7.7. Seleccionar e identificar los minerales y los tipos de rocas más frecuentes, especialmente aquellos utilizados en edificios, monumentos y otras aplicaciones de interés social o industrial. | Est.BG.7.7.1. Conoce la clasificación de minerales y rocas e identifica las aplicaciones de interés social o industrial de determinados tipos de minerales y rocas. |

Tabla IV. Contenidos, Criterios de Evaluación y Estándares de Aprendizaje Evaluables para el Bloque 2 de Biología y Geología de 1º de Bachillerato.

| BLOQUE 1: El planeta Tierra y su estudio. | |
|---|---|
| CONTENIDOS: La metodología científica y la Geología. | |
| CRITERIOS DE EVALUACIÓN | ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE EVALUABLES |
| Crit.GO.1.2. Aplicar las estrategias propias del trabajo científico en la resolución de problemas relacionados con la geología. | Est.GO.1.2.1. Selecciona información, analiza datos, formula preguntas pertinentes y busca respuestas para un pequeño proyecto relacionado con la geología. |

Tabla V.: Contenidos, Criterios de Evaluación y Estándares de Aprendizaje Evaluables para el Bloque 1 de Geología de 2º de Bachillerato.

| BLOQUE 2: MINERALES, LOS COMPONENTES DE LAS ROCAS. | |
|--|---|
| CONTENIDOS: RELACIÓN ENTRE ESTRUCTURA CRISTALINA, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PROPIEDADES DE LOS MINERALES. | |
| CRITERIOS DE EVALUACIÓN | ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE EVALUABLES |
| Crit.GO.2.1. Describir las propiedades que caracterizan a la materia mineral. Comprender su variación como una función de la estructura y la composición química de los minerales. Reconocer la utilidad de los minerales por sus propiedades. | Est.GO.2.1.1. Identifica las características que determinan la materia mineral, por medio de actividades prácticas, con ejemplos de minerales con propiedades contrastadas, relacionando la utilización de algunos minerales con sus propiedades. |
| Crit.GO.2.3. Analizar las distintas condiciones físico-químicas en la formación de los minerales. Comprender las causas de la evolución, inestabilidad y transformación mineral utilizando diagramas de fases sencillos. | |

Tabla VI. Contenidos, Criterios de Evaluación y Estándares de Aprendizaje Evaluables para el Bloque 2 de Geología de 2º de Bachillerato.

DISCUSIÓN

El proceso de diseñar el currículo dista de ser trivial puesto que supone una inevitable selección de los contenidos ya que, como se ha indicado, plantear un listado prácticamente universal por miedo a la ausencia de alguno es contraproducente (Pedrinaci, 2016). Por este motivo, se han sucedido los debates en torno a la composición y estructura del currículo, al trato que se les da a los contenidos o al modelo de enseñanza-aprendizaje y las concepciones epistemológicas que bajo él subyacen. De este modo, no es extraño encontrar en la literatura trabajos que realizan análisis del currículo de manera recurrente (Cortés y Martínez, 2020; Delgado y Calonge, 2018; Martínez Peña *et al.*, 2015; Pedrinaci, 2002; Vázquez y Manassero, 2017).

La Geología puede ser considerada una ciencia experimental y, como tal, en sus investigaciones emplea métodos que comparte con otras disciplinas, como por ejemplo la observación, el análisis de datos, el control de variables, la medida de magnitudes, etc. En el concurso, los estudiantes ponen en práctica la gran mayoría de estos procedimientos y lo hacen, generalmente, mientras trabajan en grupos cooperativos.

Así, se plantean preguntas de investigación como *¿Cómo puedo obtener cristales más grandes?, ¿Qué pasa si dejo los cristales al aire?, ¿Cómo puedo hacer cristales de colores?, ¿Puedo hacer crecer cristales con otras formas?* A partir de ellas el alumnado participante en el CCE deberá proponer hipótesis, buscar información y diseñar y planificar experimentos de laboratorio para contrastarlas, manejando los materiales e instrumentos de uso frecuente. Tendrán también que registrar observaciones y resultados en su cuaderno de laboratorio, que luego analizarán para extraer de ellos una serie de conclusiones que presentarán a sus compañeros y profesores, manejando en el proceso un vocabulario científico riguroso.

Esta mecánica de trabajo, que caracteriza al concurso, no sólo permite cubrir de una manera relativamente sencilla los contenidos, criterios y estándares recogidos en los bloques relativos a la actividad científica (Tablas I y V) y a los proyectos de investigación (Tabla III), en tanto existe una equivalencia casi perfecta entre estos contenidos y las actividades del concurso, sino que también proporciona a los escolares dos de los siete ejes fundamentales que, de acuerdo con Pedrinaci (2002),

debe aportar la educación: una formación sobre los procedimientos científicos utilizados en Geología, su diversidad y la importancia de su contribución y unas nociones básicas sobre la ciencia y su proceso de construcción. Del mismo modo, permite trabajar los tres tipos de aprendizajes que Hodson (1994) considera claves en una buena formación científica: el aprendizaje de la ciencia, el aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia y la práctica de la ciencia.

En la misma línea, es este tipo de actividades el que permite que el concurso sea una herramienta para el logro de los diferentes objetivos señalados, pues no hay mejor manera de conocer los fundamentos del método científico (**Obj.BG.2.** ESO), desarrollar las habilidades asociadas al trabajo científico (**Obj. BG.9.** Bachillerato), utilizar con autonomía las destrezas de investigación (**Obj.GO.3.**) o entender el conocimiento científico como algo integrado (**Obj.BG.8.** ESO) que formar parte de un auténtico proyecto de investigación, que bien puede ser el desarrollado para el CCE. Así, no solo se alcanzan los objetivos, sino que se trabaja conforme a las principales orientaciones metodológicas que se recogen en el currículo:

“Las actividades formativas se pueden iniciar partiendo de situaciones problemáticas (observaciones), que requieran una verificación experimental y obliguen a analizar datos, incluso organizando tareas que se parezcan a proyectos de investigación y en las que se finalice con un análisis crítico del trabajo realizado. Además [...] las prácticas de laboratorio son importantes para elevar la motivación del alumnado, para afianzar contenidos y facilitar la adquisición de procedimientos” (Orden ECD/489/2016).

“Se pueden reproducir procesos de formación de cristales en el laboratorio. [...] Este tipo de actividades se puede plantear de forma puntual, para introducir un tema nuevo, o bien como un proyecto de más envergadura para llevar a cabo individualmente o en grupo.” (Orden ECD/494/2016).

“Las actividades como [...] prácticas de laboratorio [...] deberían organizarse para dar respuesta a preguntas abiertas, promoviendo la observación, la indagación el uso del método científico y facilitando la expresión y discusión de los resultados e ideas. [...] Hay que favorecer, a través del trabajo cooperativo [...] que el alumnado mejore su capacidad de organizarse, debatir, llegar a acuerdos y finalizar con éxito las tareas propuestas”. (Orden ECD/494/2016).

De hecho, el crecimiento de cristales en el laboratorio es una manera bastante extendida de introducir el trabajo práctico en la educación obligatoria porque el espectro de prácticas de cristalización que

existe permite trabajar tanto con estudiantes que se están iniciando en el trabajo experimental como con alumnos que ya disponen de un arsenal de habilidades prácticas amplio y consolidado. Además, no sólo son actividades participativas en las que el aprendizaje se convierte por sí mismo en una herramienta para la motivación y la diversión (Gražulis *et al.*, 2015; Mayayo-Burillo y Yuste-Oliete, 2018), sino que también permiten acercar a los escolares a una realidad, la de los materiales cristalinos, sin la cual muchos de los avances tecnológicos que manejan en su día a día no existirían (Nogués, 2002).

Jaén y Roca (2016), en su análisis de los libros de texto de primero de la ESO, encontraron que las actividades de investigación que se proponen aparecen, con frecuencia, asociadas a realizar un crecimiento cristalino pero, a diferencia de cómo se realiza en el curso, los textos lo enfocan en un contexto guiado por el docente, llegando incluso a detallar los resultados a los que se espera que el alumno llegue, con lo que no contribuyen en manera alguna al desarrollo de habilidades y destrezas investigativas y sí a la visión del trabajo de laboratorio como un mero proceso de seguimiento de una receta preestablecida. Precisamente, participar en un auténtico proyecto de investigación científica ayuda a los estudiantes a superar algunas de sus concepciones alternativas, como la que se acaba de exponer, ya que pueden comprobar que no existe un único “método científico” que suponga una sucesión constante de operaciones fijas, sino que la actividad de los científicos varía según la disciplina o las especialidades y va adaptándose a las necesidades que requiera el problema planteado.

Por último, a través del concurso, los escolares descubren la importancia del cuaderno como elemento para sistematizar los procesos de indagación y como apoyo para la realización de los experimentos. A este respecto, Retana Alvarado *et al.*, (2018) consideran que en este tipo de actividades el cuaderno actúa como estrategia metacognitiva que organiza las ideas y conocimientos de los estudiantes, facilitando el aprendizaje y contribuyendo a construir una comprensión más profunda de la investigación y la naturaleza de la ciencia.

Los minerales, por otra parte, son los materiales que componen el planeta Tierra, pero también son un recurso de gran importancia (Pedrinaci *et al.*, 2012) desde el punto de vista económico y del desarrollo científico-tecnológico, por lo que adquirir un conocimiento básico de por qué y cómo se forman, de sus propiedades y sus características, es un tema central dentro de la Geología. Por ello, son contenidos recurrentes en los currículos tanto de Educación Primaria como de Secundaria (Tablas II, IV y VI).

No obstante, las grandes dificultades que manifiestan los estudiantes a la hora de adquirir una comprensión apropiada del concepto de mineral son ampliamente conocidas (Mateo *et al.*, 2017b) y comprensibles, puesto que se trata de un concepto bastante complejo y que requiere un cierto grado de abstracción. Además, normalmente se presenta de una forma excesivamente descriptiva (Jaén y Roca, 2016) lo que termina por provocar que los estudiantes se queden, simplemente, con algunas de sus características, generalmente aquellas derivadas

de los aspectos macroscópicos más perceptibles. Más concretamente, Gallegos (1998) indica que el mayor problema radica en el hecho de entender que los minerales poseen una estructura cristalina y una composición química determinada. La forma en que el currículo presenta los minerales, sin relacionar el concepto con estas propiedades, como argumentan Mateo *et al.* (2017b), no contribuye a la superación de estas dificultades, como tampoco lo hace el que en los propios libros de texto de los diferentes niveles educativos puedan encontrarse errores conceptuales a la hora de diferenciar entre cristal, mineral y roca, consecuencia, también, de que no se le otorga suficiente importancia a la estructura interna cuando se define el concepto de mineral (Laita *et al.*, 2018; Mateo *et al.*, 2017b).

Interiorizar el concepto de cristal, por lo tanto, también supone un problema para los estudiantes, quizá como consecuencia de que se trata de un ejemplo palmario de concepto en el que entran en conflicto el conocimiento científico y el cotidiano, que se termina imponiendo y provocando que los alumnos consideren como cristal a toda aquella sustancia que presente las características de los vidrios, por más que se trate de dos organizaciones internas prácticamente antagónicas. Las experiencias de cristalización, que constituyen la base del concurso, pueden proporcionar a los estudiantes un conocimiento más profundo de la estructura interna de la materia, una mayor comprensión sobre la naturaleza de la materia cristalina, qué es un cristal, sus características a nivel estructural y macroscópico, sus propiedades o los procesos que se producen durante su formación (Mayayo-Burillo y Yuste-Oliete, 2018), de manera que pueden ser una herramienta de gran utilidad para solventar los problemas asociados a la conceptualización del término cristal, ayudando a los estudiantes a superar sus preconcepciones al respecto. Así, comprendiendo en qué condiciones se forman los cristales y cómo afectan estas condiciones a la morfología y propiedades de los mismos, los estudiantes podrán llegar a entender más fácilmente las características, la composición y la utilidad de los minerales, lo que contribuirá a reducir la incidencia de la problemática que acaba de esbozarse.

En esta línea, Delgado y Calonge (2018) defienden que la estructura más lógica y coherente para la secuenciación de los contenidos sería la que supone tratar en primer lugar la materia cristalina, dar paso después a los minerales y terminar con las rocas como agregados de estos. Así se establecería una secuencia en la que se avance desde lo particular a lo más general, desde lo más sencillo a lo de mayor complejidad, en un camino acorde al que se debe recorrer para garantizar el paso del conocimiento coloquial al conocimiento científico. Desde esta perspectiva, trabajos como los de López *et al.* (2019) ponen de manifiesto cómo es posible incorporar contenidos como la textura de las rocas ígneas a las sesiones destinadas al CCE con excelentes resultados.

Por otro lado, Jaén y Roca (2016) señalan que las oportunidades de enriquecimiento competencial que ofrecen las actividades de los libros de texto son limitadas, ya que la gran mayoría de actividades no se presentan en contextos reales, ni permiten que el alumno se haga preguntas o trabaje en grupo. En

contraposición, el CCE es un proyecto en el que los participantes deben movilizar las diferentes competencias clave, tal y como han mostrado Lupión y López (2014) o Melgarejo (2019). A modo de ejemplo, más allá de la competencia matemática y las competencias básicas en ciencia y tecnología, puede señalarse que los estudiantes, al tener que desarrollar sus propios diseños experimentales desde el trabajo en grupo deberán negociar y consensuar con sus compañeros los diferentes procedimientos, poniendo en marcha sus competencias sociales y cívicas o su sentido de la iniciativa y espíritu emprendedor. La búsqueda de información, su selección y empleo, llevarán a los participantes a movilizar su competencia para aprender a aprender, pero también su competencia digital, que asimismo emplearán para elaborar los pósteres con los que presentar sus resultados en la final. Finalmente, al comunicarse con sus compañeros, manejando adecuadamente el vocabulario científico y al presentar sus resultados y conclusiones, cada participante deberá movilizar su competencia comunicativa y lingüística.

Por último, las actividades del concurso pueden contribuir, también, al desarrollo de habilidades transversales muy complicadas de trabajar de otro modo, ya que no se encuentran en otras partes del currículo y, sin embargo, son de gran importancia para la correcta comprensión de algunos conceptos propios de las distintas disciplinas científicas. Por citar un ejemplo, el análisis de la simetría de los cristales permite a los estudiantes mejorar su visión espacial y aplicar su inteligencia espacial a una situación concreta (Mateo *et al.*, 2017a). De este modo, el concurso se convierte no sólo en un elemento para cubrir los contenidos curriculares, sino también en un complemento del mismo.

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos analizado qué elementos curriculares de las asignaturas de “Biología y Geología” y “Geología” (recogidos en las órdenes ECD/489/2016 y ECD/494/2016 que establecen, respectivamente el currículo de Educación Secundaria y Bachillerato en la Comunidad de Aragón) pueden ser trabajados de manera sencilla mediante la participación en el Concurso de Cristalización en la Escuela. En primer lugar, se ha encontrado que existen bloques completos o prácticamente completos, como son los relativos a la actividad científica o los proyectos de investigación, que pueden ser fácilmente abordados y evaluados en el marco del concurso, ya que su mecánica de trabajo, como se ha expuesto, favorece que los estudiantes puedan desarrollar una auténtica investigación y comprender los procedimientos que caracterizan la metodología científica, combatiendo algunos de los obstáculos epistemológicos que más frecuentemente se encuentran en la bibliografía, como la unicidad del método científico, desarrollando sus habilidades experimentales y afrontando y superando las dificultades que puedan surgir. De este modo, se contribuye también al logro de los objetivos que el currículo autonómico plantea para las materias de “Biología y Geología” en Educación Secundaria y las asignaturas de “Geología” y “Biología y Geología”

en bachillerato desde una metodología coherente con las recomendaciones que recogen las dos órdenes estudiadas.

En segundo lugar, se ha descubierto que el concurso también permite a los educadores cubrir otro tipo de contenidos, aunque puede requerirles un cierto trabajo previo para poder conectarlos con las actividades básicas que se desarrollan en el CCE. En esta línea aparecen los contenidos asociados a la estructura cristalina, los minerales o las rocas, contribuyendo a disminuir las dificultades que los escolares suelen presentar a la hora de discriminar y caracterizar estos conceptos, poniendo a prueba y superando sus preconcepciones.

Finalmente, el atractivo que suscita el crecimiento cristalino es un elemento determinante en la generación de actitudes favorables hacia la ciencia en general, y la Geología en particular, o al menos así lo consideran los profesores que participan en el concurso, el cual, a su vez, quizá se convierta en un elemento que revigore las vocaciones STEM de una generación que parece tener poco interés en la ciencia y la tecnología.

Lograr una adecuada alfabetización científica de la población es, probablemente, el objetivo fundamental de la enseñanza no universitaria de las ciencias y a este respecto, las actividades no formales proporcionan un punto de encuentro con la ciencia, su naturaleza, ideas y conceptos, de una forma más desenfadada y contextualizada. En esta línea, el CCE, a tenor de los resultados presentados, contribuye a la consolidación de algunas de las ideas clave para alcanzar una verdadera alfabetización en Ciencias de la Tierra (Pedrinaci *et al.*, 2012) y para entender cómo funciona el planeta, y permite hacerlo, además, tal y como plantean Cortés y Peña (2020), mediante un progresivo aumento de la complejidad, partiendo de la descripción de hechos y fenómenos en los niveles más bajos (1º y 3º de ESO) y terminado con la explicación de fenómenos complejos en cursos superiores (1º Bachillerato).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución a los proyectos EDU2016-76743-P (MIMECO), PIIDUZ_19_468 (Universidad de Zaragoza) y al grupo BEAGLE de investigación en Didáctica de la Ciencias Experimentales (Gobierno de Aragón). Jorge Martín García disfruta de un contrato predoctoral del Gobierno de Aragón (ORDEN IJU/796/2019).

BIBLIOGRAFÍA

- Bisquerra, R. (2004). *Metodología de la investigación educativa* (Segunda). La Muralla. 459 p.
- Carrascosa, J., Martínez, J., Furió, C. y Guisasaola, J. (2008). ¿Qué hacer en la formación inicial del profesorado de ciencias de secundaria? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5.2), 118-133. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2008.v5.i2.01
- Cortés, Á. L. y Martínez, M. B. (2020). Los retos del currículo de geología. *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales*, 100, 42-42.

Delgado, J. y Calonge, A. (2018). Estudio de la presencia de la Geología en currículos oficiales autonómicos de Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 26.2, 154-162.

Dies Álvarez, M. E., Bauluz Lázaro, B., García Orduña, P., Lahoz Díaz, F., Latre Morales, B., Mateo González, E., Martín Tello, A., Mayayo Burillo, M. J. y Yuste Oliete, A. (2017). Seguimiento didáctico del Concurso de Cristalización en la Escuela-Aragón 2016-2017. *Actas de las XI Jornadas de Innovación Docente e Investigación Educativa de la Universidad de Zaragoza*, 70-71.

Gallegos, J. A. (1998). La construcción del concepto de mineral: Bases históricas y un diseño de enseñanza-aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 16.1, 159-170.

González, R. J., Cisneros, E. J. y López, G. E. (2017). Primeras experiencias de estudiantes de bachillerato en eventos científicos. En: *La educación para todas y todos a lo largo de la vida*. (Eds: P. J. Canto y A. Zapata), p 143-148.

Gražulis, S., Sarjeant, A. A., Moeck, P., Stone-Sundberg, J., Snyder, T. J., Kaminsky, Oliver, A. G., Stern, C. L., Dawe, L. N., Rychkov, D. A., Losev, E. A., Boldyreva, E. V., Tansky, J. M., Bernstein, J., Raben, W. M. y Kantardjieff, K. A. (2015). Crystallographic education in the 21st century. *Journal of Applied Crystallography*, 48.6, 1964-1975. <https://doi.org/10.1107/S1600576715016830>

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12.3, 299-313.

Jaén, M., y Roca, M. L. (2016). El enfoque de los contenidos sobre rocas y minerales en libros de texto de 1º de ESO. *27 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 1367-1374.

Jones, G., Taylor, A. y Forrester, J. H. (2011). Developing a Scientist: A retrospective look. *International Journal of Science Education*, 33.12, 1653-1673. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.523484>

Laita, E., Mateo, E., Mazas, B., Bravo, B. y Lucha, P. (2018). ¿Cómo se abordan los minerales en la enseñanza obligatoria? Análisis del modelo de mineral implícito en el currículo y en los libros de texto en España. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 26.3, 256-264.

Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa. BOE 295, de 10 de diciembre de 2013.

López, J. P., Boronat, R., y Gómez, M. (2019). Analogía didáctica entre la cristalización del fosfato monoamónico y la textura de las rocas ígneas. Una sencilla visión en un laboratorio de educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias de la tierra*, 27.1, 103-110.

Lupiñ, T. y López, R. (2014). Investigaciones escolares en ciencias: Estrategia en la formación del profesorado y recurso para el aula. *Educació Química*, 16, 53-61. <https://doi.org/10.2436/eduq.voi16.85932>

Martínez Peña, M. B., Cortés Gracia, Á. L. y Calvo, J. M. (2015). De la estabilidad al continuo cambio inapreciable. La situación de la geología en la enseñanza obligatoria. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 79, 9-16.

Martín-García, J., Dies Álvarez, M. E. y Bauluz-Lázaro, B. (2019). Impacto del concurso de cristalización en la escuela en el profesorado participante: Un estudio preliminar. *Libro Actas de las XIII Jornadas de Innovación Docente e Investigación Educativa de la Universidad de Zaragoza*, 84-85.

Mateo E. Mayayo, M. Bravo, B. y Martínez Peña, B. (2017a). ¡El irresistible encanto de la simetría! 3DSYM: una propuesta para desarrollar la capacidad de visión espacial en enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25.2, 213-220.

Mateo, E., Mazas, B., Lucha, P., Martínez, M. B., Cortés, Á. L. y Bravo, B. (2017b). ¿Cómo se abordan los minerales en la Enseñanza obligatoria?: Reflexiones a partir de un

análisis de libros de texto. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, o (Núm. Extra), 483-490.

Mayayo-Burillo, M. J., y Yuste-Oliete, A. (2018). Experiencias de cristalización en el aula. Conceptos teóricos básicos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 26.3, 352.

Melgarejo, F. R. (2019). Las dificultades de cristalización de cloruro de sodio (NaCl): Un proyecto de investigación integrador del currículo de Ciencias en ESO y Bachillerato. *Anales de Química*, 5.

Nogués, J. M. (2002). *Recursos didácticos en Cristalografía, Mineralogía y Ciencia de los Materiales*. 6.

Orden ECD/489/2016, de 26 de mayo, por la que se aprueba el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y se autoriza su aplicación en los centros docentes de la Comunidad Autónoma de Aragón.

Orden ECD/494/2016, de 26 de mayo, por la que se aprueba el currículo del Bachillerato y se autoriza su aplicación en los centros docentes de la Comunidad Autónoma de Aragón.

Oliva, J. M., Matos, J. M. y Acevedo, J. A. (2008). Contribución de las exposiciones científicas escolares al desarrollo profesional docente de los profesores participantes. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7.1, 178-198.

Pedrinaci, E. (2002). La Geología en el bachillerato: Un análisis del nuevo curriculum. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 10.2, 125-133.

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

Pedrinaci, E. Ruiz, G. Alfaro, P. Brusí, D., Fernández, E. Pascual, J. A. Alcalde, S. Barrera J. L. Belmonte, A. Calonge, A. Cardona, V. Crespo, A. Feixas, J. C. González, A. Jiménez, J. Mata, J. M. López, J. Quintanilla, L. Rábano, I. Rebollo, L. Rodrigo, A. Roquero, E. (2012). Alfabetización en Ciencias de la Tierra: Propuesta curricular. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 117-129.

Retana, D. A., Vázquez, B. y Camacho, M. M. (2018). Las Ferias de Ciencia y Tecnología de Costa Rica y sus aportes a la educación secundaria. *Actualidades Investigativas en Educación*, 18.2, 1-43. <https://doi.org/10.15517/aie.v18i2.33170>

Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. y Hemmo, V. (2007). *Science education Now: A renewed Pedagogy for the future of Europe*. European Commission. 28 p.

Stancescu, I., Petrescu, A.-M. A., Gorghiu, G. y Draghicescu, L. M. (2018). The Role of Non-Formal Activities for Increasing Students' Motivation for Learning. En: *Erd 2017—Education, Reflection, Development, Fifth Edition* (EDS. V. Chis y I. Albulescu), 41, 627-632. <http://dx.doi.org/10.15405/epsbs.2018.06.74>

Toma, R. B., Ortiz, J. y Greca, I. M. (2019). ¿Qué actitudes hacia la ciencia posee el alumnado de Educación Primaria que participa en actividades científicas extracurriculares? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 3.1, 55-69. <https://doi.org/10.17979/arec.2019.3.1.4599>

Vázquez, Á. y Manassero, M. A. (2017). Contenidos de naturaleza de la ciencia y la tecnología en los nuevos currículos básicos de Educación Secundaria. *Profesorado: Revista de curriculum y formación del profesorado*, 21.1, 249-312

Welch, A. G. (2010). Using the TOSRA to Assess High School Students' Attitudes toward Science after Competing in the FIRST Robotics Competition: An Exploratory Study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 6.3, 187-197. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75239>. ■

Este artículo fue recibido el día 24 de junio y aceptado definitivamente para su publicación el 28 de septiembre de 2020.