

Educación formal y no formal: Sinergias que abren nuevos caminos hacia los objetivos curriculares

Jorge Martín-García y María Eugenia Dies Álvarez

Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón.
Universidad de Zaragoza. araujo@unizar.es, medies@unizar.es

Resumen: Las actividades no formales amplían el espectro de recursos educativos de que dispone el docente y proporcionan amplias oportunidades de aprendizaje en el ámbito de las ciencias. Sin embargo, lo limitado del tiempo de que se dispone en la enseñanza reglada no favorece que los centros se impliquen en este tipo de actividades. Una posible solución a esta situación es ofrecer recursos que, manteniendo los beneficios principales de los contextos no formales permitan, además, abordar los currículos de secundaria. Este artículo está centrado en una de estas actividades, el Concurso de Cristalización en la Escuela. En él se presenta un análisis documental de los objetivos que se recogen en el currículo de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato de la Comunidad de Aragón en diferentes materias y cómo estos pueden ser trabajados en el marco de las actividades que se desarrollan en el concurso. Este análisis pone de manifiesto cómo el concurso puede contribuir al desarrollo de una parte de los objetivos curriculares de estas materias y cómo estos objetivos, a su vez, pueden clasificarse en once categorías diferentes conforme a su finalidad última que proporcionan una imagen de lo que puede aportar el concurso desde el punto de vista educativo. Estos hallazgos permiten concluir que se trata de un proyecto multidisciplinar alineado con los propósitos y la visión educativa que subyacen en el currículo. En consecuencia, el concurso se perfila como una herramienta valiosa para mejorar la formación científica del alumnado, integrando la enseñanza formal con las experiencias de aprendizaje activo y aplicado propias de la educación no formal.

Palabras clave: Ciencias de la naturaleza; currículo; educación no formal; enseñanza secundaria; experiencias alternativas; enseñanza de la ciencia.

Title: Non-formal science education as an alternative pathway to achieving curricular objectives.

Abstract: Non-formal activities broaden the range of educational resources available to teachers and provide ample opportunities for learning in science. However, the limited time available in formal education does not encourage schools to engage in such activities. A possible solution to this situation is to offer resources that, while maintaining the main benefits of non-formal contexts, also allow them to address secondary school curricula. This article is referred to one of those non-formal scientific activities, a school growing-crystals competition named Concurso de Cristalización en la Escuela. In it an analysis of Aragón's curriculum is presented. It is focused

on the objectives set for several subjects in compulsory and non-compulsory secondary education. The aim of the study is to determine if the activities developed during the contest contribute to reach any of the established objectives. This analysis shows how the competition can contribute to the development of part of the curricular objectives of these subjects and how these objectives, in turn, can be classified into eleven different categories according to their ultimate purpose, which provides a picture of what the competition can contribute from an educational point of view. These findings allow us to conclude that it is a multidisciplinary project aligned with the educational purposes and vision underlying the curriculum. Consequently, the competition is emerging as a valuable tool for improving students' scientific training, integrating formal education with the active and applied learning experiences of non-formal education.

Keywords: Curriculum; alternative experiences; natural science; non-formal education; secondary education; science teaching and learning.

Introducción

El término educación no formal se emplea para aludir a aquellas actividades que, si bien están diseñadas y organizadas con una clara intención educativa y presentan unos objetivos formativos específicos y claramente establecidos (Niculae et al., 2011), no siguen un currículo oficial y no forman parte del sistema educativo establecido por ley. En particular, la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación establece que:

“La educación no formal [...], comprenderá todas aquellas actividades, medios y ámbitos de educación que se desarrollan fuera de la educación formal y que se dirigen a personas de cualquier edad con especial interés en la infancia y la juventud, que tienen valor educativo en sí mismos y han sido organizados expresamente para satisfacer objetivos educativos en diversos ámbitos de la vida social tales como la capacitación personal, promoción de valores comunitarios, animación sociocultural, participación social, mejora de las condiciones de vida, artística, tecnológica, lúdica o deportiva, entre otros.” (Artículo 5 bis, p 122882).

En el campo de la enseñanza de las ciencias la relevancia de este tipo de enseñanza se ha visto acrecentada a lo largo de los años en los que ha pasado de ser un campo emergente a consolidarse como línea de investigación pujante tanto a nivel nacional (eg. Guisasola and Morentin, 2007; Oliva et al., 2004; Vázquez and Manassero, 2007) como internacional (eg. Affeldt et al., 2017; Braund and Reiss, 2006; Halonen and Aksela, 2018; Retana Alvarado et al., 2018; Romi and Schmida, 2009; Tolppanen et al., 2015).

Estos estudios, realizados en distintos contextos y con diferentes tipos de actividades, proyectos o programas de educación no formal muestran cómo estos espacios proporcionan un entorno de aprendizaje beneficioso para el alumnado en el que se combinan aspectos cognitivos, afectivos y sociales que contribuyen consolidar una comprensión más significativa de los fenómenos científicos.

Por ejemplo, a nivel cognitivo, ofrecen oportunidades de aprendizaje diferentes e innovadoras en las que los estudiantes entran en contacto directo con la ciencia y se involucran en actividades científicas, a veces difícilmente reproducibles en el aula. Así, llegan a tener un impacto positivo en el aprendizaje de hechos y conceptos (Bamberger and Tal, 2008) ya que refuerzan y amplían los conocimientos adquiridos en el aula y pueden traducirse en una mejora del rendimiento académico en las materias científicas (Gottfried and Williams, 2013; Miller et al., 2018; Wünschmann et al., 2017).

Por otra parte, desde el punto de vista afectivo, se reconoce que constituyen un excelente mecanismo para despertar y mantener la motivación del alumnado hacia el aprendizaje, la ciencia o el aprendizaje de las ciencias (eg. Aubusson et al., 2012; Halonen and Aksela, 2018; Hofstein and Rosenfeld, 1996; Jarvis and Pell, 2005; Tisza et al., 2020). En este sentido, también contribuyen a mejorar las actitudes y percepciones acerca de la ciencia Welch (2010), Welch y Huffman (2011) o Melchior, Burak, Gutbezahl, Hoover y Marcus (2015) y la generación de vocaciones científicas. Por último, desde un punto de vista social diferentes trabajos (Martín-García y Dies Álvarez, 2021c; Oliva et al., 2004, 2008), revelan cómo la participación en actividades de educación no formal contribuye a mejorar el clima relacional y estrecha y fortalece las relaciones interpersonales que son más cercanas y horizontales que en el ámbito más formal.

Por estos motivos son muchos los autores que defienden la necesidad de tender puentes entre la enseñanza no formal y la ciencia escolar (eg. Bamberger y Tal, 2008; Eshach, 2007; Fallik et al., 2013; Hofstein y Rosenfeld, 1996) argumentando que estas conexiones incrementan el impacto educativo tanto de la una como de la otra. No obstante, otros autores, como Garner y Eilks (2015), o Wünschmann (2017) van un paso más allá y señalan que las actividades no formales e informales solamente alcanzan su máximo de efectividad cuando existe una firme conexión con la educación formal.

En definitiva, parece claro que garantizar una educación científica de calidad pasa entonces por integrar las vías formal, no formal e informal para ofrecer al alumnado una experiencia de aprendizaje lo más completa posible. Sin embargo, a pesar de que los beneficios cognitivos, afectivos y sociales de las actividades científicas no formales están ampliamente reconocidos en la literatura, estas continúan siendo un recurso muy poco aprovechado porque muchas veces resulta prácticamente imposible disponer del tiempo que se ha de dedicar para preparar y aprovechar adecuadamente este tipo de espacios formativos. A esta limitación contribuye la propia confección del currículo, que muchas veces sobreestima los tiempos reales de que se dispone en las aulas.

En cualquier caso, si lo que se busca es tender puentes para lograr una mayor integración de las actividades formales y no formales (Hofstein y Rosenfeld, 1996) que permita promover una mejora de la educación científica, no sólo es legítimo, sino también necesario exigir que cualquiera de estas iniciativas de educación no formal se estructure, diseñe y desarrolle conforme a los principios didácticos que desde la investigación se

considera que deben regir la enseñanza de las ciencias y contemple los contenidos que prescribe el currículo de las diferentes disciplinas. De hecho, diferentes investigaciones (eg. Cook y Weiland, 2013; Fallik et al., 2013; Itzek-Greulich et al., 2015; Wünschmann et al., 2017) indican que las actividades científicas no formales son más eficaces cuando se integran en el currículo en lugar de ser actividades puntuales y desconectadas de los contenidos que se están trabajando en el aula.

Por otra parte, los propios docentes, que tienen un conocimiento de primera mano de las necesidades de aprendizaje de los estudiantes, el contexto de la escuela o las limitaciones que impone el tiempo de que se dispone en el aula, tienen muy en cuenta las posibilidades que ofrece cualquier actividad no formal para establecer conexiones con el currículo. En esta línea, uno de los motivos que esgrimen los docentes para participar en actividades no formales y uno de los objetivos que más frecuentemente persiguen cuando lo hacen, al menos en el ámbito de las ciencias, es precisamente poder conectar estas actividades con el currículo escolar y los contenidos que lo integran (e.g. Anderson et al., 2006; Garner y Eilks, 2015; Karnezou et al., 2021; Lucas, 2000; Oliva et al., 2008). En algunos casos incluso, es la causa o motivo principal para determinar qué actividades o proyectos tienen un interés potencial y para decantarse por unas en detrimento de otras (Anderson et al., 2006; Kisiel, 2005).

En estas ocasiones, la posibilidad de vincular la actividad con el currículo es una forma de justificar la decisión de invertir parte del escaso tiempo de que se dispone en una actividad diferente y de exponer al alumno al resto de beneficios que puede repararle la participación. Pero, al mismo tiempo, es una forma de introducir, reforzar, consolidar o ampliar los conocimientos y contenidos curriculares. En esta línea, existen evidencias que indican que estas actividades realmente contribuyen al desarrollo cognitivo-conceptual, especialmente a largo plazo, cuando sus objetivos de aprendizaje están vinculados al currículo (DeWitt y Storksdieck, 2008; Lemelin y Bencze, 2004; Tsybulsky, 2019).

Desde esta perspectiva, este artículo presenta un análisis de los objetivos curriculares de la etapa de educación secundaria que es posible abordar a través de la participación en una actividad científica no formal con una larga trayectoria nacional e internacional como es el Concurso de Cristalización en la Escuela.

Contexto

El Concurso de Cristalización en la Escuela (CCE) es una competición escolar que desde que comenzó en 2009 en Andalucía se ha extendido por toda España (García-Ruiz, 2013), celebrándose en comunidades como Aragón, Cataluña, Castilla y León, la Rioja o Madrid (Gómez and Martín, 2016). De hecho, el formato ha llegado a traspasar fronteras y en la actualidad se celebran eventos similares en diferentes países europeos, asiáticos y latinoamericanos como Argentina, Australia, Bélgica (Van Meervelt, 2014), Brasil, Canadá, Francia, Inglaterra, Italia, México, Singapur, Uruguay o Vietnam (Nguyen y Van Meervelt, 2015). Aprovechando el éxito que han tenido estos eventos nacionales la Unión Internacional de Cristalografía (IUCr) lanzó en 2014 una competición a nivel internacional (Whelan et al., 2018).

El concurso está dirigido al alumnado de secundaria y pretende fomentar la investigación científica entre ellos desde la indagación en el laboratorio hasta la comunicación de los resultados en formato congreso científico. En este sentido, se busca que los estudiantes descubran un poco más cómo se trabaja en el ámbito de las ciencias y adquieran algunas de las habilidades que normalmente se requieren para ello. Con este objetivo, aprovecha el atractivo inherente de los materiales cristalinos involucrando a los participantes en proyectos de investigación en los que pueden crear cristales en diferentes condiciones y con distintas sustancias, variando sus tamaños, geometrías, colores, propiedades, etc.

El concurso se desarrolla en tres fases que abarcan la práctica totalidad del curso académico, comenzando en noviembre y terminando en mayo:

1. **Formación del profesorado:** donde se les proporcionan unos conocimientos científicos básicos acerca de los fundamentos fisicoquímicos del proceso de cristalización y se les presentan aplicaciones industriales y en investigación de los cristales, así como algunos recursos didácticos de utilidad.
2. **Experimentación:** una fase de corte práctico a lo largo de la cual los participantes diseñan y llevan a cabo sus propios experimentos de crecimiento cristalino, para conformar el que será su proyecto de investigación.

Existe un cierto consenso acerca de la necesidad de introducir en la enseñanza de las ciencias actividades planteadas desde la perspectiva de los procesos de la ciencia y lo que realmente hacen los científicos. El concurso está enfocado precisamente a ofrecer esa oportunidad, a crear un espacio donde los participantes puedan disfrutar de una aproximación más fidedigna al trabajo y la racionalidad científicos, explorar lo que hacen los investigadores, sumergirse en el lenguaje de la ciencia y poner en práctica, de manera sencilla y divertida, muchos de los procedimientos característicos de las disciplinas experimentales, como la observación, el control de variables, el análisis de datos, la medida de magnitudes, etc.

En esta fase los participantes, trabajando en grupos cooperativos, comienzan planteando una pregunta, un problema o una cuestión de interés, que suscite su curiosidad y que resulte investigable. Luego, partiendo de ella plantearán una hipótesis y elaborarán y llevarán a cabo un diseño experimental que les permita contrastarla evaluando diferentes opciones, controlando distintas variables y realizando réplicas con pequeñas modificaciones del procedimiento en busca de diferentes resultados. En el desarrollo de estos experimentos, los estudiantes manipulan los materiales y equipos de laboratorio, familiarizándose con ellos y con algunos de los procedimientos de trabajo en el laboratorio más habituales.

Durante esta fase también van registrando sus observaciones, el procedimiento, los resultados y toda la información que hayan recabado en su cuaderno de laboratorio para poder analizarla, interpretarla y representarla, establecer relaciones entre variables y poder extraer sus

propias conclusiones basadas en la evidencia científica que ellos mismos han producido y registrado.

3. **Final del concurso:** concebida como un congreso científico y en la que una representación de cada centro presenta y defiende el proyecto ante un jurado de expertos con la ayuda de un póster científico que han elaborado previamente.

Material y métodos

El trabajo que se presenta forma parte de una investigación de mayor envergadura que centra su atención en el CCE con el propósito de analizar o describir qué puede aportar el concurso a la educación científica o qué posibilidades ofrece desde la perspectiva de los tres agentes implicados en el acto educativo: el profesor, el alumno y los conocimientos o contenidos (el currículo educativo) (Martín-García y Dies Álvarez, 2024). Esta investigación se enmarca en un paradigma cualitativo con una orientación descriptiva e interpretativa que intenta combinar la visión pragmática y “desde dentro” que proporcionan los participantes con la imagen “desde fuera” y más teórica que proporciona el análisis curricular. En consecuencia, el desarrollo de la investigación condiciona las estrategias, metodologías y técnicas de investigación y análisis empleadas.

En concreto, para los estudios centrados en el currículo se ha empleado el denominado Análisis Documental (AD) como estrategia para el análisis de los datos (Bisquerra, 2004, pp. 349-350). Este es un proceso sistemático y planificado de evaluación de documentos diseñado para describir las temáticas y ejes centrales de los mismos (Wotring et al., 2021). En esta línea, tiene como objetivo general identificar y catalogar el contenido de los documentos mediante el establecimiento de un conjunto de categorías en las que ir organizando la información del texto (Díaz Herrera, 2018). Por ello, el proceso de análisis se centra en la identificación y su clasificación de conceptos y temáticas, para lo que se emplean técnicas como el conteo de frecuencias o la búsqueda de palabras en contexto (Kohler Riessman, 2008).

En particular, este artículo presenta un análisis documental del contenido recogido en el *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato* y en las diferentes órdenes que establecen el currículo oficial para la educación secundaria en la Comunidad Autónoma de Aragón y que estaban vigentes en el momento de la recogida de datos:

1. 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.
2. 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.
3. Orden ECD/1693/2019, de 11 de diciembre, por la que se establece la organización y el currículo de la Educación Secundaria para Personas Adultas en la Comunidad Autónoma de Aragón.

En España el diseño curricular supone un proceso continuo de concreción que va adaptando el currículo a la realidad concreta de cada zona del país, de cada aula y, en el caso más ideal, de cada estudiante. Así, los documentos que se manejan en cada comunidad difieren del resto, aunque todas ellas parten del marco normativo común básico para todo el territorio nacional establecido por el decreto de enseñanzas mínimas (RD 1105/2014.). Se ha tenido en cuenta la estructuración del currículo en distintos niveles y cursos y dentro de estos en diversas materias y, consecuentemente, se ha centrado la atención solamente en algunas de ellas:

- Ámbito Científico-Tecnológico (Educación Secundaria de Personas Adultas, ESPA).
- Ámbito Científico-Tecnológico (Programa de Mejora del Aprendizaje y el Rendimiento, PMAR).
- Biología y Geología.
- Ciencias Aplicadas a la Actividad Profesional.
- Cultura Científica.
- Física y Química.
- Geología.
- Matemáticas.
- Matemáticas Académicas.
- Matemáticas Aplicadas.
- Proyecto de investigación e innovación integrado.
- Química.
- Tecnología.

La selección de estas materias responde a que son aquellas que aparecen mencionadas por los profesores que participan en el concurso cuando se les pregunta acerca de los cursos con los que participan en él o de los contenidos que consideran que se trabajan a través de las actividades del proyecto (Martín-García y Dies Álvarez, 2021^a).

El RD 1105/2014 establece que el currículo estará integrado por "los objetivos de cada enseñanza y etapa educativa; las competencias [...]; los contenidos [...]; la metodología didáctica [...]; los estándares y resultados de aprendizaje evaluables; y los criterios de evaluación [...]". La Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa (LOMCE), la cual fija el marco en el que se encuadra el RD 1105/2014, convirtió a las denominadas Competencias Clave en el elemento que vertebra todo el currículo, el decreto especifica que "el currículo básico se ha diseñado partiendo de los objetivos propios de la etapa y de las competencias".

Los objetivos son el referente que establece los logros que el alumnado debe alcanzar al finalizar cada etapa educativa. Son, asimismo, las metas que guían el proceso de enseñanza-aprendizaje y, por lo tanto, los elementos que marcan las intenciones orientan el diseño curricular y actúan

como referente para la evaluación. Por este motivo, y dado que otros trabajos (Cuesta-López, y Jiménez-Pérez, 2017; Martín-García y Dies Álvarez, 2022b) han evaluado previamente la contribución del CCE al desarrollo competencial del alumnado participante y que estas competencias deben ser abordadas conjuntamente desde las diferentes materias, se ha optado por excluir a las competencias del análisis que se desarrolla en este artículo y centrarlo en los objetivos como componente fundamental y estructurante del currículo.

Finalmente, se reconoce una organización del currículo en tres partes, contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables que suponen un grado más de la concreción última de lo que el estudiante debe saber. No obstante, un análisis exhaustivo de estos elementos excede ampliamente las finalidades de este trabajo, estando, además, muy limitado por las restricciones de extensión. En cualquier caso, un análisis más pormenorizado de los contenidos de las materias de Biología y Geología y Física y Química que se pueden abordar en el marco del CCE puede consultarse en Martín-García y Dies Álvarez (2020) y Martín-García y Dies Álvarez (2021^a), respectivamente.

El análisis que se presenta en este artículo parte de esa naturaleza de progresiva concreción que rige el diseño curricular a nivel nacional. La *Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación* (LOE), establecía dos tipos diferentes de objetivos, con un primer nivel conformado con los objetivos generales de la etapa, establecidos en el real decreto de mínimos; y un segundo nivel formado por los objetivos generales de la materia, los cuales eran establecidos por cada autonomía. Una de las modificaciones introducidas por la de LOMCE es la desaparición de estos objetivos de la materia. Sin embargo, Aragón, a diferencia de otras autonomías, ha mantenido en su currículo un listado de objetivos para cada materia en cada etapa. Ambos niveles serán objeto de análisis en este trabajo. Por ello, aunque el análisis que se presenta en este trabajo se circunscribe al ámbito aragonés, el procedimiento que se describe a continuación puede ser aplicado a los documentos de cualquiera de los otros territorios nacionales.

El análisis comienza con la lectura y relectura de los documentos en múltiples ocasiones para obtener una visión de conjunto de su contenido y poder comprender mejor a qué se refiere cada uno de los objetivos que se describen en ellos. Partiendo de esta interpretación de los significados, en lecturas subsiguientes se procede a ir agrupando progresivamente los objetivos similares hasta generar conjuntos (categorías) que son representativos de los tipos de objetivos que se mencionan en los documentos curriculares. Estas categorías se presentan en la sección siguiente.

Análisis y resultados

El RD establece 13 objetivos de etapa para la ESO y 14 para el bachillerato que deben abordarse desde las diferentes materias que se cursan a lo largo de la etapa. Entre ellos se encuentran objetivos de carácter más transversal referidos a actitudes necesarias para alcanzar un desarrollo personal que permita la convivencia en una sociedad tolerante y democrática que pueden ser puestas en práctica y fomentadas en todas las materias; y otros más relacionados con habilidades que, aun teniendo

presencia en las diferentes asignaturas, se trabajan especialmente en algunas de ellas. El normal desarrollo de las actividades del concurso permite desarrollar acciones que contribuyen principalmente a ocho de ellos, cuatro de los descritos para la etapa de ESO y otros cuatro para el Bachillerato (Tabla 1).

Tabla 1: Objetivos generales de etapa que se trabajan en el marco de las actividades desarrolladas por los estudiantes en el CCE.

Educación Secundaria Obligatoria
b) Desarrollar y consolidar hábitos de disciplina, estudio y trabajo individual y en equipo como condición necesaria para una realización eficaz de las tareas del aprendizaje y como medio de desarrollo personal.
e) Desarrollar destrezas básicas en la utilización de las fuentes de información para, con sentido crítico, adquirir nuevos conocimientos. Adquirir una preparación básica en el campo de las tecnologías, especialmente las de la información y la comunicación.
f) Concebir el conocimiento científico como un saber integrado, que se estructura en distintas disciplinas, así como conocer y aplicar los métodos para identificar los problemas en los diversos campos del conocimiento y de la experiencia.
g) Desarrollar el espíritu emprendedor y la confianza en sí mismo, la participación, el sentido crítico, la iniciativa personal y la capacidad para aprender a aprender, planificar, tomar decisiones y asumir responsabilidades.
Bachillerato
g) Utilizar con solvencia y responsabilidad las tecnologías de la información y la comunicación.
i) Acceder a los conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales y dominar las habilidades básicas propias de la modalidad elegida.
j) Afianzar el espíritu emprendedor con actitudes de creatividad, flexibilidad, iniciativa, trabajo en equipo, confianza en uno mismo y sentido crítico.
k) Comprender los elementos y procedimientos fundamentales de la investigación y de los métodos científicos. Conocer y valorar de forma crítica la contribución de la ciencia y la tecnología en el cambio de las condiciones de vida, así como afianzar la sensibilidad y el respeto hacia el medio ambiente.

Por su parte, el currículo aragonés establece un total de 135 objetivos específicos para las materias evaluadas en este estudio (Tabla 2). Estos objetivos definen lo que se pretende que los alumnos sean capaces de hacer al finalizar cada una de las asignaturas. El análisis de estos objetivos desde la perspectiva de las actividades que se desarrollan en el concurso (ver Martín-García y Dies Álvarez, 2022^a, 2022^b para una descripción detallada de ellas) ha permitido determinar que la participación en el mismo puede contribuir de forma directa al cumplimiento de al menos 68 de ellos, lo que representa un 50,4% del total de objetivos establecidos para estas materias. En la Tabla 2 se muestra el número total de objetivos que figuran en el currículo para las materias objeto de estudio. Además, la tabla indica cuántos de estos objetivos pueden ser abordados mediante la participación en el CCE y el porcentaje que estos suponen con respecto al total de objetivos descritos para la materia.

Así, la tabla también ofrece una imagen de la medida en que el concurso se alinea con el currículo de las diferentes materias y contribuye a cumplir

los propósitos establecidos para las diversas asignaturas. Asimismo, permite identificar qué asignaturas se alinean mejor con la metodología y las actividades promovidas por el CCE. En otras palabras, no solo se muestra cómo el concurso puede integrarse en la enseñanza de ciertas materias, sino que también se destaca qué áreas del currículo se benefician más de este enfoque práctico y experiencial. En este sentido, es posible apreciar cómo todas las materias cuentan con un mínimo de dos objetivos que pueden ser abordados a través de la participación en el concurso y cómo en el caso de otras dos materias el concurso permite abordar todos y cada uno de los objetivos que fija el currículo para ellas.

A nivel de porcentajes, incluso en las materias que muestran una menor alineación con la forma de trabajar del concurso (AMCTN, GO, MA y TC), las actividades que en este se desarrollan permitirían trabajar un porcentaje significativo de los objetivos que se establecen para ellas (más del 18%). Esto sugiere que, aunque a priori parezca que la participación puede no integrarse en los contenidos y propósitos de estas materias, en realidad sí contribuye a que los estudiantes adquieran los conocimientos y habilidades que estas asignaturas buscan desarrollar.

Entrando en detalle en los objetivos que se ha considerado que pueden ser abordados durante el desarrollo de las actividades del concurso, en once categorías diferentes que representan la intención esencial de los mismos. Para ello, como se ha descrito anteriormente, se ha analizado el significado de cada uno de los objetivos que se describen y se han ido agrupando aquellos con significados afines o que plantean objetivos similares hasta generar conjuntos diferenciados que se han denominado categorías:

- A) Conocer y entender los fundamentos del método científico y aplicarlo a problemas sencillos: BG.2, FQ.1, AMCM.2, AMCTCN.3 y BGB.9.
- B) Desarrollar y utilizar destrezas de investigación: BG.8, GO.3, FQB.3, QU.2, FQB.4, CA.1, PI.3 y PI.4.
- C) Comprender y expresar correctamente mensajes con contenido científico: BG.3, FQ.2, AMCTCN.4, AMCM.1, QU.3, FQB.5, CCI.3 y PI.7.
- D) Obtener, seleccionar, tratar, procesar y utilizar información de carácter científico: BG.4, QU.4, GO.5, FQ.3, FQ.5, CA.2, CCIB.2, TC.8, BGB.9, CCI.5, FQB.5, PI.11, PI.3 y PI.9.
- E) Entender la naturaleza de la ciencia y el conocimiento científico: BG.8, BGB.8, FQ.2, CCI.1, CCI.5, CCIB.5 y FQ.1.
- F) Valorar la ciencia como una parte más de la cultura y un elemento social: BG.7, BG.8, FBB.1, AMCM.11, CCI.8.
- G) Integrar el conocimiento científico y matemático: FQ.4, BG.3, AMCTN.4, AMCM.1, AMCM.5, MA.10, MAAC.10 y MAAP.10.

Tabla 2. Número de objetivos que figuran en el currículo de Aragón para cada asignatura. Número de objetivos a los que contribuyen las actividades que se desarrollan en el CCE y porcentaje que suponen del total de objetivos que se describen para la asignatura.

Código	Asignatura	Nº de objetivos totales	Nº de objetivos a los que contribuye el CCE	Porcentaje respecto del total de objetivos de la asignatura
AMCTN	Ámbito Científico-Tecnológico (ESPA)	9	2	22,2%
AMCM	Ámbito Científico-Tecnológico (PMAR)	11	11	100,0%
BG	Biología y Geología (ESO)	10	5	50,0%
BGb	Biología y Geología (Bachillerato)	9	3	33,3%
GO	Geología (Bachillerato)	10	2	20,0%
CA	Ciencias Aplicadas a la Actividad Profesional	4	2	50,0%
CCI	Cultura Científica (ESO)	10	3	30,0%
CC Ib	Cultura Científica (Bachillerato)	7	3	42,9%
FQ	Física y Química (ESO)	9	5	55,7%
FQb	Física y Química (Bachillerato)	8	5	62,5%
QU	Química (Bachillerato)	5	4	80,0%
MA	Matemáticas (1-2º ESO)	11	2	18,2%
MAAC	Matemáticas Académicas	11	5	45,5%
MAAP	Matemáticas Aplicadas	11	5	45,5%
PT	Proyecto de investigación e innovación integrado	9	9	100,0%
TC	Tecnología	10	2	20,0%
		135	68	50,4%

- H) Aplicar el conocimiento científico-matemático en situaciones cotidianas o para representar y explicar fenómenos naturales: MA.4 MAAC.2, MAAC.3, MAAC.4, MAAP.2, MAAP.3, MAAP.4, AMCM.4, AMCM.6, AMCM.7, BG.2, BG.5, FQ.3, FQ6, FQB.1 y QU.1.
- I) Conocer los minerales y rocas, su origen y estructura: BGB.4 y GO.8.
- J) Desarrollar actitudes y destrezas de trabajo en equipo: TC.9 y PI.6.
- K) Desarrollar actitudes y valores sociales para el avance personal, las relaciones interpersonales y la inserción social: CCI.7, CCIB.7 y PI.8.

El análisis permite apreciar que la gran mayoría de objetivos reflejan un énfasis en desarrollar una comprensión profunda de la ciencia como proceso están ya que están centrados en conseguir que los estudiantes lleguen a comprender, apreciar o valorar la actividad científica, la naturaleza de la ciencia y su conocimiento o lo que supone la indagación científica (categorías A-G). En segundo lugar, también se identifican categorías centradas en la adquisición de contenidos concretos y su aplicación práctica (H, I) que muestran cómo la orientación del currículo busca no solo que los estudiantes comprendan conceptos científicos abstractos, sino también que puedan aplicarlos en contextos reales y concretos, como puede ser la participación en un concurso científico. Por último, se distinguen dos categorías (J, K) que abarcan aspectos más relacionados con habilidades sociales e interpersonales y elementos transversales como el trabajo en equipo, que son esenciales tanto en el ámbito científico como en otros contextos educativos y profesionales.

Discusión y conclusiones

El hecho de que las actividades del concurso permitan abordar un 50% de los objetivos establecidos en el currículo de las materias seleccionadas es un indicativo del papel que puede llegar a jugar un proyecto de este tipo en la enseñanza. En primer lugar, estos resultados indican que la participación en el concurso puede ayudar a los docentes a progresar en la consecución de los objetivos que establece el currículo mientras que al mismo tiempo involucran al alumnado en actividades de aprendizaje prácticas y motivadoras (Martín-García y Dies Álvarez, 2021c). En este sentido, es remarcable que esta integración no se produce exclusivamente en las materias más afines a la temática del concurso, sino que también sucede en asignaturas que a priori se podría pensar que no tendrían una gran vinculación con el tema central del proyecto punto esto indica que las actividades del concurso tienen un marcado carácter transversal y multidisciplinar lo que amplía su aplicabilidad.

En segundo lugar, en lo que se refiere a las propias características del concurso, los hallazgos descritos indican que el concurso no debería ser considerado exclusivamente como una actividad extracurricular o complementaria de carácter lúdico sino como un recurso didáctico flexible y versátil que puede adaptarse a las características y necesidades de diferentes áreas de conocimiento. En esta línea, la integración de las actividades del concurso en la dinámica escolar podría contribuir al abordaje

simultáneo de objetivos de distintas materias lo que refleja cómo se aplican los conocimientos científicos en el mundo real donde las disciplinas que en la escuela se estudian por separado están imbricadas y se combinan para dar respuesta a los interrogantes y problemas reales. De este modo, se ofrece al alumnado una imagen más realista y holística del conocimiento científico que lo presenta como un conocimiento integrado.

Finalmente, la alineación de las actividades del concurso con el currículum puede convertirlo en un recurso para la innovación educativa facilitando que los docentes puedan explorar nuevas metodologías de enseñanza más dinámicas y participativas que de otro modo no llegarían a implementar en sus aulas. En este sentido otros trabajos han mostrado cómo los profesores consideran algunos tipos de actividades de educación no formal como una suerte de campo de pruebas donde poner en práctica ciertas estrategias de enseñanza antes de implementarlas de manera recurrente en su aula (Martín-García et al., 2024).

Por otro lado, existen otros dos aspectos del desarrollo del concurso que son claves para entender y explicar por qué puede contribuir al logro de estos objetivos promover una integración entre los dominios de la educación formal y no formal: (1) se trata de una actividad de larga duración y (2) las acciones son coordinadas y desarrolladas por los propios docentes sin la intervención de educadores externos. En muchas ocasiones, las actividades no formales como pueden ser las visitas a museos de ciencia son eventos puntuales que por lo general no tienen una continuidad en el tiempo que normalmente son dirigidas por educadores externos y no por personal docente. En cambio, en el caso del concurso las actividades se distribuyen a lo largo de la mayor parte del curso académico al mismo tiempo que los profesores están desarrollando la docencia escolar formal lo que facilita el establecimiento de conexiones referencias e interrelaciones entre lo que se está trabajando en el aula y las actividades del concurso.

El análisis documental realizado refleja cómo en los extractos del RD 1105/2014 se presentan objetivos de carácter muy general, como pueden ser los referidos a la creación de hábitos de trabajo, destrezas en el manejo de la información, desarrollo del espíritu emprendedor y la confianza en uno mismo o trabajo en equipo. En este sentido, aunque son aspectos que claramente se trabajan en el aula en el normal desarrollo de las clases y a priori podría considerarse que ya están cubiertos, también es cierto que el concurso, por la mayor libertad que otorga a los participantes y la autonomía que les permite, facilita el que se avance en ellos de una manera distinta, desde una perspectiva diferente.

Por ejemplo, la dinámica del concurso lleva a los estudiantes a tener que participar de manera activa y constructiva en un pequeño grupo de trabajo, asumiendo la responsabilidad adquirida para con el resto del grupo, aceptando las diferencias de criterio que puedan darse entre los miembros para acabar alcanzando acuerdos que les permitan seguir avanzando hacia la meta final de completar el proyecto de investigación. Por otra parte, participar en el concurso supone aceptar el desafío que entraña el hacer ciencia, reto en el que el alumno es el eje central, quien puede y debe desarrollar sus ideas demostrando su iniciativa y sus ganas de afrontar nuevas situaciones, de planificar, solucionar inconvenientes de manera

creativa, tomar decisiones y asumir las consecuencias que se deriven de ellas.

Estos objetivos más transversales se conjugan con otros que muestran un carácter más marcadamente científico y que representan una voluntad de que los estudiantes adquieran una mayor comprensión de la naturaleza del conocimiento científico y del papel jugado por la ciencia en la sociedad contemporánea pero también de que adquieran los conocimientos básicos que sustentan las diferentes disciplinas académicas.

Por ello, resulta curioso cómo los objetivos de algunas de las materias, como también sucede en los contenidos (Martín-García y Dies Álvarez, 2020, 2021^a; Vázquez y Manassero, 2017), en los criterios de evaluación y los estándares de aprendizaje evaluables, se conjugan dos visiones epistemológicamente muy diferentes de la ciencia. Por un lado, se hace referencia a *"el método científico"* y se detallan algunos de sus procedimientos característicos; por otro se presenta la ciencia como proceso cambiante y dinámico, se refieren destrezas y habilidades propias de las ciencias y a los diferentes métodos de enfrentar los problemas en los distintos campos de conocimiento.

Esta dicotomía es quizá consecuencia simplemente de una redacción en exceso relajada e imprecisa y no a una intencionalidad discriminativa por parte del legislador pero el lenguaje dista de ser inocente pues cada palabra va cargada de sus propias connotaciones y, en cualquier caso, bajo la noción de *"método científico"* subyace una creencia epistemológicamente ingenua que invita a pensar en la existencia de una metodología unitaria, singular y universal configurada a través de una serie de operaciones o etapas que se suceden para garantizar un resultado con independencia de la disciplina científica en que se apliquen.

Por el contrario, hoy se reconoce que la actividad científica, término que también se emplea en el currículo para hacer referencia a los métodos de trabajo de los científicos (Vázquez and Manassero, 2017) y que resulta más apropiado desde el punto de vista epistemológico; es muy diversa y varía en gran medida de unas especialidades a otras e incluso entre varios campos de una misma especialidad científica.

Pero, aun en el caso de que esta presentación un tanto desafortunada sea consecuencia exclusivamente de una redacción en la que se ha dado entrada a un lenguaje más cotidiano que científico, no deja de suponer una contradicción con los propios objetivos que se establecen pues estos hacen hincapié en la necesidad de llegar a ser capaz de *"comprender y expresar mensajes con contenido científico utilizando el lenguaje oral y escrito con propiedad"* (**BG.3**), *"utilizando la terminología científica de manera apropiada [...] tanto en el entorno académico como en el cotidiano"* (**FQ.2**).

No obstante, obviando estas cuestiones que, aunque revisten una cierta relevancia, quizá se posicionan en un segundo plano, lo cierto es que los diferentes objetivos que se recogen en el currículo y que a la luz del análisis presentado pueden ser trabajados desde las actividades características del CCE, abordan todos los rasgos básicos que de acuerdo con Vázquez y Manassero (2012) caracterizan al conocimiento científico:

- Provisionalidad, es un conocimiento sujeto a cambios y en continua construcción.
- Fundamentado empíricamente, asentado en la evidencia.
- En parte producido por la inferencia humana (razonamientos) la cual no equivale a la simple observación; y en parte producto de la imaginación y la creatividad (hipótesis explicaciones).
- Con una cierta subjetividad pues está cargado de teoría.
- Compuesto por un conjunto de leyes y teorías relacionadas y con diferentes funciones y empapado social y culturalmente.

La intención es, por tanto, presentar una visión de la ciencia como un proceso dinámico y en constante evolución, donde el conocimiento está en permanente construcción. Esta imagen de la ciencia se alinea con la que se busca transmitir a través de las actividades del concurso. Por ejemplo, los estudiantes, mediante la realización de diversas pruebas en distintas condiciones, tienen la oportunidad de analizar la influencia de diferentes factores en la morfología de los cristales obtenidos. Este proceso les permite construir gradualmente un conocimiento más profundo sobre el fenómeno de la cristalización, que culmina en el establecimiento de su propio modelo de cristal. De esta manera, el concurso no solo enseña conceptos científicos estáticos, sino que también fomenta una comprensión activa y crítica, donde los estudiantes experimentan directamente cómo se construye y refina el conocimiento científico.

En la misma línea las diferentes actividades del concurso remarcan el estrecho vínculo que existe entre las ciencias experimentales y las matemáticas, como los conocimientos de ambas se integran para generar una comprensión del entorno. La ciencia depende en gran medida del lenguaje matemático para poder describir y cuantificar, pero también para expresar datos e ideas, para representarlos, para resolver situaciones...etc. Así esta relación se hace patente de manera permanente durante la fase experimental, cuando los estudiantes preparan disoluciones de concentraciones determinadas, utilizan las proporciones, realizan transformaciones de unidades o elaboran una curva de solubilidad, pero también cuando observan y analizan el producto de sus esfuerzos, los cristales. A este respecto, el currículo recoge objetivos como:

“Aplicar los conocimientos geométricos para identificar, comprender y analizar formas espaciales presentes en los ámbitos familiar, laboral, científico y artístico y para crear formas geométricas, siendo sensibles a la belleza que generan al tiempo que estimulan la creatividad y la imaginación.” (**MA.4, MAAC.4, MAAP.4, AMCM.4**).

No cabe duda de que la belleza de la geometría alcanza su máximo exponente en las sugerentes cualidades estéticas de los cristales, en la armonía de sus sinuosas y gráciles formas que los han convertido en materiales que, a lo largo de la historia, han tenido un atractivo singular para la humanidad, un magnetismo que todavía mantienen y que provoca que los individuos se sientan cautivados por sus fascinantes propiedades. Propiedades estéticas y espaciales que han estimulado imaginario popular y han contribuido a crear una mentalidad mítica en torno a los materiales

cristalinos que los vincula con el más allá, con los dioses o con los poderes ocultos de la materia.

Sin embargo, las propiedades de los cristales y su relevancia para la humanidad van mucho más allá de su papel como acicate de la imaginación creativa de novelistas, artistas, esotéricos y pseudocientíficos. Estos materiales, que también se encuentran en el cuerpo humano y de otros muchos animales, se han convertido en la materia prima fundamental de campos como el de la óptica, la electrónica o la tecnología; a nivel industrial, por ejemplo en la industria agroalimentaria y en productos tan cotidianos como el chocolate, la mantequilla o la sal; y especialmente, en el campo de la investigación, donde son elementos fundamentales para el avance de disciplinas como la física, la geología, la química, la ciencia de los materiales, o la farmacología entre otras.

Por todo ello, la cristalografía resulta una disciplina que ejemplifica perfectamente tanto la importancia de transponer la investigación y el conocimiento científico a la vida cotidiana como la relevancia de las profundas relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad que constituyen la base en la que se asienta una gran cantidad de las comodidades de que hoy puede disfrutar la ciudadanía.

Finalmente, la naturaleza interdisciplinar de la cristalografía, que la convierte en un punto de encuentro de conocimientos compartidos con muchas otras especialidades científicas ya mencionadas, proporciona un reflejo fiel de la investigación científica puntera que cada vez más va abriéndose caminos gracias a los esfuerzos combinados de equipos formados por profesionales de muchos ámbitos diversos y cuyos conocimientos se complementan para potenciarse mutuamente y para crear, como diría Asimov, un conocimiento "*producto de la mutua fertilización de los saberes de distintas especialidades*".

La enseñanza de las ciencias se ha marcado desde hace años el gran reto de acercar la ciencia a la ciudadanía con independencia de su bagaje cultural y rango de edad, aunque no es esta una meta sencilla de alcanzar. Avanzar hacia esa alfabetización científica para todos pasa indefectiblemente por proporcionar un conocimiento fundamental de la naturaleza de la ciencia, puesto que la educación científica no puede contradecir los principios básicos que rigen la ciencia, es decir, los que dan cuenta del cómo, el por qué y el para qué de las actividades científicas (Vázquez and Manassero, 2012).

En este sentido, los resultados presentados muestran cómo al introducir la investigación en cristalografía bajo el paraguas que ofrece la educación no formal, el CCE facilita que se desarrollen nuevas concepciones, potenciando la integración de elementos conceptuales, habilidades procedimentales y cuestiones epistemológicas que cristalizan en un aprendizaje más completo desde el que se puede descubrir la verdadera naturaleza de la ciencia y obtener una imagen de ella y de la indagación científica más fidedignas y, al mismo tiempo, más cercana.

El crecimiento de cristales en el laboratorio a partir de una disolución es una práctica relativamente sencilla y una manera de introducir el trabajo práctico en la educación obligatoria que, de hecho, aparece específicamente

recomendada en el currículo en las orientaciones metodológicas para la materia de FyQ en primero de bachillerato en el currículo aragonés. Su utilidad a nivel educativo radica, en parte, en el hecho de que 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.

A pesar de su sencillez, la capacidad formativa de estas experiencias, cuando se organizan y estructuran adecuadamente, integrándolas en una genuina investigación científica y ofreciendo oportunidades abiertas como sucede en CCE, es muy superior a la que a primera vista se les suele conceder. Los resultados presentados en este trabajo complementan los hallazgos reseñados otros estudios (eg. Martín-García y Dies Álvarez, 2020, 2021^a, 2022b, 2022^a) y muestran cómo el concurso permite al estudiante ampliar y completar su proceso de aprendizaje.

En concreto, el CCE, por su mecánica como proyecto no formal que se presenta una final-congreso como colofón de los procesos investigación y la experimentación aúna lo mejor de tres mundos: las posibilidades de la educación no formal, los beneficios de las metodologías basadas en la indagación y el complemento que suponen las experiencias de comunicación pública de la ciencia; y lo combina para lograr una mayor alfabetización científica del alumnado, una mayor comprensión de la ciencia y sus conocimientos, y, al mismo tiempo, contribuye al cumplimiento de los objetivos curriculares, al desarrollo de las competencias clave que vertebran el currículo y facilita el que se trabajen los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables que dan su forma definitiva a los currículos de cada asignatura desde una perspectiva multidisciplinar, lo que lo convierte, por derecho propio, en una herramienta formativa que puede contribuir a la mejora de la formación de los estudiantes.

Agradecimientos

Grupo Beagle de Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales (S27_23R. Gobierno de Aragón-IUCA) y Agencia Estatal de Investigación (PID2021-1236150A-100).

Referencias bibliográficas

Affeldt, F., Tolppanen, S., Aksela, M., y Eilks, I. (2017). The potential of the non-formal educational sector for supporting chemistry learning and sustainability education for all students – a joint perspective from two cases in Finland and Germany. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(1), 13-25. <https://doi.org/10.1039/C6RP00212A>

Anderson, D., Kisiel, J., y Storksdieck, M. (2006). Understanding Teachers' Perspectives on Field Trips: Discovering Common Ground in Three Countries. *Curator: The Museum Journal*, 49(3), 365-386. <https://doi.org/10.1111/j.2151-6952.2006.tb00229.x>

Aubusson, P., Griffin, J., and Kearney, M. (2012). Learning Beyond the Classroom: Implications for School Science. En B. J. Fraser, K. Tobin, and C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*

(pp. 1123–1134). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_74

Bamberger, Y., and Tal, T. (2008). Multiple Outcomes of Class Visits to Natural History Museums: The Students' View. *Journal of Science Education and Technology*, 17(3), 274–284. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9097-3>

Bisquerra, R. (2004). *Metodología de la investigación educativa* (Segunda). Madrid: La Muralla.

Braund, M., and Reiss, M. (2006). Towards a More Authentic Science Curriculum: The contribution of out-of-school learning. *International Journal of Science Education*, 28(12), 1373–1388. <https://doi.org/10.1080/09500690500498419>

Cook, K., y Weiland, I. (2013). Dialogue among educators: Understanding the intended goals and perceived roles within a non-formal and formal educator partnership. *Journal of Sustainability Education*, 5, 1–17.

Cuesta-López, M. P., and Jiménez-Pérez, R. (2017). Adquisición de competencias científicas a través de un concurso de ciencia escolar en contexto no formal. En J. L. Bravo Galán (Ed.), *27 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 979–987).

DeWitt, J., and Storksdieck, M. (2008). A Short Review of School Field Trips: Key Findings from the Past and Implications for the Future. *Visitor Studies*, 11(2), 181–197. <https://doi.org/10.1080/10645570802355562>

Díaz Herrera, C. (2018). Investigación cualitativa y análisis de contenido temático. Orientación intelectual de revista Universum. *Revista General de Información y Documentación*, 28(1), 119–142. <https://doi.org/10.5209/RGID.60813>

Eshach, H. (2007). Bridging In-school and Out-of-school Learning: Formal, Non-Formal, and Informal Education. *Journal of Science Education and Technology*, 16(2), 171–190. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9027-1>

Fallik, O., Rosenfeld, S., and Eylon, B.-S. (2013). School and out-of-school science: A model for bridging the gap. *Studies in Science Education*, 49(1), 69–91. <https://doi.org/10.1080/03057267.2013.822166>

García-Ruiz, J. M. (2013). Cristalización en la Escuela. *Anales de La Real Sociedad Española de Química*, 109(3), 244–245.

Garner, N., and Eilks, I. (2015). The Expectations of Teachers and Students Who Visit a Non-Formal Student Chemistry Laboratory. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(5), 1197–1210. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1415a>

Gómez, P., and Martín, A. (2016). Concurso de Cristalización en la Escuela de Madrid. *Anales de Química*, 112(2), 116–117. Recuperado de <https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/issue/view/60/67>

Gottfried, M. A., and Williams, D. (2013). STEM Club Participation and STEM Schooling Outcomes. *Education Policy Analysis Archives*, 21, 79. <https://doi.org/10.14507/epaa.v21n79.2013>

Guisasola, J., and Morentin, M. (2007). ¿Qué papel tienen las visitas escolares a los museos de ciencias en el aprendizaje de las ciencias?: Una revisión de las investigaciones. *Enseñanza de Las Ciencias*, 25(3), 401–414. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3704>

Halonen, J., and Aksela, M. (2018). Non-formal science education: The relevance of science camps. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 6(2), 64–85. <https://doi.org/10.31129/LUMAT.6.2.316>

Hofstein, A., and Rosenfeld, S. (1996). Bridging the Gap Between Formal and Informal Science Learning. *Studies in Science Education*, 28(1), 87–112. <https://doi.org/10.1080/03057269608560085>

Itzek-Greulich, H., Flunger, B., Vollmer, C., Nagengast, B., Rehm, M., y Trautwein, U. (2015). Effects of a science center outreach lab on school students' achievement – Are student lab visits needed when they teach what students can learn at school? *Learning and Instruction*, 38, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.03.003>

Jarvis, T., and Pell, A. (2005). Factors influencing elementary school children's attitudes toward science before, during, and after a visit to the UK National Space Centre. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 53–83. <https://doi.org/10.1002/tea.20045>

Karnezou, M., Pnevmatikos, D., Avgitidou, S., and Kariotoglou, P. (2021). The structure of teachers' beliefs when they plan to visit a museum with their class. *Teaching and Teacher Education*, 99, 103254. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2020.103254>

Kisiel, J. (2005). Understanding elementary teacher motivations for science fieldtrips. *Science Education*, 89(6), 936–955. <https://doi.org/10.1002/sce.20085>

Kohler Riessman, C. (2008). *Narrative methods for the human sciences* (1st ed.). Thousand Oaks: Sage Publications.

Lemelin, N., and Bencze, L. (2004). Reflection-on-action at a science and technology museum: Findings from a university-museum partnership. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 4(4), 467–481. <https://doi.org/10.1080/14926150409556628>

Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación., BOE-A-2020-17264 122868 (2020).

Lucas, K. B. (2000). One teacher's agenda for a class visit to an interactive science center. *Science Education*, 84, 524–544. [https://doi.org/10.1002/1098-237X\(200007\)84:4<524::AID-SCE6>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/1098-237X(200007)84:4<524::AID-SCE6>3.0.CO;2-X)

Martín-García, J., Afonso, A. S., and Dies Álvarez, M. E. (2024). School Science Clubs: What is Their Value for Teachers? En O. Curaoglu, G. Kaya, M. Sardag, and B. Altintas (Eds.), *Proceedings Book Series-IV of the ESERA*

2023 Conference. *Connecting Science Education with Cultural Heritage* (1st Edition, pp. 212–225). Cappadocia: Nobel Bilimsel Eserler. Recuperado de https://www.esera.org/wp-content/uploads/2024/10/ESERA-proceedings_book-IV.pdf

Martín-García, J., y Dies Álvarez, M. E. (2020). El currículo de Geología a través del Concurso de Cristalización en la Escuela. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 28.3, 291-298. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/413706/508577>

Martín-García, J., y Dies Álvarez, M. E. (2021^a). Actividades no formales como estrategia para abordar el currículo de Física y Química: El Concurso de Cristalización en la Escuela. *Anales de Química*, 117(3), 240-245. Recuperado de <https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/1659>

Martín-García, J., y Dies Álvarez, M. E. (2021b). El Concurso de Cristalización en la Escuela como herramienta no formal de formación del profesorado en activo. En F. Cañada y P. Reis (Eds.), *Actas electrónicas del XI Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias 2021. Aportaciones de la educación científica para un mundo sostenible* (pp. 463-466). Lisboa: Enseñanza de las Ciencias. Recuperado de https://congresoenseciencias.org/wp-content/uploads/2021/09/Actas-Electronicas-del-XI-Congreso_compressed.pdf

Martín-García, J., y Dies Álvarez, M. E. (2021c). La relación profesor-alumno en contextos no formales: El Concurso de Cristalización en la Escuela. En J. A. Marín, J. M. Trujillo Torres, G. Gómez García, y M. N. Campos Soto (Eds.), *Hacia una educación sostenible en educación*. (Primera, pp. 355-367). Madrid: Dykinson. Recuperado de https://docencia.cua.uam.mx/wp-content/uploads/2022/05/Coimbra_capi%CC%81tulolibro.pdf

Martín-García, J., y Dies Álvarez, M. E. (2022^a). La cara «secreta» del Concurso de Cristalización en la Escuela. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 110, 27-33.

Martín-García, J., y Dies Álvarez, M. E. (2022b). La educación científica en el contexto de las competencias clave: Un ejemplo de lo que la educación no formal puede aportar. *EDUCA. Revista Internacional para la calidad educativa*, 2(2), 116-133. <https://doi.org/10.55040/educa.v2i2.31>

Martín-García, J., y Dies Álvarez, M. E. (2024). Educación no formal en ciencias: El Concurso de Cristalización en la Escuela. *Tesis de la Universidad de Zaragoza*, 2024-240. <https://zaguán.unizar.es/record/135799>

Melchior, A., Burack, C., Gutbezahl, J., Hoover, M., and Marcus, J. (2015). *FIRST Longitudinal Study: Summary of Preliminary Findings – Year 2* (pp. 1–6). The Center for Youth and Communities Heller School for Social Policy and Management Brandeis University.

Miller, K., Sonnert, G., and Sadler, P. (2018). The influence of students' participation in STEM competitions on their interest in STEM careers. *International Journal of Science Education, Part B*, 8(2), 95–114. <https://doi.org/10.1080/21548455.2017.1397298>

Nguyen, N., y Van Meervelt, L. (2015). Growing-crystals, lighting up dreams-crystal growing competition in Vietnam. *Acta Crystallographica Section A Foundations and Advances*, 71, 528.

Niculae, M., Niculae, C. M., and Barna, E. (2011). Non-formal science education: Promoting learning through experiment. *Romanian Reports in Physics*, 63(3), 890-897. Recuperado de https://rrp.nipne.ro/2011_63_3/art24Niculae.pdf

Oliva, J. M., Matos, J. M., and 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. Recuperado de https://reec.uvigo.es/volumenes/volumen07/ART9_Vol7_N1.pdf

Oliva, J. M., Matos, J., Bueno, E., Bonat, M., Domínguez, J., Vázquez, A., y Acevedo, J. A. (2004). Las exposiciones científicas escolares y su contribución en el ámbito afectivo de los alumnos participantes. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 22(3), 425-440. Recuperado de <https://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v22n3/02124521v22n3p425.pdf>

Retana Alvarado, D. A., Vázquez-Bernal, B., and Camacho-Álvarez, 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>

Romi, S., and Schmida, M. (2009). Non-formal education: A major educational force in the postmodern era. *Cambridge Journal of Education*, 39(2), 257-273. <https://doi.org/10.1080/03057640902904472>

Tisza, G., Papavlasopoulou, S., Christidou, D., Iivari, N., Kinnula, M., and Voulgari, I. (2020). Patterns in informal and non-formal science learning activities for children—A Europe-wide survey study. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 25, 100184. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2020.100184>

Tolppanen, S., Vartiainen, J., Ikävalko, V.-M., and Aksela, M. (2015). Relevance of Non-Formal Education in Science Education. En I. Eilks and A. Hofstein (Eds.), *Relevant Chemistry Education: From Theory to Practice* (pp. 335-354). Rotterdam: SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-175-5_18

Tsybulsky, D. (2019). Students meet authentic science: The valence and foci of experiences reported by high-school biology students regarding their participation in a science outreach programme. *International Journal of Science Education*, 41(5), 567-585. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1570380>

Van Meervelt, L. (2014). Towards a world-wide crystal growing competition. *Acta Crystallographica Section A Foundations and Advances*, 70(a1), C1044-C1044. <https://doi.org/10.1107/S2053273314089554>

Vázquez, Á., and Manassero, M. A. (2007). Las actividades extraescolares relacionadas con la ciencia y la tecnología. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 9(1). Recuperado de <http://redie.uabc.mx/vol9no1/contenido-vazquez3.html>

Vázquez, Á., and Manassero, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias.*, 9(1), 2–31. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2012.v9.i1.02

Vázquez, Á., and 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), 294–312. Recuperado de <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/47506/58064-172222-1-SM%2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

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>

Welch, A. G., and Huffman, D. (2011). The Effect of Robotics Competitions on High School Students' Attitudes Toward Science: Robotics and Student Attitudes. *School Science and Mathematics*, 111(8), 416–424. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00107.x>

Whelan, J., Koussa, J., Chehade, I., Sabanovic, M., Chang, A., Carelli, D., An, Z., Zhang, L., Bernstein, J., y Rabeh, W. M. (2018). Crystal growth, a research-driven laboratory course. *Journal of Applied Crystallography*, 51(5), 1474–1480. <https://doi.org/10.1107/S1600576718009573>

Wotring, A., Chen, H., y Fraser, M. (2021). Exploring Curriculum Alignment through Syllabus Document Analysis: From National Language Policy to Local ELT Practice. *Iranian Journal of Language Teaching Research*, 9(2), 57–72. <https://doi.org/10.30466/ijltr.2021.121045>

Wünschmann, S., Wüst-Ackermann, P., Randler, C., Vollmer, C., and Itzek-Greulich, H. (2017). Learning Achievement and Motivation in an Out-of-School Setting—Visiting Amphibians and Reptiles in a Zoo Is More Effective than a Lesson at School. *Research in Science Education*, 47(3), 497–518. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9513-2>