

Actividades no formales como estrategia para abordar el currículo de Física y Química

El Concurso de Cristalización en la Escuela

ENSEÑANZA
DE LA QUÍMICA



J. Martín-García

M. E. Dies Álvarez

Departamento de Didácticas Específicas
Universidad de Zaragoza
Instituto Universitario de Ciencias
Ambientales de Aragón (IUCA).

Facultad de Educación
C/ Pedro Cerbuna 12
(50009), Zaragoza

C-e: araujo@unizar.es

Recibido: 08/01/2021

Aceptado: 10/09/2021

ORCID: 0000-0002-2247-0826

ORCID: 0000-0002-6594-3021

Jorge Martín-García y María Eugenia Dies Álvarez

Resumen: Las enseñanzas no formales constituyen hoy un magnífico complemento a la educación científica que ofrece la escuela. En esta línea, este trabajo presenta un análisis de los contenidos curriculares de Física y Química que se pueden abordar a través de la participación en una actividad científica no formal como el Concurso de Cristalización en la Escuela. Los resultados muestran cómo la metodología que le caracteriza permite, no sólo trabajar y afianzar contenidos concretos, sino también ofrecer a los estudiantes una visión más adecuada de la naturaleza de la ciencia, contribuyendo a su alfabetización científica.

Palabras clave: Alfabetización científica; cristalografía; currículo; educación no formal; enseñanza de la química.

Abstract: Non-formal education is nowadays recognized as a useful complement to the scientific education that is offered in the school. In this context, this paper presents a brief analysis of the Spanish national curriculum contents for the subjects of Physics and Chemistry, that may be covered while participating in a scientific out-of-school activity, a crystal-growing contest named Concurso de Cristalización en la Escuela (CCE). Results show that the methodology followed in the contest allows teachers to introduce some curricular contents and to present a more accurate view of the nature of science, supporting their students' scientific literacy.

Keywords: Chemistry education; crystallography; non-formal education; secondary school curriculum; scientific literacy.

Introducción

La educación no formal ha experimentado un gran auge y se ha ido consolidando a lo largo de los años hasta prácticamente conformar un sistema complementario a la educación formal. En este sentido, ofrece ya una panoplia enormemente extensa de oportunidades diferentes que permiten adquirir gran cantidad de aprendizajes, quizá más incluso que el propio sistema educativo.^[1] Por lo tanto, se trata de un elemento que aporta un valor adicional tanto a la educación en general como a la enseñanza de las ciencias en particular.

Estas actividades proporcionan nuevas oportunidades de aprendizaje, diferentes e innovadoras, que se llevan a cabo, por lo general, en entornos más contextualizados y conectados con el mundo real.^[2] Así se convierten en espacios que promueven un aprendizaje más significativo, apoyando en el desarrollo cognitivo de los estudiantes^[3] mediante experiencias más amplias, difícilmente reproducibles en el aula y en las que se emplean recursos y materiales que no suelen estar presentes en la enseñanza tradicional. Por ejemplo, su mayor flexibilidad permite tratar los temas con mayor detenimiento y en mayor profundidad o, por el contrario, optar por una perspectiva más holística. Por último, también es sabido que ponen en acción meca-

nismos que activan la motivación y la curiosidad de los estudiantes, actuando como elementos de atracción hacia la ciencia.^[4]

Garantizar una educación científica de calidad pasa por integrar ambas culturas, formal y no formal, para producir una enseñanza más significativa. De hecho, algunos trabajos^[5] revelan cómo la conexión, entre ambos sistemas, resulta beneficiosa para el aprendizaje significativo y la enseñanza efectiva de las ciencias ya que ofrece un apoyo adicional y permite integrar conceptos e implementar nuevas formas de aprender.^[1] Sin embargo, participar en actividades no formales no siempre es posible. Los currículos actuales presentan una gran cantidad de contenidos, eminentemente conceptuales, que no tienen en cuenta los tiempos de que se dispone en el aula.

Como consecuencia, normalmente los docentes se ven obligados a centrar sus esfuerzos en satisfacer las exigencias curriculares y cubrir la totalidad del programa, dejando en un segundo plano otros elementos igualmente importantes como, por ejemplo, el transmitir una imagen adecuada de la naturaleza de la ciencia. No obstante, es necesario incorporar también estos elementos, ya que una verdadera alfabetización científica implica comprender la

naturaleza y procedimientos de la ciencia. Como señalan Caamaño e Izquierdo:^[7]

No hay tiempo para desarrollar dos programas en paralelo: trabajar con el alumnado los conceptos químicos y los problemas y preguntas de siempre según aparecen en los libros de texto y, por otro lado, trabajar más a fondo la comprensión conceptual, las competencias de investigación.

Por lo tanto, todos deben ser trabajados de manera conjunta. Por otra parte, si como defienden Anderson, Kiesel y Storksdiak,^[8] los contextos no formales deben partir de las necesidades de los participantes, ya sean profesores o alumnos, sería lícito plantear que cualquier actividad de este tipo estuviera concebida de manera que permitiera abordar, al menos, una fracción de los contenidos curriculares y trabajar conforme a los principios que rigen la enseñanza, para contribuir al logro de sus objetivos. Guisasa y Morentin^[9] remarcan la necesidad de integrar en el currículo este tipo de actividades para lograr una enseñanza eficaz. De hecho, poder trabajar contenidos del currículo es una de las principales razones por las que los profesores participan en actividades no formales.

En esta línea, se presenta a continuación un análisis del currículo nacional para las asignaturas de Física y Química. Se pretende con ello revelar los contenidos del mismo que se pueden abordar a través de una actividad científica no formal, como es el Concurso de Cristalización en la Escuela (CCE).^[10,11]

El concurso es un proyecto que persigue despertar el espíritu investigador del alumnado dándole a conocer la ciencia desde dentro, a través de la realización de proyectos de crecimiento cristalino en los que se ponen en marcha los diferentes elementos de la actividad científica. Así, más concretamente, se aprovecha el atractivo inherente al trabajo de laboratorio y a los propios cristales para contribuir al desarrollo de algunas de las destrezas propias de los científicos y alcanzar una comprensión más profunda de qué es la ciencia y cómo se construye.

Método

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. Así, la legislación que se maneja en cada comunidad difiere del resto, por ello, se ha optado por circunscribir este trabajo exclusivamente al decreto de enseñanzas mínimas (*Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*) que establece el marco normativo básico para todo el territorio nacional.

Se presenta, de este modo, un análisis documental del contenido de dicho decreto, centrado en las materias de Física y Química, tanto de Educación Secundaria Obligatoria, como de Bachillerato. Se han excluido de esta selección las materias correspondientes a 2.º de Bachillerato

por motivos de extensión del artículo y por el hecho de que son muy pocos los estudiantes de este curso que participan en el concurso en Aragón.

El análisis considera los tres elementos principales que conforman el currículo desde la entrada en vigor de *Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa*: contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables como concreción última de lo que el estudiante debe saber.

Resultados

La Química, como también la Física, son disciplinas de un marcado carácter experimental que se asientan tanto en destrezas y procedimientos como en el control de variables, la observación, el trabajo en el laboratorio o la medida de magnitudes entre otras. Esta realidad debe reflejarse en el currículo que ha de incluir en las materias los métodos propios de la racionalidad científica y las habilidades que caracterizan el trabajo en este ámbito. Por ello, el primer bloque de contenidos de cada curso (Tablas 1, 2 y 3) está destinado al desarrollo de las capacidades inherentes a este tipo de trabajo, en las que se va profundizando progresivamente, curso a curso, a través de la experimentación y la realización de proyectos de investigación. Aun así, son pocas las ocasiones en que los escolares pueden explorar realmente lo que hacen los científicos, usar el lenguaje de la ciencia y llevar a cabo una verdadera actividad científica.^[12,13]

El concurso está concebido, precisamente, para ofrecer esta oportunidad. En él los estudiantes, normalmente trabajando en grupos cooperativos, se plantean preguntas, buscan información y elaboran hipótesis para darles respuesta. Además, diseñan y planifican experimentos en los que manipulan los instrumentos de uso frecuente en el laboratorio (probetas, pipetas, termómetros, matraces aforados, placas calefactoras, agitadores magnéticos etc.) y llevan a cabo procedimientos habituales como la pesada o el enrase y diferentes procesos de separación y purificación, como la filtración o la decantación; que les proporcionan datos con los que comprobar sus teorías y extraer sus conclusiones.

Finalmente, presentan sus hallazgos a sus compañeros y profesores, de donde deriva la elección de los representantes del centro en la final del concurso, para la que elaboran un poster resumen del proyecto que, junto con el material obtenido y sus anotaciones de laboratorio, han de defender ante un jurado en una jornada abierta al público y organizada a modo de «congreso científico».

El desarrollo de estos proyectos permite al estudiante completar su proceso de aprendizaje, gestionándolo y potenciándolo de una manera mucho más autónoma. Además, no sólo permite cubrir por completo el primer bloque curricular, sino que también proporciona un conocimiento básico de la ciencia, de cómo se construye, de la diversidad de sus procedimientos y de su naturaleza. De este modo, el concurso contribuye al objetivo principal que marca el currículo de Física y Química para la etapa de se-

Tabla 1. Contenidos, Criterios de evaluación y Estándares de Aprendizaje Evaluables del Bloque 1 de Física y Química (2.º y 3.º de la ESO).

Bloque 1. La actividad científica	
Contenidos: El método científico: sus etapas. Medida de magnitudes. Utilización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación. Notación científica. El trabajo en el laboratorio. Proyecto de investigación.	
Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
1. Reconocer e identificar las características del método científico.	1.1. Formula hipótesis para explicar fenómenos cotidianos utilizando teorías y modelos científicos. 1.2. Registra observaciones, datos y resultados de manera organizada y rigurosa, y los comunica de forma oral y escrita utilizando esquemas, gráficos, tablas y expresiones matemáticas.
2. Valorar la investigación científica y su impacto en la industria y en el desarrollo de la sociedad.	2.1. Relaciona la investigación científica con las aplicaciones tecnológicas en la vida cotidiana.
3. Conocer los procedimientos científicos para determinar magnitudes.	3.1. Establece relaciones entre magnitudes y unidades utilizando, preferentemente, el Sistema Internacional de Unidades y la notación científica para expresar los resultados.
4. Reconocer los materiales, e instrumentos básicos presentes del laboratorio de Física y en de Química; conocer y respetar las normas de seguridad y de eliminación de residuos para la protección del medioambiente.	4.1. Reconoce e identifica los símbolos más frecuentes utilizados en el etiquetado de productos químicos e instalaciones, interpretando su significado. 4.2. Identifica material e instrumentos básicos de laboratorio y conoce su forma de utilización para la realización de experiencias respetando las normas de seguridad e identificando actitudes y medidas de actuación preventivas.
6. Desarrollar pequeños trabajos de investigación en los que se ponga en práctica la aplicación del método científico	6.1. Realiza pequeños trabajos de investigación sobre algún tema objeto de estudio aplicando el método científico, y utilizando las TIC para la búsqueda y selección de información y presentación de conclusiones. 6.2. Participa, valora, gestiona y respeta el trabajo individual y en equipo

cundaria, que no es otro que ayudar a cimentar una cultura científica básica y acercar la ciencia a los adolescentes.

Asimismo, también aprenden a establecer relaciones cuantitativas entre los conceptos, calculando concentraciones, cantidades y volúmenes, elaborando gráficos que representan dichas relaciones, como las curvas de solubilidad,^[14] y pudiendo apreciar las influencia que tienen factores como la temperatura en dichas relaciones. Finalmente, en los cursos superiores (1.º de Bachillerato, Tabla 4) es posible profundizar un poco más en la temática, dando entrada al estudio de las disoluciones reales y, más en concreto, de sus propiedades coligativas, mediante la observación y el estudio de fenómenos como el aumento ebulloscópico.

Tabla 2. Contenidos, Criterios de evaluación y Estándares de Aprendizaje Evaluables del Bloque 1 de Física y Química (4.º de la ESO).

Bloque 1. La actividad científica	
Contenidos: La investigación científica. Errores en la medida. Expresión de resultados. Análisis de los datos experimentales. Tecnologías de la Información y la Comunicación en el trabajo científico. Proyecto de investigación.	
Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
2. Analizar el proceso que debe seguir una hipótesis desde que se formula hasta que es aprobada por la comunidad científica.	2.1. Distingue entre hipótesis, leyes y teorías, y explica los procesos que corroboran una hipótesis y la dotan de valor científico.
5. Comprender que no es posible realizar medidas sin cometer errores y distinguir entre error absoluto y relativo.	7.1. Representa gráficamente los resultados obtenidos de la medida de dos magnitudes relacionadas infiriendo, en su caso, si se trata de una relación lineal, cuadrática o de proporcionalidad inversa, y deduciendo la fórmula
7. Realizar e interpretar representaciones gráficas de procesos físicos o químicos a partir de tablas de datos y de las leyes o principios involucrados.	8.1. Elabora y defiende un proyecto de investigación, sobre un tema de interés científico, utilizando las TIC.
8. Elaborar y defender un proyecto de investigación, aplicando las TIC.	

Tabla 3. Contenidos, Criterios de evaluación y Estándares de Aprendizaje Evaluables del Bloque 1 de Física y Química (1.º de Bachillerato).

Bloque 1. La actividad científica	
Contenidos: Estrategias necesarias en la actividad científica. Tecnologías de la Información y la Comunicación en el trabajo científico. Proyecto de investigación.	
Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
1. Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica como: plantear problemas, formular hipótesis, proponer modelos, elaborar estrategias de resolución de problemas y diseños experimentales y análisis de los resultados	1.1. Aplica habilidades necesarias para la investigación científica, planteando preguntas, identificando problemas, recogiendo datos, diseñando estrategias de resolución de problemas utilizando modelos y leyes, revisando el proceso y obteniendo conclusiones. 1.2. Resuelve ejercicios numéricos expresando el valor de las magnitudes empleando la notación científica, estima los errores absoluto y relativo asociados y contextualiza los resultados. 1.5. Elabora e interpreta representaciones gráficas de diferentes procesos físicos y químicos a partir de los datos obtenidos en experiencias de laboratorio o virtuales y relaciona los resultados obtenidos con las ecuaciones que representan las leyes y principios subyacentes.
	1.6. A partir de un texto científico, extrae e interpreta la información, argumenta con rigor y precisión utilizando la terminología adecuada.
	2.2. Establece los elementos esenciales para el diseño, la elaboración y defensa de un proyecto de investigación, sobre un tema de actualidad científica, vinculado con la Física o la Química, utilizando preferentemente las TIC.

Tabla 4. Contenidos, Criterios de evaluación y Estándares de Aprendizaje Evaluables del Bloque 2 de Física y Química (1.º de Bachillerato).

Bloque 2. Aspectos cuantitativos de química	
Contenidos: Disoluciones: formas de expresar la concentración, preparación y propiedades coligativas.	
Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
4. Realizar los cálculos necesarios para la preparación de disoluciones de una concentración dada y expresarla en cualquiera de las formas establecidas.	4.1. Expresa la concentración de una disolución en g/l, mol/l % en peso y % en volumen. Describe el procedimiento de preparación en el laboratorio, de disoluciones de una concentración determinada y realiza los cálculos necesarios, tanto para el caso de solutos en estado sólido como a partir de otra de concentración conocida.
5. Explicar la variación de las propiedades coligativas entre una disolución y el disolvente puro.	5.1. Interpreta la variación de las temperaturas de fusión y ebullición de un líquido al que se le añade un soluto relacionándolo con algún proceso de interés en nuestro entorno.

Por otra parte, una de las actividades fundamentales a realizar en el concurso, probablemente la más recurrente, es la preparación de disoluciones con diferentes solutos y, a veces, disolventes; distintas concentraciones y volúmenes y a diferentes temperaturas. De este modo, en el transcurso del proyecto, los alumnos adquieren y consolidan conceptos como los de soluto, disolvente, concentración, dilución, disolución diluida, saturada o sobresaturada, evaporación etc., que forman parte del segundo bloque de contenidos tanto en 2.º y 3.º de la ESO como en 1.º de Bachillerato (Tablas 4 y 5). Además, también refuerzan otros contenidos más básicos relacionados con ellos, como masa, volumen, densidad o temperatura.

En esta misma línea Guzei,^[15] en su estudio sobre el «*Wisconsin High School Crystal Growing Competition*», un evento prácticamente idéntico al CCE, señala cómo los profesores participantes reconocen la utilidad de la actividad para facilitar el aprendizaje de conceptos relacionados con la solubilidad de los compuestos, la concentración o las buenas prácticas de laboratorio. Otros autores^[16] también remarcan la capacidad de las prácticas de cristalización como herramienta para la introducción de contenidos básicos de química y de física y el desarrollo de destrezas básicas de investigación y de trabajo en el laboratorio (la pesada, el enrase, la determinación volumétrica, la filtración, el calentamiento etc.).

Por otro lado, el concurso también contribuye a que los estudiantes adquieran una mejor comprensión de la estructura interna de la materia (Tabla 4) y que comprendan, con mayor facilidad cómo se forma un sólido cristalino pudiendo, además, comprobar cómo va aumentando su masa paulatinamente. Así se familiarizan con los conceptos de cristal, semilla, estructura cristalina, celda unidad, etc., que son fundamentales para comprender otros muchos contenidos de química como, por ejemplo, las propiedades de los diferentes tipos de sustancias.

Finalmente, dado que el currículo de secundaria y bachillerato coloca a las competencias como elemento cen-

Tabla 5. Contenidos, Criterios de evaluación y Estándares de Aprendizaje Evaluables del Bloque 2 de Física y Química (2.º y 3.º de la ESO).

Bloque 2. La materia	
Contenidos: Sustancias puras y mezclas. Mezclas de especial interés: disoluciones acuosas, aleaciones y coloides. Uniones entre átomos: moléculas y cristalinas.	
Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
4. Identificar sistemas materiales como sustancias puras o mezclas y valorar la importancia y las aplicaciones de mezclas de especial interés.	4.2. Identifica el disolvente y el soluto al analizar la composición de mezclas homogéneas de especial interés. 4.3. Realiza experiencias sencillas de preparación de disoluciones, describe el procedimiento seguido y el material utilizado, determina la concentración y la expresa en gramos por litro.
5. Proponer métodos de separación de los componentes de una mezcla.	5.1. Diseña métodos de separación de mezclas según las propiedades características de las sustancias que las componen, describiendo el material de laboratorio adecuado.
9. Conocer cómo se unen los átomos para formar estructuras más complejas y explicar las propiedades de las agrupaciones resultantes.	

tral del proceso educativo, ninguna revisión del mismo estará completa si no se dirige la atención a ellas. A este respecto, la competencia matemática y las competencias básicas en ciencia y tecnología impregnan todas las actividades del proyecto, involucrando tanto la dimensión conceptual (contenidos y conceptos), como procedimental (toma de datos, control de variables) e incluso epistémica (cómo se genera el conocimiento); pero; los participantes deberán, también movilizar el resto de competencias clave.^[17,18]

Así, por ejemplo, el papel del alumno como la persona que puede y debe desarrollar sus propios proyectos e ideas lleva al estudiante a movilizar su sentido de la iniciativa y su espíritu emprendedor. No obstante, al trabajar en equipo, tendrá que consensuar sus decisiones con sus compañeros, negociando la distribución de las tareas y poniendo en marcha sus competencias sociales y cívicas. La búsqueda de información en distintas fuentes y su selección, en cambio, contribuyen a consolidar la competencia de aprender a aprender y la competencia digital, que también pondrán en juego a la hora de preparar el póster, blog o vídeo y elaborar las representaciones gráficas de los datos obtenidos.

Durante la final del concurso deberán mostrar sus resultados y conclusiones, preparando, resumiendo y presentando la información con precisión y concisión, pero también expresando, defendiendo y argumentando ideas científicas, apropiándose de la terminología y el lenguaje científicos y empleándolos para elaborar una auténtica comunicación oral, como lo harían para un congreso. Esta forma de trabajar, que ya ha demostrado su utilidad tanto en primaria como en secundaria,^[19] permite poner en marcha la compe-

tencia en comunicación lingüística y habilidades como las mencionadas que de otro modo no se desarrollarían.

Por último, la competencia en conciencia y expresiones culturales es, probablemente, la que presenta una menor conexión con el concurso y, sin embargo, la final permite descubrir un aspecto menos conocido de la cultura científica, los congresos donde los investigadores dan a conocer sus trabajos al resto de la comunidad científica; mientras que el resto de actividades muestran cómo la cristalografía es responsable de muchos de los avances tecnológicos que sostienen las condiciones de vida de que hoy disfrutan las sociedades modernas, lo que contribuye a una mejor comprensión de la cultura contemporánea.

Conclusiones

El crecimiento de cristales en el laboratorio a partir de una disolución es una práctica relativamente sencilla y muy frecuente en los laboratorios de las materias de química en secundaria. Sin embargo, la capacidad formativa de estas experiencias es muy superior a la que se les suele conceder. Como muestra de ella, en este trabajo se ha presentado una revisión del currículo nacional básico (Real Decreto 1105/2014) para las asignaturas de Física y Química en la que se ha incidido en los diferentes contenidos que se pueden abordar en el marco del Concurso de Cristalización en la Escuela y a partir de la cual se han extraído una serie de conclusiones que ahora se presentan.

En primer lugar, se ha mostrado cómo el concurso es una herramienta que permite abordar bloques prácticamente completos del currículo, como son los asociados con la actividad científica, gracias a la dinámica de trabajo que le caracteriza. Esta metodología facilita la explotación de cuestiones científicas mediante la puesta en marcha de diferentes estrategias de indagación cooperativa, centradas en la participación del alumno, algo que desde hace años se ha demandado en la enseñanza de las ciencias.^[20]

De este modo, se desarrollan 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 desterrar del ideario del estudiante algunas concepciones alternativas y erróneas como, por ejemplo, la unicidad y estaticidad del método científico.

En segundo lugar, se revela cómo el concurso también permite trabajar algunos contenidos de otros bloques, como los relaciones con el tema de las disoluciones. En este caso, se trata de contenidos que muchas veces los estudiantes de secundaria no dominan, porque no resultan tan intuitivos y comprensibles para ellos como se podría pensar por lo que no terminan de comprenderlos adecuadamente, encontrando dificultades a la hora de realizar los cálculos y procedimientos necesarios para elaborarlas.^[21]

En estos niveles educativos tampoco se manejan con soltura siempre otros conceptos más elementales, como densidad, concentración o masa de soluto y masa de diso-

lución.^[22] El concurso proporciona una oportunidad para abordar todos estos contenidos en el laboratorio, de una manera más contextualizada y práctica, que puede contribuir a clarificarlos y reforzarlos, a profundizar en ellos y a ampliarlos.

En definitiva, parece que se puede considerar al concurso una actividad favorecedora de la formación y la competencia científica del alumnado, que permite abordar diferentes contenidos curriculares, pero también ir más allá del currículo, dejando que los escolares profundicen en temas que les interesen y puedan descubrir la cristalografía y su relevancia tanto en los avances de la química como en los de otras muchas disciplinas.

La finalidad última de la educación científica, en una etapa como la secundaria y, en menor medida en el bachillerato, no es otra que contribuir a la alfabetización científica de los estudiantes, ayudándoles a comprender las ideas esenciales de la ciencia y la relevancia que esta tiene en la vida cotidiana de las personas. Lograrlo supone trascender los contenidos conceptuales y proporcionar a los escolares una cierta cultura científica desde la que puedan entender cómo funciona la ciencia y cómo se construye el conocimiento científico. En este contexto, el CCE y otras tantas actividades no formales que se encuentran a disposición de los centros y los educadores, tienen mucho que aportar, ya que muestran la cara más desconocida pero también más agradable de la ciencia.

Agradecimientos

Este trabajo supone 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 disfruta de un contrato predoctoral del Gobierno de Aragón (ORDEN IJU/796/2019).

Bibliografía

- [1] Ortega, J. *Rev. Educ.* **2005**, *338*, 167-175.
- [2] Muscat, M.; Pace, P. *JBSE*. **2013**, *12*(3), 337-351.
- [3] Garner, N.; Eilks, I. *EJMSTE*. **2015**, *11*(5), 1197-1210.
- [4] Oliva, J. M.; Matos, J. M.; Acevedo, J. A. *REEC*. **2008**, *7*(1), 178-198.
- [5] Garner, N.; Hayes, S.; Eilks, I. *Sisyphos J. Educ.* **2014**, *2*(2), 10-31.
- [6] Vázquez, Á.; Manassero, M. A. *REDIE*. **2007**, *9*(1).
- [7] Caamaño, A.; Izquierdo, M. *Alambique* **2003**, *60*, 60-67.
- [8] Anderson, D.; Kisiel, J.; Storksdiack, M. *Curator Mus. J.* **2006**, *49*(3), 365-386.
- [9] García-Ruiz, J. M. *An. Quím.* **2013**, *109*(3), 244-245.
- [10] Gómez, P.; Martín, A. *An. Quím.* **2016**, *112*(2), 116-117.
- [11] Guisasaola, J.; Morentin, M. *Enseñ. Las Cienc.* **2007**, *25*(3), 401-414.
- [12] García Molina, R. *REurEDC* **2011**, *8*(0), 370-392.

- [13] Osborne, J.; Dillon, J. *Science Education in Europe: Critical Reflections*; 13; The Nuffield Foundation. Londres, 2008.
- [14] Durán, I.; Martínez, A. M. *EduQ*. **2012**, 45-51.
- [15] Guzei, I. A. *J. Chem. Educ.* **2014**, 91(12), 2013-2017.
- [16] Gražulis, S.; Sarjeant, A. A.; Moeck, P.; Stone-Sundberg, J.; Snyder, T. J.; Kaminsky, W.; Oliver, A. G.; Stern, C. L.; Dawe, L. N.; Rychkov, D. A.; Losev, E. A.; Boldyreva, E. V.; Tanski, J. M.; Bernstein, J.; Rabeh, W. M.; Kantardjieff, K. A. *J. Appl. Crystallogr.* **2015**, 48(6), 1964-1975.
- [17] Rojas, F. *An. de Quim.* **2019**, 115(3), 244-248.
- [18] Gollerizo-Fernández, A.; Clemente-Gallardo, M. *Rev. Electr. Educare* **2019**, 23(2), 1-23.
- [19] Lupión, T., y López, R. *EduQ* **2013**, 0(16), 53-61.
- [20] Carrascosa, J.; Martínez, J.; Furió, C.; Guisasola, J. *REurEDC* **2008**, 5(2) 118-133.
- [21] Gennari, F.; Siracusa, P.; Corso, H.; Raviolo, *Enseñ. Las Cienc.* **2004**, 22(3), 379-388.
- [22] Landau, L.; Ricchi, G.; Torres, N. *Educ. Quím.* **2014**, 25(1), 21-29.






XXXVIII REUNIÓN BIENAL
RSEQ
 GRANADA 2021
 28 DE JUNIO / 2 DE JULIO

REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE QUÍMICA

Nueva fecha 27-30 de junio de 2022

www.bienal2021.com