

# CASOS INTERDISCIPLINARES Y MULTIDISCIPLINARES PARA UN APRENDIZAJE STEAM CONTEXTUALIZADO

## INTERDISCIPLINARY AND MULTIDISCIPLINARY CASES FOR CONTEXTUALIZED STEAM LEARNING

### **Gabriel Pinto Cañón**

Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid, es Catedrático de Universidad (área de Ingeniería Química) en la Universidad Politécnica de Madrid y presidente del Grupo Especializado en Didáctica e Historia de la Física y la Química, común a las Reales Sociedades Españolas de Física y de Química.

### **Resumen**

Se resumen algunos trabajos desarrollados en las últimas décadas, con idea de favorecer un aprendizaje activo sobre temas STEM y STEAM. Se trata de problemas, cuestiones, experiencias prácticas, y ejercicios específicos sobre conceptos de ciencias (principalmente física y química) con implicaciones de historia y arte, diseñados e implementados para alumnos de primer curso de ingenierías y de Máster de Formación del Profesorado. Además, se han difundido en ferias científicas y cursos de actualización del profesorado, con idea de

poderlos utilizar en las diferentes etapas educativas. Dada la peculiaridad y su carácter inter y multidisciplinar, se considera que el conocimiento de estas herramientas educativas puede ser de especial utilidad, tanto para profesores (propuestas de aplicación concreta de 'situaciones de aprendizaje' en ESO y bachillerato) como para inspectores de educación.

**Palabras clave:** *aprendizaje activo, educación STEM y STEAM, interdisciplinariedad, multidisciplinariedad, situación de aprendizaje.*

### **Abstract**

This paper summarizes some of the works developed in recent decades, with the idea of promoting active learning on STEM and STEAM subjects. These are problems, cases, questions, practical experiences and relations between science (mainly chemistry) and aspects of history and art, designed and implemented for first-year engineering students and others studying for the Master's Degree in Teacher Training. They have also been disseminated at science fairs and teacher refresher courses, with the idea of being able to use them at different educational stages. Given their peculiarity and their interdisciplinary and multidisciplinary nature, it is considered that the knowledge of these educative tools can be especially useful, both for teachers (proposals for the specific application of 'learning situations' in ESO and baccalaureate) and for education inspectors.

**Keywords:** *active learning, interdisciplinary, learning situation, multidisciplinary, STEAM and STEAM education.*

## 1. Introducción

En los últimos años se han producido una serie de transformaciones en los métodos y técnicas para el proceso de enseñanza y aprendizaje, en todas las etapas educativas, que se pueden calificar de vertiginosas. Estas transformaciones se han llevado a cabo a nivel mundial, motivadas por la importancia creciente que se otorga a la educación para el desarrollo de los países, y por la relevancia alcanzada en la sociedad moderna por las tecnologías de la información y la comunicación. Baste considerar, como ejemplo, la irrupción, en los últimos meses, de herramientas de inteligencia artificial como *ChatGPT*. En muchos sentidos, estas transformaciones se han acelerado por la reciente pandemia causada por el COVID-19, que supuso una 'prueba de fuego' para la continuidad de las tareas educativas.

España no ha sido ajena a estos cambios, que se promueven como aplicación de sucesivas reformas legislativas en todos los ámbitos educativos. También se fomenta la implementación de la innovación educativa a través de la discusión y la aportación de evidencias, por parte del profesorado, mediante artículos en revistas especializadas, libros, seminarios, cursos, etc.

En la educación secundaria obligatoria y bachillerato actuales, algunos aspectos esenciales al respecto son, entre otros, el enfoque de formación en competencias, nuevos criterios de evaluación y el diseño de las 'situaciones de aprendizaje' (escenarios y actividades que implican el despliegue por parte del alumnado de actuaciones asociadas a competencias y que contribuyen a la adquisición y desarrollo de estas).

Complementariamente a todo lo anterior, se ha introducido progresivamente el ámbito o conjunto de competencias STEM (Bybee, 2010; Pinto, 2022a), por el acrónimo de disciplinas académicas, en inglés, de *Science, Technology, Engineering* y *Mathematics*. Con origen en los Estados Unidos hace algo más de tres décadas, para promocionar estas disciplinas y fomentar

vocaciones, el término STEM se han ido aplicando a la educación, ante la preocupación de una enseñanza poco integrada y el desconocimiento de esos ámbitos en edades tempranas. También se usa la terminología STEAM, incluyendo la 'A' de *Arts*, para fomentar la creatividad y potenciar otras capacidades (Liao, 2016; Radziwill, Benton y Moellers, 2015). De algún modo, parece que la educación STEM o STEAM promueve una enseñanza y aprendizaje integrados, promociona enfoques a la resolución de problemas tecnológicos, es cierta garantía de transversalidad, facilita un aprendizaje contextualizado y redundante en otorgar al docente el papel de guía y orientador. Como casi todo en educación, no está exento de controversias; hay autores que plantean que la 'educación STEM' puede ser una nueva distracción para la enseñanza de las ciencias (García Carmona, 2020) y otros, como Quílez (2022), plantean los problemas derivados de su falta de conceptualización precisa, entre otros aspectos.

También la Universidad española ha dado importantes pasos para su transformación en cuanto a enfoques pedagógicos, en las últimas dos décadas, como parte del proceso global con el que se ha colaborado en la construcción del *Espacio Europeo de Educación Superior* (Pinto, 2010). Algunos pasos significativos han sido la nueva estructura de títulos (Grado, Máster y Doctorado), la perspectiva de la educación basada en adquisición de competencias (transversales y específicas), la importancia dada al papel del alumno como agente activo y protagonista de su aprendizaje, la introducción de nuevas formas de evaluación, el empleo de metodologías innovadoras (aprendizaje basado en problemas o en casos, gamificación, aula invertida, trabajo cooperativo, aprendizaje-servicio...), etc. Fruto de este contexto universitario, y en relación a lo abordado en este trabajo, se resalta el inicio de la impartición de los títulos oficiales de Máster que habilitan para el ejercicio profesional de las profesiones de *Profesor de Educación Secundaria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas*, a partir de su regulación en 2007 por el Real Decreto 1393/2007.

Según la Real Academia Española, el adjetivo 'multidisciplinar' se refiere a 'que abarca o afecta a varias disciplinas', mientras que 'interdisciplinar' o 'interdisciplinario' es 'dicho de un estudio o de otra actividad: Que se realiza con la cooperación de varias disciplinas'. Aunque las diferencias entre lo multi y lo interdisciplinar no son categóricas, sí puede plantearse que, a nivel de organización del trabajo, mientras que en el primer caso se abordan los objetivos propios de cada uno desde la propia perspectiva, en el segundo, se abordan unos objetivos comunes desde perspectivas diversas. De algún modo, la colaboración e integración entre las partes son más intensas en trabajo y equipos interdisciplinarios que en los multidisciplinarios, por desarrollarse en estas labores separadas.

Con toda esta perspectiva, el objetivo fundamental de este trabajo es mostrar algunos ejemplos de cómo se pueden plantear situaciones de aprendizaje variadas, con casos concretos contextualizados en la realidad del alumnado, de forma inter o multidisciplinar, que promuevan el aprendizaje en ámbitos STEAM en las diferentes etapas educativas. Entre las propuestas desarrolladas, se destacan: (a) problemas contextualizados, (b) cuestiones análogas a los problemas pero con tratamientos menos cuantitativos), (c) estudios experimentales, y (d) propuestas de temas que relacionan ciencia, historia, arte y sociedad. Por falta de espacio, solo se resumen la mayoría de las propuestas, pero se explican cuatro casos particulares con mayor extensión, a modo de ejemplos de planteamientos a realizar. Finalmente, se detallan algunas conclusiones que se derivan del empleo de estas estrategias educativas.

## **2. Ejemplos de perspectivas para un aprendizaje STEAM contextualizado**

En la búsqueda de metodologías activas por parte de los alumnos, el autor de este trabajo lleva cerca de cuatro décadas desarrollando recursos educativos que ha ido completando y actualizando con la práctica docente. Lo que en un

principio planteó como casos para mostrar la utilidad y el carácter aplicado de la química para alumnos de primer curso universitario de ingeniería, fue evolucionando y acomodándose, sucesivamente, a ejemplos de 'ciencia y vida cotidiana', formación en competencias, enfoques STEM, en su día, 'aprendizaje en tiempos de confinamiento' (Pinto, 2020) y, más recientemente, 'situaciones de aprendizaje'. Pero no se trata solo de ejemplos destinados únicamente a alumnos de ingeniería; aparte de ir aplicándolos y valorando su efectividad con ellos, en los últimos veinte años ha difundido muchos de estos casos en actividades de divulgación científica para todos los públicos y, muy especialmente, en cursos de formación del profesorado de las distintas etapas educativas, incluido el Máster de Formación del Profesorado antes mencionado, en la especialidad de Física y Química. De este modo, y a través del contacto con docentes, tanto ejercientes como en formación, ha podido seguir cómo algunos de estos recursos se han aplicado (con los enfoques pertinentes) en las etapas educativas previas a la Universidad.

Los recursos se fundamentan en el aprendizaje basado en problemas (ABP), en casos (ABC), en la investigación y por indagación dirigida, principalmente en los ámbitos de la física y la química. Buena parte de ellos se han desarrollado en colaboración con profesores de educación secundaria y de otras universidades. Tanto las tareas de colaboración como la de difusión, se han llevado a cabo no solo a nivel nacional, sino también en el ámbito internacional, lo que ha permitido apreciar que, a pesar de notables diferencias en cuanto a infraestructuras, modelos, etc., la problemática educativa (pasividad en parte del alumnado, necesidad de coordinación y actualización del profesorado, utilización de las TIC...) es, en gran parte, muy similar en los diferentes países. Los objetivos de los recursos diseñados son:

- Favorecer el proceso de aprendizaje para facilitar la comprensión de conceptos.

- Promover la motivación, tanto de alumnos, al realizar la actividad, como de profesores (al idear, implementar y evaluar actividades de este tipo).
- Contribuir a la formación ciudadana, a través de enfoques del tipo CTSA (ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente) y la promoción de la responsabilidad social.
- Facilitar la formación en competencias genéricas y transversales, como: aprendizaje STEM y STEAM, resolución de problemas, experimentación, búsqueda y análisis de datos, trabajo en equipo, elaboración de documentos e informes, aprender a aprender, etc.
- Avanzar en el desarrollo de actividades educativas tanto multidisciplinares como, muy especialmente, interdisciplinares.
- Fomentar el pensamiento crítico y la indagación por parte de los alumnos.
- Ofrecer ideas que puedan servir de inspiración para otros colegas, para afrontar nuevos casos y temáticas acordes a los contenidos y competencias de diversas asignaturas, y diseñar situaciones de aprendizaje específicas.

Estos casos se han expuesto, de forma más detallada, en publicaciones anteriores, por lo que se incluye la bibliografía correspondiente al final de este artículo. Se considera que estas aportaciones pueden ser especialmente de interés para el profesorado que quiera conocer algunos ejemplos de situaciones de aprendizaje para la educación STEM o STEAM. Pero, también, se estima que su conocimiento puede ser positivo para inspectores educativos. Como es bien sabido, la inspección educativa, regulada por la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modificó la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, presenta como funciones principales:

- Supervisar, evaluar y observar el funcionamiento de los centros en aspectos organizativos y pedagógicos (donde se incluyen las nuevas metodologías educativas).

- Supervisar la práctica docente, que tiene que orientarse hacia la formación por competencias, desarrollo de situaciones de aprendizaje, etc.

- Colaborar en la evaluación del sistema educativo, para lo que es conveniente disponer de amplios conocimientos sobre la realidad a evaluar.

- Cuidar de que se cumpla la legislación que afecta al sistema educativo, que incluye la utilización de metodologías variadas.

Para cumplir estas funciones, siempre será positivo conocer amplias perspectivas de herramientas docentes, como los casos expuestos aquí.

En buen número de las propuestas diseñadas se fomenta el trabajo en equipo, los datos de partida deben ser buscados (o determinados experimentalmente) por los propios alumnos y, normalmente, no existe un resultado único válido. El método de implementarlo puede ser variado, desde la realización de trabajos colaborativos en el aula, a su desarrollo como tarea de casa. Algunas de las herramientas que se resumen aquí se consideran ejemplos de 'ciencia del consumidor', pues abordan cuestiones prácticas el análisis de anuncios de productos comerciales y su etiquetado. Tanto en estos casos como en los demás, los trabajos no se limitan a resaltar la relevancia de la ciencia en actividades cotidianas; se ha intentado cuantificar y profundizar a la hora de analizar los problemas y casos planteados.

### **3. Problemas contextualizados**

En la tabla 1 se recogen algunos casos desarrollados como problemas a resolver por los alumnos, siguiendo distintas metodologías, y que pueden ser la

base del conocido como ABP (Aprendizaje Basado en Problemas) (Pinto, 2014). Uno de los estudios ha sido el análisis pormenorizado de la química implicada en la potabilización del agua, tema de gran interés en la sociedad contemporánea. Diversos compuestos de cloro (y el propio elemento) se usan como desinfectantes, por ejemplo, para potabilizar agua en tratamiento de piscinas y para desinfección de utensilios sanitarios o de bebé (como biberones). Aparte de las aplicaciones, se discute el ajuste de reacciones redox y la asignación de los números de oxidación, aspectos fundamentales de química (Pinto y Rohrig, 2003). El caso supone un ejemplo de la necesidad de conocer multitud de recursos por parte del profesorado: lo tratado fue de viva actualidad durante el reciente periodo de pandemia causado por el COVID-19, pues fue uno de los métodos empleados en desinfección de objetos.

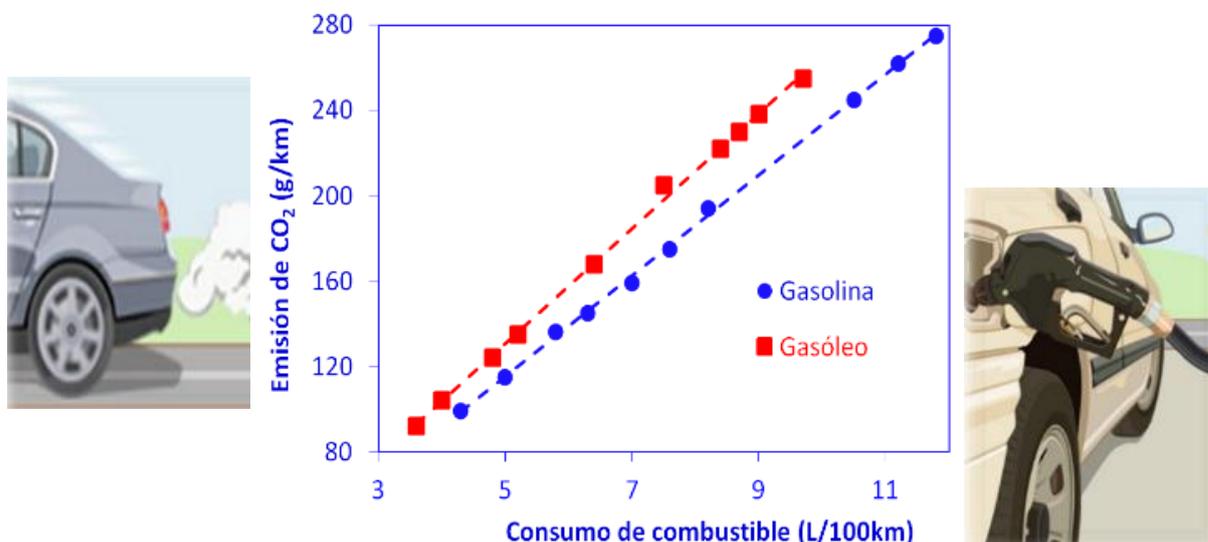
Tabla 1. Problemas desarrollados y validados para el aprendizaje contextualizado multi e interdisciplinar de los ámbitos STEAM. Se incluyen las referencias en el texto.

<b>Problema</b>	<b>Aspectos estudiados y características</b>
Compuestos de cloro para la desinfección del agua.	Desinfección y potabilización del agua, cálculo de cargas formales y números de oxidación, resonancia, compuestos de cloro, reacciones químicas, química del consumidor.
Información de medicamentos en su etiquetado.	Cálculos estequiométricos, formulación, química y salud, información al consumidor, fármacos, compuestos de calcio, sales de hierro, biología, aproximaciones numéricas.
Estequiometría de fertilizantes.	Importancia y composición de los fertilizantes, estequiometría, formulación, información comercial

	de productos, agricultura.
Composición de aguas minerales a partir de la información aportada por el fabricante.	Composición de aguas minerales, análisis químico, descomposición térmica de bicarbonatos, información científica para el público, dureza del agua, redondeo en operaciones matemáticas, tipos de agua, etiquetado de productos.
Emisión de CO <sub>2</sub> y consumo de combustible por automóviles.	Cálculos estequiométricos, emisión de CO <sub>2</sub> , calentamiento global, densidad de líquidos, representaciones gráficas, ajuste de funciones, combustión, nuevos motores, desarrollo de modelos simplificados, búsqueda de datos, sostenibilidad.
Dentífricos y productos fluorados para el cuidado dental.	Cuidado dental, cálculos químicos, formulación, química y salud, información científica para el público, etiquetado de productos comerciales, distancia de enlace, isomería, compuestos de flúor, números de oxidación, cargas formales.
Disminución de emisión de CO <sub>2</sub> por uso de células solares.	Cálculos estequiométricos, emisión de CO <sub>2</sub> , combustión, fuentes de energía, unidades de medida, aplicaciones de las células fotovoltaicas, efecto invernadero, desarrollo sostenible.
Termoquímica de las calderas domésticas de condensación.	Termodinámica, calor de combustión, condensación, ahorro energético, obtención de gas natural, búsqueda de datos, relaciones del tipo CTSA (Ciencia-Tecnología-Sociedad-Medio Ambiente), ideas alternativas de alumnos, ciencia y tecnología para el consumidor, historia

	contemporánea.
Resolución problemas.	Metodología para resolución de problemas en ciencias, matemáticas, contextualización en la vida contemporánea.

Otro caso es la indagación sobre el hecho de que los fabricantes de automóviles deben incluir, en la información que aportan al consumidor, datos sobre consumo de combustible y las correspondientes emisiones de dióxido de carbono. La relación entre ambos parámetros, que los fabricantes obtienen de forma experimental, no es evidente. En este sentido, partiendo de datos de este tipo, se plantea a los alumnos la representación de dichos valores y la justificación química de la relación encontrada. Se debe proceder de forma independiente para automóviles que consumen gasolina y los de gasóleo. En ambos tipos de automóvil, la relación que se encuentra entre emisión de dióxido de carbono y consumo de combustible es de tipo lineal, como se muestra en el ejemplo de la figura 1. Simplificando el problema, considerando que la gasolina está formada esencialmente por octanos, la reacción de combustión se puede expresar como:  $C_8H_{18} + 12,5 O_2 \rightarrow 8 CO_2 + 9 H_2O$ .



**Figura 1.** Emisión de CO<sub>2</sub> frente a consumo de combustible, según datos comerciales de automóviles. Elaboración propia.

Tomando un valor determinado de densidad de la gasolina, que los alumnos deben buscar, y con las relaciones químicas pertinentes, se obtiene una relación lineal y que los valores calculados son del orden de los hallados experimentalmente como pendiente de la recta. Se pueden comparar las emisiones de dióxido de carbono entre automóviles diésel y de gasolina, y los alumnos pueden calcular, por ejemplo, la emisión de ese compuesto que provocan sus desplazamientos en automóvil y concienciarse de la importancia de este aspecto para mitigar el calentamiento global (Pinto y Oliver-Hoyo, 2008a). Este ejemplo se considera paradigmático de lo que se pretende con este tipo de iniciativas: los alumnos perciben cómo conceptos científicos básicos les permite analizar y comprender aspectos en muchos casos cotidianos y que son de gran interés práctico. Además, necesitan hacer uso de conocimientos de diversas

materias (en este caso Química, Física y Matemáticas), para resolver problemas, con repercusiones medioambientales y de sostenibilidad importantes.

Otro caso desarrollado es la utilización de la información sobre las calderas de condensación de uso doméstico. Se proponen cuestiones para que los alumnos indaguen sobre aspectos relacionados con estas calderas que producen agua líquida en la combustión del combustible, en vez de vapor. Los objetivos son: favorecer el aprendizaje de conceptos (termoquímica, reacciones de combustión, composición del gas natural...); promover la motivación hacia la ciencia; fomentar enfoques Ciencia-Tecnología-Sociedad-Medio Ambiente; y colaborar en la formación de competencias (indagación, resolución de problemas, análisis de datos, trabajo en equipo...). Se promueve también el pensamiento crítico y, nuevamente, la formación en 'ciencia del consumidor', tratando aspectos como los motivos de las ayudas públicas para la instalación de estas calderas y el empleo de la factura del gas como fuente de información científica y tecnológica (Pinto, 2013).

La condensación del agua, forzada en una caldera denominada por ello 'de condensación', genera más calor que la caldera convencional. A través de diversas informaciones sobre el tema los alumnos, tras indagar sobre la composición del combustible utilizado (en España suele ser gas natural), y buscar datos termoquímicos, deben llegar a la conclusión de que este tipo de calderas, promocionadas y subvencionadas por las autoridades, suponen un ahorro de combustible y, por ende, una disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> próximos al 10%. El ahorro de este tipo de combustible es de actualidad acuciante en el presente, con motivo del conflicto bélico en Ucrania. Un ejemplo de la secuencia de cuestiones asociadas a este problema es:

a.- Recoger en una tabla una composición típica del gas natural, expresada en porcentaje en volumen y en fracción molar, incluyendo las fórmulas de las sustancias.

b.- Recoger en otra tabla la composición (expresada en fracción molar y en porcentaje en masa) de un gas natural "tipo", considerando sólo los dos hidrocarburos mayoritarios para simplificar los cálculos.

c.- Elaborar una tabla donde se recojan los datos (consultando fuentes adecuadas) de variación de entalpía de formación (en kJ/mol) de los dos gases del apartado anterior y de las siguientes sustancias: CO<sub>2</sub>(g), H<sub>2</sub>O(g) y H<sub>2</sub>O(l),

d.- Calcular la variación de entalpía de combustión (en kJ/mol) del gas natural "tipo", a 25°C, suponiendo que el agua se obtiene como gas.

e.- Repetir el cálculo del apartado anterior, suponiendo que el agua se obtiene líquida.

f.- Con los datos de los dos apartados anteriores, determinar la cantidad de gas natural (moles) que habría que utilizar, en una caldera de condensación, por cada mol de gas natural que se emplearía en el otro tipo de caldera, para obtener la misma energía.

g.- Comentar las implicaciones económicas y sociales asociadas al resultado del apartado anterior.

h.- Razonar si el agua obtenida en la caldera de condensación es ácida y las repercusiones puede tener este hecho.

i.- Consultando una factura de gas natural, indicar la energía obtenida (kWh) por unidad de volumen (m<sup>3</sup>) de gas consumido.

j.- Determinar, explicando los cambios de unidades, la energía (kJ/mol) que puede producir cada mol de gas natural en su combustión, a partir del valor de energía por unidad de volumen del apartado anterior.

k.- Comparar la energía del apartado anterior con lo calculado en los apartados d y e.

l.- Calcular la masa de dióxido de carbono (kg) que se habrá desprendido por el consumo de gas indicado en la factura, tomando como ejemplo el gas "tipo" del apartado b.

m.- Detallar las aproximaciones realizadas.

n.- Comentar cualquier aspecto que se considere de interés en relación a la sostenibilidad, el medio ambiente, la subvención ofrecida, etc.

Cuestiones relacionadas con este caso, porque también permiten disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, son las abordadas en otro ejemplo, consistente en analizar la disminución de emisión de CO<sub>2</sub> que se produce cuando se emplean células solares como alternativa a la combustión de combustibles fósiles para obtener energía (Pinto, 2009a).

Otros aspectos abordados en los problemas, como se recogió en la tabla 1, se refieren a estudios sobre la composición de aguas minerales (Pinto y Oliver-Hoyo, 2008b), compuestos de flúor para el cuidado dental (Pinto, 2009b), medicamentos (Pinto, 2005a; Prolongo *et al.*, 2014) y fertilizantes (Pinto, 2003a). En todos ellos, se analizan datos indicados en su etiquetado. Son, por otra parte, ejemplos emblemáticos de sustancias bien conocidas, que aporta la química para la mejora de las condiciones de vida.

#### **4. Cuestiones sobre casos contextualizados**

En la tabla 2 se recogen algunos ejemplos de cuestiones con los que se promueve un aprendizaje multi e interdisciplinar para contenidos STEAM (Pinto, 2003b). Entre otros aspectos resumidos, se destaca el tratamiento de los productos empleados como antipolillas. Aparte de analizar y recabar datos experimentales del fenómeno físico de sublimación, se tratan temas como el impacto de la química en la sociedad y la información aportada por el fabricante

de diversos productos (Pinto, 2005b). En este ejemplo se aborda también el estudio de la biología de los lepidópteros, el efecto que producen las sustancias antipolillas en las larvas de polilla, y el perjuicio que provocan estas en materiales textiles.

Otro estudio original ha sido el razonamiento sobre las causas de que, al añadir agua sobre aceite caliente, por ejemplo en el cocinado de alimentos, se produzca el efecto conocido como "salto" del aceite, mientras que no se observa ningún efecto cuando se produce en sentido contrario (Pinto y Gauthier, 2009). En el razonamiento se introducen aspectos como las diferentes densidades y puntos de ebullición de estos dos líquidos, así como su inmiscibilidad. Algunas aplicaciones, aparte de un mayor conocimiento de las propiedades y estructuras de grasas y aceites, son aspectos como la forma de sofocar un incendio provocado por aceite en el hogar y la relación entre estructura y propiedades de las sustancias. En la figura 2 se ilustran algunos aspectos relacionados con la experiencia.

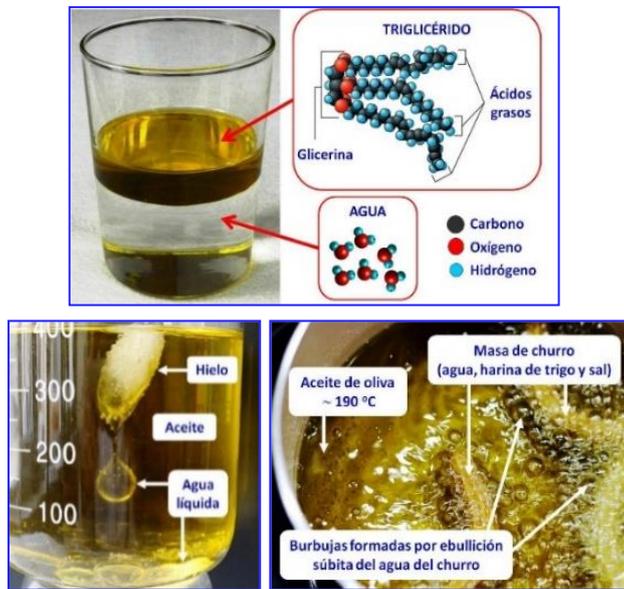
Otras propuestas educativas desarrolladas por el autor, para favorecer la difusión de la ciencia son analogías, en las que se intenta que los alumnos trabajen sobre conceptos científicos utilizando objetos de la vida cotidiana, bien asimilados por ellos. Por ejemplo, se preparó un ejercicio en el que se plantea la comparación de la variación de tamaños atómicos e iónicos con el cambio de tamaños de balones de diversos deportes (ver figura 3). Se pretende que la visualización de la variación de tamaño de objetos bien conocidos, de distintos deportes, permita entender la magnitud del cambio de volumen atómico que se produce entre los distintos elementos de la tabla periódica y sus iones (Pinto, 1998). También ha propuesto el empleo de materiales cotidianos, como bolas de poliexpán, golosinas, castañas y palillos, para representar moléculas y discutir con ello algunas propiedades de sustancias, como las transformaciones y cambio de comportamiento del azufre al calentarse (ver figura 4) (Pinto, 2018). Así se fomentan, además, ciertas habilidades entre los alumnos, como la creatividad.

Tabla 2. Cuestiones desarrollados y validados para el aprendizaje contextualizado, multi e interdisciplinar de los ámbitos STEM. Se incluyen las referencias en el texto.

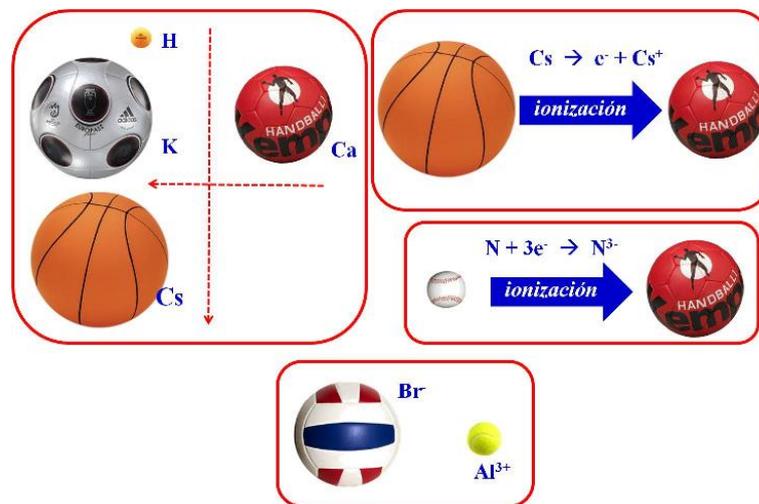
<b>Caso o cuestión</b>	<b>Aspectos estudiados y características</b>
Experiencias de la vida cotidiana y analogías para aprender ciencia.	Divulgación de la ciencia, ejemplos de analogías (resonancia, distinción entre cargas formales y números de oxidación...), efectividad del empleo de casos de la vida cotidiana en el aprendizaje de los alumnos.
Productos antipolilla.	Insecticidas, sublimación, biología de los lepidópteros, etiquetado, química y salud, información al consumidor.
Efecto del agua sobre aceite caliente.	Densidad, miscibilidad, temperaturas características (de ebullición, de humo y de ignición) de aceites, crepitación, precaución contra incendios en la cocina, seguridad, composición de sustancias cotidianas.
Enfriamiento del agua en recipientes cerámicos.	Entalpía de vaporización, climatología, implicaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad, enfriamiento del agua en cerámica porosa, termodinámica, temperatura del bulbo húmedo, conservación de alimentos, cinética química, características de las arcillas, geografía, historia.
Analogía entre balones y átomos.	Propiedades periódicas de los elementos, tamaños de átomos, analogías, ionización de átomos, empaquetamientos de iones.
Preparación de humo de distintos	Características químicas de las <i>fumatas</i> para la elección de Papa, formación de colores en humo, sustancias para

colores.	pirotecnia, dispositivos de generación de humo de colores para salvamento.
El Atomium de Bruselas.	Relaciones entre arte, historia, ciencia y sociedad, geometría, celdas cristalinas, estructura de metales, cálculo numérico y creatividad.
Aplicaciones de la ósmosis.	Flujo osmótico, aplicaciones de la ósmosis (pepinillos en vinagre, fisiología de peces...), ósmosis inversa, desalación del agua de mar.
Geometría molecular.	Relación entre estructura y propiedades de sustancias, geometría molecular con objetos caseros (frutas, golosinas, palillos...), creatividad.
Tabla periódica y modelos atómicos.	Historia y significado de la tabla periódica. Recursos para el aprendizaje de los modelos atómicos y de las propiedades periódicas de los elementos químicos.

Brevemente, otros trabajos resumidos en la tabla 2 son: el empleo del *Atomium* de Bruselas para tratar cuestiones de introducción a la cristalografía, elementos químicos descubiertos por españoles, cálculos geométricos, etc. (Pinto, 2012); la preparación de humo de colores para aplicaciones diversas, desde el anuncio de la elección del Papa de la Iglesia Católica a la utilización en salvamento marítimo y de montaña (Pinto y Vieta, 2013); uso de sellos postales y otros recursos para analizar las propiedades periódicas de los elementos químicos y modelos moleculares (Pinto, 2007; Pinto, Martín y Prolongo, 2020); y la explicación de la ósmosis (Pinto, 2016), con importantes implicaciones en biología celular y aplicaciones que van desde la preparación de pepinillos en vinagre a la desalación del agua de mar.



**Figura 2.** Ilustraciones sobre la estructura molecular y el comportamiento del aceite de cocina y el agua. Elaboración propia.



**Figura 3.** Analogía sobre dimensiones atómicas e iónicas, realizadas con balones y pelotas de distintos deportes. Elaboración propia.

Un ejemplo emblemático citado en la tabla 2 es el enfriamiento del agua contenida en recipientes de cerámica porosa (como los populares botijos). El

tratamiento cuantitativo implica cierta complejidad de termodinámica y de matemáticas, y excede los objetivos de este artículo, pero se puede adaptar a distintas etapas educativas (Zubizarreta y Pinto, 1995). Aquí se presentan otros aspectos cotidianos, relacionados con el enfriamiento del agua que se produce cuando se almacena en recipientes cerámicos porosos. Este efecto, bien conocido en la práctica desde hace miles de años, con la correspondiente adecuación, puede servir para fortalecer competencias clave y, de forma más destacada, las básicas en ciencia y tecnología. Aparte de favorecer la comprensión de conceptos fisicoquímicos (calor de vaporización, transmisión de calor, evaporación, humedad del aire, presión de vapor, etc.), es un tema transversal e interdisciplinar que permite plantear aspectos de tecnología (como la relación entre estructura, propiedades y procesado de las arcillas, o la conservación de alimentos por refrigeración) y de climatología, así como enfoques del tipo Ciencia-Tecnología-Sociedad, y la interpretación de otros fenómenos (como el funcionamiento del juguete científico conocido como 'pájaro bebedor'), entre otros (Pinto, Martín y Martín, 2017). Su 'funcionamiento' está bien entendido desde hace tiempo: debido a la porosidad de la cerámica, se exuda agua (por capilaridad) que, al evaporarse, toma la energía térmica necesaria (calor latente de vaporización) del agua interior, consiguiendo que esta se enfríe. La temperatura más baja a la que puede llegar el aire por evaporación del agua en su seno o temperatura húmeda del aire, determinará la temperatura mínima teórica que puede alcanzar el agua de un botijo. Además del enfriamiento que se da al evaporarse el agua, se produce calentamiento por el propio aire (más caliente) que rodea al agua del botijo.



**Figura 4.** Analogía para entender propiedades derivadas de la estructura molecular, a partir de modelos efectuados con poliestireno y palillos. Elaboración propia.

Existen otros casos que se pueden aplicar en el mismo contexto educativo, como el dispositivo cerámico conocido como '*pot in pot*', diseñado por el profesor nigeriano Mohammed Bah Abba. Funciona sin necesidad de aporte de energía eléctrica y, para los habitantes de ciertos pueblos africanos, ha significado un hito fundamental para su desarrollo.

Para preparar objetos de cerámica, como los aquí indicados, se trata una arcilla adecuada con agua, lo que la hace deformable (adquiere un comportamiento "plástico"). Las arcillas están constituidas por varios tipos de silicatos y aluminosilicatos de estructura laminar. Se vuelven plásticas (fácilmente deformables) con el agua porque esta sustancia les otorga un efecto 'lubricante' que facilita el desplazamiento de las láminas entre sí. Todo esto puede analizarse dentro de la asignatura de Tecnología, al tratar los materiales cerámicos. Una vez conformada una pieza de arcilla humedecida con la forma deseada, se somete a un ciclo de secado y calefacción en hornos, a temperatura adecuada, produciéndose una serie de procesos químicos de transformación de silicatos,

que hacen rígido al material y, por tanto, deja de ser deformable. Por otro lado, el descenso de temperatura que se produce en la vasija interna del '*pot in pot*' provoca una ralentización de los procesos bioquímicos de degradación de los alimentos allí guardados, aumentando su duración (Pinto, Martín y Martín, 2017). Esto es el fundamento, a grandes rasgos, de la refrigeración de los alimentos para su conservación más duradera: la velocidad de las reacciones químicas disminuye al descender la temperatura. Cuantitativamente viene regido, en muchas ocasiones, por la ecuación de Arrhenius, que se aborda en la química de bachillerato. La vida de las bacterias (seres vivos unicelulares) que degradan los alimentos se basa, como la de cualquier otro ser vivo, en reacciones químicas que tienen lugar en el interior de las células y, a baja temperatura, se hacen más lentas.

Lo tratado en los apartados anteriores puede servir de inspiración para profesores de distintos niveles educativos y entornos, para abordar trabajos educativos muy variados (ver figura 5). Por ejemplo, los alumnos pueden medir la variación con el tiempo de la masa del agua y de la temperatura en un botijo, a medida que se evapora, controlando las variables (temperatura y humedad principalmente) externas. También pueden hacer lo mismo, para estudiar un frigorífico *pot in pot* construido con macetas de diferente diámetro, o preparando ellos mismos los recipientes a partir de arcilla. En este caso, pueden experimentar la efectividad de la refrigeración conseguida en la conservación de distintos tipos de alimentos, y proponer propuestas de mejora. Aparte de fabricar los propios recipientes, pueden también profundizar en el significado de la temperatura de bulbo húmedo y su medida (rodeando el bulbo de un termómetro con una tela humedecida en corriente de aire), discutir sobre la diferencia entre evaporación y ebullición (no sencillo de entender por los alumnos), o razonar sobre qué es la presión de vapor de un líquido. Algunas preguntas que se pueden plantear a los alumnos son: ¿Cómo serían los efectos estudiados con líquidos distintos del agua? ¿Por qué no funcionan para enfriar el agua los botijos barnizados? ¿Por qué sube el líquido interior y se provoca un

desequilibrio mecánico en el pájaro bebedor? ¿A qué se debe que se pare si se introduce en una campana de vidrio?



**Figura 5.** Conceptos abarcados a través del planteamiento educativo desarrollado sobre el enfriamiento de agua en recipientes cerámicos porosos.

Elaboración propia.

## 5. Casos de estudios experimentales contextualizados

En la tabla 3 se incluyen algunos ejemplos de propuestas experimentales que se han presentado para promover un aprendizaje STEAM contextualizado.

En cuanto a los estudios experimentales resumidos en esa tabla, un tema concierne al estudio de la cinética del proceso de hidratación osmótica de legumbres cuando se disponen 'en remojo' previamente a su cocinado (Pinto y Esín, 2004). En este caso, se procedió con garbanzos, y se estudió cómo aumenta la masa de estas legumbres, sumergidas en agua, con el transcurso del tiempo. Se analizó la influencia de la concentración de cloruro de sodio presente en el

agua y de la temperatura. El ejercicio experimental, que se puede hacer en la cocina de casa, es una herramienta de utilidad para relacionar cálculos matemáticos y gráficos con aspectos de física y química (se promueve la interdisciplinaridad), así como para introducir conceptos como flujo osmótico, transferencia de masa, difusión, cinética de hidratación, modelado y estimación de energías de activación. Además, puede ser de utilidad para introducir a los alumnos en la importancia del flujo celular del agua en los seres vivos.

Otra propuesta consistió en la medida de velocidad de disolución de comprimidos efervescentes a varias temperaturas. Aparte de discutir sobre la efervescencia, se promueve un trabajo experimental (que los alumnos pueden hacer en su propia casa) que conduce a la necesidad de hacer representaciones gráficas y tratamientos cuantitativos que requieren realizar el cálculo de la pendiente de una recta (Pinto, 2000). Además, se han llevado a cabo propuestas de experiencias contextualizadas relacionadas con la reacción del sodio en agua (Martín *et al.*, 2015a), el reactivo de Tollens para introducir la nanotecnología (Pinto *et al.*, 2015), un problema práctico de hidrostática que permite tratar el 'método científico' (Oliver-Hoyo, Alconchel y Pinto, 2012), los efectos especiales en cinematografía (Pinto, Prolongo y Alonso, 2017), introducción y uso de catalizadores (Pinto y Prolongo, 2023), y el empleo de sustancias familiares cotidianas, como agua oxigenada, té (Prolongo y Pinto, 2021) y chupachups (Prolongo y Pinto, 2018) para realizar reacciones químicas vistosas.

Tabla 3. Propuestas experimentales desarrolladas y validadas para el aprendizaje contextualizado, multi e interdisciplinar de los ámbitos STEAM.

Se incluyen las referencias en el texto.

Experiencia	Aspectos estudiados y características
Hidratación de	Medición, gráficas, ósmosis, efecto de temperatura y

legumbres.	concentración de sal en la velocidad de hidratación de legumbres 'en remojo', alimentación.
Envases de alimentos autocalentables.	Calor de disolución, energía de reacción, medida de temperatura y densidad, cálculos térmicos, diseño de dispositivos, búsqueda de datos, envases activos, etiquetado de productos, diseño
Comprimidos efervescentes.	Efervescencia, influencia de la temperatura en la velocidad de reacción, gráficas, cálculo de energía de activación, medicamentos, salud.
Reacción del sodio con el agua.	Conceptos químicos (reacciones redox, pH...) y físicos (flotabilidad, cinética...), relaciones Ciencia-Sociedad (análisis de un accidente).
Velocidad de fusión del hielo.	Introducción al método científico, experimentación, indagación, corrientes oceánicas termohalinas, clima, convección, densidad.
Reactivo de Tollens y nanotecnología.	Introducción histórica al reactivo de Tollens, formación de espejos de plata, identificación de aldehídos, nanotecnología, historia.
Un problema de hidrostática.	Indagación, hidrostática, resolución experimental de problemas, flotabilidad, prácticas con objetos caseros, historia de la ciencia.
Cine: efectos especiales.	Plásticos superabsorbentes de agua, efectos especiales (nieve, niebla, sangre artificial, tintas y objetos invisibles...), historia, cinematografía.
Aprendizaje de	Química en la vida cotidiana, tipos de reacciones,

reacciones químicas y catálisis.	experiencias de catálisis con materiales cotidianos, simulación con objetos cotidianos (botones, poliexpán...), automóviles, medio ambiente, sostenibilidad.
Experimentación con sustancias cotidianas.	Química de sustancias cotidianas (agua oxigenada, té, chupachups...), reacciones redox entre sales de permanganato y glucosa, métodos de agitación de líquidos, ciencia de la vida cotidiana, cocina, creatividad.

En los últimos años, es frecuente que, el primer día de clase, para introducir el 'método científico', el autor de este trabajo haga una pregunta a los alumnos: '¿dónde funde antes un bloque de hielo, en agua o en agua saturada de sal?' (Pinto y Lahuerta, 2017). Se les da un minuto para pensar y, seguidamente, se recogen sus respuestas. Después, se les sugiere que discutan la cuestión en grupos de tres para, de nuevo, pedir la respuesta que aportan (de forma individual). Las respuestas suelen ser similares en distintos años: Un 70 a 80 % considera que funde antes en el agua salina, un 10 a 20% piensa que, en el agua pura, y otro 10 a 20 % se divide entre responder que no hay mucha diferencia o admitir que no lo sabe. Tras la discusión en equipo, normalmente el porcentaje de los que responden la primera opción se suele incrementar. Seguidamente, se comenta con los alumnos cómo se podría resolver la cuestión y, tras un intercambio de ideas, se resuelve que se puede realizar por su parte, en la cocina de su casa. Se ofrece una semana para que lo resuelvan, indicando que pueden consultar en ese tiempo, con el profesor, cualquier aspecto al respecto. Al cabo de una semana, los alumnos que han realizado el experimento en su casa se suelen dar cuenta, para su sorpresa, que el resultado es lo contrario de lo que pensaba la mayoría. Después, se indica a los alumnos que tienen tres semanas para realizar, en grupos de tres, la experiencia con más detalle, así como estudiar la influencia de alguna otra variable, como distintas concentraciones de sal, otro soluto (como azúcar), etc. Además, se les indica que deben realizar un informe de

la experiencia, donde justifiquen los resultados, y que pueden incluir detalles como fotografías o enlaces a vídeos realizados. Una vez analizados los informes por parte del profesor, se realiza una discusión en el aula, donde aparte de comentar los resultados obtenidos, se realiza una demostración donde se añade una gota de colorante alimentario en el borde de los bloques de hielo en los dos líquidos (agua y disolución acuosa saturada de sal). El resultado sirve para comentar que la causa fundamental del fenómeno observado es la generación de corrientes de convección en el medio de agua pura, por la mayor densidad del agua líquida formada al fundir el hielo, mientras que, en el caso de la disolución salina, por su mayor densidad, no se producen dichas corrientes. Es buena ocasión para resaltar la importancia de las corrientes termohalinas de los océanos, causadas precisamente por las diferencias de temperatura y concentración salina en diversas capas acuosas, en el clima y en el transporte de microplásticos (Pinto y Martín-Conde, 2023).

Otro ejemplo de los trabajos extractados en tabla 3 es el empleo de la energía de disolución de sales o de reacciones químicas, para el calentamiento o enfriamiento de bebidas y alimentos. Partiendo de envases de bebidas y dispositivos de comidas de este tipo que se comercializan, se ha estudiado la variación teórica de temperatura que se debería alcanzar tras el proceso (reacción química o disolución de una sal en agua), y se razonan los valores experimentales obtenidos, considerando, por ejemplo, las aproximaciones realizadas en el cálculo teórico. Para todo ello, se consideran aspectos variados de termoquímica, como calor de reacción o de disolución, calor específico de una sustancia, etc. (Oliver-Hoyo, Pinto y Llorens, 2009; Prolongo y Pinto, 2010). El diseño de un envase de bebida de estas características, comercializada en los últimos años en España, se muestra en la figura 6, que fue realizada por un grupo de alumnos empleando nociones que aprenden en otra materia (Dibujo). Aparte de consideraciones termoquímicas, el ejemplo favorece la creatividad de alumnos y público en general, que proponen mejoras en la fabricación del envase o cómo fabricar dispositivos parecidos para enfriar una bebida. Además,

se promueve el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad al discutir sobre el incremento de costes en este tipo de envases (transporte, fabricación...) y su mayor dificultad para el reciclado frente a los convencionales.

Un ejemplo de ideas de propuesta de trabajo para los alumnos, mientras se les invita a que observen la información de algún envase autocalentable comercial, es:

a.- Describir el envase (tipo de componentes, compartimentos, aspecto del óxido de calcio, etc.), realizar un dibujo para ilustrarlo y explicar brevemente su funcionamiento, incluyendo la reacción química ajustada que permite calentar la bebida, la justificación de usar agua coloreada y de la necesidad de esperar tres minutos (según indican las instrucciones) u otros aspectos que se consideren de interés.



**Figura 6.** Esquema realizado por alumnos de primer curso de Grado universitario de un recipiente para bebida autocalentable. Elaboración propia a partir de un dibujo realizado por alumnos del autor.

b.- Calcular los moles de óxido de calcio y de agua que pueden intervenir en la reacción, señalando claramente cuál de estas sustancias es el reactivo limitante. Determinar las masas de sustancia (en g) del reactivo en exceso y de productos que se pueden formar.

c.- Buscar en referencias adecuadas los valores de entalpía estándar de formación, a 25°C, en kJ/mol, de las siguientes sustancias: óxido de calcio (s), agua (l) e hidróxido de calcio (s). Se recomienda buscar al menos en una referencia bibliográfica y en otra de alguna dirección de Internet, presentando los distintos valores en una tabla adecuada.

d.- Con los datos del epígrafe anterior y los resultados del apartado b, calcular el calor (en kJ) que se desprende, teóricamente, al producirse la reacción.

e.- Expresar la temperatura inicial de la bebida (la temperatura del aula) y calcular la temperatura (en °C) aproximada que alcanzaría, considerando los siguientes valores de calor específico (en cal/g·°C): agua (1,00), hidróxido de calcio (0,28) y hojalata (0,12). Considérese que todo el recipiente es de hojalata y que el calor específico de la bebida es aproximadamente igual al del agua.

f.- Comparar la temperatura final calculada en el apartado anterior con la que se alcanzaría según la información aportada en el envase y con la que se alcanzó en el aula. Se recomienda elaborar una tabla donde se recojan las tres temperaturas.

g.- Comentar y razonar (enumerando las aproximaciones realizadas) las diferencias observadas en las tres temperaturas (calculada, sugerida por el fabricante y experimental).

h.- Razonar si sería posible utilizar el mismo diseño para enfriar una bebida.

i.- Discutir las ventajas e inconvenientes de este tipo de envases, destacando cuestiones económicas y ambientales.

j.- Recoger cualquier comentario adicional que se considere de interés, como la evaluación de las instrucciones ofrecidas en el envase o información complementaria.

## **6. Propuestas de temas que relacionan ciencia, historia, arte y sociedad.**

En la tabla 4 se resumen algunas propuestas de temas posibles para situaciones de aprendizaje, en los que se relacionan ciencia, historia, arte y sociedad. Suponen aportaciones originales para que los profesores puedan abordar con sus alumnos, que aúnan e interrelacionan conocimientos de ciencia, tecnología, arte e historia. Así, por ejemplo, las Conferencias Solvay y otras reuniones científicas de principios del siglo XX son una oportunidad excelente para introducir aspectos sobre el inicio de la mecánica cuántica y del conocimiento de estructura de la materia, a la par que la historia de la Europa de entreguerras. Son ejemplos interesantes, asociados a estas Conferencias: la participación del científico belga August Piccard, que inspiró a su amigo Georges Prosper Remi (Hergé) para crear el personaje de Silvestre Tornasol en las *Aventuras de Tintín*; la amistad que se generó en ese entorno entre científicos como Einstein y Marie Curie; o la participación del físico español Blas Cabrera en las celebradas en los años treinta (Pinto, Martín y Martín, 2015; Pinto Martín y Martín, 2016).

Hay casos y cuestiones planteadas que incluyen aspectos como el empleo de sellos conmemorativos y efemérides para introducir y discutir cuestiones científicas, así como el análisis obras de arte. Se destacan de este modo las aportaciones sugeridas en torno a sellos de correos emitidos recientemente en España. En concreto, fueron uno sobre la tabla periódica, como homenaje al científico ruso Mendeléiev, cuya imagen está inspirada en el estilo pictórico de

Mondrian (Pinto, 2007), uno sobre Marie Curie (emitido en el Año Internacional de la Química, 2011) (Pinto, 2011) y otro sobre el tricentenario del nacimiento (en 1716) de Antonio de Ulloa (Pinto, 2017). En el caso de este último sello dio pie para que se hicieran una serie de propuestas pedagógicas para fomentar un mayor conocimiento de este personaje. Ulloa destaca en la historia de la ciencia por el descubrimiento del platino. Pero, además, participó en una interesante expedición científica para la medida de la longitud de un grado de arco del meridiano, en la zona ecuatorial del antiguo Reino de Nueva Granada, con el fin de compararlo con otra medida realizada en Laponia. Con ello se pretendía elucidar el tipo de achatamiento existente en la Tierra. En la figura 7 se muestra a alumnas trabajando con distintas herramientas educativas (ordenador, tabla periódica, dispositivos móviles, etc.) sobre cuestiones propuestas en torno a la vida y obra de Antonio de Ulloa. También se abordaron distintas perspectivas científicas e históricas en torno a la figura del ingeniero de minas y químico madrileño Andrés Manuel del Río, descubridor del vanadio (Pinto, 2021).

Tabla 4. Propuestas de temas para relacionar ciencia, historia, arte y sociedad, validadas para el aprendizaje contextualizado, multi e interdisciplinar de los ámbitos STEAM.

Se incluyen las referencias en el texto.

Tema	Aspectos estudiados y características
La ciencia en las noticias de prensa.	Implicaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad, imagen social de la ciencia, fomento del pensamiento crítico, las áreas STEM en los medios de comunicación, periodismo.
Conferencias Solvay y su contexto.	Contextualización de la ciencia, industria química, reuniones científicas a principios del siglo XX, mecánica cuántica, estructura de la materia, Ciencia y Sociedad, la ciencia como

Biografía de Solvay.	tarea colectiva, Guerras Mundiales, historia..
Reactivo de Lugol.	Biografía del médico Lugol, aplicaciones médicas del reactivo, salud.
Aportaciones de Alan Turing.	Biografía de Alan Turing, aportaciones a la química, origen de la electrónica, patrones matemáticos de Turing.
La constante de Avogadro.	Historia de la ciencia, biografía de Avogadro, el concepto de mol, número o constante de Avogadro.
Armas químicas.	Características de las armas químicas, la Primera Guerra Mundial, programas y organismos para la destrucción de armamento.
Sello sobre el sistema periódico.	Antecedentes del sistema periódico, eka-elementos de Mendeléiev configuración electrónica, historia de la ciencia, filatelia, arte.
Sello sobre Marie Curie.	Historia de la ciencia, visitas de Marie Curie a España, radiactividad, filatelia, mujeres científicas, Edad de Plata de la cultura española.
Ciencia y una colección pictórica centenaria.	Colección pictórica de MAXAM (calendarios de "explosivos"), uso e historia de los explosivos, Alfred Nobel, arte sobre hechos científicos, implicaciones sociales de la ciencia, cartelería.
Dispersión de la luz: escultura.	Reciclado de materiales, dispersión de luz, <i>experimentum crucis</i> de Newton, óptica, arte sobre aspectos de la ciencia.
Aparato de Colladon y la	Historia del aparato de Colladon, reflexión de la luz y ley de Snell, índice de refracción, fibra óptica, iluminación de

fibra óptica.	fuentes de agua.
Obra científica de Antonio de Ulloa.	Descubrimiento del platino, expediciones científicas, medida de longitud del meridiano terrestre, canal de Castilla, matemáticas, geografía, metales.
Obra científica de Andrés del Río.	Mineralogía, elementos químicos, metales, historia de España y de América, la Ilustración española.
El 'Retablo de la Independencia'.	Arte contemporáneo (muralismo mexicano), historia de la ciencia, historia de España y de México.
Vuelos espaciales.	Ciencia y tecnología, astronomía.
Génesis y bases de la tabla periódica.	Historia e implicaciones de la tabla periódica, la Ilustración española, descubrimientos de elementos químicos por españoles.
Paseos divulgativos y didácticos.	Aprendizaje-servicio, Edad de Plata de la cultura española, la Ilustración Española, historia de Madrid. Descubrimiento de elementos químicos.

Otro ejemplo novedoso propuesto y empleado es la colección de cuadros de la empresa *Unión Española de Explosivos* (hoy MAXAM), que sirven para profundizar sobre la importancia de los explosivos en la sociedad moderna, y planteamientos variados como historia de la cartelería española, origen de la empresa (fundada por el propio Alfred Nobel), relaciones entre ciencia y tecnología (tratamiento seguro de la nitroglicerina a través de dinamita), ética y ciencia (uso de explosivos con motivos bélicos), etc. En la colección han

intervenido pintores de la talla de Julio Romero de Torres (Pinto y Garrido-Escudero, 2016).



**Figura 7.** Alumnas de bachillerato discutiendo, con distintas herramientas educativas, sobre aspectos relacionados con el descubrimiento del platino y otros logros de Antonio de Ulloa. Elaboración propia.

Otros temas abordados son los antecedentes históricos de la constante de Avogadro (Pinto *et al.*, 2011) y del conocido como "reactivo de Lugol" (con importantes implicaciones en medicina) (Martín, Martín y Pinto, 2013), las implicaciones multidisciplinares inherentes a los vuelos espaciales (Martín y Pinto, 2019), y las aportaciones a la física y la química de Alan Turing (Martín, Martín y Pinto, 2012), uno de los padres de la informática y la criptografía.

Con motivo de la declaración en 2015 del 'Año Internacional de la Luz y las Tecnologías Basadas en la Luz', se realizó un trabajo sobre el estudio histórico del conocido como aparato de Colladon (Martín *et al.*, 2015b). Este ingeniero ginebrino descubrió a mediados del siglo XIX que la luz podía confinarse en la forma curva de un chorro de agua. La explicación, por reflexión total, es fácilmente comprensible por alumnos preuniversitarios, en aplicación de la ley de Snell de la refracción. Por otra parte, es la base de la comprensión del funcionamiento de las "fuentes luminosas" y de la fibra óptica, tan utilizada y

conocida actualmente. También en relación con la luz, se realizó, con colaboración de alumnos y profesores, una exposición artística donde se realizó una escultura gigante, para recordar el experimento emblemático de Newton sobre dispersión de luz por un prisma, con material reciclado (Díaz *et al.*, 2015). En relación a otros aspectos recogidos en la Tabla 4, se destacan las propuestas sobre el uso de las noticias de prensa de actualidad para introducir aspectos científicos (Pinto, 2002).

En 2019 se celebró el 'Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos', efeméride que fue una grandísima oportunidad para abordar distintas vertientes de relaciones entre historia, arte, ciencia, filosofía, creatividad y tecnología, para lo que se desarrollaron varias herramientas didácticas (Pinto, 2019; Pinto *et al.*, 2019; Pinto, Martín y Prolongo, 2020). A modo de ejemplo, se explicó como introducir la vida y obra de Fausto Elhuyar (codescubridor del wolframio con su hermano Juan José) y Andrés del Río (descubridor del vanadio), a través del 'Retablo de la Independencia', obra del muralista mexicano Juan O'Gorman (Pinto, 2022b).

Por último, y como ejemplo de generación de herramientas educativas para un aprendizaje inter y multidisciplinar de ámbitos STEAM, se comenta la preparación de paseos didácticos y divulgativos, donde los alumnos pueden participar como asistentes y como 'guías' (usando en este caso la modalidad de Aprendizaje-Servicio). En concreto, durante el presente año, el autor de este trabajo dirige un grupo de alumnos y profesores universitarios que están diseñando dos paseos por Madrid, con los títulos de: 'Los elementos químicos "españoles": tres hitos del período de la Ilustración (siglo XVIII) y principios del siglo XIX' y 'Los "altos del hipódromo": una zona emblemática de la "Edad de Plata" de la cultura española (1868-1936).

## 7. Conclusiones

En este trabajo se han resumido un buen número de aportaciones que pueden servir de inspiración para el profesorado de las distintas etapas educativas. Con ellas, se ha manifestado la posibilidad de introducir actividades interdisciplinares y multidisciplinares que pueden involucrar a docentes de diferentes disciplinas, con las que promover en los alumnos un aprendizaje activo y contextualizado en su vida cotidiana. En algún caso, simplemente se han citado algunas aportaciones, desde el ámbito de la ciencia, con idea de que profesores de otras materias encuentren y elucubren conexiones.

La respuesta de los alumnos sobre estas herramientas didácticas, en general positiva, no siempre es todo lo entusiasta que cabe prever. Algunos, a veces, prefieren modos de aprendizaje más simples, en los que prima lo meramente transmisivo y repetitivo, y se sienten inseguros cuando tienen que buscar datos, hacer aproximaciones, ofrecer resultados que no tienen que ser solo uno concreto, etc. También algunos profesores encuentran cierta inseguridad con este tipo de actividades, de carácter más abierto que las convencionales. Pero, tanto entre el alumnado como entre el profesorado, se trata de fomentar una formación que promueva un aprendizaje más significativo, a través de planteamientos inter y multidisciplinares, acorde a lo que suele ser la problemática inherente a la realidad cotidiana. Y eso es algo que no siempre se valora a corto plazo. Además, con muchas de estas herramientas, los alumnos descubren cómo se afrontan desde sus materias los objetivos de desarrollo sostenibles.

Son ejemplos, en todo caso, de ideas que pueden servir de base para diseñar 'situaciones de aprendizaje' con las que los alumnos 'aprenden a aprender' no solo temas STEM o STEAM, sino de los contenidos de las diferentes asignaturas.

## **Agradecimientos**

Se agradece a la Universidad Politécnica de Madrid por la financiación del proyecto "Madrid a ciencia cierta: diseño e implementación de rutas guiadas con temática STEAM" (Convocatoria de proyectos de Aprendizaje-Servicio para 2023). También se agradece la ayuda de la Comunidad de Madrid, a través del Convenio Plurianual con la Universidad Politécnica de Madrid, dentro de la línea de actuación «Programa de Excelencia para el Profesorado Universitario», en el marco del V Plan Regional de Investigación Científica e Innovación Tecnológica, PRICIT.

## Referencias

- Bybee, R. W. (2010). What Is STEM Education? *Science*, 329(599), 996.
- Díaz, F., Alonso, J. V., Ramírez, J., Sotres, F. y Pinto, G. (2015). Dispersión de la luz a través de un prisma: Una experiencia artística y divulgativa. *Revista Española de Física*, 29(2), 41-44.
- García Carmona, A. (2020). STEAM, ¿Una nueva distracción para la enseñanza de la ciencia? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 4(2), 35-50.
- Liao, C. (2016). From interdisciplinary to transdisciplinary: An arts-integrated approach to STEAM education. *Art Education*, 69(6), 44-49.
- Martín, M., Martín, M. T., Sotres, F., Paz, I. y Pinto, G. (2015a). Reacción entre el sodio y el agua: Una demostración experimental para ilustrar fenómenos físicos y químicos. *Revista Española de Física*, 29(2), 33-40.
- Martín, M. y Pinto, G. (2019). Importancia de la química en los vuelos espaciales: En recuerdo de las cinco décadas del Apolo XI. *Anales de Química*, 115(4), 308-314.
- Martín, M., Pinto, G., Hernández, J. M. y Martín, M. T. (2015b). El aparato de Colladon y su relación con la fibra óptica: Reseña histórica y aplicaciones didácticas. *Revista Española de Física*, 29(3), 34-39.
- Martín, M., Martín, M. T. y Pinto, G. (2012). Aportaciones de Alan Turing al ámbito de la química: Teoría de la morfogénesis e interpretación de algunas reacciones químicas. *Anales de Química*, 108, 322-327.
- Martín, M., Martín, M. T. y Pinto, G. (2013). Reactivo de Lugol: Historia de su descubrimiento y aplicaciones didácticas. *Educación Química*, 24, 31-36.

- Oliver-Hoyo, M. T., Alconchel, F. y Pinto, G. (2012). Metodologías activas para el aprendizaje de la física: Un caso de hidrostática para su introducción en la práctica docente. *Revista Española de Física*, 26(1), 45-50.
- Oliver-Hoyo, M. T., Pinto, G. y Llorens, J. A. (2009). The chemistry of self-heating food products. An activity for classroom engagement. *Journal of Chemical Education*, 86(11), 1277-1280.
- Pinto, G. (1998). Using balls of different sports to model the variation of atomic sizes. *Journal of Chemical Education*, 75(6), 725-726.
- Pinto, G. (2000). Experimenting with a fizzy tablet. *Education in Chemistry*, 37, 71-81.
- Pinto, G. (2002). Motivación al aprendizaje de la química mediante el análisis de noticias de prensa. *Anuario Latinoamericano de Educación Química*, 16, 200-204.
- Pinto, G. (2003a). Making experimental connections. *Education in Chemistry*, 40, 80-81.
- Pinto, G. (2003b). Didáctica de la química y vida cotidiana. *Anales de Química*, 99(1), 44-52.
- Pinto, G. (2005a). Stoichiometry of calcium medicines. *Journal of Chemical Education*, 82(10), 1509-1512.
- Pinto, G. (2005b). Chemistry of moth repellents. *Journal of Chemical Education*, 82(9), 1321-1324.
- Pinto, G. (2007). A postage stamp about the periodic table. *Journal of Chemical Education*, 84(12), 1919.

- Pinto, G. (2009a). Determining the CO<sub>2</sub> emissions averted by the use of solar power. *Journal of Chemical Education*, 86(9), 1033.
- Pinto, G. (2009b). Fluorine compounds and dental health: Applications of general chemistry topics. *Journal of Chemical Education*, 86(2), 185-187.
- Pinto, G. (2010). The Bologna process and its impact on university-level chemical education in Europe. *Journal of Chemical Education*, 87(11), 1176-1182.
- Pinto, G. (2011). A postage stamp honoring Marie Curie: An opportunity to connect chemistry and history. *Journal of Chemical Education*, 88, 687-689.
- Pinto, G. (2012). An example of body-centered cubic crystal structure: The Atomium in Brussels as an educative tool for introductory materials chemistry. *Journal of Chemical Education*, 89(7), 921-924.
- Pinto, G. (2013). Termoquímica de las calderas domésticas de condensación: un caso de aprendizaje contextualizado por indagación dirigida. *Educació Química*, 14, 29-38.
- Pinto, G. (2014). La resolución de problemas como metodología para la adquisición de competencias clave en ciencia y en tecnología. *Anuario Latinoamericano de Educación Química*, 30(2), 91-98.
- Pinto, G. (27 de enero de 2016). La ósmosis: de la preparación de pepinillos a la desalación del agua de mar. Naukas. <http://naukas.com/2016/01/27/la-osmosis-de-la-preparacion-de-pepinillos-a-la-desalacion-del-agua-de-mar/>
- Pinto, G. (2017). Antonio de Ulloa and the discovery of platinum: An opportunity to connect science and history through a postage stamp. *Journal of Chemical Education*, 94, 970-975.

- Pinto, G. (2018). Modelos atómicos y propiedades periódicas de los elementos químicos. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 93, 41-45.
- Pinto, G. (2019). La tabla periódica como recurso imprescindible para el aprendizaje y la divulgación de las ciencias. *Educación en la Química, Edenlaq*, 25(2), 17-52.
- Pinto, G. (2020). El laboratorio en casa: Ideas para realizar trabajos experimentales con objetos cotidianos. *Educación en la Química*, 26(02), 177-192.
- Pinto, G. (2021). Del Río, descubridor del eritronio, hoy vanadio. *Revista Con Ciencias*, 26, 4-25.
- Pinto, G. (2022a). Educación STEAM: Análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades, *Anales de la Asociación Química Argentina, AAQAE*, 109 (número extra), 114-121.
- Pinto, G. (2022b). El Retablo de la Independencia: Obra de arte mexicana donde se homenajea a Andrés Manuel del Río y Fausto Delhuyar. *Educación Química*, 33(4), 143-155 (2022).
- Pinto, G. y Esin, A. (2004). Kinetics of the osmotic hydration of chickpeas. *Journal of Chemical Education*, 81(4), 532.
- Pinto, G. y Garrido-Escudero, A. (2016). Chemistry and explosives: An approach to the topic through an artistic and historical contribution made by a Spanish global supplier. *Journal of Chemical Education*, 93, 103-110.
- Pinto, G. y Gauthier, C. V. (2009). Spattering and crackle of hot cooking oil with water: A classroom demonstration and discussion. *Journal of Chemical Education*, 86(11), 1281-1285.

- Pinto, G. y Lahuerta, P. (2017). Velocidad de fusión del hielo en distintas disoluciones: un ejemplo de aprendizaje activo de la ciencia. *Educació Química*, 21, 54-62.
- Pinto, G., Martín, M., Calvo Pascual, M. A. y de la Fuente, A. (2019). Año Internacional de la Tabla Periódica (2019): Una oportunidad para abordar contextos de didáctica e historia de la física y la química. *Revista Española de Física*, 33(1), 10-18.
- Pinto, G., Martín, M., Hernández, J. M. y Martín, M. T. (2015). El reactivo de Tollens; Historia y aplicaciones didácticas: De la identificación de aldehídos al uso en nanotecnología. *Anales de Química*, 111(3), 173-180.
- Pinto, G., Martín, M. y Martín, M. T. (2015). Las Conferencias Solvay de física y de química: Oportunidades para enfoques didácticos (I). *Revista Con Ciencias*, 16, 46-63.
- G. Pinto, M. Martín, M. T. Martín (2016). Las Conferencias Solvay de Física y de Química: Oportunidades para Enfoques Didácticos (II). *Revista Con Ciencias*, 17, 4-21.
- Pinto, G., Martín, M. y Martín, M. T. (2017). Enfriamiento del agua en recipientes cerámicos porosos: Un recurso para la formación en competencias. En M. González Montero de Espinosa, A. Baratas Díaz y A. Brandi Fernández (Eds.), *IV congreso de docentes de ciencias de la naturaleza: Jornadas sobre investigación y didáctica en ESO y Bachillerato* (pp. 413-422). Santillana.
- Pinto, G., Martín, M., Martín, M. T. y Escudero, P. (2011). Aspectos históricos y pedagógicos sobre la constante de Avogadro. *Química e Industria*, 598, 38-41.
- Pinto, G., Martín, M. y Prolongo, M. L. (2020). El Año Internacional de la Tabla Periódica desde la filatelia: implicaciones didácticas y divulgativas. *Anales de Química*, 3, 164-172.

- Pinto, G. y Martín Conde, M. (2023). Una introducción al método científico con agua y sal común: aplicación y resultados. En V. Alcázar y M. P. Arrieta (Eds.). *Aprendizaje basado en la investigación*, E.T.S. de Ingenieros industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. En prensa.
- Pinto, G. y Oliver-Hoyo, M. T. (2008a). Using the relationship between vehicle fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions to illustrate chemical principles. *Journal of Chemical Education*, 85(2), 218.
- Pinto, G. y Oliver-Hoyo, M. T. (2008b). What is in your bottled water? Look at the label!. *The Chemical Educator*, 13, 341-343 (2008).
- Pinto, G. y Prolongo, M. L. (2023). El concepto de catálisis: Algunas experiencias y su interpretación. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 111, 39-45.
- Pinto, G. y Rohrig, B. (2003). Use of chloroisocyanurates for disinfection of water: Application of miscellaneous general chemistry topics. *Journal of Chemical Education*, 80(1), 41-44.
- Pinto, G., Prolongo, M. L. y Alonso, J. V. (2017). Química y física de algunos efectos especiales en cinematografía: Una propuesta educativa y para la divulgación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 427-441.
- Pinto, G. y Vieta, J. A. (2013). Habemus papam... i y es químico!: Un ejemplo de relación de temas de actualidad con la enseñanza de las ciencias. *Anales de Química*, 109(2), 130-130.
- Prolongo, M. L., Corominas, J. y Pinto, G. (2014). Química de los medicamentos de hierro: propuestas educativas contextualizadas. *Anales de Química*, 110, 218-224.

- Prolongo, M. L. y Pinto, G. (2010). Las bebidas autocalentables y autoenfriables como recursos para un aprendizaje activo. *Educació Química*, 7, 4-14.
- Prolongo, M. L. y Pinto, G. (2018). Colourful chemistry: Redox reactions with lollipops. *Science in School*, 43, 41-45.
- Prolongo, M. L. y Pinto, G. (2021). Tea-time chemistry. *Science in School*, 52.
- Quílez, J. (2022). El movimiento STEM en el currículum: origen, fundamentación y análisis crítico. *Anales de Química*, 118(3), 199-205.
- Radziwill, N. M., Benton, M. C. y Moellers, C. (2015). From STEM to STEAM: Reframing what it means to learn. *The STEAM Journal*, 2(1), Article 3.
- Zubizarreta, J. I. y Pinto, G. (1995). An ancient method for cooling water explained by mass and heat transfer. *Chemical Engineering Education*, 29(2), 96-99.