

LAS BEBIDAS AUTOCALENTABLES Y AUTOENFRIABLES COMO RECURSOS PARA UN APRENDIZAJE ACTIVO DE LA QUÍMICA CON ENFOQUE INTERDISCIPLINAR

PROLONGO SARRIA, María Luisa ⁽¹⁾; PINTO CAÑÓN, Gabriel ⁽²⁾

⁽¹⁾ I.E.S. Ciudad Jardín de Málaga. ⁽²⁾ Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente

RESUMEN

Se presentan dos actividades educativas, diseñadas e implementadas para bachillerato y primer curso universitario, pero fácilmente adaptables a niveles previos. La primera se concreta a través de una propuesta de aprendizaje basado en la indagación dirigida, sobre el calentamiento de bebidas comerciales, denominadas “autocalentables”, que se produce por el carácter exotérmico de la reacción de hidratación del óxido de calcio. Se diseñó la actividad de forma que sólo se emplean del orden de cinco minutos en clase, promoviendo que los alumnos trabajen en equipo y consulten al profesor en horarios de tutorías. La segunda propuesta se refiere a un ejemplo de práctica, mediante aprendizaje basado en problemas (ABP), en la que una bebida se enfría gracias al calor absorbido en el proceso de disolución de nitrato amónico en agua. Ambos son ejemplos de cómo experiencias de este tipo pueden servir como punto de partida para el empleo de metodologías activas de carácter cooperativo, que favorecen el aprendizaje de conceptos fisicoquímicos (calor específico, transferencia de calor, conductividad térmica, variación de entalpía de disolución, energía de reacción, estequiometría, espontaneidad de procesos,...). Son también ejemplos de cómo ciertas actividades educativas pueden servir para detectar concepciones alternativas en los alumnos y para promover la adquisición de competencias transversales (búsqueda de datos, realización de medidas experimentales, elaboración de trabajos escritos, empleo de unidades adecuadas, elaboración de tablas, creatividad, trabajo en equipo, etc.). Mediante los ejemplos planteados, se promueven enfoques interdisciplinarios en torno a relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad-Medio Ambiente, así como una formación en lo que a veces se denomina como “Química del consumidor”.

1. INTRODUCCIÓN

Los envases autocalentables y autoenfriables para alimentos y bebidas son unos dispositivos excelentes como ejemplos de aplicaciones prácticas de la Química. Además, debido a su peculiar diseño y características, constituyen un ejemplo interesante para promover un aprendizaje activo en el que se pueden abordar otros aspectos, como enfoques de Ciencia-Tecnología-Sociedad-Medio Ambiente. Los recursos educativos centrados en el estudio de bebidas, dado su carácter bien conocido y motivador por parte de los alumnos, han sido tratados por otros autores [1]. Si bien en el trabajo aquí presentado el estudio se enfoca en relación al envase que la contiene, obviamente podría ser ampliado, en la práctica docente, con un estudio fisicoquímico adicional sobre la propia bebida.

Estos peculiares envases consisten esencialmente en dos cámaras, una que contiene el alimento o la bebida y otra donde se produce un proceso químico que desprende o absorbe calor. La cuestión fundamental consiste en que los reactivos permanezcan separados hasta que

se desee que se produzca el calentamiento o enfriamiento. Además, es necesario que exista un perfecto hermetismo en la cámara donde se produce la reacción, para que ni los reactivos iniciales ni los productos finales entren en contacto con el alimento.

La aplicación de procesos químicos para calentar bebidas y alimentos se ha utilizado desde principios del siglo XX, inicialmente para uso de montañeros, excursionistas y en el ámbito militar [2]. Si bien no son ampliamente conocidos, en los últimos años, se han comercializado en España diversas marcas de bebidas de este tipo, accesibles principalmente en estaciones de servicio y algunos supermercados. Estas marcas incluyen bebidas como café solo o con leche, capuchino, té, caldo y chocolate. Una de ellas, bajo el nombre comercial de “Caliente caliente” ha sido producida en los últimos años en Grumo Nevano (Nápoles, Italia), por la empresa *Malgara Chiari & Forti* [3], y se basa en el calentamiento producido por la disolución de cloruro cálcico en agua, dado que la variación de entalpía de disolución de esta sal en agua es del orden de $-82,9$ kJ/ mol. El invento del dispositivo correspondiente se debe al ingeniero italiano Francesco Guida, quien señaló: “La idea se me ocurrió a raíz del problema que teníamos en la familia de calentar el biberón de mi nieta cuando íbamos a esquiar. En los años 80 empecé a buscar soluciones para que un líquido se autocalentase y ya en 1990 patenté mi creación a nivel mundial” [4]. La utilización de las bebidas comercializadas por esta marca para el aprendizaje de cuestiones variadas de Química, en entornos activos por parte de los estudiantes, ya se publicó en trabajos anteriores [5-7]. Este mismo fabricante anunciaba la preparación y venta (si bien no comercializadas en España) de bebidas autoenfriables, basadas en el proceso de disolución endotérmico de tiosulfato sódico pentahidratado, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, en agua. En este caso, la variación de entalpía de disolución de la sal es del orden de $+47,4$ kJ/ mol.

Desde 2009, la empresa española *Fast Drinks* fabrica, en Venta de Baños (Palencia) bebidas autocalentables que comercializa bajo el nombre de 2GO, no sólo en España, sino en otros países [8, 9]. Su tecnología se basa en el calor que desprende la reacción química de hidratación del óxido de calcio, al transformarse en hidróxido de calcio.

En la Fig. 1 se muestran diversos tipos de bebidas autocalentables, incluyendo los más conocidos en España en los últimos años, según se ha comentado.



Figura 1: Imágenes de bebidas autocalentables comerciales.

En este trabajo se presentan dos ejemplos de actividades educativas, basadas en bebidas autocalentables y autoenfriables. Estas actividades se diseñaron para bachillerato y primer curso universitario, pero son fácilmente adaptables a niveles previos. Con ellas se promueven metodologías activas de aprendizaje. Ambas actividades fueron seleccionadas para la fase

final de los certámenes internacionales de Ciencia en Acción celebrados en Granada (año 2009) y Santiago de Compostela (año 2010) [10]. La segunda actividad recibió, además, el primer premio de experiencias de Química, otorgado por el Centro de Ciencia Principia de Málaga en 2009 [11].

La primera propuesta se concreta a través de una actividad de aprendizaje basado en la indagación dirigida, sobre el calentamiento de las bebidas comercializadas por la empresa *Fast Drinks* (fácilmente accesibles, por ejemplo, en las estaciones de servicio de Repsol y en los establecimientos Mercadona). La indagación dirigida promueve el aprendizaje del alumno mediante el uso de preguntas de resultado abierto, donde el proceso de investigación a veces es incluso más valorado que el propio resultado numérico final. Algunas herramientas y etapas asociadas a esta metodología incluyen el planteamiento de una serie de preguntas, la planificación y el seguimiento del proceso de investigación desarrollado, el uso de técnicas adecuadas para obtención de datos, el pensamiento lógico y crítico sobre relaciones entre evidencias y explicaciones, la construcción y análisis de explicaciones alternativas, y la comunicación de argumentos científicos [12, 13].

La segunda propuesta se refiere a un ejemplo de práctica, en la que una bebida se enfría gracias al calor absorbido en el proceso de disolución de nitrato amónico en agua. En este caso, la práctica que se propone a los alumnos no se circunscribe al seguimiento de un guión, a modo de “receta”, sino que se fundamenta en el aprendizaje basado en problemas (ABP). Como es bien sabido, en la metodología ABP, la adquisición de conocimientos y habilidades tiene lugar por la necesidad de resolver un problema determinado, normalmente relacionado con temas de interés para los alumnos. El papel del profesor, aparte de plantear el problema, consiste en orientar a los alumnos a medida que va observando cómo éstos avanzan en su solución. En otras palabras, con la metodología de ABP el problema suele estar menos estructurado que en el aprendizaje basado en la indagación dirigida, pero el objetivo también está claramente establecido. Las características principales del ABP son recogidas ampliamente en la literatura [14, 15].

Ambas metodologías, cuyas similitudes y diferencias ya se discutieron en un trabajo anterior [5], promueven el trabajo cooperativo de los alumnos, que piensan y desarrollan vías de resolución de problemas de forma colectiva.

Son también ejemplos de cómo experiencias concretas de este tipo pueden servir como punto de partida para un aprendizaje activo, que favorece la adquisición de competencias específicas, como la comprensión de conceptos fisicoquímicos como calor específico, transferencia de calor, conductividad térmica, variación de entalpía de disolución, energía de reacción, estequiometría, espontaneidad de procesos, etc. Pero además, también pueden servir para detectar concepciones alternativas en los alumnos y para promover la adquisición de competencias transversales o genéricas (búsqueda de datos, realización de medidas experimentales, elaboración de trabajos escritos, empleo de unidades adecuadas, elaboración de tablas, creatividad, trabajo en equipo, etc.).

Por otra parte, los ejemplos planteados son casos concretos donde se promueven enfoques basados en las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad-Medio Ambiente, así como formación en lo que a veces se conoce como “Química del consumidor”. En este sentido, parte de la información objeto de discusión de la primera actividad que se propone se encontrará en la etiqueta del producto.

2. BEBIDA AUTOCALENTABLE CON ÓXIDO DE CALCIO Y AGUA. PROPUESTA DE PROBLEMA BASADO EN LA INDAGACIÓN DIRIGIDA

Este ejemplo se ha desarrollado con alumnos de primer curso de las titulaciones de Ingeniero Industrial e Ingeniero Químico de la Universidad Politécnica de Madrid, pero se considera que podría emplearse también en los cursos de bachillerato y, con la conveniente adaptación (con un tratamiento menos cuantitativo), incluso en niveles previos. Aunque podría desarrollarse en el laboratorio, se ha implementado como una propuesta de trabajo en la que sólo se emplean del orden de cinco minutos en clase, pero sugiriendo a los alumnos que trabajen en equipo y que consulten al profesor, en horarios de tutorías, a medida que avancen en su desarrollo.

Para la resolución del problema, aparte de los conocimientos implicados, los alumnos deben buscar ciertos datos, como pesos atómicos y entalpías de formación, en bases de datos adecuadas. También pueden partir de datos diferentes (por ejemplo, cada grupo podría trabajar con sus propios valores de masas iniciales de los componentes de su bebida particular) y, con ello, no hay un único resultado igual para toda la clase. Además, aparte de la adquisición de competencias específicas, propias de contenidos de Química y de Física, se favorece la adquisición de otro tipo de competencias, como se señaló en el apartado anterior.

Algunas instrucciones previas, que se dan por escrito a los alumnos y que son comunes a otras tareas del curso, son:

- Se valorará la claridad expositiva y la presentación del trabajo (con aspectos como orden, edición por ordenador, y la corrección en la preparación de tablas, gráficas y dibujos).
- Deben indicarse de forma clara los resultados obtenidos (resaltándolos convenientemente, por ejemplo en negrita o en recuadros), con unidades adecuadas y con cuidado en el uso de las cifras significativas, en su caso.
- Debe prestarse especial cuidado en la cita adecuada de las referencias bibliográficas (si se utilizan, como es altamente recomendable), incluyendo autores, título, nombre de la revista o de la editorial del libro, volumen, página, y año edición, si es texto editado (preferible); o título, dirección y fecha de consulta de páginas Web.
- Se sugiere que, antes de entregar el trabajo definitivo, se consulten al profesor las dudas que se vayan planteando.

Para la implementación de esta actividad educativa, el profesor introduce la cuestión en clase, durante el desarrollo del tema de Termodinámica Química. Brevemente, en unos cinco minutos, se muestra una bebida autocalentable, se siguen las instrucciones mostradas en la etiqueta y se mide la temperatura que alcanza (previamente, se mide la temperatura del aula). En concreto, la última vez que se realizó la experiencia, en marzo de 2010, la bebida (café solo) pasó de 22,5 °C a 62,8 °C.

Finalmente, se comenta a los alumnos que, en la plataforma educativa del Centro, disponen del enunciado de la tarea que tienen que resolver sobre ello, en grupos de tres. Dicho enunciado, junto con la explicación de los resultados y las soluciones propuestos, se recogen en los dos siguientes epígrafes.

2.1. Enunciado del problema

En la clase de Química se mostró una aplicación de aprovechamiento de la energía desprendida por la reacción química entre el óxido de calcio y el agua, para dar hidróxido de calcio, que sirve para calentar una bebida en un envase algo especial, con un diseño peculiar. Dicha bebida se comercializa por la empresa *Fast Drinks* con el nombre de 2GO y es accesible en supermercados (como Mercadona) y estaciones de servicio (como Repsol). En un envase similar al de la experiencia de clase, se determinaron las siguientes masas: óxido de calcio (60,00 g), agua coloreada (23,00 g), bebida de café (206,20 g, ocupando un volumen de 200 mL) y envase (la mayor parte son piezas de hojalata, pero también hay de plástico y una pequeña lámina de aluminio) (100,56 g). Se pide:

a.- Describir el envase (tipo de componentes, compartimentos, aspecto del óxido de calcio,...), 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. En el laboratorio se dispone de envases seccionados, para apreciar detalladamente los distintos componentes.

b.- (i) 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 cantidades de sustancia (en g) del (ii) reactivo en exceso y (iii) del hidróxido cálcico que se puede formar.

c.- Buscar en referencias adecuadas (en la biblioteca del Centro hay una serie de libros apropiados para ello, como el *CRC Handbook of Chemistry and Physics*) los valores de entalpía estándar de formación, a 298 K, expresados 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), hojalata (0,12). Considérese que todo el recipiente es de hojalata (aunque, como se indicó, también hay otros materiales de mucha menor masa) y que el calor específico de la bebida es aproximadamente igual al del agua.

f.- Comparar la temperatura final (en °C) calculada en el apartado anterior, con la que se alcanzaría según la información aportada en el envase (en la etiqueta se indica que “*el envase activado aumenta la temperatura del producto alrededor de 40 °C sobre la temperatura inicial*”) y con la que se alcanzó en la práctica (en la experiencia del aula). Se recomienda elaborar una tabla donde se recojan las tres temperaturas.

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

h.- Razonar si sería posible utilizar el mismo diseño de envase para enfriar una bebida (para producir por ejemplo té frío) en vez de calentarla.

i.- Discutir ventajas e inconvenientes de este tipo de envases de bebidas. Destacar en la discusión, entre otros aspectos, cuestiones económicas y ambientales.

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

2.2. Propuesta de resultados y soluciones

De forma resumida, las soluciones que se sugieren a las preguntas planteadas son:

a.- El envase, accesible si se pregunta al profesor o adquiriéndolo en un comercio, consiste esencialmente en un vaso con distintos compartimentos, que se puede esquematizar como se muestra en la figura 2.

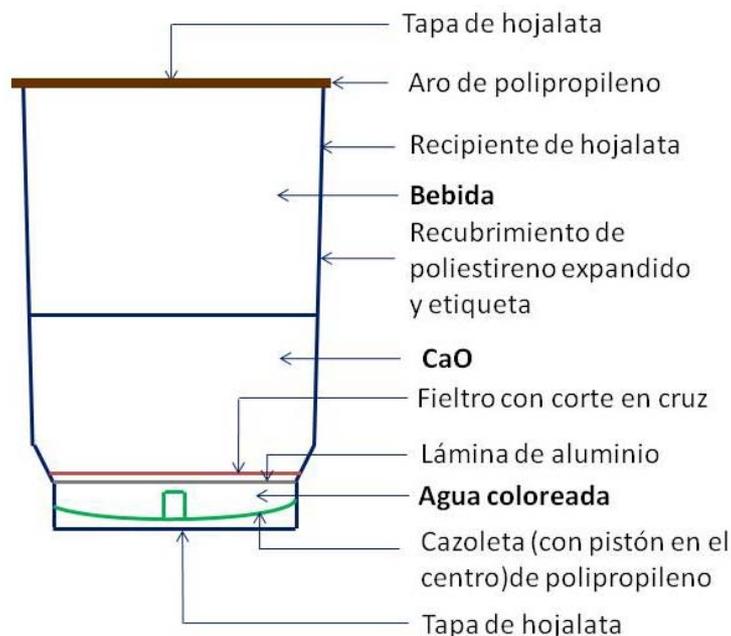


Figura 2: Esquema del envase de bebida autocalentable estudiado.

El óxido de calcio se presenta granulado, en trozos irregulares de varios milímetros en sus dimensiones, y con color grisáceo.

El agua está coloreada (de amarillo), principalmente para que se vea bien cuándo pasa por completo al compartimento que contiene el óxido de calcio, para poder dar, entonces, la vuelta al recipiente (según se indica en el etiquetado). Como información adicional, el fabricante indicó a los autores de este trabajo que se añade el colorante alimentario Verde Menta, para dar color al agua de la cazoleta.

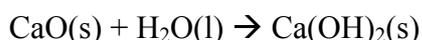
Los tres minutos que se indican en el etiquetado deben ser el tiempo necesario para que se dé la reacción y se produzca la transferencia de calor. En todo caso, el fabricante señala que se intenta que el calentamiento no sea excesivamente rápido, para evitar la formación de vapor

de agua. Para ello, se añade con el óxido de calcio una cierta cantidad de gluconato sódico (aditivo alimentario E-576) que actúa como retardador de la reacción de hidratación.

El aro de propileno que se incluye en la parte de arriba es para que la lata no caliente en exceso los labios de la persona que beba el producto. Como es bien sabido, los metales son buenos conductores térmicos y los plásticos no.

Al retirar la tapa inferior metálica, se observa una cazoleta de plástico que, en la parte central tiene un pistón. Al apretar por abajo, se acciona este pistón y se rompe una fina capa de aluminio que une el compartimento con agua (la cazoleta) y el que contiene el óxido de calcio, para que se inicie la reacción química.

La reacción que produce el calor necesario es:



Esta reacción, de carácter exotérmico, es también la que se produce al mezclar “cal viva” (CaO) con agua para formar “cal apagada” o Ca(OH)_2 , tan usada como material de construcción. Con este comentario, los alumnos pueden apreciar que una misma reacción química puede tener múltiples aplicaciones.

Para apreciar con más detalles los constituyentes del envase, se muestra en la Fig. 3 una fotografía con todos ellos.



Figura 3: Conjunto de piezas y reactivos que forman el envase de la bebida autocalentable analizada.

- b. Moles $\text{CaO} = 60,00 \text{ g} / 56,08 \text{ g/mol} = 1,07 \text{ mol}$ (reactivo limitante).
Moles $\text{H}_2\text{O} = 23,00 \text{ g} / 18,02 \text{ g/mol} = 1,28 \text{ mol}$ (reactivo en exceso).

Hay un exceso de 0,21 moles de agua, que suponen 3,78 g, y se podrán formar (si la reacción se produce con un rendimiento del 100%):

$$1,07 \cdot 74,10 \text{ g/mol} = 79,29 \text{ g Ca(OH)}_2$$

c. Algunos ejemplos de valores de entalpía estándar de formación de las sustancias solicitadas, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Valores de entalpía de formación recopilados.

Sustancia	Variación de entalpía de formación, ΔH_f° , a 298 K y 1,00 atm, en kJ/mol		
	Fuente 1 [16]	Fuente 2 [17]	Fuente 3 [18]
CaO(s)	-635,09	-635	-635,09
H ₂ O(l)	-285,83	-286	-285,8
Ca(OH) ₂ (s)	-985,14	-987	-986,09

Los valores aportados por las tres fuentes consultadas son similares. No coinciden exactamente porque proceden de datos obtenidos, por distintos autores, de forma experimental.

d. Considerando los valores de la fuente 1 (con los otros el resultado sería similar), la variación de entalpía estándar de reacción es:

$$\Delta H_r^\circ = -985,14 + 635,09 + 285,83 = -64,22 \text{ kJ/mol}$$

Como se pueden formar 1,07 mol Ca(OH)₂, el calor que se desprendería al producirse la reacción es: 1,07 mol · 64,22 kJ/mol = 68,72 kJ.

e. La temperatura inicial de la bebida fue 22,5 °C. La temperatura que alcanzaría se calcula a partir de la variación de temperatura, ΔT , que a su vez, se puede determinar si se supone que el calor producido por la reacción se emplea en calentar la bebida y el conjunto de los materiales del recipiente, según la expresión:

$$68,72 \cdot 10^3 \text{ J} / 4,184 \text{ J/cal} = 16424,5 \text{ cal} = \\ = [(0,21 \text{ mol} \cdot 18,02 \text{ g/mol} + 206,20 \text{ g}) \cdot 1,00 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} + \\ + (79,29 \text{ g} \cdot 0,28 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}) + (100,56 \text{ g} \cdot 0,12 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C})] \cdot \Delta T$$

$$\text{De donde } \Delta T = 16424,5 \text{ cal} / 231,18 \text{ cal/}^\circ\text{C} = 67,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Así, la temperatura final que se tendría que alcanzar, según los planteamientos descritos, sería del orden de 22,5 + 67,2 = 89,7 °C.

f. Se consideran tres temperaturas finales: la obtenida experimentalmente (medida en el aula), la aportada por el fabricante en el etiquetado (indica que se eleva unos 40 °C, como se especificaba en el enunciado) y la calculada en el apartado anterior. Los resultados se recogen en la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados de temperatura final alcanzada, según los distintos procedimientos.

Procedimiento	Temperatura final (en °C)
Experimental	62,8
Indicado por el fabricante	62,5
Calculado en el apartado e (teórico)	89,7

Los dos primeros valores son similares y el calculado los excede en unos 17 °C (si bien es del mismo orden de magnitud). Se entiende que el fabricante ha diseñado el producto

considerando resultados experimentales, lo que explica la similitud entre los dos primeros valores. En el cálculo para determinar la temperatura final que se alcanza se han hecho muchas aproximaciones, como se señala en el siguiente apartado.

g. Algunas aproximaciones realizadas en el cálculo del apartado e son:

- El sistema no está perfectamente aislado térmicamente del ambiente (como lo prueba el hecho de que se caliente la mano que sujeta el vaso), pero se ha supuesto que no se producen pérdidas de calor.
- Se considera que la reacción transcurre con un rendimiento del 100%.
- El cálculo de ΔH_r° se ha realizado a 25 °C (temperatura para la que se tienen los ΔH_f° tabulados), y el proceso empieza a 22,5 °C y termina a unos 62,8 °C.
- Se ha asumido el valor de calor específico de la bebida igual al del agua.
- No se han considerado los calores específicos de todas las sustancias implicadas (plástico y aluminio, por ejemplo, que se han considerado iguales al de la hojalata).
- Se midió una temperatura en una zona de la bebida y es previsible que en todo el sistema haya un gradiente de temperaturas.

h. Sí sería posible, empleando una reacción química o un proceso de disolución de sales en agua, de carácter endotérmico en vez de exotérmico. Por ejemplo, en la introducción se explicaba el uso de la disolución de tiosulfato sódico pentahidratado, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, en agua. Más adelante, en la segunda experiencia, se comenta el uso del proceso de disolución de nitrato amónico, también en agua.

i. Esta pregunta es muy abierta y proclive a la discusión. Además, permite abordar enfoques interdisciplinares en torno a relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad-Medio Ambiente. Una ventaja es disponer de una bebida caliente en lugares inhóspitos (montaña, alta mar, realizando una marcha, en una etapa del Camino de Santiago, etc.) o donde sea difícil calentar (durante un viaje en automóvil, por ejemplo). Hay inconvenientes medioambientales, como la dificultad de reciclado de un dispositivo que incorpora distintos materiales (hojalata, aluminio, distintos plásticos, papel e hidróxido cálcico), y los mayores costes de transporte (la bebida pesa más, por el CaO, el agua y la cazoleta adicional que lleva, y ocupa también por ello más volumen). El transporte, además, lleva asociado un incremento de emisiones de CO_2 , dado que hay que hacer más viajes para llevar la misma cantidad de bebida que si fueran envases convencionales. Además, otro aspecto negativo es que se incrementa notablemente el coste de la bebida.

Estos aspectos pueden ampliarse, según las características y niveles de los alumnos. Por ejemplo, el fabricante de la bebida debe pagar unas tasas por el posterior reciclado de los envases, en función de la masa de cada material utilizado, y se podría determinar el importe de esta tasa por envase. Según el fabricante, se suele añadir hidróxido de calcio como aditivo en el horno de reciclado de hojalata y, en este caso, no sería necesario, por estar presente ya dicho hidróxido (producto de la reacción) en el propio envase. También señala que el hidróxido de calcio generado en el proceso de calentamiento de la bebida puede absorber CO_2 de la atmósfera, para transformarse en CaCO_3 y, con ello, se atenuaría el incremento de

emisiones de este gas que se comentó anteriormente. Además, el fabricante señala que el plástico del envase es útil también como combustible en el horno de reciclado de la hojalata.

j. Esta cuestión es también muy abierta, dado que cada grupo de alumnos puede intensificar su esfuerzo en algún tema de su interés: otras bebidas análogas que han visto, repetición del experimento realizado en el aula para contrastar la temperatura final, información adicional encontrada en distintas fuentes, sugerencias de mejora en el diseño, etc.

Se podría, por ejemplo, calcular el rendimiento energético aproximado, η , del proceso, considerando el calor desprendido teórico, $Q_{\text{teór.}}$, y el experimental, $Q_{\text{exp.}}$, de la forma:

$$\eta \cdot Q_{\text{teór.}} = Q_{\text{exp.}}$$

De donde:

$$\eta \cdot 16424,5 \text{ cal} = 244,3 \text{ cal/}^\circ\text{C} \cdot 40,3 \text{ }^\circ\text{C} ,$$

por lo que $\eta = 0.599$ (es decir, el rendimiento energético es del orden del 60 %).

Para ver un ejemplo de cómo se puede trabajar sobre un tema así, se incluye, en la Fig. 4, el dibujo realizado por unos alumnos, hace dos años, en un envase análogo (pero no igual, pues variaba el diseño y las sustancias implicadas), aplicando técnicas gráficas que aprenden en otra asignatura del curso.

En cuanto a las instrucciones indicadas en el propio envase, se indica (acompañado de dibujos) que se quite la tapa (metálica) inferior, se presione el fondo y se agite (boca abajo) hasta que desaparezca el agua coloreada y, en ese momento, se dé la vuelta. Finalmente, se indica que se abra (el fabricante comentó a los autores que esa instrucción es para que ya no se agite la bebida y se mantenga derecha), se esperen tres minutos y ya se puede consumir la bebida.

Además, aparte de datos sobre la composición de la propia bebida, que podría ser una fuente interesante de discusión, como se comentó anteriormente, se señalan en la etiqueta una serie de advertencias y modo de empleo, que se discuten brevemente:

- No perforar el envase. Obviamente, a diferencia de con otros envases convencionales, hay que extremar esta precaución porque la perforación del envase conllevaría la pérdida del agua para la reacción o, lo que es más peligroso, del óxido de calcio.
- El producto en ningún caso puede tener contacto con el óxido de calcio que produce el calentamiento. Este aspecto es señalado por algunos alumnos como posible fuente de rechazo por parte de consumidores, que se podrían sentir confundidos y con cierta desconfianza hacia el producto, por pensar que, de alguna manera, el óxido de calcio pudiera interaccionar con la bebida.
- El envase activado aumenta la temperatura del producto alrededor de 40 °C sobre la temperatura inicial. Este aspecto ha sido ampliamente discutido anteriormente, por ser uno de los aspectos centrales del trabajo.
- No intentar calentar el vaso por otros medios: microondas, horno, etc. Si se empleara un microondas, se estaría calentando un envase metálico, con el consiguiente peligro. En un horno, se podría producir el reblandecimiento de las piezas de plástico y, según la temperatura, la ebullición del agua y de la propia bebida.

- Si después de activar y agitar se le olvida darle la vuelta, no se calentará adecuadamente y puede aparecer algo de vapor. En todo caso, a modo de precaución, la cazoleta de polipropileno (ver Fig. 2 y 3) tiene dos pequeños orificios para permitir que se escape el posible vapor de agua formado. Por la disposición del envase (en el caso de otros fabricantes, como el mostrado en la Fig. 4, el calentamiento ha de producirse con el envase hacia abajo), el calentamiento es óptimo con el envase en posición derecha.

- No se preocupe, no es peligroso, pero dele la vuelta para optimizar el calentamiento. Esta advertencia es tranquilizadora para el consumidor y tiene que ver también con el aspecto anterior. Si no se diera la vuelta al envase se produciría un hueco entre la bebida y la superficie metálica en contacto con el hidróxido sódico que se va formando, con lo que el calentamiento sería menor.

De forma esquemática, se puede señalar que el problema planteado puede ser punto de partida (según los grupos) para tratar sobre las características de los materiales utilizados: distinta conductividad térmica (por ejemplo, el recubrimiento de poliestireno expandido y no una simple etiqueta, así como el aro de polipropileno, como se muestra en la Fig. 2, permiten coger el vaso y tomar la bebida, respectivamente, sin quemarse); tipos de polímeros; constitución de las hojalatas (la empleada en el envase es del tipo *electrolytic tinplate*, ETP, o electrolítica, que tiene una chapa de acero con bajo contenido en carbono recubierto electrolíticamente, por ambas caras, con una capa de estaño de protección); o uso de barnices de uso alimentario para recubrir la hojalata.



Figura 4: Dibujo realizado por alumnos de primer curso de Ingeniería Industrial sobre otro modelo de envase de bebida autocalentable.

Más aspectos variados que se podrían tratar, con alguna relación con lo planteado, son las características y tipos de los aditivos alimentarios (aparte de los ya señalados, el propio CaO es el aditivo E529, que se emplea para regulador de acidez en alimentos), el efecto de los gluconatos en la velocidad de hidratación del cemento [19], las diferencias entre el concepto de reacción química frente al proceso de disolución, o la influencia de la temperatura exterior en la velocidad de calentamiento (a menor temperatura, la velocidad de reacción es menor, lo que podría cuantificarse y razonarse desde la Cinética Química), entre otros.

Como curiosidad, en un trabajo publicado hace dos décadas por la NASA, se estudiaba la posibilidad de almacenamiento de energía para una base lunar, por la reacción reversible $\text{CaO(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightleftharpoons \text{Ca(OH)}_2\text{(s)}$ [20].

2.3. Resultados y comentarios sobre la actividad realizada con bebidas autocalentables

En el breve tiempo que dura la experiencia en el aula, se despierta expectación y gran interés por parte de los alumnos, a la vez que se rompe momentáneamente el ritmo de la clase, favoreciendo una mayor atención posterior. Los alumnos quedan sorprendidos al ver que un concepto que estudian en clase, como el calor de reacción, se aplica a objetos tan peculiares y fácilmente accesibles, y que resultan de interés.

Los alumnos realizan el trabajo en grupo, y se les recomienda que consulten al profesor (se potencia así la actividad tutorial) durante su desarrollo. Así, según vayan avanzando, el profesor les puede sugerir un mayor grado de implicación en la actividad: repetirla para observar la temperatura alcanzada con otras bebidas similares, medir las densidades de las bebidas para comprobar cómo, con un mismo volumen (200 mL) la masa varía (el chocolate, por ejemplo, es más denso que el café) y por tanto el valor de ΔT calculado, etc.

Además, la actividad sirve para comprobar si los alumnos tienen errores conceptuales o concepciones alternativas, y otros aspectos del proceso de aprendizaje. Así, se observa cierta dificultad para que el alumnado asuma el papel del profesorado como facilitador y orientador del aprendizaje. Ello se observa, por ejemplo, cuando se sugiere alguna cuestión, como el uso de fuentes de información más cualificadas que los buscadores generales de Internet. También se observan ciertas deficiencias en conceptos y métodos básicos. Así, a veces, los alumnos no completan bien un apartado por desconocimiento de contenidos. En este sentido, resulta llamativo comprobar cómo una de las principales dificultades en el proceso de resolución es que los alumnos propongan la ecuación $Q = m \cdot C \cdot \Delta T$ para relacionar calor y variación de temperatura, o que consideren todas las masas implicadas.

Desde el punto de vista de las actitudes y de la relación entre la actividad y el contexto social también se observan algunas tendencias dignas de consideración. Los razonamientos a veces son exagerados: hay quien indica que “este dispositivo revolucionario permitirá acabar con sistemas de calentamiento convencionales de alimentos como los hornos” o que “este tipo de envases llegarán incluso a hacer inútil el microondas algún día”.

Entre los inconvenientes, a veces se señala que hay “poca” cantidad de bebida, que sabe mal, o que deberían venderlos que calentaran más o menos, a gusto del consumidor. En otros casos, manifiestan una imagen algo “mágica” de la Ciencia. Por ejemplo un grupo de alumnos opinaba que no se podía calentar la bebida, por el principio de Le Châtelier sobre el equilibrio, ¡aunque habían observado el calentamiento en el aula y el efecto no tiene que ver con consideraciones de equilibrio químico!

Como en otro tipo de trabajos que se demanda a alumnos, en las preguntas de carácter más abierto, se observa una tendencia a copiar información (especialmente en Internet y casi nunca de libros u otros textos impresos) sin conocer en muchos casos el significado de lo indicado.

Pero todas estas consideraciones señaladas, a modo de ejemplo, se ven acompañadas también de razonamientos bastante adecuados, que permiten observar que muchos alumnos están interesados por lo que aprenden y que tienen inquietudes científicas. Es evidente, además,

cómo en metodologías de carácter más investigativo e inductivo, los alumnos son capaces de movilizar conocimientos y habilidades difíciles de apreciar en planteamientos docentes más transmisivos o convencionales.

Otro aspecto importante es que los alumnos observan que en clase de “teoría” se pueden obtener resultados experimentales. A veces consideran la separación de teoría (en el aula) y práctica (en el laboratorio) de forma casi contrapuesta. Por otra parte, la comparación entre valores calculados y experimentales, les ayuda a comprender el sentido cuantitativo de la Química y la existencia de aproximaciones en los cálculos. Además, por el hecho de ser alumnos de Ingeniería se incide en aspectos prácticos, con lo que se aprecia que el diseño, la valoración económica o el impacto ambiental son aspectos a tener en cuenta en la preparación de productos comerciales.

En la discusión en el aula, una vez corregidos todos los ejercicios, surgen temas de interés, incluso a veces no previstos por el profesor, lo que es especialmente enriquecedor. Cabe destacar también el elevado potencial de este tipo de actividades en cuanto a la dinamización de la actividad tutorial, ya que la elevada interacción profesor-alumnos que exigen repercute de modo muy favorable en el resto de la asignatura.

3. BEBIDA AUTOENFRIABLE CON NITRATO AMÓNICO Y AGUA. PROPUESTA DE APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS

Esta actividad se ha desarrollado con alumnos de primer curso de bachillerato del I.E.S. Ciudad Jardín de Málaga, en la materia Proyecto Integrado (esta materia optativa, en el caso concreto de este Instituto, se denomina “Club Científico”), de una hora de dedicación a la semana. En todo caso, consideramos que también puede realizarse en niveles superiores (con un tratamiento más cuantitativo) y en niveles previos (con un carácter más dirigido).

La materia Proyecto Integrado tiene como finalidad ayudar a los alumnos a que sepan qué hacer con los conocimientos que ha adquirido, y que profundicen en el desarrollo de algunas competencias. Para ello, bajo la dirección del profesor, los alumnos deben realizar un proyecto, poniendo en juego lo aprendido en distintas materias y contextos de aprendizaje. Se pretende así que puedan integrar lo aprendido y valorar más la utilidad del aprendizaje, al comprobar sus posibilidades de aplicación a casos reales.

Para su realización, el profesor establece el problema y, a partir de ahí, se van construyendo nuevos conocimientos y se desarrollan habilidades, destrezas, actitudes y valores que fomentan el trabajo en grupo, asumiendo la responsabilidad que implica esta tarea y, por supuesto, se da un valor importante a la capacidad de comunicar a los demás el trabajo realizado. Constituye así un caso concreto de ABP [15].

La actividad sobre las bebidas autoenfriables se planteó proponiendo el profesor un problema que trabajan los alumnos en pequeños grupos y al que buscan soluciones, usando los conocimientos vistos y buscando información (tipos de procesos y reacciones endotérmicos, espontaneidad de procesos, distinta conductividad térmica de los materiales,...). El profesor puede detectar en los alumnos las ideas previas y posibles errores conceptuales, ayudándoles a estructurar sus conocimientos y fomentando el desarrollo de habilidades de resolución de problemas reales.

Las instrucciones previas a la tarea son las mismas que las indicadas para la propuesta del problema basado en la indagación dirigida de la bebida autocalentable, explicado anteriormente.

La secuencia seguida para realizar la actividad y algunos comentarios sobre ella, se recogen en los siguientes epígrafes.

3.1. Enunciado del problema

El enunciado del problema es breve; simplemente, se sugiere a los alumnos que diseñen un dispositivo para enfriar una bebida, y para lo que no disponen ni de hielo ni de frigorífico. En cuanto avanzan en el desarrollo del problema y se dan cuenta que depende de la cantidad de bebida a enfriar, se sugiere una cantidad determinada; por ejemplo, 30 mL (con objeto de ahorrar reactivos en el desarrollo se incluye un valor de volumen menor que los habituales en las bebidas comerciales).

El método seguido por los alumnos, con asesoramiento del profesor, consta de los siguientes pasos:

- a) Se organizan pequeños grupos de trabajo, tres alumnos por grupo, y entre ellos se distribuyen las tareas del problema a resolver.
- b) Cada grupo de estudiantes realiza una lluvia de ideas sobre cómo enfriar una bebida e identifica los conceptos conocidos y los que deben conocer.
- c) Buscan y presentan al profesor un informe sobre procesos y reacciones endotérmicas. Aquéllas que tienen el visto bueno, con el asesoramiento pertinente, las realizan en el laboratorio, midiendo el descenso de temperatura y eligen aquel proceso que tiene mejor relación entre el descenso de temperatura y la facilidad de obtener y precio de los reactivos a emplear.
- d) Diseñan el envase en el que se va a enfriar la bebida.
- e) Con el asesoramiento y supervisión del profesor desarrollan el envase. Se pone especial énfasis en la apertura de latas con abrelatas, dado que tienen que tener precaución en su manipulación.
- f) Presentación de cada grupo, de forma tanto escrita como oral, de la solución al problema, al conjunto de la clase.

3.2. Propuesta de resultados y soluciones

A continuación explicamos, a modo de ejemplo, una de las soluciones al problema planteado que obtuvo uno de los grupos de trabajo.

En el estudio de procesos y reacciones endotérmicas más adecuadas para nuestro fin, enfriar una bebida, decidieron realizar el proceso de disolución de nitrato amónico, NH_4NO_3 , en agua. Al formarse los iones hidratados resultantes NH_4^+ y NO_3^- , a partir del sólido NH_4NO_3 , se absorbe calor de los alrededores. El aumento del desorden en el proceso compensa el efecto endotérmico, de forma que es espontáneo. Así, puede bajar la temperatura de una sustancia que se ponga en contacto con dicho proceso endotérmico; en nuestro caso un refresco.

Los alumnos llegaron a conseguir un descenso de unos 11 °C en la bebida, pasando de 21 °C a a 10 °C (más que suficiente para detectarlo cuando se prueba la bebida). El diseño del recipiente donde enfriar la bebida fue lo que más les costó; después del diseño de varios prototipos, idearon y llevaron a la práctica el procedimiento que se resume en la Fig. 5. Además, diseñaron un envoltorio con el logotipo “Cold-Night” para la lata ancha exterior, como se muestra en la Fig. 6. Este aspecto, no previsto inicialmente, es muestra del interés que tomaron en el tema.

<p>1. Vaciar una lata de bebida y cortar el borde superior, de manera que encaje perfectamente la otra de menor grosor.</p> 	<p>2. Introducir 30 g de nitrato amónico en la lata de bebida más ancha, ya cortada.</p> 	<p>3. Llenar un globo de agua (con unos 100 mL de este líquido), cerrarlo y colocarlo en el interior de la lata, encima del nitrato amónico.</p> 
<p>4. Adherir una chincheta a la base de una lata más estrecha, con el fin de pinchar el globo.</p> 	<p>5. Presionar la lata superior, con 30 mL de refresco, hacia la lata inferior.</p> 	<p>6. Mover y esperar (unos 4 min) al enfriamiento máximo de la bebida (desciende unos 11°C).</p> 

Figura 5: Pasos a seguir para la preparación de un envase de bebida autoenfriable, según propuesta de un grupo de alumnos del I.E.S. Ciudad Jardín de Málaga.

Como en otras actividades, hay que tener en cuenta, para realizar la práctica, las medidas de seguridad. Aparte de las ya señaladas referentes a la manipulación de las latas, ha de considerarse que el nitrato amónico en contacto con los ojos y la piel puede causar irritaciones, luego es conveniente usar guantes y gafas en su manipulación. Si se usa termómetro de mercurio deben tenerse también la precaución necesaria.

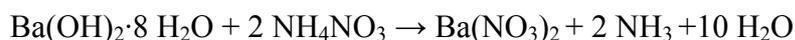


Figura 6: Logotipo diseñado para la bebida autoenfriable por un grupo de alumnos del I.E.S. Ciudad Jardín de Málaga.

3.3. Resultados y comentarios sobre la actividad realizada con bebidas autoenfriables

Esta actividad se puede realizar también con el mismo proceso, pero con un tratamiento más cuantitativo, también para bachillerato o a nivel universitario. Por ejemplo, introduciendo el cálculo teórico de la temperatura alcanzada en nuestro refresco y buscando para ello, en tablas adecuadas, los datos a utilizar; todo ello de forma análoga a lo descrito anteriormente en la actividad de la bebida autocalentable. También se puede realizar en niveles inferiores, con un mayor seguimiento por parte del profesor, dándoles más preparado el material para llevar a cabo la práctica de enfriar la bebida.

Un error conceptual previo que hemos detectados con los alumnos, cuando realizan la lluvia de ideas y buscan y presentan al profesor procesos y reacciones endotérmicas, es que tienden a pensar que lo procesos endotérmicos no son espontáneos porque requieren energía. También, por ejemplo, en algunas de las reacciones endotérmicas buscadas, no tienen en cuenta que la absorción de calor juega un papel muy importante el agua de hidratación. Así, cuando escriben la reacción endotérmica entre el hidróxido de bario con nitrato amónico, por poner un ejemplo, deben tener en cuenta el agua de cristalización para ajustar la reacción:



En la preparación de procesos de disolución y de reacciones endotérmicas, se consultó, entre otros, el interesante trabajo titulado “Estudio experimental de reacciones endotérmicas para alumnos de ESO”, de las hermanas Martín Sánchez [21] que facilitó notablemente la tarea, donde se especifican las cantidades a utilizar y se explican detalladamente ejemplos variados.

Se probaron tres tipos de procesos y reacciones endotérmicas; una de ellas hidróxido de bario hidratado con nitrato amónico (citada anteriormente), otra cloruro de amonio con nitrato de potásico y agua y, por último, nitrato amónico y agua. Se midió la temperatura alcanzada, partiendo de masas similares, y nos decantamos por la que mejor relación entre el descenso de temperatura y el precio de los reactivos.

Destacamos los aspectos positivos que hemos observado en los alumnos con esta actividad:

- Permite que aprecien la utilidad de los conocimientos químicos, ya que solucionan un problema real. Crea motivación frente al aprendizaje, vocación química, gusto por la

investigación y por la ciencia en general, convirtiéndola en accesible para ellos. Algunos alumnos que realizaron la actividad comentaron que influyó para que se decantaran por estudios universitarios de Química e Ingeniería.

- Valoran el hecho de trabajar con problemas reales, abriéndoles un camino para solucionar otros problemas que se les plantean en la vida. Un indicativo es que van más allá de la simple solución del problema: diseñaron un envoltorio para la lata que más se veía. Además, proponen al profesor otros problemas que surgen y quieren investigar e indagar más detalles.
- Adquieren competencias como la adquisición de conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes y valores.
- Les ayuda a organizarse y a aprender a trabajar en grupos, interrelacionándose con los demás, que es el modo de trabajo habitual en la vida profesional.

Otro aspecto que cabe destacar es que, con este tipo de metodología, el problema que se plantea debe ser cuidadosamente seleccionado, ya que requiere tiempo y trabajo del alumno en la búsqueda de una buena solución, pero la naturaleza del conocimiento adquirido es más duradero y es más probable que se recuerde cuando pueda necesitarse.

El trabajo en grupo les cuesta mucho a los alumnos, se quejan de que no todos los miembros del grupo trabajan por igual; para esto, vemos conveniente que, en la comunicación oral de la solución del problema, cualquiera del grupo puede explicar sus resultados y el camino seguido.

4. CONCLUSIONES

La experiencia de los autores con estas actividades y con otras de naturaleza análoga, desarrolladas en el aula, les permiten sugerirlas para llevar a la práctica docente de la Química, tanto en nivel universitario como de bachillerato, e incluso a niveles inferiores, incorporando así algunos aspectos que plantean las tendencias de innovación educativa contemporáneas. Proponemos la puesta en práctica de este tipo de actividades, entre otros aspectos, porque no podemos dejar a los alumnos en clase como meros espectadores, sino que tienen que participar activamente, por ejemplo afrontando problemas reales con múltiples soluciones.

El mejor resultado es la satisfacción que muestran los alumnos de poder investigar usando materiales habituales, que se pueden encontrar incluso en el supermercado, que permiten acercarlos a la Química, viéndola como una Ciencia más útil y accesible. Además, se mejora en los alumnos el desarrollo de capacidades necesarias para desempeñar su actividad laboral y estudios posteriores.

En esta línea, entre otros autores, Richard Felder proponía recientemente el empleo de métodos inductivos de enseñanza, como el basado en la indagación y los de aprendizaje basado en problemas y en proyectos [22], aquí propuestos con ejemplos concretos. A su juicio, y entre otros aspectos, esto facilita la adquisición de objetivos de alto orden y de habilidades para resolución de problemas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al I.E.S. Ciudad Jardín de Málaga todo el apoyo recibido; a la Universidad Politécnica de Madrid, por la financiación del trabajo, a través de los proyectos “*Química, Ingeniería y Sociedad: Reforzando Enlaces*” (curso 2009/10) y “*Acciones de Innovación Educativa para Asignaturas de Química en los Nuevos Grados de Ingeniería*” (curso 2010/11); a los organizadores de los certámenes de Ciencia en Acción y del Centro de Ciencia Principia de Málaga, por el estímulo recibido; y a la empresa *Fast Drinks* (de forma especial a D. Miguel Ortiz Alesanco, Director de Proyecto), por la información aportada y por el interés mostrado hacia el trabajo realizado. También se agradece el entusiasmo de los alumnos en el desarrollo de las actividades propuestas.

REFERENCIAS

- [1] BLANCO, A.; URAGA, C.; BAREA, J.A.; GARRIDO, L.F.; GUIJARRO, F.J.; POZAS, R.; PIANO, J.A. “Las bebidas: materiales didácticos con enfoque CTS”. En *Retos y perspectivas de la enseñanza de las ciencias desde el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad en los inicios del siglo XXI*, Membiela, P. y Padilla, Y. (Editores), Educación Editora, 2005, pp. 99-103.
- [2] *History and operation of self-heating containers*, en *Wikipedia, the free encyclopedia*. Disponible en: http://en.wikipedia.org/wiki/Self-heating_can (Visitada en septiembre de 2010).
- [3] Información sobre las bebidas autocalentables Caliente-Caliente. Disponible en: <http://www.calientecaliente.es> (Visitada en septiembre de 2010).
- [4] SANZ, L. En *Revista Pionero*, 21 de marzo de 2009. Disponible en: <http://www.pionero.cu/2009/secciones/ciencias/marzo/bebidas.htm> (Visitada en septiembre de 2010).
- [5] PINTO, G.; LLORENS MOLINA, J.A.; OLIVER HOYO, M.T. “Fisicoquímica de las bebidas “autocalentables”: un caso de aprendizaje basado en problemas”. En *Anales de Química*, 2009, 105 (1), 50-56.
- [6] OLIVER HOYO, M.T.; PINTO, G.; LLORENS MOLINA, J.A. “*The chemistry of self-heating food products: an activity for classroom engagement*”. En *Journal of Chemical Education*, 2009, 86, 1277-1280.
- [7] PINTO, G.; OLIVER HOYO, M.T.; LLORENS MOLINA, J.A. “*Enjoy a hot drink, thanks to chemistry!*”. En *Journal of Chemical Education*, 2009, 86, 1280A-1280B.
- [8] FERNÁNDEZ, A. En *Diario El Mundo (Sección de Castilla y León)*, 2 de abril de 2010. Disponible en: <http://www.elmundo.es/elmundo/2010/04/02/castillayleon/1270203806.html> (Visitada en septiembre de 2010).
- [9] Información de la empresa *Fast Drinks*. Disponible en: www.fastdrinks2go.com (Visitada en septiembre de 2010).
- [10] Concurso internacional de Ciencia en Acción. Disponible en:

- <http://www.cienciaenaccion.org/> (Visitada en septiembre de 2010).
- [11] Información del Centro de Ciencia Principia de Málaga. Disponible en: <http://www.principia-malaga.com/portal/> (Visitada en septiembre de 2010).
- [12] OLIVER HOYO, M.T.; ALLEN, D. D.; ANDERSON, M.A. “*Implementing inquiry-guided instruction: practical issues*”. En *Journal of College Science Teaching*, 2009, 33 (6), 20–24.
- [13] MARTIN-HANSEN, L. “*Defining inquiry*”. En *The Science Teacher*, 2002, 69 (2), 34–37.
- [14] GURSES, A.; ACIKYILDIZ, M.; DOGAR, C.; SOZBILIR, M. “*An investigation into the effectiveness of problem-based learning in a physical chemistry laboratory course*”. En *Research in Science & Technological Education*, 2007, 25(1), 99-113.
- [15] HERRERO MARTÍN, R.; SOLANO FERNÁNDEZ, I.M.; PÉREZ GARCÍA, J.; SOLANO FERNÁNDEZ, J.P. “Nuevas metodologías docentes en ingeniería dentro del Espacio Europeo de Educación Superior”. En *Nuevas tendencias en la enseñanza de las Ciencias y las Ingenierías*, Consejo Escolar de la Región de Murcia, 2010, pp. 345-361. Disponible en: <http://www.murciencia.com/comunicaciones.asp?ipag=76> (Visitada en septiembre de 2010).
- [16] LIDE, D.R. (Ed.), *Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press/Taylor and Francis, Boca Raton, FL, 1991.
- [17] STARK, J.G.; WALLACE, H. G. *Chemistry data book*, John Murray, Londres, 1980.
- [18] *Standard enthalpy change of formation (data table)*, en *Wikipedia, the free encyclopedia*. Disponible en: [http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_enthalpy_change_of_formation_\(data_table\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_enthalpy_change_of_formation_(data_table)) (Visitada en septiembre de 2010).
- [19] SINGH, N.B. “*Effect of gluconates on the hydration of cement*”. En *Cement and Concrete Research*, 1976, 6, 455-460.
- [20] PEREZ-DAVIS, M.L.; DIPILIPO, F. “*Energy storage for a lunar base by the reversible chemical equation: $\text{CaO}(s) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{OH})_2(s)$* ”, NASA technical memorandum 103145, 1990. Disponible en: http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19900016103_1990016103.pdf (Visitada en septiembre de 2010).
- [21] MARTÍN SÁNCHEZ, M.T.; MARTÍN SÁNCHEZ, M. “Estudio experimental de reacciones endotérmicas para alumnos de la ESO”. En *Anales de Química*, 2002, 98 (4), 36-39.
- [22] FELDER, R.M. “*The link between research and teaching*”. En *Chemical Engineering Education*, 2010, 44, 213-214.