

# Las bebidas autocalentables y autoenfriables como recursos para un aprendizaje activo

Les begudes autoescalfables i autorefrigerants com a recursos per a un aprenentatge actiu

Self-heating and self-cooling beverages as resources for active learning

María Luisa Prolongo / IES Ciudad Jardín (Málaga)

Gabriel Pinto / Universidad Politécnica de Madrid. ETS de Ingenieros Industriales.

Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente



## resumen

Se presentan dos actividades adecuadas para distintos niveles educativos. La primera es una propuesta de aprendizaje basada en la indagación sobre el calentamiento de bebidas comerciales autocalentables, que se produce por la reacción de hidratación del óxido de calcio. La segunda es un ejemplo de aprendizaje basado en problemas (ABP) en el cual una bebida se enfría gracias al calor absorbido en el proceso de disolución de nitrato amónico en agua. Son metodologías activas que favorecen el aprendizaje de conceptos fisicoquímicos y la adquisición de competencias transversales. También se abordan aspectos de relaciones ciencia – tecnología – sociedad – medio ambiente, así como una formación en la «química del consumidor».

## palabras clave

Bebidas autocalentables y autoenfriables, termoquímica, química del consumidor, aprendizaje por indagación, aprendizaje basado en problemas (ABP).

## resum

Es presenten dues activitats adequades per a diferents nivells educatius. La primera és una proposta d'aprenentatge basada en la indagació sobre l'escalfament de begudes comercials autoescalfables, que es produeix per la reacció d'hidratació de l'òxid de calci. La segona és un exemple d'aprenentatge basat en problemes (ABP) en el qual una beguda es refreda gràcies a la calor absorbida en el procés de dissolució del nitrat d'amoni en aigua. Són metodologies actives que afavoreixen l'aprenentatge de conceptes fisicoquímics i l'adquisició de competències transversals. També es tracten aspectes de relacions ciència – tecnologia – societat – medi ambient, així com una formació en la «química del consumidor».

## paraules clau

Begudes autoescalfables i autorefrigerants, termoquímica, química del consumidor, aprenentatge per indagació, aprenentatge basat en problemes (ABP).

## abstract

This article describes two activities designed and implemented for different educational levels. The first is a proposal of inquiry-based/discovery learning about the heating of commercially available self-heating beverages, which takes place thanks to the hydration reaction of calcium oxide. The second one refers to an example of problem based learning (PBL) in which a drink cools thanks to the heat absorbed by the process of a solution of ammonium nitrate in water. Both are cases of active methodologies which encourage the learning of physicochemical concepts and the acquisition of generic competencies. Also science – technology – society – environment approaches are promoted, as well as training in the «consumer chemistry».

## keywords

Self-heating and self-cooling beverages, thermochemistry, consumer chemistry, inquiry-based/discovery learning, problem based learning (PBL).

## Introducción

Los envases autocalentables y autoenfriables para alimentos y bebidas son unos dispositivos excelentes como ejemplo de aplicaciones prácticas de la química. Debido a su peculiar diseño y a sus características, constituyen un ejemplo interesante para promover un aprendizaje activo en el que se pueden también abordar enfoques basados en las relaciones 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 (Blanco et al., 2005; Paraira, 2009).

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. Los reactivos deben permanecer separados hasta que se desee que se produzca el calentamiento o el enfriamiento.

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 [1]. Si bien no son ampliamente conocidas, se han comercializado en España diversas marcas de bebidas de este tipo en los últimos años. Una de ellas, bajo el nombre comercial Caliente-Caliente, la produce en Italia la empresa Malgara Chiari & Forti y se basa en el calentamiento producido por la disolución de cloruro cálcico en agua. Su utilización en el aprendizaje de cuestiones variadas de química se publicó en trabajos anteriores (Pinto, Llorens Molina y Oliver Hoyo, 2009; Oliver Hoyo et al., 2009). Desde 2009, la empresa Fast Drinks fabrica, en Venta de Baños (Palencia), bebidas autocalentables que comercializa bajo el nombre de 2GO, cuya tecnolo-



Figura 1. Imágenes de bebidas autocalentables comerciales.

gía se basa en el calor que desprende la hidratación del óxido de calcio al transformarse en hidróxido de calcio. En la figura 1 se muestran diversos tipos de bebidas autocalentables.

En este trabajo, se presentan dos ejemplos de metodologías activas de aprendizaje basadas en bebidas autocalentables y autoenfriables que se diseñaron para el bachillerato y el primer curso universitario, pero fácilmente adaptables a niveles previos. Ambas actividades fueron seleccionadas para la fase final de los dos últimos certámenes de Ciencia en Acción [2]. La actividad sobre bebidas autoenfriables recibió, además, el primer premio a experiencias de química otorgado por el Centro de Ciencia Principia de Málaga en 2009 [3].

La primera propuesta es una actividad basada en la indagación dirigida, una metodología que promueve el aprendizaje del alumno mediante el uso de preguntas de resultado abierto y en la cual el proceso de investigación a veces es incluso más valorado que el propio resultado numérico final (Martin-Hansen, 2002). La segunda propuesta es un ejemplo de práctica que 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 (Gurses et al., 2007).

Ambas promueven el trabajo cooperativo de los alumnos, que piensan y desarrollan vías de resolución de problemas de forma colectiva, lo que es de gran interés para el aprendizaje de la química (Gorchs, 2009). Son ejemplos de experiencias ideadas como punto de partida para un aprendizaje activo que favorece 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 genéricas (búsqueda de datos, realización de medidas experimentales, elaboración de trabajos escritos, empleo de unidades adecuadas, elaboración de tablas, creatividad, trabajo en equipo, etc.), un aspecto muy destacado en la enseñanza contemporánea (Oliveras y Sanmartí, 2009).

Por otra parte, los ejemplos planteados son casos que promueven enfoques basados en las relaciones ciencia – tecnología – sociedad – medio ambiente, así como una formación en la «química del consumidor» (parte de la información

objeto de discusión se encuentra en la etiqueta del producto).

En suma, suponen ejemplos de cómo se puede llevar la realidad cotidiana al aula de química, una cuestión ampliamente planteada en esta revista (Mans, 2008; Pinto y León, 2009; Grau Vilalta, 2009).

### **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 Ingeniería Industrial e Ingeniería Química de la Universidad Politécnica de Madrid, pero se considera que podría emplearse también en los cursos del bachillerato y, con un tratamiento menos cuantitativo, 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, aunque sugiriendo a los alumnos que trabajen en equipo y que consulten al profesor, en horario de tutoría, a medida que avancen en su desarrollo.

Para la resolución del problema, aparte de los conocimientos implicados, los alumnos deben buscar algunas propiedades, como pesos atómicos y variaciones de entalpía, en bases de datos. Además, cada grupo puede partir de datos diferentes y, con ello, no habrá un único resultado para toda la clase. Algunas instrucciones, que se dan por escrito a los alumnos y que son comunes a otras tareas del curso, son las siguientes:

- Se valorarán la claridad expositiva y la presentación del trabajo (con aspectos como el orden, la edición por ordenador y la corrección en la preparación de tablas, de gráficas y de dibujos).

- Deben indicarse de forma clara los resultados obtenidos, con las unidades adecuadas y con cuidado en el uso de las cifras significativas.

- Debe prestarse un especial cuidado en la cita de las referencias bibliográficas y de páginas web.

- Se sugiere que, antes de entregar el trabajo definitivo, se consulten al profesor las dudas que vayan surgiendo.

Para la implementación de esta actividad, el profesor introduce la cuestión en clase durante el desarrollo del tema de termodinámica química. 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 el aula, en marzo de 2010, la bebida (café solo) pasó de 22,5 °C a 62,8 °C. Finalmente, se distribuye a los alumnos el enunciado de la tarea que tienen que resolver sobre ello, en grupos de tres. Dicho enunciado, así como la explicación de los resultados y las soluciones propuestas, se recoge en los dos siguientes epígrafes.

#### **Enunciado del problema sobre bebidas autocalentables**

Se mostró en clase 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. Dicha bebida se comercializa con el nombre 2GO y es accesible en algunos supermercados y estaciones de servicio. 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, volumen 200 mL) y envase (100,56 g; la mayor parte de él son piezas de hojalata, pero también las hay de plástico y una pequeña lámina de aluminio). Se pide a los alumnos que realicen las tareas del cuadro 1.

#### **Cuadro 1.**

Propuesta de trabajo para los alumnos

- 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. En el laboratorio, se dispone de envases seccionados para observar los distintos componentes.
- (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 masas de sustancia (en g) (ii) del reactivo en exceso y (iii) del hidróxido de calcio que se puede formar.
- Buscar en referencias adecuadas los valores de entalpía estándar de formación, a 298 K, 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.
- 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.
- 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 (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 experimental).
- h) Razonar si sería posible utilizar el mismo diseño de envase para enfriar una bebida en vez de calentarla.
- i) Discutir las ventajas e inconvenientes de este tipo de envases de bebida. 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.

### Propuesta de resultados y soluciones sobre bebidas autocalentables

- 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. El óxido de calcio se presenta granulado, en trozos irregulares de varios milímetros y de un color grisáceo. El agua está coloreada, 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).

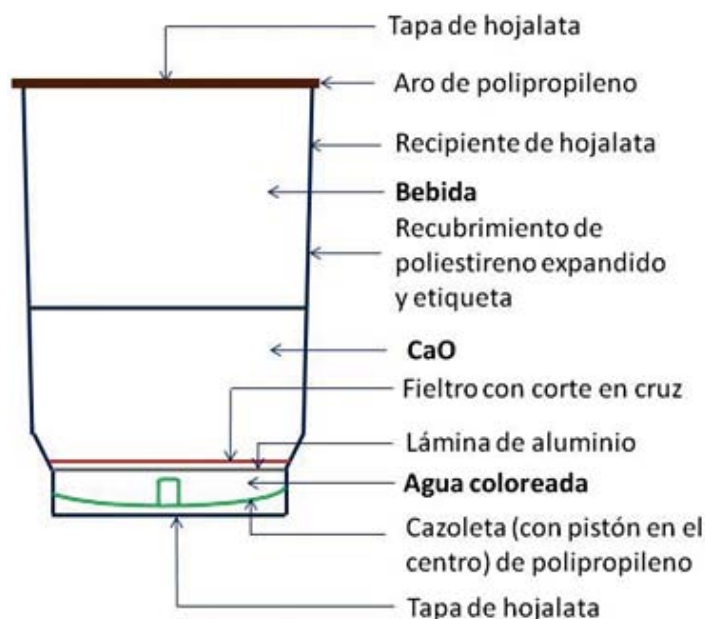
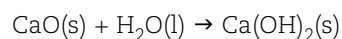


Figura 2. Esquema del envase de bebida autocalentable estudiado.

Los tres minutos que se indican en el etiquetado debe 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.

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 se beba el producto.

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 la fina capa de aluminio que une el compartimento con agua (la cazoleta) y el que contiene óxido de calcio, para que se inicie así la reacción química. La reacción que produce el calor necesario es la siguiente:



Esta reacción exotérmica es también la que se produce en la construcción al mezclar «cal viva» (CaO) con agua para formar «cal apagada» o  $\text{Ca(OH)}_2$ .

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

- 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 mol de agua, que suponen 3,78 g y se podrán formar (si la reacción se produce con un rendimiento del cien por cien):  
 $1,07 \cdot 74,10 \text{ g/mol} = 79,29 \text{ g Ca(OH)}_2$





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

- c) Algunos ejemplos de valores de entalpía estándar de formación de las sustancias solicitadas se muestran en la tabla 1. No coinciden exactamente porque proceden de datos obtenidos por distintos autores de forma experimental.

Tabla 1. Valores de entalpía estándar de formación

Variación de entalpía estándar de formación, $\Delta H_f^\circ$ , a 298 K y 1,00 atm, en kJ/mol			
Sustancia	Fuente 1 [4]	Fuente 2 [5]	Fuente 3 [6]
CaO(s)	-635,09	-635	-635,09
H <sub>2</sub> O(l)	-285,83	-286	-285,8
Ca(OH) <sub>2</sub> (s)	-985,14	-987	-986,09

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

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

Como se pueden formar 1,07 mol Ca(OH)<sub>2</sub>, el calor que se desprendería al producirse la reacción es el siguiente:

$$1,07 \text{ mol} \cdot 64,22 \text{ kJ/mol} = 68,72 \text{ kJ}$$

- e) La temperatura inicial de la bebida fue de 22,5 °C. La temperatura que alcanzaría se calcula a partir de la variación de temperatura,  $\Delta T$ , que a su vez puede determinarse 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  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

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

De donde  $\Delta T = 67,2$  °C. Así, la temperatura final que se tendría que alcanzar sería del orden de  $22,5 + 67,2 = 89,7$  °C.

- f) Se consideran tres temperaturas finales (ver tabla 2): la obtenida experimentalmente (medida en el aula), la aportada por el fabricante en el etiquetado (indica que se eleva unos 40 °C) y la calculada en el apartado anterior. Los dos primeros valores son similares y el calculado los excede en unos 27 °C (si bien es del mismo orden de magnitud).

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

Tabla 2. Resultados de temperatura final alcanzada

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

– El sistema no está perfectamente aislado térmicamente del ambiente.

– Se considera que la reacción transcurre con un rendimiento del cien por cien.

– El cálculo de  $\Delta H_r^\circ$  se ha realizado a 25 °C (temperatura para la que se tienen los  $\Delta H_f^\circ$  tabulados); el proceso empieza a 22,5 °C y termina a unos 63 °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) Sería posible utilizar el mismo diseño de envase para enfriar una bebida en vez de calentarla empleando un proceso endotérmico en vez de exotérmico. Por ejemplo, en algunos envases comerciales para té frío, se usa la disolución de tiosulfato sódico pentahidratado, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O, en agua. 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 o donde sea difícil calentarla (durante un viaje en automóvil, por ejemplo). Hay inconvenientes ambientales, como la dificultad de reciclado de un dispositivo que incorpora distintos materiales. El transporte lleva asociado un incremento de emisiones de  $\text{CO}_2$ , dado que hay que hacer más viajes para llevar la misma cantidad de bebida que si fueran envases convencionales. Además, se incrementa el coste de la bebida. Estos aspectos pueden ampliarse según las características y los 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.

- 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 del proceso. En el ejemplo indicado, resultó ser del orden del 60 %. Para ver un ejemplo de cómo se puede trabajar sobre un tema así, se incluye, en la figura 4, el dibujo realizado por unos alumnos, hace dos años, en un envase análogo (aunque no igual, pues variaban 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 señala (acompañado de dibujos) que se quite la tapa (metálica) inferior, que se presione el fondo y que se agite (boca abajo) hasta que desaparezca el agua coloreada



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

da y, en ese momento, que se le dé la vuelta. Finalmente, se indica que se abra (el fabricante comentó a los autores que esa instrucción es para que se mantenga derecho el envase), que se esperen tres minutos y ya se puede consumir la bebida.

Además, aparte de datos sobre la composición de la propia bebida, que podrían ser otra fuente interesante de discusión, se señala en la etiqueta una serie de advertencias y el modo de empleo, que se discuten brevemente:

- No perforar el envase. 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.
- El envase activado aumenta la temperatura del producto alrededor de 40 °C sobre la temperatura inicial. Este aspecto ha sido discutido anteriormente.
- 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 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 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 figura 4, el calentamiento ha de producirse con el envase boca 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 con el aspecto anterior.

De forma esquemática, se puede señalar que el problema planteado puede ser el punto de partida 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 figura 2, permiten coger el vaso y tomar la bebida, respectivamente, sin quemarse); constitución de las hojالاتas; uso de barnices de uso alimentario para envases.

Más aspectos variados que se podrían tratar con alguna relación con lo planteado son las características y los tipos de aditivos alimentarios (aparte del ya señalado, el propio CaO es el aditivo E-529, que se emplea como regulador de acidez en alimentos), las diferencias entre el concepto *reacción química* frente a *proceso de disolución* o la influencia de la temperatura exterior en la velocidad de calentamiento, 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  $\text{CaO(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2\text{(s)}$  (Pérez-Davis y Difilipo, 1990).

#### Resultados y comentarios sobre la actividad realizada con bebidas autocalentables

En el breve tiempo que dura la experiencia, se despierta expectativa y un 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.

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, 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, también varía el valor de  $\Delta T$  calculado, etc.

Además, la actividad sirve para comprobar si los alumnos tienen concepciones alternativas y otros aspectos del proceso de aprendizaje. Así, se observa una 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 los 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 observa que 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 microondas». Entre los inconvenientes, a veces los alumnos señalan que hay «poca» cantidad de bebida, que sabe mal o que deberían vender dispositivos que calentaran más o menos, a gusto del consumidor. En otros casos, manifiestan una imagen algo «mágica» de la ciencia. Como en otro tipo de trabajos que se demandan a alumnos, en las preguntas de carácter más abierto se observa una tendencia a copiar información (especialmente, de 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 (figura 5).



Figura 5. Alumnos trabajando en el laboratorio.



Otro aspecto importante es que los alumnos observan que en clase de «teoría» se pueden obtener resultados experimentales. 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. 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, 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 entre profesor y alumnos que exigen repercute de modo muy favorable en el resto de la asignatura.

### **Bebida autoenfriable con nitrato de amonio y agua. Propuesta de aprendizaje basado en problemas**

Esta actividad se ha desarrollado con alumnos de primer curso de bachillerato del IES 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 han adquirido y a 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, dando un valor importante a la capacidad de comunicar a los demás el trabajo realizado. Constituye así un caso concreto de aprendizaje basado en problemas (ABP).

La actividad sobre bebidas autoenfriables se planteó proponiendo el profesor un problema en el que trabajan los alumnos en pequeños grupos y para el que buscan soluciones usando los conocimientos aprendidos y buscando información (tipos de procesos y de reacciones endotérmicas, espontaneidad de procesos, distinta conductividad térmica de los materiales, etc.). 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.

### **Enunciado del problema sobre bebidas autoenfriables**

El enunciado del problema es breve; simplemente se sugiere a los alumnos que diseñen un dispositivo para enfriar una bebida, 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 a los habituales en las bebidas comerciales).

El método seguido por los alumnos, con asesoramiento del profesor, consta de los pasos que se indican en el cuadro 2.

#### **Cuadro 2.**

##### Método de trabajo

- Se organizan pequeños grupos de trabajo de tres alumnos y, entre ellos, se distribuyen las tareas del problema a resolver.
- Cada grupo de estudiantes realiza una lluvia de ideas sobre cómo enfriar una bebida e identifica los conceptos conocidos y los que deben conocer.
- 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 eligiendo aquel proceso que tiene mejor relación entre el descenso de temperatura y la facilidad para obtener el reactivo y su precio.
- Diseñan el envase en el que se va a enfriar la bebida.
- Con el asesoramiento y la supervisión del profesor, diseñan el envase. Se pone un especial énfasis en la apertura de latas con abrelatas, dado que tienen que tener precaución en su manipulación.
- Presentación de cada grupo, de forma tanto escrita como oral, de la solución del problema al conjunto de la clase.





1. Vaciar una lata de bebida y cortar el borde superior, de manera que encaje perfectamente la otra de menor grosor.

2. Introducir 30 g de nitrato de amonio en la lata de bebida más ancha, ya cortada.

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 de amonio.

4. Adherir una chincheta a la base de una lata más estrecha, con el fin de pinchar el globo.

5. Presionar la lata superior, con 30 mL de refresco, hacia la lata inferior.

6. Mover y esperar (unos 4 min) al enfriamiento máximo de la bebida (desciende unos 11 °C).

Figura 6. Pasos a seguir para la preparación de un envase de bebida autoenfriable, según la propuesta de un grupo de alumnos del IES Ciudad Jardín de Málaga.

#### Propuesta de resultados y soluciones sobre bebidas autoenfriables

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 de amonio,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , en agua. Al formarse los iones hidratados resultantes  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  a partir del sólido  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 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.

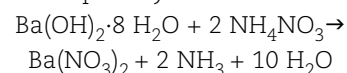
Los alumnos llegaron a conseguir un descenso de unos 11 °C en la bebida, pasando de 21 °C a 10 °C (más que suficiente para detectarlo cuando se prueba la bebida). El diseño del recipiente donde enfriar la bebida fue lo que más les costó a los alumnos; después del diseño de varios prototipos, idearon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

Como en otras actividades, hay que tener en cuenta las medidas de seguridad. Aparte de las ya señaladas referentes a la manipulación de las latas, debe considerarse que el nitrato de amonio, en contacto con los ojos y la piel, puede causar irritaciones, por lo que es conveniente usar guantes y gafas en su manipulación.

#### 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, 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 para alumnos de la ESO, con un mayor seguimiento por parte del profesor, dándoles a los alumnos más preparado el material para llevar a cabo la práctica de enfriar la bebida.

Un error previo que hemos detectado 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 los procesos endotérmicos no son espontáneos porque requieren energía. También, por ejemplo, en algunas de las reacciones endotérmicas buscadas no tienen en cuenta que en 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 de amonio, por poner un ejemplo, deben tener en cuenta el agua de cristalización para ajustar la reacción:



## La actividad permite que los alumnos aprecien la utilidad de los conocimientos químicos, ya que solucionan un problema real. Crea motivación frente al aprendizaje, vocación química, y gusto por la investigación y por la ciencia en general

En la preparación de procesos de disolución y de reacciones endotérmicas, se consultó, entre otros, el interesante trabajo de Martín Sánchez *et al.* (2002), que facilitó notablemente la tarea, ya que en él se especifican las cantidades a utilizar y se explican detalladamente ejemplos variados.

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

Destacamos los siguientes 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, y gusto por la investigación y por la ciencia en general, convirtiéndola en accesible para ellos (figura 7). 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 grupo, 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 duradera.

El trabajo en grupo les cuesta mucho a los alumnos, que se quejan de que no todos los miembros del grupo trabajan por igual; para ello, vemos conveniente que, en la comunicación oral de la solución del problema, cualquiera del

grupo pueda explicar sus resultados y el camino seguido.

### Conclusiones

La experiencia de los autores con estas actividades y con otras de naturaleza análoga les permite sugerirlas para ser llevadas a la práctica docente de la química, tanto de nivel universitario como del bachillerato, e incluso de la ESO, 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.



Figura 7. Alumnos preparando dispositivos de bebidas autoenfriables.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo recibido del IES Ciudad Jardín de Málaga y de la Universidad Politécnica de Madrid (proyecto IE10053535); a los organizadores de los certámenes 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), por la información aportada. También se agradece el entusiasmo de los alumnos en el desarrollo de las actividades propuestas.

## Notas

- [1] «History and operation of self-heating containers» [en línea]. En: *Wikipedia, the free encyclopedia*. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Self-heating\\_can](http://en.wikipedia.org/wiki/Self-heating_can)> [Consulta: octubre 2010]
- [2] *Concurso internacional de Ciencia en Acción* [en línea]. <<http://www.cienciaenaccion.org/>> [Consulta: octubre 2010]
- [3] *Información del Centro de Ciencia Principia de Málaga* [en línea]. <<http://www.principia-malaga.com/portal/>> [Consulta: octubre 2010]
- [4] LIDE, D. R. [ed.] (1991). *Handbook of chemistry and physics*. Boca Ratón: CRC Press; Taylor and Francis.
- [5] STARK, J. G.; WALLACE, H. G. (1980). *Chemistry data book*. Londres: John Murray.
- [6] «Standard enthalpy change of formation (data table)» [en línea]. En: *Wikipedia, the free encyclopedia*. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_enthalpy\\_change\\_of\\_formation\\_\(data\\_table\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_enthalpy_change_of_formation_(data_table))> [Consulta: octubre 2010]

## Referencias

BLANCO, A.; URAGA, C.; BAREA, J. A.; GARRIDO, L. F.; GUIJARRO, F. J.; POZAS, R.; PIANO, J. A. (2005). «Las bebidas: Materiales didácticos con enfoque CTS». En: MEMBIELA, P.; PADILLA, Y. [ed.]. *Retos y perspectivas de la enseñanza de las*

*ciencias desde el enfoque ciencia – tecnología – sociedad en los inicios del siglo XXI*. Vigo: Educación Editora, p. 99-103.

- GORCHS, R. (2009). «El treball cooperatiu en l'ensenyament/aprenentatge de la química». *Educació Química*, 4: 35-40.
- GRAU VILALTA, M. D. (2009). «On és la química? Com podem aprendre a descobrir-la». *Educació Química*, 4: 41-45.
- GURSES, A.; ACIKYILDIZ, M.; DOGAR, C.; SOZBILIR, M. (2007). «An investigation into the effectiveness of problem-based learning in a physical chemistry laboratory course». *Research in Science & Technological Education*, 25(1): 99-113.
- MANS, C. (2008). «Química quotidiana». *Educació Química*, 1: 4-9.
- MARTIN-HANSEN, L. (2002). «Defining inquiry». *The Science Teacher*, 69(2): 34-37.
- MARTÍN SÁNCHEZ, M. T.; MARTÍN SÁNCHEZ, M. (2002). «Estudio experimental de reacciones endotérmicas para alumnos de la ESO». *Anales de Química*, 98(4): 36-39.
- OLIVER HOYO, M. T.; PINTO, G.; LLORENS MOLINA, J. A. (2009). «The chemistry of self-heating food products: an activity for classroom engagement». *Journal of Chemical Education*, 86: 1277-1280.
- OLIVERAS, B.; SANMARTÍ, N. (2009). «Trebllant les competències a la classe de química». *Educació Química*, 1: 17-23.
- PARAIRA, M. (2009). «Estudi experimental d'aigües minerals naturals». *Educació Química*, 2: 42-47.
- PÉREZ-DAVIS, M. L.; DIFILIPPO, F. (1990). *NASA technical memorandum 103145, 1990* [en línea]. <[http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19900016103\\_1990016103.pdf](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19900016103_1990016103.pdf)> [Consulta: octubre 2010]
- PINTO, G.; LEÓN, S. (2009). «Estequiometría i vida quotidiana». *Educació Química*, 3: 29-36.
- PINTO, G.; LLORENS MOLINA, J. A.; OLIVER HOYO, M. T. (2009). «Fisicoquímica de las bebidas “autocalentables”:

Un caso de aprendizaje basado en problemas». *Anales de Química*, 105(1): 50-56.



**María Luisa Prolongo**

es profesora de Física y química en el IES Ciudad Jardín de Málaga. Ha participado con sus alumnos en diversas ferias y certámenes de divulgación científica, habiendo recibido premios, como los organizados por el Centro de Ciencia Principia de Málaga y la Real Sociedad Española de Química. Ha participado en la fase final del certamen Ciencia en Acción y en diferentes encuentros de profesores; también ha colaborado en proyectos de innovación educativa sobre la investigación en el aula y el cine científico documental. Tiene especial interés en el desarrollo de recursos educativos para un aprendizaje más activo por parte de los alumnos. C. e.: [marisaprolongo@hotmail.com](mailto:marisaprolongo@hotmail.com)



**Gabriel Pinto**

es catedrático de universidad de Ingeniería Química en la Universidad Politécnica de Madrid. Ha investigado sobre propiedades de materiales poliméricos y compuestos y sobre didáctica de la química y la ingeniería. Autor de un centenar de artículos y de diversos libros, como *Química al alcance de todos* y *Didáctica de la química y vida cotidiana*, ha impartido conferencias y ponencias en diversos países sobre nuevas metodologías para el aprendizaje de la química, destacando la elaboración de recursos sobre aspectos de la vida cotidiana aplicados a la práctica docente. C. e.: [gabriel.pinto@upm.es](mailto:gabriel.pinto@upm.es)  
Página web: <http://quim.iqi.etsii.upm.es/vidacotidiana/Inicio.htm>