

Fisicoquímica de las bebidas "autocalentables": ejemplo de aprendizaje basado en problemas

Gabriel Pinto Cañón^a, Juan Antonio Llorens Molina^b y María T. Oliver-Hoyo^c

Resumen: Se justifica la contribución del aprendizaje basado en problemas a la incorporación de metodologías activas en la enseñanza universitaria, describiendo sus características fundamentales. La propuesta se concreta a través de una actividad educativa sobre el calentamiento de bebidas comerciales denominadas "autocalentables", basadas en el carácter exotérmico del proceso de disolución de ciertas sales en agua. Es un ejemplo de cómo experiencias de este tipo pueden servir como punto de partida para un aprendizaje activo, cooperativo y basado en problemas, que favorece el aprendizaje de conceptos fisicoquímicos (calor específico, variación de entalpía de disolución, energía reticular,...) y promueve enfoques basados en las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad-Medio Ambiente.

Palabras clave: Aprendizaje activo, aprendizaje basado en problemas, disolución de sales, termodinámica química, química del consumidor.

Abstract: This article describes how to use a real-life, tangible chemistry problem to promote active methodologies in college classrooms. An experimental exercise concerning the heating of commercial drinks known as "self-heating" products is proposed as a learning activity. The heating process is based on the exothermic character of the dissolution process of certain salts in water. It is an example of how an everyday experience can be used as a starting point for an active, cooperative and problem-based learning. This educational resource promotes the learning of physicochemical concepts such as specific heat, enthalpy of solution, and lattice enthalpy, while emphasizing Science-Technology-Society issues.

Keywords: Active learning, problem-based learning, hands-on learning, salts solutions, chemical thermodynamics, consumer chemistry.

Introducción

Es frecuente, en diversos foros de discusión sobre las nuevas metodologías docentes de los distintos niveles educativos, que se aluda a la falta genérica de interés de los alumnos, a su elevado número en cada grupo, y a la falta de tiempo para abordar los temarios "oficiales", como factores (entre otros) que impiden el desarrollo de metodologías activas tales como el aprendizaje basado en problemas, la resolución de casos y, en general, cualquier estrategia de aprendizaje cooperativo. Los autores de este trabajo no comparten, en términos generales, esta opinión, y consideran que son los docentes los que deben mostrar, en primer lugar, entusiasmo e interés por su materia, para favorecer la motivación de los alumnos, así como implementar estrategias educativas que favorezcan la implicación del alumnado en su aprendizaje. La efectividad de este tipo de aprendizaje está evidenciada por multitud de trabajos,^[1-4] existiendo textos variados sobre experiencias de Química, a nivel universitario, para desarrollar entornos de aprendizaje activos.^[5-6]

De las metodologías activas al aprendizaje basado en problemas (ABP)

En el marco de las metodologías activas merece particular atención, por su progresiva relevancia en la enseñanza universitaria, el aprendizaje basado en problemas (ABP).



G. Pinto



J. A. Llorens



M. T. Oliver-Hoyo

^a Grupo de Innovación Educativa de Didáctica de la Química, E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid.

^b E.T.S. del Medio Rural y Enología, Universidad Politécnica de Valencia, Av. Vicente Blasco Ibáñez 21, 46010 Valencia.

^c Chemistry Department, North Carolina State University, Raleigh, NC 27606, Estados Unidos de América.

C-e: gabriel.pinto@upm.es; juallom2@qim.upv.es; maria_oliver@ncsu.edu
Recibido: 19/06/2008. Aceptado: 22/07/2008.

Inicialmente surgido en el campo de las ciencias médicas, goza de una reconocida tradición en el ámbito universitario. En algunos casos, como en las Universidades de Aalborg (Dinamarca) y Stanford (Estados Unidos), esta metodología es adoptada como estrategia curricular institucional; en otros, su aplicación como instrumento para la introducción de metodologías activas es objeto de investigación.^[7-9] Es notoria también la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación a este tipo de tareas mediante la utilización de recursos como las *webquests* y las herramientas de trabajo colaborativo *online*.^[10]

En el campo de la Química existen interesantes aportaciones orientadas desde esta perspectiva, como el manual de Lehman,^[11] en un enfoque de Química Orgánica y Bioquímica. Otras publicaciones muestran problemas de carácter más puntual, muy centrados en el contexto académico, como "El caso de los frascos sin etiqueta"^[9] o "Avogadro va a los tribunales".^[12] Otras investigaciones se refieren a tareas más contextualizadas en situaciones de interés social y profesional, que implican una ampliación de las competencias puestas en juego.^[13] Es el caso del "Dilema de Riverside",^[14] donde se asigna a los alumnos el papel de equipo asesor de la autoridad municipal que debe decidir la instalación de empresas químicas potencialmente contaminantes.

Características fundamentales del ABP

En el ABP podemos reconocer algunos rasgos que le proporcionan su identidad, dentro del marco general de las metodologías activas. Concretamente:

- Sus objetivos están orientados hacia el desarrollo de competencias ligadas al ámbito profesional.^[10]
- Está inspirado en una orientación constructivista del aprendizaje y comparte aspectos esenciales con el aprendizaje como investigación dirigida, poniendo en juego aspectos típicos del método científico: generación de hipótesis, diseño de experimentos, etc.^[15,16]
- La adquisición de habilidades y métodos experimentales surge como una necesidad en la resolución del problema, favoreciendo la integración de los trabajos de laboratorio en el currículo.^[17,18]
- El aprendizaje está centrado en el alumno y se desa-

rolla con un progresivo grado de autonomía, potenciando la actividad metacognitiva y los procesos de autorregulación. Así, los alumnos pueden llegar a identificar los conocimientos necesarios para abordar el problema y las fuentes de información adecuadas.^[19]

e) El aprendizaje es fruto de una reflexión colectiva en un contexto de trabajo cooperativo.^[7,20]

f) Los contenidos constituyen el instrumento para abordar las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad-Medio Ambiente (CTSA). Un buen ejemplo de materiales didácticos, sin ser una propuesta basada explícitamente en el ABP, es el proyecto *Salter's Advanced Chemistry*.^[21]

En síntesis, mediante la metodología ABP se pretende introducir a los alumnos en el contexto de un problema, lo más vinculado posible a la realidad social o profesional, de modo que deban planificar, mediante un trabajo cooperativo y bajo la supervisión del profesor, un proceso de resolución cuyos logros puedan integrarse en el aprendizaje global de la asignatura.

Desde el análisis de las competencias puestas en juego en los procesos anteriormente descritos podemos apreciar cómo el ABP puede contribuir al desarrollo de las competencias vinculadas a la construcción del Espacio Europeo de Educación Superior.^[22] Cabe destacar en este sentido la adquisición de habilidades comunicativas y relacionadas con el trabajo cooperativo, así como las relacionadas con la búsqueda, procesado y selección de la información.

La aplicación en el aula del ABP

Como en otras propuestas de aprendizaje, podemos distinguir en el ABP tres elementos decisivos desde el punto de vista metodológico:

- El propio diseño de las actividades, con lo que implica en su fundamento científico, formulación, contextualización, requisitos cognitivos, etc.^[23,24]
- El modo en que las actividades son organizadas y distribuidas temporalmente. En este sentido, en la literatura^[8,10,25] se proponen diferentes enfoques globales del proceso de ABP. Hay autores que se centran en aspectos más específicos, como la gestión del trabajo cooperativo o el papel del profesor como facilitador del aprendizaje.^[26]
- La evaluación, en sus múltiples facetas y funciones, siendo un aspecto particularmente crítico el de la coherencia metodológica entre la evaluación y el proceso de aprendizaje basado en problemas.^[17,27]

En el presente trabajo vamos a centrarnos esencialmente en el primero de los aspectos, es decir, en la propuesta de criterios para la selección de situaciones problemáticas y en el diseño de actividades para resolverlas.

Criterios para el diseño de una actividad ABP

Duch^[24] propone un conjunto de criterios prácticos acerca de qué puede considerarse un buen problema:

- Debe "enganchar" al alumnado, interesándolo y motivándolo. Ha de estar relacionado con el mundo real, de modo que los estudiantes se identifiquen con él. Ello requiere la elaboración de un "escenario" que enmarque el problema y lo haga más inteligible y atractivo.
- Debe requerir la adopción de decisiones razonadas, de

manera que los estudiantes reconozcan y expliquen sus puntos de partida a la hora de enfrentarse al problema, distinguiendo qué información es relevante y qué etapas son necesarias para su resolución.

- El desarrollo del problema debe exigir trabajo cooperativo, de modo que no pueda ser efectiva la mera subdivisión de las tareas entre los miembros del grupo. Para el logro de este objetivo puede ser necesario:

- Que las tareas en que se concrete la resolución del problema se hallen fuertemente interrelacionadas.

- Que su planteamiento inicial requiera la discusión en el seno de los grupos.

- Que tenga un cierto grado de divergencia, según el nivel y contexto en que se aplique, de modo que no conduzca necesariamente a una respuesta unívoca. Es importante que las cuestiones planteadas durante su desarrollo sean razonablemente controvertidas, de modo que generen diversas opiniones.

- Debe estar contextualizado en los objetivos del curso y adecuadamente relacionado con los conocimientos previos y posteriores.

A partir de estas y otras reflexiones, proponemos un conjunto de pautas metodológicas para la elaboración de este tipo de actividades:

1. Análisis del contexto curricular, que requiere establecer relaciones significativas entre el problema propuesto y el resto de los contenidos del curso, identificando tanto los requisitos previos como las perspectivas abiertas por la actividad en cuanto a su proyección en contenidos posteriores y en el reconocimiento de nuevos problemas.

2. Análisis de los contextos social y tecnológico, que implica valorar el problema planteado desde el punto de vista del contexto social y de los perfiles profesionales relacionados con la titulación.

3. Establecimiento de un programa básico de actividades. Cualquier situación problemática puede concretarse en la formulación de una secuencia de pequeñas actividades concebidas como elementos o etapas en su resolución, con la respuesta razonada de las mismas. Ésta es además una condición indispensable para que sea adaptada y utilizada con eficacia por otros profesores en diferentes contextos. La elaboración de esta secuencia de actividades exige un análisis profundo y detallado de su fundamento científico, lo que implica, a su vez, dar respuesta a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué conceptos debemos poner en juego en la resolución del problema y con qué formulación (grado de abstracción, terminología, etc.) según el nivel al que va dirigido?

- ¿Qué procesos experimentales están involucrados y qué recursos son necesarios para su desarrollo?

- ¿Qué contenidos de carácter metodológico son necesarios para enfocar convenientemente su resolución: cálculos, representaciones, etc.?

- ¿Qué problemas de carácter organizativo, y de disponibilidad de tiempo y recursos cabe prever?

4. Adaptación de ese programa de actividades, en función de características tales como la mayor o menor autonomía del alumnado, el carácter más o menos divergente del problema, su papel dentro del currículo en su conjunto, el papel jugado por la experimentación, etc.

El análisis anterior puede ir acompañado de una previsión

de los obstáculos de todo tipo con que a priori pensamos que va a enfrentarse el alumnado. El reconocimiento de estos obstáculos nos debe llevar también a considerar cómo va a ser la realimentación proporcionada, de modo que se logre ese delicado equilibrio -que es buena parte lo que la enseñanza tiene de arte- en el que proporcionamos al estudiante justo la información y orientación necesarias para que avance en su aprendizaje, pero de ningún modo aquella que puede lograr con su propio esfuerzo y a través de la colaboración entre iguales. Se trata en definitiva de "mantener las cartas boca abajo" para ir mostrándolas a medida que el proceso de indagación y reflexión de los alumnos lo exige. Este análisis se concreta en esquemas del tipo del representado más adelante en la Tabla 1, donde se pretende reflejar el desarrollo paralelo de los logros previstos para el alumnado y la retroalimentación que debe proporcionar el profesor.

Un ejemplo de propuesta educativa fundamentada en el ABP: elaboración y uso de bebidas autocalentables

Siguiendo el proceso planteado, concretaremos una propuesta mediante la descripción del diseño y aplicación en el aula de un problema basado en la elaboración y uso de las bebidas conocidas como autocalentables.

Análisis del contexto curricular

El problema planteado constituye una de las secuencias de actividades que los autores desarrollan en materias de Química General e Inorgánica del primer curso de titulaciones de Ingeniero Industrial, Ingeniero Químico e Ingeniero Técnico Agrícola. La realización práctica en el aula conlleva un tiempo de menos de 5 minutos (aparte de la discusión), y sirve para que los alumnos trabajen (fuera del aula) en grupo (aprendizaje cooperativo) sobre la entalpía como función de estado, con los cálculos termodinámicos asociados y, particularmente, los conceptos de variación de entalpía de disolución y de energía reticular.

Algunos requisitos previos son el conocimiento de la relación entre la energía transferida en forma de calor y la variación de temperatura de un sistema y, consecuentemente, los conceptos de calor específico y capacidad calorífica, así como el conocimiento de nociones fisicoquímicas básicas, como densidad y masa molar.

Por otra parte, la resolución de este problema puede ser el punto de partida para profundizar en otros aspectos, como la espontaneidad de los procesos de disolución de sales en agua y las aproximaciones realizadas al estudiar experimentalmente la transferencia de calor.

Contexto social y tecnológico

El problema propuesto gira en torno a un objeto cotidiano cuya venta es habitual en comercios emplazados en gasolineras, aeropuertos y áreas de servicio de las autovías. Se trata de bebidas como café, café con leche, capuchino, chocolate, té con limón, etc., que se comercializan en un formato "autocalentable".

Aunque los alimentos autocalentables tienen una amplia trayectoria en usos relacionados con el ámbito militar o el excursionismo, actualmente la presencia en el mercado de este tipo de bebidas se halla ligada a los hábitos de desplazamiento de la sociedad actual.

Desde el punto de vista tecnológico, el diseño y funcionalidad de los envases presenta múltiples aspectos de interés: desde la selección de los materiales (concretamente, el porqué del empleo del aluminio y el polipropileno) al modo de poner en contacto los reactivos que, mediante un proceso de disolución exotérmico, permite llevar la bebida hasta la temperatura idónea.

Programa básico de actividades

Una posible formulación del problema consiste en presentar en el aula el uso de una de estas bebidas. En un primer momento, se muestra en el aula una aplicación de la energía desprendida al disolver cierta sal (no se les dice a los alumnos cuál es, para que indaguen sobre la cuestión) en agua, para calentar una bebida en un vaso algo especial. En el ejemplo que se analiza en este artículo, el profesor mostró un vaso de este tipo en el aula y midió la variación de temperatura de la bebida (chocolate) al seguir el procedimiento expuesto en la información que se ofrece en su etiqueta. Se observó que la bebida pasaba de 23 °C a 55 °C. Se muestran (Figura 1) fotografías del envoltorio del vaso, donde se ofrece información del método. En un vaso similar, se determinaron las siguientes masas: sal (54,31 g), agua (60,45 g), recipiente (21,22 g de polipropileno y 8,39 g de aluminio) y chocolate (93,68 g).

En torno al hecho experimental observado y los valores de las masas medidas se propone a los alumnos la siguiente secuencia de actividades:



Figura 1. Detalles de la etiqueta del producto.

- Describir el recipiente (materiales y diseño) mediante un esquema y el proceso que tiene lugar cuando se calienta la bebida con este procedimiento.
- Sugerir algún procedimiento que haya podido permitir al profesor conocer las masas indicadas.
- Con datos que pueden obtenerse en tablas de variaciones de entalpías de disolución de sales en agua,^[28] estimar (i) el calor (en kJ) que se desprende al producirse el calentamiento y (ii) la temperatura (en °C) aproximada que alcanzaría la bebida si se supone (aunque obviamente no es cierto) que la disolución salina y la bebida poseen un calor específico igual al del agua (1,00 cal/g·°C). Los

calores específicos del polipropileno y del aluminio son 0,43 y 0,22 cal/g·°C, respectivamente.

d.- Comparar el incremento de temperatura calculado con el indicado en la etiqueta del vaso.

e.- Razonar si se alcanza en la práctica realizada la temperatura estimada en el apartado c y enumerar algunas de las aproximaciones realizadas en los cálculos.

f.- A partir de datos de las variaciones de entalpía de hidratación de los iones implicados^[28] y la variación de entalpía de disolución de la sal, estimar la energía reticular (en kJ/mol) de ésta. Se sugiere representar en un diagrama de energías estos valores, así como comparar el valor estimado con otros encontrados en la bibliografía.

g.- Explicar el fundamento de las siguientes recomendaciones y advertencias que se indican en el envase: agitar durante 40 segundos boca abajo; no perforar ni cortar el envase; se autocalienta una vez; y no intentar calentar el vaso por otros medios (horno, microondas, etc.).

h.- Comentar las ventajas e inconvenientes de estos envases y señalar algunas posibles mejoras de diseño.

i.- Calcular la masa (en g) de sulfato de magnesio que generaría el mismo calor que la sal de la experiencia.

j.- Razonar si sería posible utilizar el mismo diseño de envase para enfriar una bebida (para producir, por ejemplo, té frío) en vez de calentarla, cambiando simplemente el tipo de sal.

k.- Con los datos del ejercicio, ¿se puede estimar la densidad (en g/mL) de la bebida?

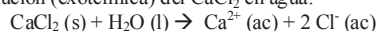
l.- Comentar cualquier aspecto relacionado con la experiencia que se considere de interés.

Estas preguntas son sugerencias que el profesor podría usar para dirigir a los alumnos a la búsqueda de información adecuada. El planteamiento de una secuencia tan específica supone un ejemplo de aprendizaje basado en la indagación dirigida (conocido en inglés como *inquiry-guided instruction*).^[2] Como método de ABP, puede ser más idóneo un planteamiento similar al que se formula a continuación (Esquema 1).

Esquema 1. Enunciado de la actividad en una plataforma educativa interactiva.

Presentación del problema:

Actualmente existen en el comercio bebidas autocalentables, como los cafés de la marca "caliente, caliente". Podéis consultar en la siguiente página web las características de este producto y cómo se produce el calentamiento de la bebida: www.calientecaliente.es. El proceso en que se basa es la disolución (exotérmica) del CaCl₂ en agua:



El problema que se plantea es el siguiente: Deseamos calentar los 75 mL de bebida que hay en el envase hasta 60 °C. Podemos suponer que la temperatura ambiente es de 20 °C. Para fabricar el producto con todo lo que ello implica (como el diseño del envase) necesitamos saber qué masa de cloruro cálcico hemos de utilizar en cada envase y el volumen necesario de agua para que se disuelva completamente.

Algunas normas para su desarrollo son:

1. El problema lo podéis ir resolviendo en grupos de hasta 4 personas.

2. El problema lo podéis ir desarrollando con la ayuda de los contenidos introducidos en el tema "Termodinámica y Equilibrio Químico". El plazo de entrega son tres semanas.

3. También es importante que utilicéis la tutoría. Podéis venir al despacho a aclarar dudas y solicitar orientación.

En el siguiente enlace tenéis una completa relación de datos termoquímicos:

<http://hyperphysics.phy-str.gsu.edu/hbase/tables/ftab.html>

Soluciones y comentarios a las actividades propuestas

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

a.- La información sobre el recipiente viene en el propio envoltorio del vaso y en la dirección anunciada en dicho envoltorio,^[29] de donde se ha tomado el esquema que se recoge en la Figura 2. La bebida está contenida en un vaso de aluminio (buen conductor térmico), rodeado de un recipiente de polipropileno (mal conductor). Al apretar por abajo, se acciona el pistón (formado con unas láminas de polipropileno) que "rompe" la fina capa de aluminio que une el compartimiento con agua y el que contiene cloruro cálcico (sal en cuestión). Al disolverse la sal en agua, se desprende el calor (proceso exotérmico) que se emplea en calentar la bebida.

b.- Se realizó haciendo unos orificios para extraer el agua y la sal, de forma separada, y pesándolos. Posteriormente, se pesaron los demás componentes.

c.- (i) Se dispone de una cantidad de sal (CaCl₂) de: 54,31 g / 110,98 g/mol = 0,489 mol. En las tablas^[28] se observa que el calor desprendido (valor negativo) de disolución del CaCl₂ en agua es 82,9 kJ/mol. Por tanto, se desprende un calor de: 0,489 mol x 82,9 kJ/mol = 40,5 kJ. Un aspecto enriquecedor de este tipo de problemas es que no se dan directamente los datos a los alumnos, sino que deben buscarlos en tablas. Al buscar datos en distintas referencias pueden darse cuenta de que no se tratan de valores inmutables, sino que están sujetos a errores experimentales y varían de unas fuentes a otras.

(ii) Sabiendo que el calor absorbido, Q, por una masa, m, de sustancia supone una variación de temperatura ΔT, dado por: Q = m×C×ΔT, donde C es el calor específico, y sabiendo que 40,5 kJ equivalen a 9,69·10³ cal, se tiene: 9,69·10³ cal = [(54,31+60,45+93,68) g × 1,00 cal/g·°C × ΔT] + [8,39 g × 0,22 cal/g·°C × ΔT] + [21,22 g × 0,43 cal/g·°C × ΔT]

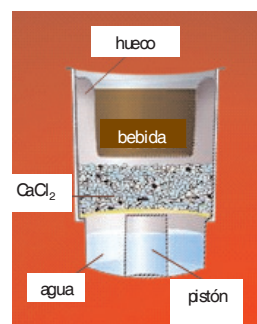


Figura 2. Esquema del vaso con bebida autocalentable.

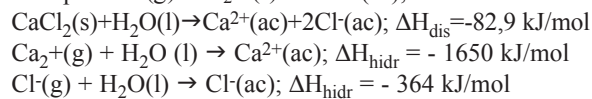
De esta forma, se obtiene ΔT = 44 °C. Como la temperatura inicial era 23 °C, se tendría que haber alcanzado en la bebida, según los planteamientos descritos, una temperatura de unos 67 °C.

d.- En la información del vaso se indica que "se calienta unos 40 °C sobre la temperatura ambiente". En versiones anteriores se indicaba que se calienta 42 °C. En todo caso, son valores similares al calculado.

e.- No se alcanza la temperatura estimada en el apartado c. El vaso se calentó (en la práctica concreta comentada) hasta 55 °C. El calentamiento es menor que el predicho porque se han realizado, entre otras, estas aproxima-

ciones: se ha asumido el valor de calor específico igual al del agua para la disolución salina y la bebida, el sistema no está perfectamente aislado térmicamente del ambiente (como lo prueba el hecho de que se calienta la mano al sujetarlo), las masas de las sustancias se dan para un vaso "similar" y no para el utilizado, y hay en realidad un gradiente de temperaturas.

f.- Considerando los datos aportados en las tablas^[28] de variaciones de entalpía de disolución (a 298 K), referida a la formación de disolución acuosa "infinitamente diluida", en kJ/mol y de variaciones de entalpía de hidratación de iones (también a 298 K), correspondientes a procesos del tipo $M^{z+}(g) + H_2O(l) \rightarrow M^{z+}(ac)$, se tiene:



A partir de los datos anteriores, para el proceso: $Ca^{2+}(g) + 2 Cl^{-}(g) \rightarrow CaCl_2(s)$, se tiene una energía reticular: $U_0 = 2 \cdot (-364) - 1650 + 82,9 = -2295 \text{ kJ/mol}$. El valor tabulado para esta sal es -2237 kJ/mol ,^[28] bastante similar al calculado.

g.- El fundamento de las advertencias indicadas es, respectivamente:

- Debe darse tiempo para que se disuelva la sal en el agua, y se favorece boca abajo porque el agua (líquido) fluye hacia el compartimiento con la sal. Si se agita boca arriba podría quedar parte de la sal fuera del contacto con el agua. Además, se facilita el calentamiento de la bebida, al aumentar la superficie de contacto con el fluido caliente.

- Si se corta o perfora se podría desprender parte del agua o de la sal y ya no podría calentarse.

- Sólo sirve para un proceso de disolución de la sal.

- Si se calienta por otros medios, el agua podría llegar a hervir y, estando en un compartimiento cerrado, podría ser peligroso. En microondas también sería peligroso, porque contiene aluminio, sustancia que, como el resto de los metales, no debe introducirse en dicho dispositivo.

h.- Esta actividad puede ser el marco para la discusión del contexto social y tecnológico aludido anteriormente. Como ventajas, ofrece, por ejemplo, la posibilidad de calentar una bebida en una excursión, como en una travesía de montaña o en un viaje en automóvil, donde a veces no es fácil disponer de una fuente de calor. Algunos inconvenientes son el precio (un vaso de bebida cuesta del orden de 1,5 €), el mayor peso y volumen del envase (lo que encarece e incrementa emisiones de CO_2 por el transporte) debido a la sal y al agua que contiene, y la dificultad de reciclado por la complejidad del envase. En cuanto a mejoras, los alumnos dan muestra de distinto grado de creatividad (tan importante para futuros profesionales de la Ingeniería). Entre otras sugerencias, señalan cubrir el vaso de material aislante térmico o incorporar un asa.

i.- La masa molar del $MgSO_4$ es 120,4 g/mol. Para generar el mismo calor, considerando^[28] el valor de $\Delta H_{dis} = -91,2 \text{ kJ/mol}$, la masa m de sal necesaria será: $(m/120,4 \text{ g/mol}) \cdot 91,2 \text{ kJ/mol} = 40,5 \text{ kJ}$. De donde m es 53,5 g.

j.- Sí sería posible, empleando una sal (como el nitrato amónico) cuya disolución en agua sea un proceso endotérmico. En la dirección *Web* del fabricante^[29] se

informa de un producto análogo para preparar té frío.

k.- Con los datos aportados, se sabe que la masa de chocolate son 93,68 g y su volumen (según indica el fabricante) es de 75 mL, por lo tanto, la densidad será, de forma aproximada (no se ha medido de forma exacta y precisa el volumen): $93,68 \text{ g} / 75 \text{ mL} = 1,25 \text{ g/mL}$.

A título informativo, el té al limón comercializado por el mismo fabricante tiene una densidad de 1,02 g/mL.

Una actividad adicional a realizar por los alumnos es la medida de la densidad de distintas bebidas "autocalentables" en el laboratorio, así como la determinación de su volumen (con ello, se pueden introducir conceptos básicos de: estadística, errores experimentales y "química del consumidor", entre otros). En la Figura 3 se muestran algunos envases y probetas con las bebidas con las que se trabajó.



Figura 3. Probetas con el agua (izquierda), chocolate (probeta central) y café con leche contenidos en vasos "autocalentables"; vaso de precipitados con el cloruro cálcico contenido en un vaso de bebida; termómetro empleado y tres envases de bebidas.

Otra formulación alternativa de las actividades

Se pueden ofrecer otro tipo de aplicaciones y consideraciones sobre el mismo caso estudiado. Por ejemplo, los alumnos pueden buscar en la bibliografía otros métodos análogos para calentamiento de bebidas y alimentos enlatados, como es la reacción química entre cal (CaO) y agua para dar hidróxido de calcio, u otras aplicaciones de los principios estudiados, como es la preparación de compresas instantáneas frías (normalmente por disolución de nitrato amónico) o calientes (normalmente por disolución de sulfato de magnesio) en botiquines de emergencia.

En el caso siguiente, resumido en el Esquema 1, se planteó a los alumnos como actividad básicamente no presencial, en el marco de la plataforma interactiva *PoliformaT* para la docencia en red, utilizada en la Universidad Politécnica de Valencia. Su diseño se aproxima al formato de la *webquest* para el lanzamiento de la actividad, de modo que el seguimiento de la misma se realiza a través de la tutoría, existiendo una puesta en común final, en horario lectivo.

Como puede apreciarse su enfoque es más abierto, solicitando a los alumnos que propongan aspectos del diseño a partir de ciertas especificaciones como la variación de temperatura a conseguir en la bebida. El proceso paralelo de activación de orientación para los alumnos, en este caso, sería el representado en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de los obstáculos y logros previsibles en los alumnos y orientaciones del profesor.

| Obstáculos con los que se enfrenta el alumnado / logros | Orientaciones y realimentación del profesorado |
|---|--|
| Planteamiento inicial: ¿Cómo podemos disponer de una bebida que se pueda calentar en cualquier lugar sin disponer de hornillo, microondas, etc.? O bien: ¿Cuál es el fundamento del diseño y uso de bebidas autocalentables conocidas? | Posiblemente se conozcan las bebidas o conservas autocalentables. Puede dirigirse la investigación hacia la búsqueda en la Web. El ejemplo de la disolución exotérmica del CaCl_2 en agua puede ser un buen punto de partida. En www.calientecaliente.com aparece la descripción y funcionamiento de un tipo de bebidas autocalentables. Se puede centrar el problema ahora en cómo diseñar un vaso autocalentable. |
| Hay que decidir: ¿Qué volumen de líquido queremos calentar? ¿Hasta qué temperatura aproximada? | La discusión con los alumnos y las orientaciones aportadas deben llevar a operativizar el problema, centrándolo en la relación entre el calor transferido y la variación de temperatura. |
| Propuesta, a partir de los conocimientos previos o buscando la información necesaria, de la relación: $Q = m \cdot C \cdot \Delta T$ | Plantear los problemas implícitos en la aplicación de esta ecuación. Discusión de las aproximaciones. ¿De dónde procede el calor que produce el aumento de temperatura en la bebida? |
| Identificación del proceso exotérmico. | Relacionarlo con el concepto de variación de entalpía de disolución. Retomar el objetivo inicial del problema. |
| ¿Cómo puede calcularse el calor que proporciona la reacción (disolución) en función de la masa de reactivos? ¿Cuál va a ser el reactivo limitante? Cálculo de la masa de cloruro de calcio. | Experimentación en el aula con un envase real. Determinación de las masas utilizadas, tanto de CaCl_2 y de agua como de los materiales del envase. Evaluación de las aproximaciones realizadas. Extensión del problema: ¿Qué sustancias pueden ser útiles para preparar bebidas autocalentables? ¿Y si pretendiéramos enfriar en vez de calentar? ¿Cómo podemos averiguarlo a partir de datos termodinámicos? |
| Consideración de los posibles factores que afectan a la variación de entalpía de disolución. | Introducción o revisión del concepto de energía reticular y su relación con la variación de entalpía de disolución de sales y de hidratación de iones. Problema de la espontaneidad ¿Por qué hay procesos espontáneos de disolución exotérmicos y endotérmicos? |
| ¿Qué magnitud nos permite prever la espontaneidad de un proceso? | Introducción del concepto de variación de energía libre para los procesos de disolución para predecir la solubilidad de las sales. Citar la existencia de factores cinéticos. |

Resultados

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 disolución de sales, se aplica a objetos tan curiosos.

En las dos opciones planteadas, 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, desarrollarla con otras bebidas similares, medir las densidades de las bebidas para comprobar cómo, con un mismo volumen (75 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 deficiencias en el procedimiento a seguir. A modo de ejemplo, se señalan, en los siguientes párrafos, alguno de los aspectos que se han observado en algunos grupos de alumnos durante la corrección de la actividad.

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") o infantiles (entre los inconvenientes, a veces se señala que hay "poca" cantidad de chocolate, 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 (hay quien opina que no se puede calentar la bebida por el principio de Le Châtelier sobre el equilibrio: ¡aunque observaron el calentamiento en el aula y el efecto no tiene que ver con consideraciones de equilibrio químico!).

Normalmente tienen poco espíritu crítico hacia la información ofrecida. Por ejemplo, el fabricante emplea el término "elemento" en un contexto que alumnos de Química deberían corregir. También, incluye que se calienta al baño María (no se da la situación, pues dicho procedimiento implica el calentamiento de un recipiente en contacto con agua hirviendo, que no es exactamente el caso).

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, que permiten detectar deficiencias conceptuales "antes" del examen final, se ven acompañadas de razonamientos bastante adecuados, que permiten observar que los alumnos sí están interesados por lo que aprenden y que tienen inquietudes científicas. Es evidente además cómo en metodologías de carácter más investigativo como el aprendizaje basado en problemas, 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 (clase) y práctica (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.

Por el hecho de ser alumnos de Ingeniería se incide en aspectos prácticos (cuestiones h e i), con lo que aprecian que el diseño y la valoración económica son aspectos de interés.

En la discusión en el aula, una vez corregidos todos los ejercicios, surgen temas de interés, incluso a veces no previstos por el profesor. Por ejemplo, en una ocasión surgió el hecho de que el detalle con el que el fabricante informa de la bebida, indicando que contiene cloruro cálcico, puede inspirar desconfianza en el consumidor. Este tipo de actividades permite también introducir a los alumnos en la valoración de la importancia del etiquetado de los productos.

Cabe destacar también el elevado potencial de este tipo de actividades en cuanto a la dinamización de la actividad tutorial, ya que por la elevada interacción profesor-alumnos que

exigen, las visitas al despacho van creciendo progresivamente en frecuencia y calidad, lo que repercute indudablemente de modo muy favorable en el resto de la asignatura.

Por último, se señala que esta actividad puede desarrollarse, obviamente con distintos enfoques, desde la enseñanza primaria (introduciendo conceptos como el calor) a niveles universitarios: en primeros cursos, como aspecto interdisciplinar, o en niveles más avanzados, sugiriendo propuestas de determinación, por simulación, de gradientes de temperatura alcanzados en la bebida,^[30] discusión sobre el concepto de reacción química frente a proceso de disolución, etc.

Conclusiones

La experiencia de los autores con esta actividad y otras de naturaleza análoga,^[6,31–38] desarrolladas en el aula, les permiten sugerirlas para llevar a la práctica docente de la Química universitaria algunos aspectos que sugieren las tendencias de innovación educativa contemporáneas.^[39–41] Particularmente, y tal vez como reflexión de mayor relevancia, insistimos en la gran potencialidad de estas prácticas educativas como instrumento para la autoformación del profesorado y para la dinamización de la innovación educativa en los propios Centros y unidades docentes. Y ello por varias razones; la primera, porque se trata de una metodología fuertemente ligada a los aspectos más genuinamente disciplinares de la asignatura y no a cuestiones pedagógicas de carácter general. Desde nuestro punto de vista, y dadas las características del profesorado universitario y de su formación inicial, este hecho puede favorecer el compromiso docente con la innovación. Otra cualidad del ABP como instrumento de cambio metodológico es que permite la incorporación progresiva de innovaciones que, sin menoscabo de la necesaria coherencia y fundamentación teórica, pueden ser formuladas de modo suficientemente adaptable y versátil. El ABP es también un terreno donde la convergencia entre investigación e innovación puede ser más fructífera. En otras palabras, por su carácter eminentemente disciplinar y práctico, puede ayudarnos a los profesores universitarios a superar una asignatura que tal vez tengamos pendiente: la necesaria familiarización con el inmenso caudal de conocimiento teórico y práctico que la literatura didáctica pone a nuestra disposición.

Agradecimiento

Se agradece a la Universidad Politécnica de Madrid por la financiación del trabajo, a través de los proyectos IE070535020 e IE08053505.

Bibliografía

- [1] M. T. Oliver-Hoyo, D. D. Allen, *J. Chem. Educ.* **2004**, *81*, 441–448.
- [2] M. T. Oliver-Hoyo, D. D. Allen, M. Anderson, *J. College Sci. Teach.* **2004**, *May/June*, 20–24.
- [3] M. T. Oliver-Hoyo, *Ibid.* **2006**, *Jan/Feb*, 42–47.
- [4] W. L. Anderson, S. M. Mitchell, M. P. Osgood, *Biochem. Molec. Biol. Educ.* **2005**, *33*, 387–393.
- [5] P. B. Kelter, M. Mosher, A. Scott, *Chemistry: The Practical Science*, Houghton Mifflin, Boston, **2008**.
- [6] G. Pinto, *Didáctica de la Química y Vida Cotidiana*, <http://quim.iqi.etsii.upm.es/vidacotidiana/Inicio.htm>. Visitada el 20/05/2008.
- [7] D. R. Paulson, *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 1136–1140.
- [8] M. D. Northwood, D. O. Northwood, M. G., Northwood,

- Global J. Eng. Educ.* **2003**, *7*, 157–164
- [9] O. C. Kelly, O. E. Finlayson, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2007**, *8*, 347–361.
- [10] S. Poikela, P. Vuoskoski, M. Kärnä, *Developing New Environments for Learning and Knowing in Problem-Based Education*, en *Int. Problem-Based Learning Symp.*, Singapur, **2007**. www.rp.sg/symposium. Visitada el 20/05/2008.
- [11] J. W. Lehman, *Operational Organic Chemistry: to problem-solving approach to the laboratory course*, 3rd ed., Prentice-Hall, New Jersey, **1999**.
- [12] J. F. Bieron, F. J. Dinan, *Avogadro Goes to Court*. <http://www.sciencecases.org/avogadro/avogadro.asp>. Visitada el 20/05/2008.
- [13] D. Yanfeng, *China Papers*, **2004**, *Nov.*, 6–9.
- [14] S. E. Groh, *Riverside's Dilemma*. <http://www.udel.edu/pbl/curric/chem104-prob.html>. Visitada el 20/05/08.
- [15] D. Gil, *Rev. Ens. Ciencias*, **1993**, *11*, 197–212.
- [16] J. Kovak, *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 120–124.
- [17] L. Yingjie, L. Zaiqun, *China Papers*, **2003**, *July*, 34–38.
- [18] C. McDonnell, C. O'Connor, M. C. Seery, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2007**, *8*, 130–139.
- [19] R. Chrobak, *La metacognición y las herramientas didácticas*. <http://www.unrc.edu.ar/publicar/cde/05/Chrobak.htm>. Visitada el 20/05/08.
- [20] J. R. Watson, *Int. J. Sci. Educ.* **1994**, *16*, 27–43.
- [21] G. Burton, J. Holman, G. Pilling, D. Waddington, *Salter's Advanced Chemistry. Chemical Storylines*, Heinemann, Oxford, **1994**.
- [22] T. Mitchell, R. Whewell, Chemistry Subject Area Group. The Chemistry Eurobachelor, en: *Tuning Educational Structures in Europe*. www.relint.deusto.es/TUNINGProject/spanish/doc_fase1/Tuning%20Educational.pdf. Visitada el 20/05/08.
- [23] C. Wood, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2006**, *7*, 96–113.
- [24] B. Duch, *Problems: A Key Factor in PBL*. <http://www.udel.edu/pbl/cte/spr96-phys.html>. Visitada el 20/05/08.
- [25] Center for Teaching, *Learning and Scholarship (Samford University)*. http://www.samford.edu/ctls/pbl_process.html. Visitada el 20/05/08.
- [26] A. Ling, K. J. Loy-Pang, *Student's perceptions of good PBL facilitation*, en *Int. Problem-Based Learning Symp.*, Singapur, **2007**. www.rp.sg/symposium. Visitada el 20/05/2008.
- [27] S. A. Azer, *Biochem. Mol. Biol. Educ.* **2003**, *31*, 428–434.
- [28] J. G. Stark, H. G. Wallace, *Chemistry Data Book*, John Murray, Londres, **1980**.
- [29] *Caldo-caldo (fabricante de bebidas autocalentables)*. <http://www.calientecaliente.it/>. Visitada el 20/05/08.
- [30] *Stress Engineering Services Inc.* <http://www.stress.com/consumertier3.php?pid=307>. Visitada el 20/05/08.
- [31] J. A. Llorens, *J. Chem. Educ.* **1988**, *65*, 1090.
- [32] J. A. Llorens, *Conocer los materiales, ideas y actividades para el estudio de la física, química y tecnología en la educación secundaria*, Ediciones de la Torre, Madrid, **1996**.
- [33] G. Pinto, B. Rohrig, *J. Chem. Educ.* **2003**, *80*, 41–44.
- [34] G. Pinto, A. Esin, *J. Chem. Educ.* **2004**, *81*, 532–536.
- [35] G. Pinto, *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, 1321–1324.
- [36] G. Pinto, *J. Chem. Educ.*, **2005**, *82*, 1509–1512.
- [37] J. A. Llorens, en *Aprendizaje activo de la Física y Química*, Equipo Sirius, Madrid, p. 281, **2007**.
- [38] M. T. Oliver-Hoyo, G. Pinto, *J. Chem. Educ.* **2008**, *85*, 218–220.
- [39] G. Pinto, A. Chávez, L. Yunqi, J. Xu, *An. Quím.* **2005**, *10(3)*, 37–43.
- [40] G. Pinto, *Chem. Educ.* **2005**, *10*, 317–319.
- [41] G. Pinto, C. V. Gauthier, G. Weaver, P. B. Kelter, *Chem. Educ.* **2008**, *13*, 186–189.