

# Velocidad de fusión del hielo en distintas disoluciones: un ejemplo de aprendizaje activo de la ciencia

Velocitat de fusió del gel en diferents dissolucions: un exemple d'aprenentatge actiu de la ciència

Rate of ice melting in different solutions: an example of active learning of science

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

Pascual Lahuerta / Universidad de Valencia. Facultad de Química



## resumen

Con una sencilla experiencia en la que se estudia la velocidad de fusión de bloques de hielo en diferentes disoluciones acuosas, se introduce a alumnos de distintos niveles educativos en los procedimientos propios del método científico. Es un ejemplo práctico para aprender y discutir conceptos fisicoquímicos, así como para fomentar un aprendizaje activo y la formación en competencias. Sirve para motivar a los alumnos y, además, es un punto de partida para que observen cómo propiedades de sustancias sencillas (agua y cloruro de sodio) influyen en fenómenos complejos, como la circulación termohalina de los mares, causada por gradientes de densidades.

## palabras clave

Aprendizaje activo, circulación termohalina, convección, densidad, propiedades del agua.

## resum

Amb una senzilla experiència en la qual s'estudia la velocitat de fusió de blocs de gel en diferents dissolucions aquoses, s'introdueix alumnes de diferents nivells educatius en els procediments propis del mètode científic. És un exemple pràctic per aprendre i discutir conceptes fisicoquímics, així com per fomentar un aprenentatge actiu i la formació en competències. Serveix per motivar els alumnes i, a més, és un punt de partida perquè observin com propietats de substàncies senzilles (aigua i clorur de sodi) influeixen en fenòmens complexos, com ara la circulació termohalina dels mars, causada per gradients de densitats.

## paraules clau

Aprenentatge actiu, circulació termohalina, convecció, densitat, propietats de l'aigua.

## abstract

Students from different educational levels are introduced into the procedures of the scientific method using a simple experience in which the rate of melting of ice cubes in different aqueous solutions is studied. It is a practical example to learn and discuss physicochemical concepts, as well as to promote active learning and skills training. It serves to motivate and also is a starting point to observe how properties of simple substances (water and sodium chloride) influence complex phenomena, such as thermohaline circulation of the oceans, caused by density gradients.

## keywords

Active learning, thermohaline circulation, convection, density, properties of water.

## Introducción

Se muestra un ejemplo de problema, relacionado con la velocidad de fusión de un bloque de hielo en distintos medios (agua y disoluciones acuosas de cloruro de sodio), que los autores emplean para introducir a sus alumnos en metodologías activas de aprendizaje (*Science education now...*, 2007). Se promueve el aprendizaje por indagación, la formación de competencias básicas en ciencia y genéricas (propuesta y realización de experimentos, trabajo en equipo, observación, interpretación de resultados, elaboración de informes, etc.) y la discusión de conceptos fisicoquímicos (densidad, cambio de fase, flotabilidad, convección, solubilidad, etc.).

Los alumnos deben seguir el método científico para resolver un problema de fácil formulación y aparentemente sencillo, pero cuyo resultado no es baladí. Para ello, deben aplicar los pasos propios del citado método: formulación de hipótesis, realización de un primer experimento para contrastar las hipótesis, observación atenta, comparación de los resultados con las predicciones iniciales, proposición y realización de experimentos que permitan resolver nuevos interrogantes, interpretación de resultados, etc. Y así, hasta llegar a una explicación razonable del fenómeno que sea confirmada con la experiencia.

Los experimentos son sencillos, requieren un utillaje simple, son rápidos de hacer y permiten un fácil control de las variables implicadas, pudiendo ser realizados, sin ninguna peligrosidad, incluso en el propio hogar.

Esta actividad práctica se ha desarrollado con anterioridad por otros profesores, principalmente en el ámbito de las enseñanzas de Ciencias del Mar (Glessmer, 2014; *Melting ice*, s. a.), pero se considera un ejemplo también idóneo para las asignaturas de Física y de Quí-

mica. Aunque se puede implementar con distintas estrategias educativas, aquí se resume el procedimiento seguido con alumnos de bachillerato y de primer curso de varios grados en ingeniería.

### Planteamiento del problema sobre la velocidad de fusión del hielo en distintos medios acuosos

Se sugiere a los alumnos que respondan a la siguiente pregunta: «¿Dónde fundirá antes un cubito de hielo, en agua o en agua saturada de sal?». Se puede detallar que la pregunta se refiere en ausencia de agitación. De forma intencionada, no se especifica el tipo de sal para que, cuando lo discutan, se planteen el hecho de si se refiere a la sal común (NaCl). Se enuncia, de forma expresa, que el agua, en el segundo caso, está saturada de sal, para que aprecien la importancia de conocer conceptos previos (como saturación de una disolución) y para favorecer que el resultado no ofrezca dudas (no se apreciaría de una forma tan perceptible la diferencia si se estudiara el comportamiento en agua con una pequeña cantidad de sal disuelta).

Tras dejarles tres minutos para que razonen de forma individual, se les solicita una respuesta sobre cuál será el resultado del problema, dándoles las opciones de que el cubito funde antes: a) en agua; b) en agua saturada de sal; c) prácticamente igual en ambos casos, y d) no se sabe. Una vez responden y el profesor recopila las respuestas, se les pide que

razonen, en grupos de tres, durante cinco minutos, qué les ha llevado a proponer una respuesta u otra. Después de contabilizar de nuevo el número de respuestas, se reflejan en la pizarra (se muestra un ejemplo en la tabla 1).

A continuación, se plantea a los alumnos que, mediante una «tormenta de ideas», indiquen cómo se podría resolver la cuestión, llegando a la conclusión de que lo mejor sería realizar un experimento para determinar el resultado.

Se les da un tiempo de dos semanas para que, en grupos de tres, realicen el experimento y confirmen de este modo cómo se produce la fusión en los dos medios. Se les pide igualmente que, en ese tiempo, razonen las causas del diferente comportamiento y que realicen un informe, donde deben indicar el resultado obtenido aportando datos, condiciones experimentales, tiempos medidos, fotografías, etc. También se les incide en que incluyan su razonamiento sobre si creen que se debería haber especificado algo más el enunciado de la cuestión, desde el punto de vista físico o químico, así como otros detalles que consideren de interés.

Una vez realizado el primer informe, se les dan otras dos semanas para que realicen un segundo informe sobre nuevas experiencias que ayuden a responder a la pregunta «¿Qué hace que en la disolución salina la fusión del hielo sea más lenta?». Para ello, deberían probar otros solutos, distintas concentraciones

Tabla 1. Respuestas iniciales planteadas al problema por alumnos de primer curso del grado en Ingeniería Química en 2013

¿Dónde funde antes un cubito de hielo?	N.º de respuestas tras el razonamiento	
	Individual	En equipo
a) En agua	8	5
b) En agua saturada de sal	39	48
c) Prácticamente igual en los dos medios	6	3
d) No lo sé	3	0

salinas, empleo de colorantes o de agitación, etc. Este es un momento clave marcado por la iniciativa de los alumnos: tienen que proponer una o más variables determinantes para el fenómeno y alguna experiencia que aporte información experimental sobre su importancia.

Finalmente, una vez corregidos los informes finales, se discute el tema en clase.

### Resultados experimentales de los alumnos

Con esta tarea, los alumnos valoran la importancia del trabajo en equipo y se facilita que encuentren que la práctica experimental es fundamental en ciencia. Además, se promueve el aprendizaje y la discusión de conceptos en principio bien conocidos.

Al preguntar a los alumnos, el día de la discusión inicial, las razones por las que creen (erróneamente) que el hielo funde antes en agua con sal, aluden frecuentemente al descenso crioscópico del agua o al hecho conocido (relacionado con el primero) del empleo de sal para evitar la formación de hielo en carreteras y aceras en tiempo de nevadas. Es importante precisar que la respuesta al problema no es elemental (e, incluso, es controvertida cuando se plantea entre profesores). El agua y el cloruro de sodio, dos sustancias ampliamente conocidas, son objeto aquí de un problema aparentemente sencillo, pero cuya discusión puede llegar a ser apasionante (Glessmer, 2014).

Cuando se discute inicialmente con los alumnos cómo se podría conocer la solución al problema planteado, se suelen dar tres tipos de respuesta:

— Sería necesario y posible realizar un experimento sencillo, en el que se dispusiera un cubito de hielo del frigorífico de casa en un vaso de agua a temperatura ambiente y otro en un vaso igual,

pero sobre el que se añadiría cloruro de sodio hasta observar que no se disuelve más (saturación). Es la respuesta más frecuente y adecuada para los objetivos planteados.

— Se puede «buscar en Internet». Es una respuesta muy recurrente en clase, que puede dar pie al profesor a comentar cómo hay que utilizar la web como fuente de recursos para el aprendizaje.

— Se podría preguntar a un experto en el tema (profesor, investigador, etc.).

misma); temperatura (debe ser igual inicialmente en ambos líquidos); determinación del final de la fusión (esto hace que el resultado no tenga una gran precisión, pero sí se establece claramente la diferencia de tiempos en los dos medios); tipo de recipiente (los dos vasos han de ser iguales, para evitar otras influencias), y necesidad de depositar suavemente los bloques de hielo en el líquido (para evitar la influencia de la agitación).

La realización del experimento y su descripción varían mucho de

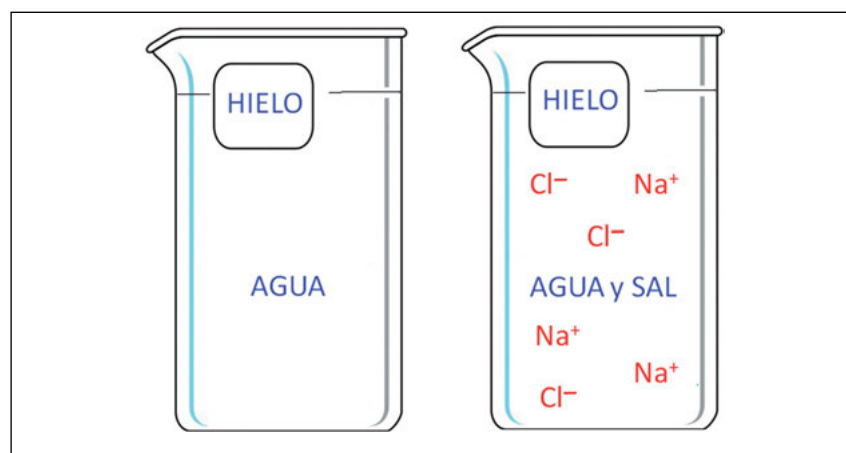


Figura 1. Esquema del dispositivo experimental al principio de la experiencia.

Hay alumnos que piensan que, de alguna manera, el profesor plantea algo «con trampa» y hacen comentarios del tipo: «depende de lo que consideremos igual velocidad», «depende de las cifras significativas», etc.

La mayoría de los alumnos observa, cuando realizan el experimento en su casa (fig. 1), que el tiempo necesario para la fusión del hielo es significativamente mayor en el vaso con sal, contrariamente a lo que suelen indicar inicialmente (hipótesis general de partida). Algunos resultados de tiempos medidos por alumnos se muestran en la fig. 2.

Algunos factores a tener en cuenta al realizar el experimento son los siguientes: control de la cantidad y forma del hielo (deben ser bloques muy similares); cantidad de los líquidos (debe ser la

unos grupos a otros debido a que el interés y el grado de implicación son desiguales. Hay alumnos que hacen el experimento solo una vez y reflejan de forma escueta o incompleta el resultado, y hay quien recoge detalles como el volumen de líquido (normalmente, entre 100 y 250 mL), las temperaturas iniciales de los líquidos, la cantidad de sal empleada, la masa (o las dimensiones) de los bloques de hielo, etc. También hay quien detalla muchos aspectos con la realización de fotografías.

Incluso un alumno (en una ocasión en la que el trabajo se hizo de forma individual) llegó a escribir en su informe que no pudo ver el resultado final porque se descuidó mientras «desaparecían» del todo los bloques de hielo.

Otros realizan experimentos adicionales de interés, con lo que

profundizan en la resolución del problema. Ejemplos típicos son probar con otros solutos en vez de cloruro de sodio (el más recurrente es el azúcar, aunque hay quien prueba con disoluciones de sales como  $\text{NaHCO}_3$ , accesible en casa) y ensayar con distintas concentraciones.

medio líquido) observó que el agua con gran cantidad de  $\text{NaCl}$  disuelto no llegaba a cristalizar completamente en el congelador, y que se depositaba parte de la sal en el fondo.

Un grupo de alumnos comprobó que no había diferencia apre-

considerando distinto número de bloques de hielo. Sorprende, en este caso, que con un solo bloque de hielo las diferencias de tiempo sean tan pequeñas, pero no especificaron ni el volumen de los bloques ni el de los líquidos.

Por comentar otro ejemplo, muestra de la creatividad de los alumnos, un grupo investigó qué ocurre si se pone un cubito de hielo en etanol: el hielo se hunde y, cuando va fundiendo, queda entre dos capas bien visibles (en la superior está el etanol, de menor densidad, y en la inferior está el agua que se va formando) y, entre ambas, se encuentra el hielo, de densidad intermedia. Este ejemplo puede ser inspirador para otras posibles experiencias, como se especifica más adelante, a la par que explica en parte el fenómeno principal que se discute en este trabajo, esto es, la diferencia de densidades entre líquidos.

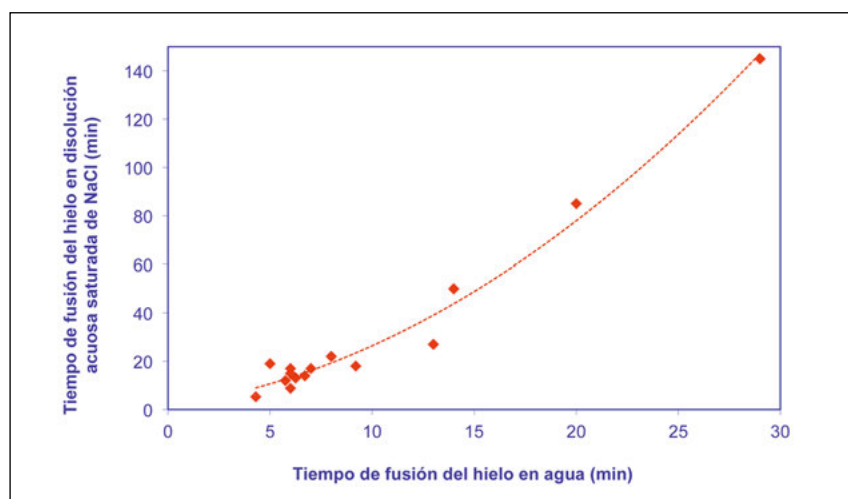


Figura 2. Valores obtenidos por los alumnos del tiempo de fusión de los cubitos de hielo en los dos medios estudiados.

Un equipo realizó los dos experimentos con bloques de «hielo» de distinta composición, que denominaron «hielos» de agua, Coca-Cola, leche, tinto de verano y Fanta de naranja. No explicaron bien sus conclusiones (en todos los casos, se fundía antes el bloque de «hielo» en agua frente al agua saturada de sal, excepto en el de tinto de verano, que era similar). Observaron una mayor rapidez en la fusión de los bloques de bebidas carbonatadas heladas que en el hielo puro, lo que puede deberse a que el  $\text{CO}_2$  ocluido en la congelación hace que los bloques no sean tan compactos. Una cuestión que descubrieron tiene su importancia: indicaron que fueron «incapaces de congelar vodka». Aunque no lo explicaron, descubrieron que, en esta bebida, el etanol actúa como «anticongelante».

Otro equipo que se planteó estudiar la influencia de la composición del propio hielo (no del

ciable entre preparar la disolución salina con «sal fina» o con «sal gorda». Otros compararon el experimento efectuado en Madrid y en Alicante, especificando la diferencia de presión atmosférica y de humedad relativa.

En la fig. 3 se muestran los resultados de un grupo de alumnos al determinar los tiempos de fusión en los dos medios líquidos,

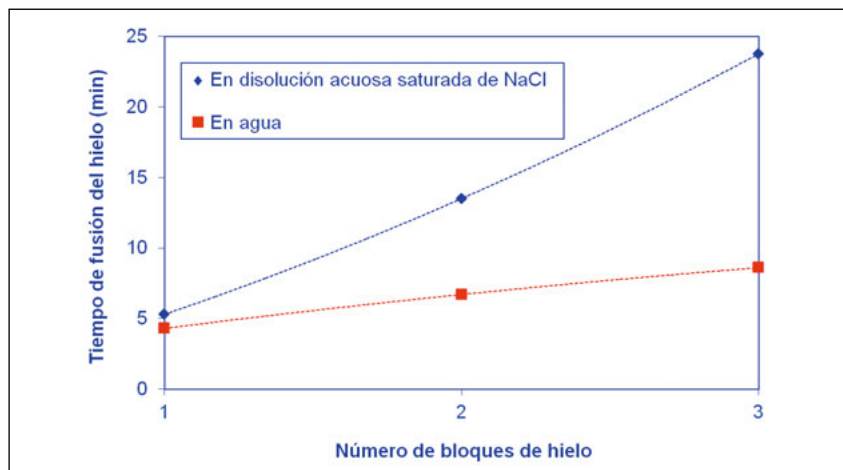


Figura 3. Valores obtenidos por un grupo de alumnos del tiempo de fusión de distinto número de cubitos de hielo en los dos medios.

### Razonamientos de los alumnos sobre los resultados obtenidos

Las interpretaciones que ofrecen los alumnos sobre las causas del diferente comportamiento observado son de muy diversos tipos. Algunas de las más frecuentes, reformuladas para agrupar distintas aportaciones, son las siguientes:

— La densidad de la disolución salina es mayor que la del agua.

En la primera, el hielo flota más que en la segunda y, por ello, la fusión es más lenta. Para la confirmación de esta hipótesis, algunos alumnos proponen acertadamente experimentos para evaluar en qué medida dicho efecto influye en el proceso de fusión del hielo. Un experimento adecuado consiste en llenar ambos vasos de agua, con sal y sin sal, casi hasta el borde, poner seguidamente los dos cubitos de hielo que deberán sobrepasar los bordes del vaso y colocar encima del vaso una superficie de cristal (por ejemplo, un vaso de mayor anchura), de manera que los cubos de hielo se encuentren completamente sumergidos en el líquido. El resultado sigue siendo el mismo: en el vaso con sal, la fusión del hielo es más lenta, si bien los tiempos de fusión de los cubos de hielo varían ligeramente.

— Los iones (sodio y cloruro) interaccionan con las moléculas de agua en el cubo de hielo, «retasando la fusión». Para confirmar esta hipótesis, algunos alumnos proponen sustituir la disolución salina por una disolución de azúcar en agua, como ya se ha indicado. El resultado es análogo (en el vaso con azúcar, la fusión del hielo es más lenta que en el vaso que solo contiene agua) y los tiempos de fusión varían dependiendo de la cantidad de azúcar añadida.

— La disolución salina hace que disminuya la temperatura en contacto con el hielo y por eso el proceso es más lento.

En cuanto al análisis del enunciado, al solicitarles si consideraban necesario haber especificado más, casi todos reparan en aspectos anecdóticos y no tanto en señalar que no se especifica la sal (entendiéndose que es NaCl), ni los volúmenes de líquido en el vaso (no sería lo mismo con muy pequeñas cantidades), ni la tem-

peratura inicial de los líquidos, entre otras cuestiones.

### Nuevos experimentos propuestos a los alumnos

Según el nivel de interés, se puede sugerir a los alumnos que profundicen en el tema, realizando, por ejemplo, el experimento de partida con el hielo o el medio líquido con unas gotas de colorante alimentario, tinta o disolución de permanganato de potasio. De este modo, se puede observar fácilmente una de las claves del problema, como se sugerirá más adelante. En la fig. 4 se muestra el aspecto que tienen dos bloques de hielo preparados por congelación de agua sobre la que se añadieron un par de gotas de colorante alimentario. Se observa que el colorante, en un principio distribuido homogéneamente en el agua, se concentra en la parte central al formarse el hielo. Este es un aspecto relevante de la complejidad que concierne al proceso de congelación.



Figura 4. Bloques de hielo preparados con agua sobre la que se añadieron (con distribución homogénea) dos gotas de colorante alimentario.

También se les puede sugerir que midan temperaturas frente al tiempo de fusión y/o en distintas posiciones del vaso, que realicen los experimentos con agitación (en este caso, se observa que los dos bloques de hielo funden en un tiempo parecido), etc. Lo ideal, claro está, sería que esos experi-

mentos los fueran proponiendo los alumnos como forma de confirmar alguna hipótesis.

Parece que nunca se agotan las propuestas de interpretación de las causas del comportamiento observado en la experiencia. Aparte de aportaciones propias de los alumnos, como las resaltadas anteriormente, suele ser conveniente sugerirles que realicen algunas observaciones en el transcurso del experimento. Con objeto de no ser exhaustivos, se proponen aquí solamente tres:

— Determinar cómo afecta la concentración de sal en la disolución salina al proceso de fusión del hielo. Para ello, se pueden preparar dos vasos, uno con una disolución saturada de sal y otro con una disolución que tenga una menor concentración salina. En la disolución saturada, la fusión del hielo es más lenta, por lo que se concluye que el aumento de concentración de soluto tiene un efecto «retardador» en la fusión del hielo.

— Puesto que la fusión conlleva un cambio de temperatura en el líquido, utilizar un termómetro para medirla. Este nuevo experimento puede llevar un tiempo de realización, hasta que los alumnos observen que los valores de temperatura que se obtienen varían según en qué parte del liqui-

do se realiza la medida. Al final, deberían decidir medir temperaturas en la superficie (lejos del hielo, a ser posible) y en el fondo del vaso. Se observa que, en el vaso con agua saturada de sal, la temperatura en la superficie es varios grados más baja que en el fondo del vaso. Por el contrario, en el vaso con agua, la temperatura en el fondo es menor que en la superficie. Por ejemplo, las fig. 5 y 6 recogen gráficas realizadas a partir de los datos aportados por un grupo de alumnos.

laboratorio, bien en el aula). Se puede medir la temperatura (como se indicó en el párrafo anterior) en diferentes momentos. El resultado es que, en ambas muestras, los hielos funden prácticamente de forma simultánea y que no se observan gradientes de temperatura tan acusados entre la superficie y el fondo del vaso. Se puede concluir así que el efecto de agitación iguala las condiciones de difusión en ambos vasos.

solo si los vasos están en reposo.

— Mayores concentraciones de sal producen tiempos de fusión mayores.

— El efecto de los iones no es importante.

— En reposo, se observa un gradiente de temperatura, diferente en los dos casos, que se rompe por agitación.

Las interpretaciones que se pueden inferir de estas observaciones son las siguientes:

— En el vaso sin sal, el agua que se forma al fundir el hielo tiene una temperatura más baja que el resto y también una mayor densidad. La densidad del hielo a 0 °C es 0,9162 g/cm<sup>3</sup>, la del agua líquida a 0 °C es 0,9998 g/cm<sup>3</sup> y a 20 °C es 0,9982 g/cm<sup>3</sup> (Density of ice..., 2010). Por eso el agua que se forma en la fusión se difunde al fondo del vaso, donde se observa una temperatura más baja. Una propuesta de trabajo interesante para los alumnos es que indaguen sobre la peculiar variación de la densidad del hielo y del agua líquida con la temperatura.

— En el vaso con sal, el agua que se forma al fundir el hielo tiene una temperatura más baja que el resto, pero ahora la densidad de la disolución es mayor e impide así la difusión del agua recién fundida hacia el fondo. En concreto, la densidad de una disolución acuosa saturada de NaCl es del orden de 1,20 g/cm<sup>3</sup> entre 20 °C y 25 °C (Thurmond, Potter y Clynne, 1984). Por otra parte, la solubilidad del NaCl a 25 °C es de 360 g NaCl/1 kg H<sub>2</sub>O (Burgess, 1978).

— Por todo ello, en el vaso con sal, el hielo funde rodeado de agua más fría que en el otro caso y, como consecuencia, lo hace más lentamente.

— La agitación rompe el gradiente de temperaturas al favorecer la difusión.

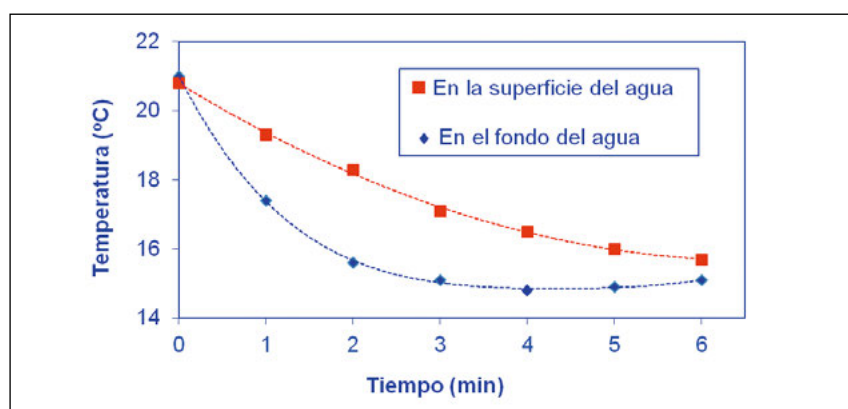


Figura 5. Valores obtenidos por un grupo de alumnos de la temperatura en función del tiempo cuando el hielo se dispone en agua.

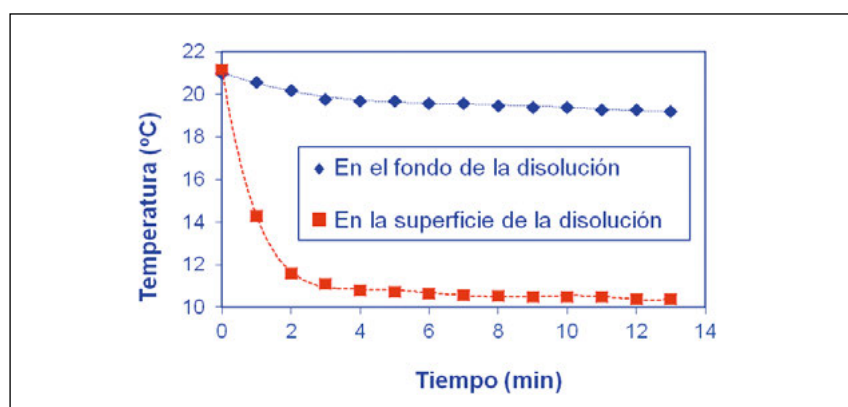


Figura 6. Valores obtenidos por un grupo de alumnos de la temperatura en función del tiempo cuando el hielo se dispone en agua saturada de NaCl.

— En todos los ensayos que suelen realizar los alumnos, el líquido está en reposo, pero ¿qué pasa si se agita? En un nuevo experimento, se puede repetir la experiencia agitando ambos vasos de forma simultánea (usando, por ejemplo, un agitador magnético, bien en el

#### Explicación del fenómeno observado

Las conclusiones de todas las observaciones que se han descrito en los apartados anteriores se pueden resumir en:

— El diferente tiempo de fusión del hielo en agua y en agua salada se observa

Una forma directa de confirmar el diferente fenómeno de difusión en ambos vasos puede ser añadir unas gotas de colorante alimentario, al principio o a los pocos minutos de iniciada la experiencia, como ya se mencionó. En el vaso de disolución salina, el colorante queda en la superficie, resaltando así la capa de agua fría y de menor densidad. Incluso sin colorante, hay alumnos que visualizan una doble capa en el vaso de disolución salina. En el vaso sin sal, el colorante se difunde (de forma bastante espectacular) hacia el fondo, como se muestra en la fig. 7.

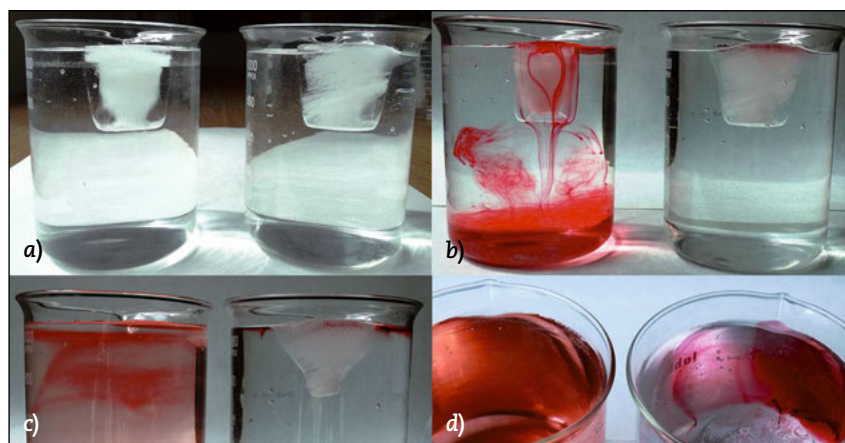


Figura 7. Imágenes del transcurso de la experiencia según se comenta en el texto. En cada caso, a la izquierda se trata del agua y a la derecha, de la disolución acuosa saturada de NaCl.

En la fig. 7 se recogen distintas fotografías de una experiencia realizada por los autores en el laboratorio. Se partió de bloques de hielo de 80 g cada uno, depositados en 1 L de agua y en 1 L de disolución saturada de NaCl en agua. Ambos líquidos tenían una temperatura inicial de 21 °C. Aunque las imágenes están tomadas desde distintas perspectivas, a la izquierda siempre se trata del agua y a la derecha, de la disolución acuosa saturada de NaCl. A medida que transcurre el tiempo (entre las fotografías a y d), se visualiza lo ya comentado anteriormente y que demuestra cómo circula el agua que se va forman-

do al fundirse el hielo en ambos medios. En concreto, en la experiencia realizada, el bloque de hielo sobre el agua tardó veinte minutos en fundir y el del otro medio tardó ochenta y cinco minutos. Estos datos se han incluido en la gráfica de la fig. 2. La fotografía inicial (a) está tomada cuando se dispusieron los dos bloques de hielo, con suavidad, sobre los líquidos y se empezó a contabilizar el tiempo, justo antes de añadir dos gotas de colorante alimentario rojo sobre cada uno de los bloques de hielo. Entre las imágenes a y d transcurrió media hora. La imagen d está tomada al

ma de fundirse el bloque de hielo (de forma más homogénea, en agua, y de forma más cónica, en el agua con sal), por efecto de las temperaturas existentes en el agua que rodea cada bloque.

También se observa que el hielo se mueve en el vaso con agua, mientras que en el otro permanece inmóvil, lo que supone la generación de movimiento entre las capas de agua, en el primer caso. Otro detalle curioso que conviene destacar es que, en el segundo caso, apareció la formación de agua condensada en la parte externa del vaso, en la zona próxima al hielo, mientras que en el caso del agua, no (fig. 8). Esto denota una importante diferencia de las temperaturas alcanzadas en la zona superior.

En la fig. 9 se muestra cómo se puede visualizar el fenómeno general con los hielos preparados con colorante (como se mostró en la fig. 4), en este caso azul (también con dos gotas sobre 80 g de agua y homogeneizado antes de introducirlo en el congelador).

Algunos errores conceptuales o ideas alternativas reseñadas por los alumnos para explicar el fenómeno observado implican alusiones a: «descenso o aumento» ebulloscópico, calor de disolución, principio de Le Châtelier sobre el equilibrio químico, el conocido dicho químico de «semejante disuelve a semejante», fuerzas electrostáticas, variación de entropía, calor específico del agua, interacciones

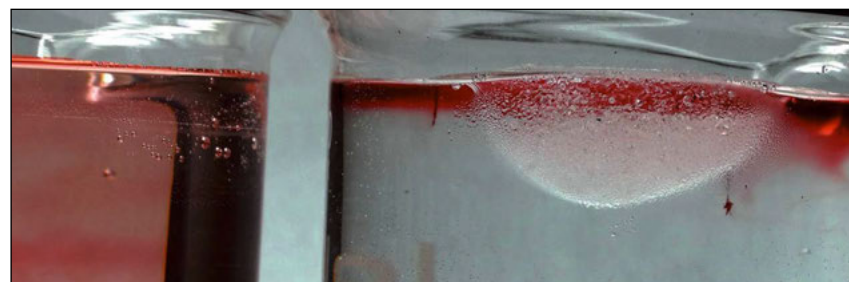


Figura 8. Detalle del experimento ilustrado en la fig. 7. Se aprecia la formación de agua condensada en la cara externa del vaso de la derecha (donde funde el hielo en disolución acuosa saturada de NaCl), mientras que en el otro (que contiene agua), no.

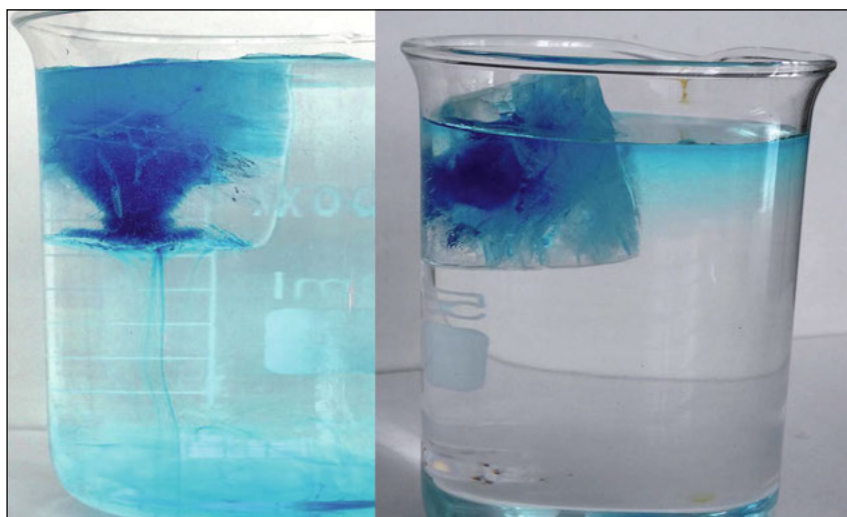


Figura 9. Imágenes del experimento realizado con el colorante incluido al formarse hielo. A la izquierda, el líquido es agua y, a la derecha, disolución acuosa saturada de NaCl.

dipolo-dipolo, enlace de hidrógeno, etc. Por ejemplo, un grupo de alumnos indicó: «Para disolver la sal, hace falta energía para romper los enlaces sodio-cloruro; como la única fuente de calor es el agua líquida, la sal absorbe calor del agua y por eso su temperatura es menor que en el otro vaso».

Es importante tener algo en cuenta para el proceso educativo: a veces, los alumnos, más que buscar la solución a un problema, intentan ver cómo «encaja» con lo que han estudiado en clase.

Hay alumnos que copian directamente soluciones absurdas (muchas veces tomadas de Internet) del tipo «la sal disminuye la solubilidad del agua» o «tienen más energía los enlaces del agua para romper los enlaces del  $H_2O$  del hielo que los enlaces de NaCl con  $H_2O$ ». Es bueno analizarlo para ayudar a plantear las estrategias educativas.

A pesar de estas especificaciones, recogidas por su interés pedagógico, cabe resaltar también que muchos alumnos hacen unos trabajos y unos razonamientos excelentes.

### Conclusiones y propuestas de nuevas cuestiones a investigar

La experiencia de los autores en la introducción de metodolo-

gías activas para alumnos de las materias de Física y de Química de bachillerato y de primer curso universitario, así como en cursos de formación de profesores, ha sido altamente positiva, con temas muy variados (Pinto, 2013; Prolongo y Pinto, 2010). El caso aquí presentado es otro ejemplo ilustrativo de la forma con que se pueden abordar estas metodologías en la práctica docente con sustancias sencillas y bien conocidas.

Esta experiencia es sumamente enriquecedora, tanto para alumnos como para profesores. A modo de ejemplo, basado en una experiencia reflejada por un grupo de alumnos, se puede repetir el experimento principal forzando (por ejemplo, con una varilla de vidrio) al hielo a estar sumergido en el líquido. Se observará que la variación de velocidad de fusión es justo la contraria que en el caso de partida. Otro experimento muy interesante, ya señalado, consiste en probar a fundir el hielo en etanol o en otros medios (como distintos tipos de aceites de cocina).

También se puede proponer realizar otros experimentos para discutir aspectos relacionados con el cambio de fase de hielo a

agua líquida o viceversa, como, por ejemplo:

— El conocido y controvertido «efecto Mpemba»: en algunas condiciones, el agua caliente se congela antes que el agua fría (Jeng, 2006).

— La congelación instantánea del agua preenfriada (pero no congelada) en un congelador al golpear el recipiente, que pone de manifiesto el sobreenfriamiento de un líquido (Schüllli, 2010).

— La preparación de mezclas frigoríficas con hielo y sal común, que tiene que ver con el equilibrio entre fases (Martínez Pons, 2003).

— La obtención de bloques de hielo transparentes e incoloros (como algunos comerciales), evitando la turbidez típica de los caseros.

Entre otros aspectos didácticos que también se pueden abordar, se indica que, con las etiquetas de los colorantes alimentarios utilizados, los alumnos pueden indagar en su composición, obtención, propiedades, etc. En concreto, el azul y el rojo usados en este trabajo son el E122 (azorrubina) y el E133 (azul brillante FCP), respectivamente.

La experiencia analizada en este trabajo es una buena ocasión para introducir aspectos más conocidos pero no por ello menos sorprendentes para los alumnos, como es el hecho de que el hielo sea menos denso que el agua o la explicación de por qué los lagos se congelan desde la superficie hacia el fondo (Chang, 1998).

Aparte de descubrir los alumnos, por sí mismos y de forma experimental, la solución al problema, observan cómo se transmite el calor por convección. Para ellos, suele ser más sencillo entender las otras formas de transmisión del calor (conducción y radiación). Además, las corrientes de convección que



aprecian en los vasos de los experimentos pueden ser la base para que indaguen sobre este importante fenómeno en la naturaleza, como son los efectos en el clima del movimiento de las capas de la atmósfera y la influencia en las corrientes oceánicas de la variación de la densidad del agua por distinta temperatura y salinidad (circulación termohalina) (Bryan, 1986; Skliris, 2014).

Confiamos que los resultados recogidos en este trabajo orienten y sirvan de inspiración a otros docentes para la utilización de metodologías activas, con objeto de facilitar la formación en competencias básicas en ciencia.

### Agradecimientos

Se agradece el apoyo recibido de la Universidad Politécnica de Madrid con el proyecto de innovación educativa PT14\_15-03002, así como la labor desempeñada por los alumnos durante el desarrollo de la actividad.

### Referencias

- BRYAN, F. (1986). «High-latitude salinity effects and interhemispheric thermohaline circulations». *Nature*, n.º 323, p. 301-304.
- BURGESS, J. (1978). *Metal ions in solution*. Nueva York: Ellis Horwood.
- CHANG, R. (1998). *Química*. 6.ª ed. Nueva York: McGraw-Hill, p. 429.
- Density of ice and liquid water calculator* [en línea] (2010). S. l.: Had2Know. <<http://bit.ly/1Nl38Qx>> [Consulta: 1 diciembre 2014].
- GLESSMER, M. S. (2014). *Ice cubes melting in fresh water and salt water* [en línea]. S. l.: s. n. <<http://bit.ly/1NkUvpc>> [Consulta: 1 diciembre 2014].
- JENG, M. (2006). «The Mpemba effect: when can hot water freeze faster than cold?». *American Journal of Physics*, n.º 74, p. 514-522.
- MARTÍNEZ PONS, J. A. (2003). «Fisicoquímica de la heladera tradicional». *El Rincón de la Ciencia* [en línea], n.º 66, s. p. <<http://bit.ly/1LI9WCc>> [Consulta: 1 diciembre 2014].
- Melting ice* [en línea] (s. a.). Narragansett: Centers for Ocean Sciences Education Excellence. <<http://bit.ly/1Xrbs7V>> [Consulta: 1 diciembre 2014].
- PINTO, G. (2013). «Termoquímica de las calderas domésticas de condensación: un caso de aprendizaje contextualizado por indagación dirigida». *Educació Química EduQ*, n.º 14, p. 29-38.
- PROLONGO, M. L.; PINTO, G. (2010). «Las bebidas autocalentables y autoenfriables como recursos para un aprendizaje activo». *Educació Química EduQ*, n.º 7, p. 4-14.
- Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe* [en línea] (2007). Bruselas: Comisión Europea. <<http://bit.ly/1ixEQz5>> [Consulta: 1 diciembre 2014].
- SCHÜLLI, T. (2010). «Science is cool... super cool». *Science in School*, n.º 17, p. 17-22. Trad. al español en línea: <<http://bit.ly/1XrciS4>> [Consulta: 1 diciembre 2014].
- SKLIRIS, N. (2014). «Past, present and future patterns of the thermohaline circulation and characteristic water masses of the Mediterranean Sea». En: GOFFREDO, S.; DUBINSKY, Z. (ed.). *The Mediterranean Sea: Its history and present changes*. Dordrecht: Springer, p. 29.
- THURMOND, M. L.; POTTER, R. W.; CLYNNE, M. A. (1984). *The densities of saturated solutions of NaCl and KCl from 10 °C to 105 °C: Open file report 84-253* [en línea]. Washington: United States Department of the Interior Geological Survey. <<http://on.doi.gov/1LPR7TR>> [Consulta: 1 diciembre 2014].



**Gabriel Pinto**

Es doctor en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid y catedrático en la Universidad Politécnica de Madrid. Ha investigado sobre materiales poliméricos, así como sobre didáctica de la química y la ingeniería. Es autor de más de trescientos trabajos, entre artículos, ponencias en congresos y capítulos de libros. También ha impartido conferencias en varios países sobre didáctica de las ciencias experimentales. Su principal ámbito de interés es la elaboración de recursos educativos para la formación en competencias básicas en ciencia y tecnología.  
C. e.: [gabriel.pinto@upm.es](mailto:gabriel.pinto@upm.es).  
Web: <http://quim.iqi.etsii.upm.es/vidacotidiana/Inicio.htm>.



**Pascual Lahuerta**

Es doctor en Química por la Universidad de Zaragoza y catedrático en la Universidad de Valencia. Ha investigado sobre la síntesis y las propiedades catalíticas de compuestos organometálicos, en particular, de rodio y paladio. Es autor de más de un centenar de publicaciones científicas en este campo. Una línea de interés actual es el desarrollo de materiales interactivos para la enseñanza de la química a todos los niveles.  
C. e.: [lahuerta@uv.es](mailto:lahuerta@uv.es).