

## Trabajo completo

---

# Química Ambiental: ¿qué pasa con el hielo y el calentamiento global?

---

RECIBIDO: 12/08/10

ACEPTADO: 27/08/10

---

Laiolo, A. • Zalts, A.

Área Química, Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de General Sarmiento,  
J.M. Gutiérrez 1150, 1613 Los Polvorines, Provincia de Buenos Aires, Argentina.  
Teléfono: 011-4469-7542  
alaiolo@ungs.edu.ar, azalts@ungs.edu.ar

**RESUMEN:** El hielo influye en la regulación térmica del planeta. Por una parte incrementa el albedo, y por otra, como las transiciones de fase son procesos isotérmicos, la fusión del hielo consume energía sin que se observen cambios de temperatura. Existe otro fenómeno ambiental en el que los hielos juegan un rol importante: la fusión/formación de hielo influye en la salinidad del agua de mar. En las zonas cercanas a los polos, la temperatura de las aguas superficiales y de las profundas será muy similar, y la salinidad será crítica para definir la densidad del agua, y por ende, mantener la circulación de las corrientes marinas. Se presentan dos experiencias basadas en la transición de fase hielo-agua, vinculadas con el calentamiento global, que pueden adaptarse a diferentes niveles de enseñanza.

**PALABRAS CLAVE:** hielo, fusión, salinidad, calentamiento global.

**SUMMARY:** *Environmental Chemistry: what happens with ice and global warming?*

Although the presence of ice on our planet affects the radiation budget increasing *albedo*, the phase transition between liquid water – ice also plays an important role because ice melting consumes energy without producing temperature changes. Ice melting /water freezing also affect the salinity of the oceans. In polar areas, the temperature of surface and deep waters become similar, so changes in water density due salinity are important to maintain the marine currents circulation. We present two laboratory experiences based on ice / water transition related to global warming, easily adaptable to different teaching levels.

**KEY WORDS:** ice, fusion, salinity, global warming

## Introducción

Cuando pensamos en el planeta Tierra, seguramente viene a nuestra mente la bella fotografía tomada desde el espacio, donde la Tierra aparece como un objeto marmolado, sobre el que se entrecruzan áreas de gran blancura debido a la presencia de nubes, hielos y nieve, con vastas zonas azules correspondientes a los océanos y otras donde las masas continentales aparecen en diversos tonos de marrones y verdes. Las áreas blancas hacen que la Tierra sea un planeta brillante, ya que aproximadamente un 31% de la radiación solar incidente se refleja inmediatamente al espacio exterior constituyendo el albedo. El resto de la energía solar es absorbido por la superficie terrestre, provocando su calentamiento. Como todo cuerpo, la superficie terrestre emitirá radiación correspondiente a su temperatura; en este caso serán fotones de longitud de onda larga, en el ámbito del infrarrojo (IR). Esta radiación queda parcialmente atrapada en la atmósfera por la presencia de ciertos gases tales como el dióxido de carbono, el metano, el agua, entre otros, debido a que son gases que pueden absorber radiación IR. Como consecuencia de ello, se produce un aumento de la temperatura. Este fenómeno se conoce como efecto invernadero y trae como consecuencia que la temperatura promedio del planeta sea de unos agradables 17°C en vez de los -19°C que tendría si tuviéramos en cuenta solamente la distancia que nos separa del Sol y el flujo solar (1).

La temperatura de la Tierra se ajusta así según sea a la energía solar que le llega y la que ella emite. Si bien este balance energético se cumple a escala global, no sucede lo mismo con cada punto en particular de su superficie. Poca energía llega a las

zonas polares, en particular durante el invierno, mientras que la que llega a las zonas ecuatoriales se absorbe en una proporción elevada. Se produce un claro gradiente de la energía absorbida sobre la superficie, lo que trae como consecuencia que surjan mecanismos de transporte de energía desde las zonas más calurosas a las más frías: aparece la acción de los vientos en la atmósfera y la de las corrientes marinas en los océanos. El clima es resultado de este transporte de energía, que dará origen a tormentas y huracanes, zonas de alta y baja presión atmosférica, movimientos de aire seco o cargado de humedad, cielos despejados o nubes, sequías y lluvias. En los océanos, la presencia de sal ayuda a mantener la circulación de las corrientes marinas ya que incide en la densidad del agua (2). A medida que se incrementa la evaporación, el agua del océano se vuelve más salada y más densa. En el Atlántico Norte, las bajas temperaturas del aire y la elevada salinidad del océano favorecen que grandes masas de agua provenientes de la corriente del Golfo se hundan en las profundidades creando una corriente submarina que permite mantener la circulación global del agua en los océanos (3).

La atmósfera es el sumidero de muchos de los productos de nuestra sociedad tecnológica. Estos efluentes incluyen los provenientes de la combustión de combustibles fósiles y el desarrollo y producción de numerosos bienes. Históricamente, algunas de estas emisiones han conducido a consecuencias inicialmente insospechadas. Como ejemplos clásicos podemos mencionar la constatación en la década del 1950 de que el tránsito vehicular producía episodios de smog, o en los años 1970, cuando se comprobó que los clorofluorocarbonos

usados en los aerosoles y sistemas de refrigeración causaban la disminución del ozono estratosférico.

El gran interés que despierta actualmente el dióxido de carbono deriva de observaciones que muestran que su concentración ha ido en constante aumento desde épocas anteriores a la Revolución Industrial, cuando su concentración era de unas 280 ppm. En el Observatorio de Mauna Loa (Hawaii) se realizan mediciones sistemáticas desde 1957, año en que la concentración promedio de CO<sub>2</sub> era cercana a las 315 ppm, mientras que la correspondiente al 2010 está alrededor de las 390 ppm (4). Dado que el CO<sub>2</sub> es una molécula activa en el IR, juega un rol importante en la regulación del balance térmico de la atmósfera, ya que un incremento en su concentración está asociado a un incremento en la temperatura atmosférica. El calentamiento global aparece entonces asociado a un aumento en la concentración de gases invernadero y sus efectos pueden ser catastróficos, ya que pueden conducir a cambios en los patrones climáticos, tanto temporales como espaciales. Uno de los mayores temores es el aumento del nivel del mar debido a la fusión del hielo, en particular de los hielos continentales.

Cuando se calienta un sólido cristalino puro, se alcanza una temperatura a la cual éste cambia a líquido; la temperatura a la cual ocurre esta transición se denomina punto de fusión, y tiene un valor definido dependiendo de la presión externa. Del mismo modo, si se enfría un líquido, se produce la solidificación a la misma temperatura para una presión dada. Por lo tanto, en el caso de una sustancia pura, el punto de fusión y el de solidificación son idénticos. El proceso de fusión va acompañado por una absorción de calor; éste es el calor latente

de fusión. Comparada con otras sustancias, sólo el amoníaco tiene un calor latente de fusión mayor que el agua. Esta propiedad le confiere al sistema hielo – agua un marcado efecto termostático. En el caso de la fusión, por ejemplo, se requiere energía para producir esta transformación. Mientras haya hielo presente, el proceso absorberá energía sin que se observen cambios en la temperatura.

La presencia de solutos no volátiles en una solución disminuye su presión de vapor y el punto de congelación resulta inferior al del solvente puro. Este fenómeno se conoce como descenso crioscópico y es una propiedad coligativa. Dentro de un cierto rango, la fase sólida que se forme estará constituida por el solvente puro, por lo que a medida que se incremente la cantidad de sólido, se observará un aumento en la concentración del soluto en la solución remanente.

### **Materiales y métodos**

En el presente trabajo se presentan dos experiencias sencillas basadas en la transición de fase hielo-agua, que se pueden utilizar como disparadores de discusiones sobre el calentamiento global. En la primera, se irradian dos sistemas con una lámpara incandescente: a) hielo – agua, b) agua, registrándose su temperatura en función del tiempo (5). La segunda experiencia consiste en partir de agua salada (35 g NaCl/L, simulando agua de mar), colocarla en un freezer y tomar alícuotas del líquido remanente al inicio y con un 30 y 60% de formación de hielo, aproximadamente, y determinar la concentración de cloruro (Método de Mohr) en estas muestras, así como en una muestra del hielo derretido.

## Resultados y discusión

### Experiencia 1:

Se colocó agua con y sin hielo, en 4 vasos de precipitados de 600 mL y se los sometió a tratamientos térmicos diferentes, según se muestra en la Tabla 1. En todos

los casos se tuvo el cuidado de que la masa total de agua o de la mezcla agua – hielo sea constante. Además el hielo se trituró previamente para facilitar la homogeneización durante el experimento mediante agita-

Vaso	Masa de agua /hielo	T <sub>0</sub> (°C)	Tratamiento térmico
1	274 g de hielo y 200 mL de agua	0	No se irradia
2	274 g de hielo y 200 mL de agua	0	Se irradia con una lámpara de agua
3	474 g de agua	19	Se irradia con una lámpara
4	50 g de hielo y 224 g de agua	2	No se irradia

**Tabla 1:** Diseño experimental mostrando las masas de hielo y agua empleadas, la temperatura inicial del sistema (T<sub>0</sub>) y el tratamiento térmico aplicado.

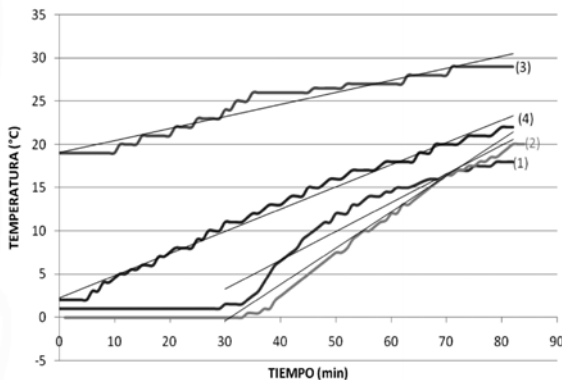
dores magnéticos. En cada vaso se colocó un termómetro para registrar la evolución de la temperatura y se reguló la velocidad de agitación para asegurar un buen mezclado.

Como fuente de calor se usó un foco incandescente de 60 Watts. La lámpara fue colocada a una distancia entre 36 y 50 cm de los vasos para lograr una irradiación homogénea, pero con una potencia suficiente como para afectar al sistema en estudio. Las lámparas incandescentes, si bien producen luz visible, emiten una fracción significativa de su energía en la zona del IR del espectro electromagnético. Se decidió emplear este

tipo de lámpara para suministrar energía al sistema hielo – agua en los vasos 2 y 3 con el objeto de simular la radiación solar.

Los vasos 1 y 4 se colocaron en el otro extremo del laboratorio para evitar que cualquier variación de la temperatura ambiente en la periferia de la lámpara afectara la experiencia.

Una vez ubicados los vasos, se encendió la lámpara y se procedió a tomar las temperaturas a intervalos de tiempo regulares. En este caso, los datos se tomaron cada un minuto, y por un período de 84 minutos. Sin embargo, intervalos de 5 minutos, por ejem-



**Figura 1:** Variación de la Temperatura en función del tiempo para sistemas agua-hielo (vasos 1, 2 y 4) y agua (vaso 3); en el caso de los vasos 2 y 3, se irradia con una lámpara incandescente.

plo, también serían adecuados. Además, modificando la potencia de la lámpara, o empleando varios focos, la duración del experimento se puede acortar.

Una vez obtenidos los datos se procedió a construir un gráfico de la Temperatura en función del tiempo (Figura 1). En las zonas donde se observó una variación de la temperatura, se hizo un ajuste lineal y se obtuvo la ecuación de la recta que mejor describía dicha variación.

Las muestras de los vasos 1 y 2 permanecieron a una temperatura muy cercana a los 0°C, hasta que el hielo se fundió por completo. O sea, se pudo corroborar el carácter amortiguador de la temperatura del sistema hielo-agua. El calor entregado por la lámpara y el entorno fue utilizado, en principio, para realizar el cambio de fase del hielo a agua, y luego para elevar la temperatura del agua. En las muestras que no contenían hielo, el cambio de temperatura se manifestó de inmediato.

#### *Experiencia 2:*

En esta experiencia se simuló el agua de mar disolviendo unos 35 g de sal gruesa en un litro de agua (la sal fina contiene carbonato de magnesio u otras sustancias que ayudan que la misma se mantenga corregida; dado que la solubilidad del carbonato de magnesio en agua es baja, no se obtie-

ne una solución límpida, por lo que es recomendable el empleo de sal gruesa).

Se reservó una muestra de la solución inicial y el resto se colocó en el freezer. Cuando se observó que aproximadamente el 30 y 60 % del líquido había congelado, se tomaron muestras de la fase líquida. En esta última etapa, también se recolectó un trozo del hielo que se enjuagó con agua destilada y se dejó fundir para ser posteriormente analizado.

Todas las muestras se guardaron en recipientes limpios y secos para su análisis en el laboratorio. Se empleó el método de Mohr para determinar la concentración de cloruro, y de esta manera poder estimar la composición química de las soluciones. La obtención de las muestras requiere cierto cuidado y diseño previo de cómo se va a realizar, ya que es necesario controlar el grado de avance de la congelación.

Los resultados de las titulaciones se muestran en la Tabla 2, donde se aprecia que a medida que se forma hielo, la concentración de cloruro en la fase líquida aumenta. En cuanto al hielo, se observa que la concentración de cloruro es mucho menor que en el producto de partida (probablemente como la variación de temperatura que experimenta el sistema en el freezer es muy brusca, la presencia de cloruro se deba a procesos de oclusión).

**Tabla 2:** Concentración de cloruro (determinada por el método de Mohr) en una muestra de agua y sal a medida que avanza el grado de congelación. La muestra de hielo que se fundió corresponde a un 60% de congelación.

% de hielo	[Cl <sup>-</sup> ] (M)
0 (muestra diluida 1:50)	0,011
30 (muestra diluida 1:50)	0,014
60 (muestra diluida 1:50)	0,021
Hielo fundido	0,006

### Conclusiones

El aumento de la temperatura de la superficie del planeta y la fusión de los hielos son señales del calentamiento global. Las fotos y las imágenes satelitales de numerosos glaciares, tales como los que se encuentran en la Patagonia o en Groenlandia, o los hielos que cubren vastas extensiones de la Antártida, muestran claramente que los hielos están retrocediendo rápidamente, signo inequívoco de una mayor retención de calor por parte del planeta. El aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> debido a las actividades antrópicas incrementa el efecto invernadero. La primera experiencia muestra que no toda la energía suministrada a un sistema conduce invariablemente a un aumento de temperatura, sino que, por ejemplo, se consume energía en procesos tales como la fusión de los hielos. Por lo tanto, el propio fenómeno de fusión de los hielos contribuye a moderar el aumento de temperatura.

En el segundo experimento se observa que la concentración de cloruro aumenta en la solución acuosa a medida que se forma hielo: cuando una porción de una solución se congela, dentro de cierto rango de concentraciones, el sólido que se obtiene está formado por el solvente puro - agua en este caso. Se comprueba que la concentración de cloruro en el hielo derretido es mucho menor que en la solución original. El hecho de que la fusión de los hielos continentales disminuya la salinidad del agua de mar pareciera obvio. Este experimento pone de relieve que la fusión de los hielos polares, aún en el caso de haberse originado en el mar, también disminuirán su salinidad, y por ende la densidad del agua de los océanos en zonas tan críticas como las que corresponden a áreas donde la corriente del Gol-

fo se hunde para transformarse en una corriente submarina.

Esta secuencia de experimentos se diseñó para la asignatura Química Ambiental (Licenciatura en Ecología Urbana), para ser usada como disparador de discusiones sobre el tema del calentamiento global. Sin embargo, consideramos que las mismas pueden ser aplicables a otros niveles de enseñanza, quedando a criterio del docente su implementación.

### Referencias bibliográficas

1. vanLoon, G.; Duffy, S., 2000. "Environmental Chemistry, a global perspective". Oxford University Press (Oxford), 154-161.
2. Libbes; S., 1992. "An Introduction to Marine Biogeochemistry". John Wiley & Sons (Nueva York), 47-51.
3. Seinfeld, J.; Pandis, S., 1998. "Atmospheric chemistry and physics. From air pollution to climate change". John Wiley & Sons (Nueva York), 4-6.
4. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/programs/esrl/co2/co2.html>, accedido el 3 de agosto de 2010.
5. Burley, J. D.; Johnston, H. S., 2008. Hold the heat: Global warming and calorimetry; 2008, J. Chem. Ed., **85**, 2: 224A-224B.