



¿Qué ocurriría si se fundieran todos los icebergs?

El hielo flotante se hunde menos en el agua salada que en la dulce. Como consecuencia, la fusión de los icebergs sí aumenta ligeramente el nivel del mar

En la era del calentamiento global, se habla a menudo de cómo influiría en el nivel del mar la desaparición del hielo del planeta. Por lo general, esas discusiones se limitan al agua de deshielo o al hielo que llega al mar desde tierra firme.

Muchos asumen implícita o incluso explícitamente que el hielo que ya está flotando en el agua no provoca ningún aumento en el nivel del mar al derretirse. El argumento habitual es que, al fin y al cabo, un iceberg contiene tanta agua congelada como

líquido desplaza, como si se tratara de un juego de suma cero.

Un sencillo experimento sirve para ilustrarlo. Pongamos un cubito de hielo en un vaso lleno de agua y esperemos a que se descongele. Podremos comprobar

SOLO CERCA DEL 10 POR CIENTO del volumen de un iceberg sobresale por encima del nivel del mar. Se calcula que el hielo marino presente en el planeta desplaza unos 660.000 kilómetros cúbicos de agua.



que, a medida que lo hace, el nivel del agua no cambia. Incluso habría preguntarse si realmente hacía falta llevar a cabo semejante experimento. ¿No se desprende este resultado de las propiedades conocidas del agua cerca de la transición entre ambos estados de agregación?

El hielo flota porque, a diferencia de la mayoría de las sustancias, el agua no aumenta de densidad al enfriarse, sino que por debajo de cuatro grados Celsius se dilata de nuevo. Entre las moléculas se forman los llamados puentes de hidrógeno, que van dando lugar a estructuras cada vez más complejas y que ocupan un espacio mayor.

Esto ya sucede en parte en el líquido, y en el cristal ese orden expansivo es perfecto. Mientras que un centímetro cúbico de agua líquida a cero grados Celsius posee una masa de aproximadamente un gramo, el mismo volumen de hielo solo pesa unos 0,92 gramos. Eso hace que el cubito de

hielo no se sumerja completamente en el agua, sino que alrededor del 9 por ciento de su volumen sobresalga del líquido. Por el contrario, una masa de cera sólida sí que se hunde en la cera líquida.

Agua dulce y agua salada

El principio de Arquímedes nos ayuda a entender el fenómeno de manera cuantitativa. Sobre un objeto sumergido en un fluido actúa un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del fluido desalojado. Eso implica que el peso del fluido desplazado por un cuerpo que flota es igual al peso de dicho cuerpo. En nuestros razonamientos podemos usar la masa del objeto en cuestión, ya que el peso es el producto de la masa por la aceleración de la gravedad, la cual es constante.

Si introducimos un cubito de hielo de 10 gramos (y por tanto con un volumen de aproximadamente $10/0,92 = 10,9$ centímetros cúbicos) en un vaso de agua, el principio de Arquímedes nos dice que desplazará exactamente 10 gramos de agua. A medida que se derrite, su densidad aumenta y su volumen disminuye, hasta que acaba coincidiendo con el del agua desalojada originalmente. Por consiguiente, el nivel del líquido no cambiará.

Sin embargo, en el caso de los icebergs la situación es distinta, ya que flotan en agua salada. Así que debemos modificar nuestro experimento, llenando el vaso con agua salada en lugar de con agua dulce.

Un cubito de hielo de 10 gramos desplazará de nuevo una masa de 10 gramos de agua salada. Pero como esta tiene una densidad mayor (en las aguas marinas superficiales, la densidad media es de 1,026 gramos por centímetro cúbico), el volumen desplazado será menor, de unos 9,7 centímetros cúbicos. Por tanto, el cubito sobresaldrá un poco más. Al derretirse, añadirá al líquido sus 10 centímetros cúbicos de agua, así que el volumen crecerá alrededor de un 2,6 por ciento y, en consecuencia, el nivel del agua aumentará.

Este efecto es más acusado cuanto más sal contenga inicialmente el agua, algo que podemos comprobar con facilidad en un experimento casero. En mi caso, introduje un bloque de hielo de 90 gramos en un vaso cilíndrico de 5,7 centímetros de diámetro lleno de agua salada con una densidad de 1,2 gramos por centímetro cúbico (100 gramos de sal completamente disueltos en 500 gramos de agua). Tras derretirse el hielo, la diferencia en la altura del líquido fue de 1,3 milímetros. (Dado que el agua humedece el vidrio, se forma


un menisco, por lo que en las mediciones tomé como referencia su borde inferior.)

Tal aumento coincidió, dentro de la precisión experimental, con lo que cabía esperar a partir de los cálculos. Como vemos, se trata de un efecto menor, a pesar de que la concentración de sal era considerablemente mayor que en el agua marina.

Aumento del nivel del mar

Pero ¿puede aplicarse todo esto al aumento del nivel del mar debido a la fusión de los icebergs? Después de todo, hasta ahora solo hemos considerado el caso en que tenemos hielo de agua dulce flotando en agua salada.

Sin embargo, también los icebergs se componen fundamentalmente de agua dulce. La sal marina no se incorpora a la red cristalina durante la congelación, sino que casi toda ella acaba cediéndose al medio marino. Solo una pequeña parte se acumula en bolsas de salmuera, lo que aumenta ligeramente la densidad del iceberg. Con todo, este fenómeno solo introduce correcciones muy leves.

Por tanto, si se fundiese todo el hielo que flota en los océanos, sí que habría algunas repercusiones, al menos en teoría. Según los cálculos que podemos encontrar en algunos artículos científicos, el volumen total de agua desplazada por el hielo asciende a 660.000 kilómetros cúbicos. Por su parte, el agua de mar se distribuye en una superficie de unos $3,6 \times 10^8$ kilómetros cuadrados. Si pasamos por alto las variaciones del litoral, estas cifras nos darían como resultado un aumento del nivel del mar de cuatro centímetros. Este valor puede parecer pequeño comparado con otras alteraciones en el nivel del mar discutidas en relación con el cambio climático, pero desde luego no es despreciable. 

PARA SABER MÁS

The melting of floating ice raises the ocean level. Peter D. Noerdlinger y Kay R. Brower en *Geophysical Journal International*, vol. 170, págs. 145-150, julio de 2007.

EN NUESTRO ARCHIVO

El empuje de Arquímedes. Roland Lehoucq y Jean-Michel Courty en *IyC*, agosto de 2001.

Diez cuestiones clave sobre el hielo y la nieve. Thorsten Bartels-Rausch en *IyC*, septiembre de 2013.

¿Se está desmoronando la Antártida? Richard B. Alley en *IyC*, septiembre de 2019.

