© 1995-2025 by Isidoro Martínez

EL FRÍO Y EL TITANIC

ISIDORO MARTÍNEZ

Publicado en: Rev. Ingeniería Naval 756, pp. 81-86, Enero 1999.
Presentado en la E.T.S.I. Navales el 3-2-1999

Introducción 1
El frío 1
La congelación (y la descongelación) 3
El hielo 5
El iceberg 6
La hipotermia 10
Conclusión 12
Referencias 13

INTRODUCCIÓN

Mil quinientas personas perecieron, "congeladas", tras la colisión del Titanic, un gran buque de acero de 270 metros de largo y 30 m de alto, contra un trozo de hielo flotante de 100 metros de largo y 20 de alto (Fig. 1). Aunque este resumen sea una descripción muy sesgada de la catástrofe (sólo se ve la punta del iceberg, cuya masa, $200 \cdot 10^6$ kg, era muy superior a la del buque, $46 \cdot 10^6$ kg), es innegable que la causa de la tragedia del barco fue el frío iceberg (el Titanic se hundió en el primera travesía, pero su buque gemelo, el Olimpic, navegó durante 20 años más), y la causa de la muerte de los náufragos fue la hipotermia en las frías aguas del Atlántico Norte, pareciendo razones suficientes para despertar en el lector el deseo de saber más sobre el frío, la congelación, el hielo, los icebergs y la hipotermia (o al menos resulta excusa suficiente para que el autor hable de ello).

Fig. 1. Composición que muestra el tamaño relativo del Titanic y el iceberg con el que chocó (por su derecha) a 41.8 ºN y 50.2 ºW a las 11:40 horas del reloj de abordo (ajustado al mediodía anterior) del 14 de abril de 1912 [1].

EL FRÍO

Decía un profesor que el frío no existía, que se llamaba frío a la ausencia de calor (por eso sólo se estudiaba la transmisión del calor). Por otro lado, en una de las acepciones más acertadas de 'frío', el

diccionario señala que es 'Sensación que experimenta el cuerpo animal cuando pierde calor'. En Termodinámica [2], el frío es el estado térmico de un cuerpo que recibe energía térmica del ambiente. Uno de los problemas más escabrosos de la Termodinámica es que el ambiente (el medio ambiente, el entorno) no es único, universal e inmutable, sino que, por simplificar podemos decir que unas veces el ambiente es veraniego y otras invernal. Un trozo de hielo a 0 ºC (usaremos la escala Celsius para facilitar la lectura) en un ambiente invernal a 0 ºC no estaría frío sino atemperado, según la Termodinámica, y no tendría sentido decir que el ambiente era frío si no se compara con otra cosa (p.e. las condiciones medias terrestres). Se podía seguir la máxima de Protágoras (s. V a.C.) de tomar al hombre como medida de todas las cosas y establecer una temperatura 'humana', como realmente se hace con las demás magnitudes físicas: un metro es una longitud de tamaño humano, un segundo es un tiempo característico humano, un kilogramo, etc., y así se hizo también con la temperatura tras inventar Galileo el termómetro, a finales del s. XVI, graduándose en 'máximo frío de invierno', 'frío', 'fresco', 'templado', 'tibio', 'caliente' y 'quemando' o algo así.

Como vivimos en un mundo lejos del equilibrio, existe frío natural y puede producirse frío artificial. El frío natural es debido a la inercia térmica que hace que p.e. el hielo creado en invierno todavía sobreviva en un ambiente veraniego. Para producir frío artificial, igual que para producir calor artificial, hace falta aportar exergía desde el exterior, bien sea mediante agentes químicos que al mezclarse se enfrían/calientan, o lo más corriente mediante el aporte de trabajo o de calor de alta temperatura para mover una máquina térmica de refrigeración/bombeo térmico. La manera usual de conseguir frío artificial, tanto en aplicaciones comerciales (p.e. pesqueros), domésticas (p.e. 'sangría' veraniega), como de laboratorio, es comprar hielo y transportarlo a donde se necesite, o instalar una máquina de refrigeración in-situ. Más sobre el hielo después. Se llama criogenia a la ciencia de las temperaturas muy bajas (normalmente por debajo de la del hielo seco o nieve carbónica, -78 ºC).

El iceberg, el agua en la que flota, y el aire que lo rodea, no están en equilibrio, ni químico (composición), ni mecánico (las velocidades no son iguales), ni térmico (las temperaturas no son iguales). Típicamente, el iceberg es hielo dulce con aire atrapado ancestral y algunos sólidos, está a unos -15 ºC y se mueve a unos 0,5 m/s de velocidad respecto a tierra; el agua es salada hasta casi la inmediatez del iceberg (el agua dulce fundida se dispersa rápidamente), puede estar a -1,9 ºC (temperatura de congelación del agua salada), a unos 5 ºC en las frías aguas de la corriente del Labrador, o hasta 20 ºC en la Corriente del Golfo en su encuentro casi perpendicular a los 41 ºN con la del Labrador, y su velocidad típica es de unos 0,5 m/s respecto a tierra; el aire que rodea al iceberg puede estar a -30 ºC o a unos 10 ºC según la latitud y la meteorología, y su velocidad típica es de unos 10 m/s. La temperatura del agua de mar se puede medir a distancia (por la radiación infrarroja recibida en un satélite se deduce el mapa de temperatura de la superficie del mar) o in-situ mediante boyas, normalmente no recuperables, con sensores que van soltando cable (hasta 1 km) y enviando por el cable los datos de temperatura y salinidad hasta la boya que los transmite por radio al puesto receptor (barco o avión). La temperatura en el fondo del mar es de unos 2 ºC, que es la de máxima densidad para esa salinidad (35‰ en peso) y presión (unos 40 MPa a 4 km de profundidad). Para esa misma salinidad la densidad del agua de mar pasa de 1026 kg/m^3 a 15 ºC a 1028 kg/m^3 a -1 ºC) a presión atmosférica, como puede apreciarse en la Fig. 2, donde se observa también que la

región anómala del agua (dilatación negativa) desaparece para una salinidad del 25‰ en peso y por tanto el agua de mar no presenta zona de dilatación retrógrada.

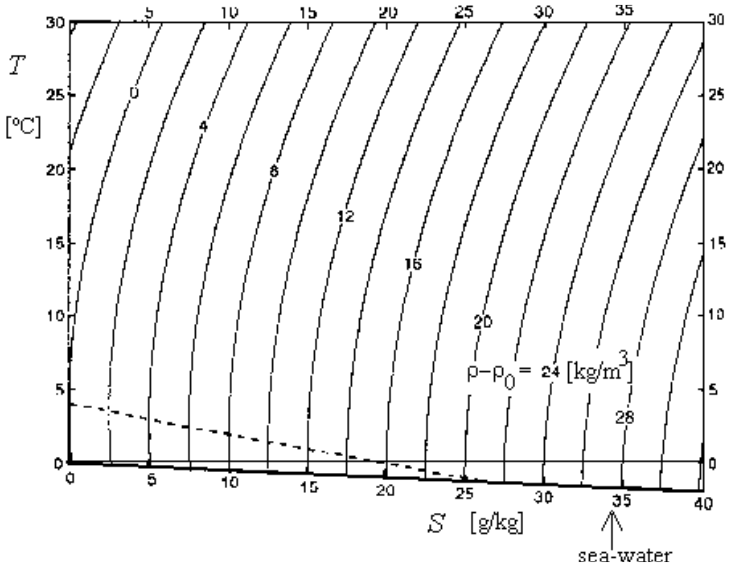

Fig. 2. Exceso de densidad del agua salada, respecto al valor de 1000 kg/m^3, en función de la salinidad y la temperatura [3].

Dentro del Titanic, para combatir el frío se usaba calefacción por radiadores de vapor de las calderas de carbón, y los camarotes de lujo disponían de chimenea para leña (no es difícil imaginar la pereza y retraso en salir a abordar los botes en aquella medianoche helada cuando el choque no fue muy violento -diez segundos raspando hielo a 6 m de profundidad- y el hundimiento no parecía evidente; los hundimientos por colisión suelen durar pocos minutos y no 180 minutos). La nevera del Titanic (portaba 35 toneladas de carne fresca) era una máquina frigorífica de absorción (¿de amoníaco?) alimentada por vapor, así como grandes cámaras de almacenamiento de hielo. El derroche de lujo en el Titanic fue máximo: fue el primer barco con piscinas, y hubiera llevado aire acondicionado si no fuera porque esta tecnología estaba siendo desarrollado por W. Carrier en los mismos años 10 de este siglo. Los buques frigoríficos se habían desarrollado a finales del s. XIX; en 1880 se consiguió por primera vez transportar carne congelada desde Australia hasta Inglaterra (en el barco Strathleven) usando una máquina de aire con émbolos acoplados a la máquina de vapor del buque.

El calor y el Titanic es para otra historia, bastando citar aquí que consumía 10 kg/s de carbón, que a 30 MJ/kg de poder calorífico generaban 300 MW, siendo la potencia propulsora nominal de 37 MW.

LA CONGELACIÓN (Y LA DESCONGELACIÓN)

La congelación es el cambio de estado líquido/sólido por debajo de la temperatura ambiente (al cambio contrario se le llama descongelación), mientras que si es por encima de la temperatura ambiente se suele cambiar los nombres de congelación/descongelación por solidificación/fusión. El agua destilada a presión estándar de 100 kPa congela a 0 ºC, disminuyendo esa temperatura con el contenido de sales y otros solutos a razón de -1,9 ºC/mol, y disminuyendo también con la presión a razón de -0,1 ºC/MPa o -1 ºC/km de profundidad (dentro del rango de hielo normal, ya que p.e. a 2000 MPa el agua congelaría a unos 80 ºC (sobre cero) formando hielo compacto de densidad casi doble de la del normal.

La congelación natural del agua puede ocurrir en la atmósfera (nubes de estratos que precipitan en forma de nieve) o en la hidrosfera (congelación de ríos, lagos y mares). La nieve suelta puede tener una densidad aparente de unos 200 kg/m^3, pero apelmazada a unos 10 m de profundidad recristaliza y ya alcanza unos 850 kg/m^3. Así se va formando el hielo glacial que dará origen a los icebergs (Fig. 3). La descongelación de los icebergs se ve más adelante.

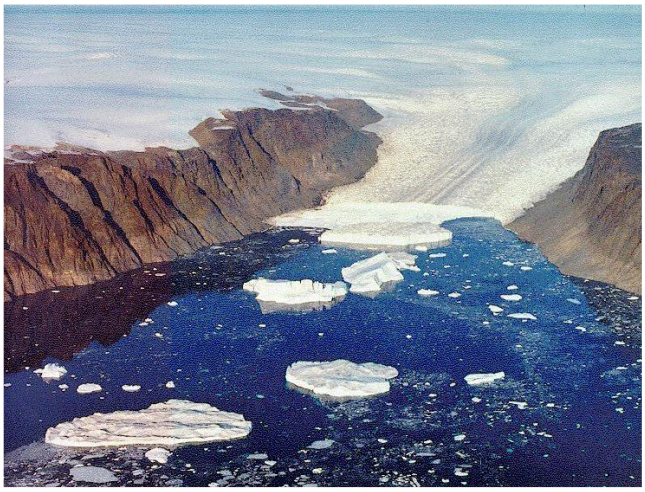

Fig. 3. Desprendimiento de icebergs de un glaciar.

La banquisa es la delgada capa de mar congelada por el frío aire polar. Se produce en todo el Polo Norte y en los alrededores del continente antártico y su espesor y extensión varía muchísimo estacionalmente (el incremento de superficie helada de verano a invierno es el doble de la extensión de los Estados Unidos). Su espesor máximo apenas supera los 5 ó 6 metros (del orden de medio metro de altura sobre el nivel del mar) y se trata de hielo joven (en comparación con el de los glaciares), pues el tiempo de residencia desde que la nieve cae encima (unos 0,3 metros al año) hasta que el hielo se funde por abajo en verano o se evapora por arriba, no es más de 2 ó 3 años. El agua es de las pocas substancias que dilatan al congelar (pasa de 1000 kg/m^3 a 915 kg/m^3 a 0 ºC), aunque lo mismo le pasa al silicio con el que se fabrican los ordenadores (pasa de 2530 kg/m^3 a 2330 kg/m^3 a 1390 ºC). Aunque la conductividad térmica del hielo es más del triple que la del agua, el hielo es más aislante térmico porque evita la convección (además, reduce la evaporación).

El Océano Ártico es el menor de todos y está bastante cerrado, recibiendo agua principalmente del Atlántico, por el Mar de Noruega, siendo la salida principal la corriente de Groenlandia (Este). La salinidad, aunque varía estacionalmente por el deshielo (al formarse hielo el agua circundante se hace más salada), es menor que en las aguas antárticas por la gran aportación de los ríos siberianos (el océano más salado es el Atlántico, con un 37.5‰ de sales en la región norte subtropical). Esta diferente salinidad y su efecto en la densidad hace que los icebergs boreales vayan más sumergidos (90%) que los australes (89%).

La velocidad de formación de una capa de hielo de espesor, $e(t)$, en agua a T_0=0 ºC por contacto con una capa de aire en calma p.e. a T_a= -20 ºC (el llamado problema de Stefan en honor de ese físico austríaco del s. XIX), puede estimarse estableciendo el balance entre el calor a evacuar por unidad de área para congelar el agua, $\rho h_{sl} de/dt$, y el calor transmitido por conducción a través de la capa de hielo formado, aproximadamente $k(T_0-T_i)/e$, y por convección al aire, $h(T_i-T_a)$, siendo ρ la densidad del agua, h_{sl}= 330

kJ/kg su entalpía de cambio de fase sólido-líquido, k=2 W/(m·K) la conductividad térmica del hielo (que es más de tres veces mayor que la del agua, k=0,6 W/(m·K)), T_i la temperatura interfacial hielo-aire, y $h \approx 10$ W/(m^2·K) el coeficiente de convección en el aire. Es decir:

$$\rho h_{sl} \frac{de(t)}{dt} = k \frac{T_0 - T_i}{e} = h\left(T_i - T_a\right) = \frac{T_0 - T_a}{\frac{e}{k} + \frac{1}{h}} \Rightarrow \quad e(t) = -\frac{k}{h} + \sqrt{\left(\frac{k}{h}\right)^2 - 2k \frac{T_0 - T_a}{\rho h_{sl}} t}$$

donde se puede apreciar que la velocidad de crecimiento decrece con el tiempo. Sustituyendo los valores antedichos se obtiene un valor aproximado de 5 cm/día, que vale como primera aproximación, pudiendo llegarse hasta un orden de magnitud mayor [4] en condiciones atmosféricas más adversas (con viento y más frío).

Pese a lo de "Mil quinientas personas perecieron congeladas tras la colisión del Titanic", no es verdad que se congelaran sus cuerpos (ni siquiera su sangre), incluso aunque el agua estuviera a -2 ºC que es el límite de las aguas marinas, pues la materia viva también es agua salada (realmente somos una disolución acuosa en una matriz de proteínas, lípidos y carbohidratos); incluso con aire a -20 ºC la capa congelada no hubiera alcanzado en un par de horas 1 cm en un cuerpo desnudo, aplicando el modelo de Stefan antedicho y asimilando las propiedades térmicas del cuerpo humano a las del agua, que no hay mucha diferencia ya que somos en un 75% agua (y el resto sustancias minerales).

EL HIELO

Ya en la Roma clásica se guardaba el hielo del invierno para refrigerar las bebidas en verano, y, cuando no bastaba la producción local, se traía de las montañas. A escala local se siguió haciendo así y cada aldea tenía su nevera (pozo con paja para guardar nieve), pero no es hasta el s. XIX cuando empieza la comercialización del hielo, siendo pionero el americano F. Tudor, que ya en 1805 envió 240 toneladas de hielo del río Hudson a La Habana. Durante todo el s. XIX dominó este comercio americano de hielo natural, llegándose a finales de siglo a comercializar más de 30 millones de toneladas al año de hielo natural, si bien la exportación ya había caído notablemente debido a la competencia noruega y al desarrollo de la industria del hielo artificial (que ya era de 8 millones de toneladas al año en los Estados Unidos. Las primeras máquinas de refrigeración, debidas al americano J. Gorrie, 1844, eran de compresión de aire y de escaso rendimiento, por lo que hasta que en 1859 el francés F. Carré desarrolló la máquina de absorción de amoníaco y en 1880 el americano Linde introdujo la máquina de compresión de CO_2 no empezó su comercialización. Hay que añadir la resistencia inicial del público a consumir hielo artificial, que se creía dañino para la salud (y realmente puede serlo porque los gérmenes del agua de partida siguen desarrollándose aunque más lentamente).

El hielo puro es un sólido cristalino (cristaliza en el sistema hexagonal) transparente que se obtiene por congelación del agua destilada. El hielo natural de los ríos helados, estanques, lagos, glaciares, e icebergs, es blanco opaco o ligeramente translúcido, debido a las microburbujas de aire que quedan adheridas a los núcleos de cristalización durante la congelación normal. Sin embargo, si durante la congelación existe movimiento, ya sea por agitación externa o por inestabilidades internas como la congelación por abajo de

agua dulce o por arriba de agua de mar, el hielo producido es transparente en la periferia donde el movimiento era mayor y opaco en el centro donde el movimiento estaba impedido; es en este núcleo opaco donde se acumulan todas las impurezas (inorgánicas y orgánicas) del agua de partida.

A nivel global, la casi totalidad de la masa de hielo natural se encuentra entre la Antártida (90%) y Groenlandia (9%). Si se deshelaran estas dos masas de hielo el nivel del mar subiría unos 90 m. Además de estos enormes glaciares continentales, otros depósitos naturales de hielo son la banquisa de agua de mar helada en los casquetes polares, los glaciares de alta montaña en latitudes medias y tropicales, y el permafrost (tierra húmeda permanentemente helada. La extensión de estos depósitos de hielo perennes varía estacionalmente, y en invierno también se forma hielo temporalmente sobre ríos y lagos (lo que es muy importante para la navegación interior y demás medios de transporte, habiéndose llegado a estudiar la ubicación de centrales nucleares para evitar la congelación de ríos como el Hudson).

La cobertura helada de la Tierra es fundamental para su balance energético ya que se realimenta positivamente: es decir, a más extensión de hielo, más reflectividad (albedo) y menos absorción de radiación solar, con una emisividad prácticamente total (es un cuerpo negro para radiaciones infrarrojas), luego a más hielo, más tendencia a formarse hielo. El albedo del hielo varía con su textura entre 0,2 y 0,4, pero si está cubierto de nieve fresca puede llegar a 0,8 o 0,9.

EL ICEBERG

Un iceberg (del inglés ice, 'hielo', y el alemán berg, 'montaña') es una masa de hielo que se ha desprendido de un glaciar. Un glaciar es una masa de hielo acumulada por encima de la cota de nieves perpetuas. La primera noticia escrita se debe a un monje irlandés que describió un 'castillo flotante de cristal en alta mar'. Se puede reservar el nombre de iceberg exclusivamente para estas montañas de hielo provenientes del agua dulce precipitada en forma de nieve principalmente en Groenlandia, o incluir también los desprendimientos de los glaciares principalmente antárticos en forma de meseta y no de montaña, o incluso incluir como icebergs también los delgados trozos de hielo directamente formados por congelación del agua de mar, la banquisa, cuyo espesor apenas alcanza 4 ó 5 metros y que no suponen peligro para la navegación (se pueden usar buques rompehielos). Suele usarse la palabra témpano como sinónimo de iceberg.

Los icebergs se clasifican por su tamaño (Tabla 1) y por su forma. Según su forma, los icebergs se clasifican en 'de tipo montaña' (también llamados boreales, septentrionales o árticos, Fig. 3a) y 'de tipo meseta' o tabulares (también llamados australes, meridionales o antárticos, Fig. 3b); boreas en griego era 'el viento del Norte', septentrion en griego eran 'las siete estrellas de la Osa Mayor', artos en griego era 'oso', y meridianus en latín era 'el mediodía', cuando el sol estaba en el Sur.

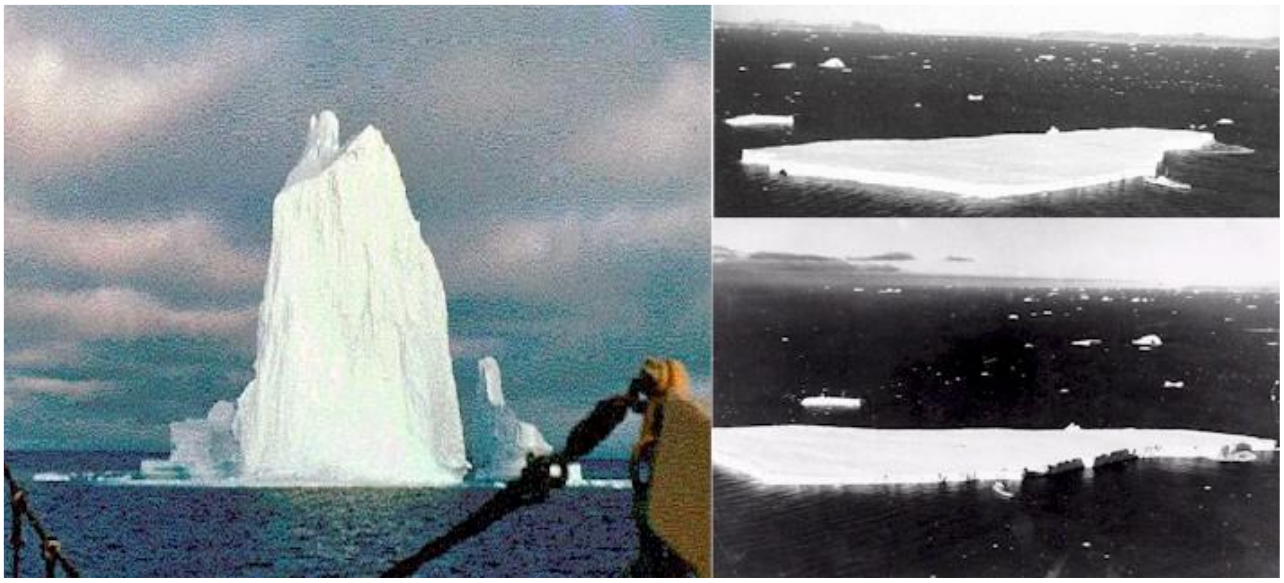

Fig. 3. a) Vista rasante de un iceberg típico boreal (tipo montaña) y b) dos vistas aéreas de un iceberg típico austral (tipo meseta), viéndose un buque en primer plano.

Tabla 1. Clasificación por tamaños de los icebergs boreales por debajo de 48 ºN (el del Titanic medía unos 20 m de alto por 100 de largo).

Tipo	Altura sobre el agua [m]	Longitud o anchura [m]	Frecuencia
muy pequeño	<5	<15	10%
pequeño	5-15	15-60	30%
mediano	16-45	61-120	30%
grande	46-75	121-200	25%
muy grande	>75	>200	5%

Los de tipo boreal se dan casi exclusivamente en el Atlántico Norte y provienen mayoritariamente de la costa Oeste de Groenlandia. El glaciar Jacobshavn, de 7 km de anchura, a 70 ºN, genera él solo el 10% del total. El relieve del terreno (por debajo del hielo) en Groenlandia es más bien cóncavo con una pequeña altitud media sobre el nivel del mar, a la que se añade un espesor medio de casi 2 km de hielo encima. Aunque el análisis isotópico del oxígeno atrapado en el hielo muestra que las capas más profundas (se ha perforado hasta 1350 m) datan de hace 150 000 años, se trata de un proceso cuasiestacionario en el que las sucesivas capas de nieve hacen fluir el hielo radialmente hasta el mar, con un tiempo medio de residencia desde que cae la nieve hasta que se desprende un iceberg de unos 3000 o 4000 años (según se puede datar sobre el hielo del iceberg). La forma de montaña y el tamaño son debidos a que la salida al mar desde las cóncavas tierras groenlandesas tiene lugar a través de cordilleras costeras que producen unas gargantas estrechas y una costa irregular (fiordos).

Los de tipo austral tienen forma tabular o de meseta y, aunque algunos pueden formarse en los glaciares boreales, la inmensa mayoría se generan en el enorme glaciar antártico y son mucho mayores que los boreales (muchos kilómetros de lado frente a los 100 m típicos de los boreales). La Antártida puede considerarse como un único e inmenso glaciar de un espesor típico de hielo de 2 km sobre un terreno de 0,5 km de altitud media sobre el nivel del mar, fluyendo radialmente por el peso de las sucesivas precipitaciones (tan sólo 150 mm de nieve al año) a la vez que aumenta su velocidad, llegando a alcanzar ésta 1 metro por hora en algunos puntos de la costa, aunque las velocidades típicas de llegada son un orden de magnitud menor. Al desprenderse estos enormes icebergs quedan atrapados en la corriente

circumpolar antártica, tardando en derretirse hasta 10 años, mucho más que los boreales, y sólo son de cuidad para los escasos buques de investigación o de aprovisionamiento que por allí han de navegar.

Los iceberg de tipo boreal provienen de la nieve que cayó hace 3 o 4 mil años sobre Groenlandia y que, aunque también es escasa (la precipitación en el Ártico es menor de 300 mm/año, el doble que en la Antártida) apelmazada y compactada durante varias décadas por el peso de las capas sucesivas, se incorpora a los ríos glaciares, que se desplazan lentamente hacia el mar, recorriendo un promedio de unos 100 km en 3 ó 4 mil años), hasta desprenderse de la lengua del glaciar por las fuerzas de flotabilidad asociadas a las mareas, que alcanzan 6 m, y ser arrastrado durante 3 ó 4 años por las corrientes marinas (la del Labrador) y el viento hasta la fusión total y la posterior evaporación que completaría el ciclo del agua. Al fundir, tanto un iceberg como un cubito de hielo, suele producir un seseo parecido al de una copa de champán, por el desprendimiento de las burbujas de aire atrapadas.

Suelen ser las corrientes marinas imperantes a unos 50 m de profundidad, típicamente menores de 0,5 m/s, las que arrastran el iceberg, debido a la forma de éste, ya que el efecto del viento, pese a su mayor velocidad (típicamente 15 m/s), es relativamente pequeño por la menor superficie bañada, y por eso no es raro que un iceberg se desplace contra el viento, aunque si el viento es permanente, al cabo de una decena de horas le ha imprimido tal cantidad de movimiento que estos icebergs boreales se deslizas a unos 0,5 m/s contra viento y marea, con una deriva a derechas de casi 45 º por el efecto de Coriolis. La corriente fría del Labrador es el principal transportista de estos icebergs hacia el Sur.

Los del Oeste de Groenlandia, que son los más numerosos, tras desprenderse, pasan varios meses hasta cruzar al otro lado de la Bahía de Baffin, contornearla y salir por estrecho de Davis al Océano Atlántico a 67 ºN (Fig. 4). Los de la costa Este de Groenlandia son recogidos por la corriente fría de Groenlandia que, tras pasar por el cabo Farewell a 60 ºN, los entrega también a la corriente del Labrador, que los transporta a todos por los bancos de Terranova hasta derretirse o llegar en algunos casos a la corriente cálida del Golfo, que con sus más de 20 ºC los derrite en pocos días. Al fundirse, los icebergs van depositando en el fondo del mar por donde pasan los sólidos que quedaron atrapados en el hielo del glaciar, lo cual parece ser el origen de los grandes bancos (*Grand Banks*), que han acumulado varios kilómetros de altura de sedimentos sobre el fondo marino circundante.

Fig. 4. Situación del hundimiento del Titanic.

Ablación (del latín ablatio, 'llevarse algo') de un iceberg, es la pérdida de masa debida las interacciones mecánicas, térmicas o químicas con el ambiente. Los icebergs boreales a unos 50 ºN se derriten unos 10 mm diarios, siendo la causa principal el oleaje (80%) y la convección forzada del aire (velocidad relativa media de unos 2 m/s), y en menor medida la convección en el agua (velocidad relativa media de unos 0.02 m/s); el calentamiento por radiación solar apenas cuenta a esas latitudes y con la neblina preponderante. Un iceberg de 100 m como el del Titanic tardaría en fundirse en un mar con olas típicas de 2 metros unos 200 días en aguas a -1 ºC, sólo 20 días en aguas a 3 ºC y tan sólo 5 días en aguas a 15 ºC.

Las estadísticas de los icebergs que pasan por el paralelo de la ciudad de St. John's en Terranova (48 ºN) se recogen en las Figs. 5 y 6. De unos 20 000 icebergs que se desprenden anualmente de los más de cien grandes glaciares de Groenlandia (más del 80% de los icebergs boreales provienen de allí), sólo unos 1000 escapan en su lento periplo por la bahía de Baffin y cruzan el estrecho de Davis. A partir de ahí se mueven más deprisa y más ordenadamente y se acaban fundiendo en uno o dos meses, siendo aun menos, unos 400 al año, los que alcanzan los 48 ºN (límite norte de la International Ice Patrol, IIP, establecida tras el accidente del Titanic). En 1920 un iceberg llegó hasta los 30 ºN.

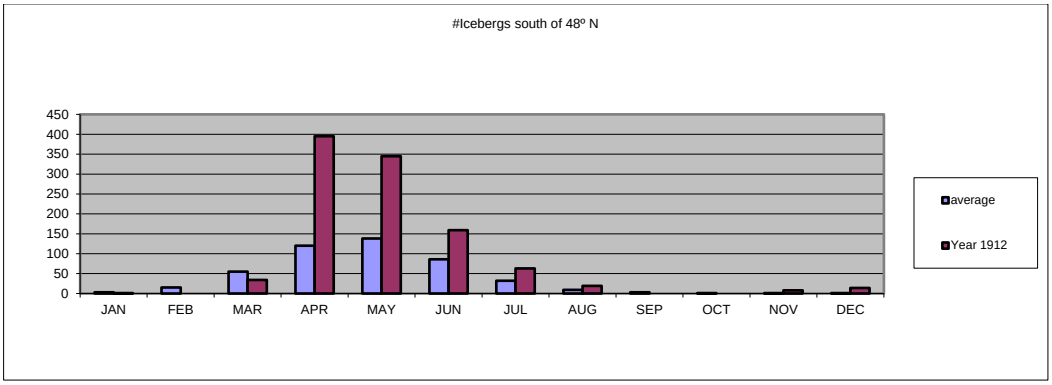

Fig. 5. Estadística mensual del número de icebergs que traspasan los 48 ºN. En el promedio del siglo se observa que la temporada va de abril a junio (tras el deshielo). En los valores para el año 1912 se observa lo anómalo que fue aquel año, tal vez relacionado con el fenómeno de la oscilación sud-pacífica (El Niño) o con la oscilación nord-atlántica, con más del triple de icebergs peligrosos en abril, cuando el accidente del Titanic.

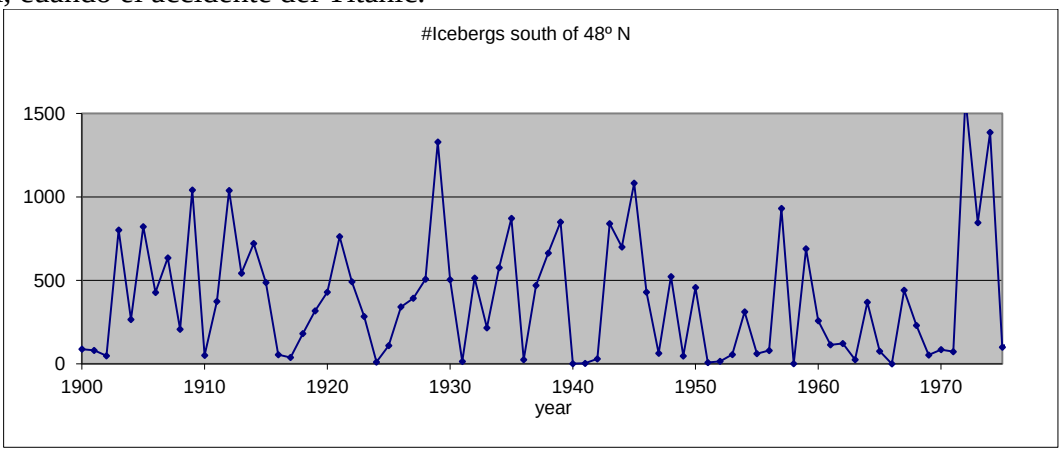

Fig. 6. Estadística anual del número de icebergs que traspasan los 48 ºN. El año 1912 fue de los peores (ver Fig. 5).

Un iceberg suele ser de color blanco, pero a veces parece azulado, verdoso e incluso grisáceo obscuro, dependiendo del estado superficial (si da una vuelta de campana aparece más translúcido), de las substancias que lleve en suspensión (p.e. barro) y del estado lumínico ambiental (colores de fondo y

colores de luz ambiente; el vigía del Titanic detectó el iceberg como una sombra más obscura que el estrellado cielo de luna nueva). Con buen tiempo se logran divisar hasta a 30 km de distancia, aunque con niebla la visibilidad se reduce a 1 km. Con buena luna se divisan hasta a 15 km, pero con luna nueva el Titanic sólo divisó el fatal iceberg a 450 metros. En aquél mes de abril, el Titanic seguía todavía la ruta de invierno (más septentrional que la de verano porque se supone que los hielos todavía no se han desprendido); dicha ruta constaba de dos tramos: un trozo de círculo máximo (mínima distancia) entre las Islas Británicas y casualmente la zona del hundimiento del Titanic, y desde allí un trozo de paralelo a Boston (42 ºN).

Desde 1914, a raíz del accidente del Titanic, la IIP patrulla la zona de los grandes bancos de Terranova e informa dos veces al día de la posición y velocidad de los icebergs en las rutas de navegación. Hoy día, a corta distancia los icebergs se detectan fácilmente con el sonar (inventado en 1918 por Langevin para detectar icebergs y submarinos alemanes) y a larga distancia con el radar (lo más usado), aunque con olas de más de 2 metros es difícil detectar icebergs pequeños. Se ha intentado desviar mediante remolque los icebergs de las rutas navegables, e incluso destruir un iceberg mediante explosiones, lanzándole bombas (Fig. 7), sin resultados satisfactorios.

Fig. 7. Ensayo de destrucción de un iceberg mediante bombardeo masivo.

Un iceberg podría usarse como fuente de hielo (en el XIX se comercializó hielo de la bahía de Hudson), como fuente de agua dulce (así se hace hoy día en Terranova, y se estudió incluso el arrastre hasta el desierto arábigo), como diana para prácticas militares, como pista de aterrizaje (se estudió durante la II Guerra Mundial), como base científica (Fletcher's Ice Island), como asidero (si el Titanic se hubiera anclado a un iceberg no se hubiera hundido; si los náufragos se hubieran subido a un iceberg se hubieran salvado), etc. Ya se sabe que tanto las cosas que parecen convenientes pueden usarse en perjuicio del hombre, como las cosas que parecen malas pueden usarse para un buen fin.

LA HIPOTERMIA

Hipotermia es el descenso de la temperatura corporal por debajo de lo normal. En la especie humana lo normal es 37 ºC y la hipotermia suele ser irreversible por debajo de 32 ºC. La temperatura corporal de los pollos es de 42 ºC y la del equidna (erizo monotrema) es de sólo 28 ºC.

La materia viva es mucho más delicada que la materia inerte y apenas soporta cargas térmicas (hipotermia, hipertermia), ni mecánicas (desgarro de tejidos), ni químicas (asfixia, envenenamiento). Es raro encontrar vida por debajo de 0 ºC (congelación del agua) o por encima de 45 ºC (degeneración celular) [6]. La aproximación de suponer para el cuerpo humano las propiedades térmicas del agua pura es muy buena ya que el 92% de la sangre, el 75% de los músculos y el cerebro y hasta el 22% de los huesos están formados por moléculas de agua. Los aparatos artificiales también dejan de funcionar a baja temperatura (p.e. las baterías eléctricas a unos -5 ºC), y hasta el acero se hace quebradizo a -100 ºC.

La temperatura corporal, la de los órganos internos, la que se aprecia a través de los orificios naturales o mediante sonda inyectable, es crucial para los organismos vivos superiores (aves y mamíferos), dichos de sangre caliente o mejor homeotermos, los cuales están dotados de un mecanismo de control térmico sofisticado para garantizar p.e. que la temperatura corporal humana se mantenga en 37±0,5 ºC en un individuo sano, y no sobrepase 37±5 ºC en un individuo enfermo, pues fuera de esos límites tan estrechos (del orden del 1% de variación de la temperatura absoluta) sobreviene la muerte. La Termodinámica enseña que la única posibilidad de vivir en régimen estacionario (y por tanto sin variación de entropía) es evacuar calor (para compensar la necesaria generación interna de entropía), por lo que la temperatura corporal ha de ser normalmente superior a la temperatura ambiente para evacuar calor a través de la piel (cuya temperatura tendrá un valor intermedio) o a través de la emisión másica (respiración y transpiración).

Se estima que la mitad de las muertes por caída en el mar y en lagos son por hipotermia y no por ahogamiento. La hipertermia suele producirse por alteración del sistema de control por una infección externa de toxinas (la fiebre), aunque también puede darse en ambientes muy cálidos (la permanencia en una atmósfera saturada a más de 50 ºC suele ser mortal a los pocos minutos, mientras que se puede tolerar una atmósfera seca a 100 ºC bastante tiempo; el cuerpo trata de defenderse de la hipertermia sudando y jadeando. La hipotermia suele producirse por inmersión en agua fría (como en el caso que nos ocupa), por exposición continuada al aire frío, o por complicaciones quirúrgicas (inyección intravenosa de líquido frío, exceso de anestesia, etc.) Es ciertamente notable el hecho de que algunos animales homeotermos (ardillas, murciélagos) puedan suspender temporalmente su control térmico corporal y pasar a un estado de hibernación, reduciendo drásticamente su latido cardíaco, su respiración y su consumo metabólico; otros, como los osos pardos o negros tienen una hibernación menos extrema, una especie de somnolencia o duermevela invernal durante la cual suelen incluso parir.

El cuerpo trata de defenderse de la hipotermia minimizando la trasmitancia térmica global (contrayendo los capilares para minimizar la circulación sanguínea periférica y bajar la temperatura de la piel, erizando el pelo o inflando las plumas, etc.) y activando la disipación térmica interna mediante contracciones musculares bruscas y repetidas (escalofríos). Para comprender mejor el enfriamiento del cuerpo, veamos un sencillo modelo: sea un cuerpo isotermo a T_{cuerpo}=37 ºC que ha de evacuar unos Q=100 W para mantener su metabolismo (mantenerse vivo), a través de un área A=1,8 m^2 de superficie (estándar para un adulto), protegido por una epidermis de L_{derm}=1 cm de espesor y k_{derm}=0,2 W/(m·K) de conductividad, y una vestimenta de lana (k_{vest}=0,05 W/(m·K)) de espesor L_{vest}, en contacto con un ambiente fluido a unos

T_{amb}=10 ºC, con el que el coeficiente de convección es h (unos 10 W/(m^2·K) para aire en calma y unos 500 W/(m^2·K) para agua en calma [5]). La transmisión de calor en régimen estacionario será:

$$\frac{Q}{A} = k_{derm}\frac{T_{cuerpo} - T_1}{L_{derm}} = k_{vest}\frac{T_1 - T_2}{L_{vest}} = h\left(T_2 - T_{amb}\right) \;\Rightarrow\; \frac{Q}{A} = \frac{T_{cuerpo} - T_{amb}}{\frac{L_{derm}}{k_{derm}} + \frac{L_{vest}}{k_{vest}} + \frac{1}{h}}$$

cuya única incógnita es el espesor de vestimenta necesario para mantener el régimen estacionario, resultando ser de 17 mm para el caso del aire y 22 mm para el del agua. Para el aire frío se ve que no hay problema: se abriga uno y ya está, pero para el agua fría el problema es que la vestimenta se empapa y su conductividad pasa a ser la del agua, que es de 0,6 W/(m·K), por lo que para el espesor de 17 mm ahora se perderían Q=605 W, demasiado para el cuerpo (con fuertes escalofríos se llega a generar unos 400 W, pero no por mucho tiempo). Y el modelo anterior es demasiado sencillo; en realidad la epidermis no está a la misma temperatura sino que hay zonas más calientes porque la protección es menor, como la cabeza, el cuello, las axilas y la ingle, El 50% de la energía se pierde por la cabeza y el cuello. De hecho, al cabo de cierto tiempo se produce hipotermia en aguas hasta a 27 ºC.

Los síntomas que produce la hipotermia son (en agua a 10 ºC): escalofríos y cianosis (coloración azul de la piel por falta de riego sanguíneo al cabo de unos minutos), pérdida de movilidad de las extremidades (al cabo de un cuarto de hora), inconsciencia (al cabo de una media hora) y parada circulatoria y muerte (al cabo de tres cuartos de hora). Para la reanimación, poco puede hacerse más que quitar las ropas mojadas, tapar con mantas y esperar (sobre todo no aplicar calor artificial ni dar de beber nada).

En el caso del Titanic, unos 30 hombres se agarraron a un bote salvavidas que flotaba boca abajo y los que consiguieron mantenerse sobre él fuera del agua sobrevivieron. Si hubieran podido subir a un trozo de hielo también podrían haberse salvado; incluso el Titanic se habría salvado si hubiera quedado atrapado al iceberg.

CONCLUSIÓN

El Titanic era un barco muy bien diseñado [2], correctamente operado [3], que tuvo la mala fortuna de encontrarse en su viaje inaugural con un iceberg una noche sin luna. Otros muchos barcos como él surcaban los mares con mejor fortuna esos mismos días, su gemelo el Olimpic entre ellos, y el Titanic sí prestó atención a los siete avisos de icebergs que recibió por radio de otros barcos (desvió su ruta dos veces hacia el Sur, por si acaso, aunque no paró en la ciega y aciaga noche).

Antes del Titanic ya otros barcos se había hundido al chocar con un iceberg, como el Lady of the Lake, en 1833, donde muriendo 70 personas, pero desde la tragedia del Titanic ya no ha habido más muertes por choque con iceberg en las rutas de navegación, detectándose la presencia de icebergs fácilmente a corta distancia con el sonar (inventado en 1918 por Langevin para detectar icebergs y submarinos alemanes) o en mayor alcance con el radar (el más usado actualmente), desde el propio barco, desde aviones de reconocimiento, o desde satélites.

Las catástrofes, naturales o artificiales, siempre han sido un acicate para el esfuerzo humano en comprender mejor la naturaleza, tratando de evitar en lo sucesivo que se produzcan esas situaciones adversas o tratando de minimizar el daño que éstas puedan causar, así como para el esfuerzo de solidaridad humana; para rescatar posibles supervivientes, el buque Carpathia atravesó aquella noche un mar de icebergs a toda máquina, llegando a las 4:00 horas, media hora antes de lo normal. Cabe señalar también la importancia que tuvo en el Titanic disponer de la curva de esloras inundables para determinar en los primeros minutos que el buque se iría a pique y tener tiempo de organizar la evacuación.

El descubrimiento del pecio del Titanic en 1985, a 4 km de profundidad y 24 km al Este del punto de choque, partido en dos grandes trozos a 600 m de distancia, ha ayudado a entender mejor los detalles del accidente, habiéndose hecho análisis de los daños directos del impacto, de la calidad del acero, etc.

En resumen: estudiar para predecir, prevenir para mitigar, y ser solidarios (todos vamos en el mismo barco y, de acuerdo con las leyes de Murphy, si hay un iceberg se acabará chocando con él).

REFERENCIAS

1. La mayor parte de los datos sobre icebergs y las fotos se han tomado de la USCG-IIP (UNITED STATES COAST GUARD INTERNATIONAL ICE PATROL) en "http://webtac3.rdc.uscg.mil/iippages/".
2. Los conceptos termodinámicos y detalles sobre el frío, su historia y su ciencia, puede consultarse el libro del autor "Termodinámica básica y aplicada", I. Martínez, Ed. Dossat, 1992, o en su sede internet http://imartinez.etsin.upm.es.
3. "Introduction to Physical Oceanography", G.L. Mellor, AIP Press, 1996.
4. Contrariamente a esto, en el Espasa dice textualmente "...Cuando el agua del mar alcanza su temperatura de congelación, que es de 2º5 C, se forma durante el primer día una capa de hielo de unos 2 m. de espesor, que aumenta en 1 m. al día siguiente,...". "Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo Americana", Tomo XXVIII (1ª parte), Espasa Calpe, 1925, p.841.
5. "Termodinámica básica y aplicada", I. Martínez, Ed. Dossat, 1992, p. 273.
6. "Thermal Processing of Bio-materials", Eds. T. Kudra, C. Strumille, Gordon and Breach Sci. Publ., 1998.
7. "Titanic: un análisis forense de Arquitectura Naval", varios artículos de distintos autores, Ingeniería Naval, Año LXVI nº 752 Agosto-Septiembre 1998.