

SALVAR EL HIELO

La fusión acelerada del hielo en algunas regiones del planeta condiciona el destino de la humanidad. Científicos de todo el mundo investigan cada detalle de la evolución de la criosfera y la amenaza que supone el deshielo para una miríada de especies.

ALBERT PUNSOLA. PERIODISTA ESPECIALIZADO EN MEDIOAMBIENTE



EN EL ARCHIPIÉLAGO MELCHIOR,
en la Antártida, un barco navega
alrededor de una gran placa de
hielo desprendida de un iceberg.



EL HIELO SE ROMPE

Este paisaje invernal del lago siberiano Baikal nos recuerda lo frágil y efímero que es el hielo. Su dureza no resiste el efecto de las altas temperaturas, que lo funden, lo fracturan y lo hacen desaparecer.



SEGÚN EL ÚLTIMO INFORME DEL IPCC, EL DESHIELO AMENAZA LA CRIOSFERA, LA PARTE CONGELADA DE LA TIERRA. UNA EMERGENCIA CLIMÁTICA DE PRIMER ORDEN

Es altamente improbable que ni nosotros ni nuestros hijos veamos la desaparición del hielo de la Tierra. Habrá grandes cambios, sin duda, en su volumen y distribución, como deja bien claro el reciente informe del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés). Pero, a pesar de ello, este es un escenario prácticamente descartable. Según la trayectoria natural del planeta de los últimos 2-3 millones de años, actualmente nos encontramos en una época interglaciar, con lo cual, a largo plazo, lo que cabría esperar no es el deshielo, sino todo lo contrario: una nueva glaciación. Pero más allá de este futuro lejano e incierto, lo que hoy más preocupa a la comunidad científica es la rápida velocidad a la que se está fundiendo el hielo terrestre y marino, y, sobre todo, las consecuencias palpables que este fenómeno global causa en la biodiversidad, en los asentamientos humanos y en los patrones climáticos.

El estudio de la criosfera, esas partes de la Tierra donde el agua se encuentra en estado sólido, resulta fascinante porque nos permite viajar en el tiempo. Muchos de estos lugares constituyen importantes testimonios que nos hablan de cómo fue el pasado y nos dan pistas acerca del futuro. Por una parte, la extracción de hielo y el análisis químico de los glaciares, y de los mantos que cubren la Antártida y

Groenlandia, ofrecen la posibilidad de conocer las condiciones climáticas de épocas pasadas, desde siglos a centenares de miles de años. Por otra, **el seguimiento de la evolución del hielo, tanto en tierra firme como en los océanos, permite dibujar escenarios para las próximas décadas sobre uno de los problemas más acuciantes a los que nos enfrentamos: el cambio climático.**

La criosfera es una fuente de información de primera magnitud para los investigadores porque su evolución discurre paralela a las condiciones del clima, el cual, a su vez, está íntimamente vinculado a las masas heladas del planeta. Juega, por tanto, el papel simultáneo de causa y efecto en la evolución climática. Su importancia científica se suma a la enorme atracción que las remotas regiones heladas de la Tierra han ejercido históricamente sobre exploradores y científicos. Hoy, la mística de la aventura no ha desaparecido. Solo que las expediciones a la Antártida, Alaska, Siberia o a los glaciares alpinos ya no pretenden delimitar los confines del planeta, sino que recogen datos cruciales para confirmar o desmentir las últimas teorías sobre el destino del hielo del planeta.

EL DESHIELO EN LA ANTÁRTIDA

La exploración de este vasto continente de 14 millones de km² no ha cesado desde aquellas primeras expediciones llevadas a cabo en el siglo XIX. Con el fin de protegerlo, en 1959 se firmó el Tratado Antártico, que



dispuso que este territorio solo podría usarse para fines pacíficos, lo que ha estimulado la afluencia de miles de científicos en las últimas décadas a este territorio y su área de influencia. Uno de ellos es Lluís Cardona, profesor e investigador de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona (UB). Desde 2018 lidera Flexseal, un proyecto de cuatro años de duración cuyo objetivo es mejorar el conocimiento sobre la alimentación y el uso del hábitat del lobo marino antártico (*Arctocephallus gazella*) desde la Base Antártica Española Juan Carlos I. Esta base científica, dependiente del CSIC, está situada en la isla Livingston, en el archipiélago de las Shetland del Sur, a unos 120 km del continente blanco. “El lobo marino antártico tie-

EL HIELO ES esencial para la supervivencia del lobo marino antártico, una especie, a su vez, clave para el ecosistema de la Antártida.

ne una relación con el hielo de amor y odio. Por una parte, lo necesita vitalmente porque su dieta se basa en el krill, que está asociado a la presencia del mar helado, la banquisa. Por otra, solo puede criar cuando no hay hielo”, explica Cardona. Estos otarios también pueden comer peces, pero ello les supone un coste adicional. “El krill está más cerca de la superficie y es más accesible, mientras que para llegar a los peces tienen que sumergirse a mayor profundidad y durante más tiempo, con lo que gastan mucha más energía y limitan sus posibilidades de alimentación”, subraya.

Gracias al proyecto Flexseal se han recolectado datos por satélite sobre los desplazamientos del lobo marino en la superficie de hielo, así como sobre su alimentación. “Será importante saber hasta qué punto una eventual ausencia de hielo marino podría afectar a este mamífero marino. **Se trata de una especie importante del ecosistema, en el sentido de que una desaparición tendría consecuencias en todo el conjunto**”, destaca el biólogo. A pesar de esta observación, a él no le gusta la palabra equilibrio para referirse al medio ambiente: “Es enga-

LA ANTÁRTIDA PIERDE 278.000 MILLONES DE TONELADAS DE HIELO POR AÑO, SEIS VECES MÁS QUE EN 1980.

QUÉ NOS DICEN LOS BIGOTES DEL LOBO MARINO

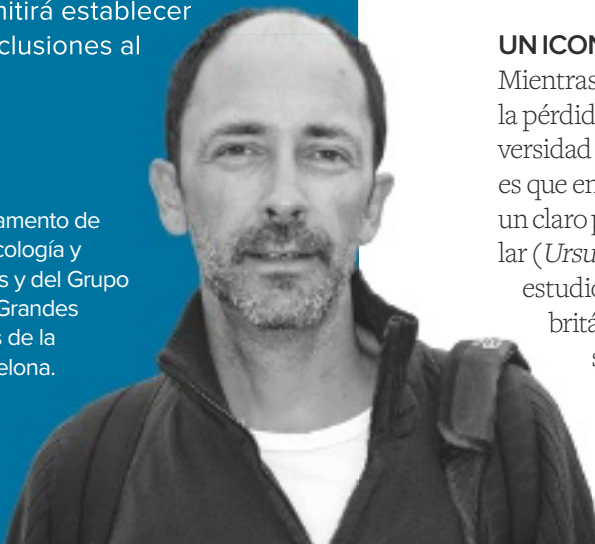
El proyecto Flexseal concluyó la pasada primavera su primera etapa. Entre febrero y marzo, tras colocar a varios ejemplares emisores de telemetría por satélite, los científicos rastrearon los movimientos de los lobos marinos durante el otoño e invierno austral. Los datos sobre su alimentación se han recolectado a través del análisis de muestras biológicas, entre ellas, las extraídas de sus **largos bigotes, que les crecen sin cesar.**

Analizando los elementos químicos que componen sus bigotes, se extrapola la cantidad de krill ingerido. Este crustáceo de alto valor proteico, que sirve de alimento a animales como el lobo marino, los pingüinos o la ballena franca, se alimenta del plancton que se halla en el hielo. Numerosas aves del antártico se alimentan de huevos de pingüino o restos de animales muertos y las orcas, entre otras cosas, comen lobos marinos. Así, **si el hielo desaparece, todo el ecosistema se resiente.**

“El análisis de las muestras de los bigotes del lobo marino permite establecer el **peso del krill en su dieta durante los últimos cuatro años y compararlo con la evolución de la banquisa** en el mismo período”, explica Lluís Cardona. El estudio de estos datos permitirá establecer las primeras conclusiones al respecto.

Lluís Cardona

Miembro del Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales y del Grupo de Investigación de Grandes Vertebrados Marinos de la Universidad de Barcelona.



¿ANDAR O NADAR?

Un oso polar nada en las aguas de la isla Harbour, en Nunavut, Canadá.

ñosa porque cuando hay grandes cambios lo que se crean son unas nuevas condiciones. Siempre, en la dinámica de la naturaleza, y el hielo no es una excepción, hay especies ganadoras y perdedoras, pero interpretar si esto es bueno o malo para el conjunto del ecosistema es difícil”. ¿Será el lobo marino antártico un ganador o un perdedor? “Tendremos información valiosa sobre ello en los próximos años. De momento sabemos que en el siglo XIX, y sin alteraciones en el hielo marino, casi llegó a extinguirse debido a la caza. Se salvó porque la industria de las pieles desplazó su actividad a Norteamérica”, apunta Lluís Cardona.

UN ICONO SE EXTINGUE EN EL ÁRTICO

Mientras el proyecto Flexseal calibra cómo la pérdida de hielo marino afecta a la biodiversidad en la Antártida, lo que ya sabemos es que en el Ártico ya hay, en este momento, un claro perdedor ante el deshielo: el oso polar (*Ursus maritimus*). En 2018 se publicó un estudio llevado a cabo por investigadores británicos y canadienses en el que se puso de relieve la gran dependencia de

ESPECIES AMENAZADAS EN EL ANTÁRTICO

Conforme se vaya reduciendo la temporada de hielo marino en la costa occidental de la península antártica, las especies que dependen de él deberán adaptarse o perecerán. La pérdida de hielo también puede reducir las poblaciones de krill, un crustáceo que sirve de alimento a muchos animales de la región.

ESPECIES QUE DEPENDEN DEL HIELO

- **Foca leopardo**

Este superpredador (*Hydrurga leptonyx*) se alimenta de peces, pingüinos, krill y otras focas. Caza cerca y por debajo del hielo marino y puede criar en su superficie.

- **Pingüino de Adelia**

Los pingüinos de Adelia (*Pygoscelis adeliae*) solo comen krill y peces que se alimentan de krill. También dependen del hielo para salir del agua y encontrar un suelo firme donde descansar.

- **Rorcual austral**

Estas pequeñas y ágiles ballenas (*Balaenoptera bonaerensis*) ingieren el krill que se aglomera bajo el hielo, donde también se protegen de las orcas. Para ellas el hielo es vital.

- **Krill**

En estadio larval y juvenil, el krill (*Euphausia superba*)—del tamaño de un dedo meñique—se alimenta de algas estacionales que quedan congeladas en la cara inferior de la banquisa.

LA ESENCIAL BANQUISA

El fitoplancton que sustenta al krill se halla bajo la banquisa. Si esta desaparece, lo harán a su vez los animales que se alimentan, descansan y se protegen en ella.



KRILL



ESPECIES QUE NO DEPENDEN DIRECTAMENTE DEL HIELO

• Pingüino juanito

Estos pingüinos (*Pygoscelis papua*) llevan una dieta variada y no dependen del retorno anual del hielo marino. Por ello su población está en aumento.

• Lobo marino

La población de las Shetland del Sur (*Arctocephalus gazella*) está menguando, en parte porque las focas leopardo –que también comen krill– depredan sobre sus crías.

• Yubarta

Las yubartas (*Megaptera novaeangliae*) salen favorecidas en las aguas abiertas y libres de hielo donde se alimentan de densos bancos de krill. Si este empieza a escasear, podrían resentirse.

"UNA MAYOR DISPONIBILIDAD DE LUZ EN EL MAR POR LA AUSENCIA DE HIELO AFECTARÍA MÁS AL ECOSISTEMA QUE LA DESAPARICIÓN DEL OSO POLAR"

Lluís Cardona, investigador de la Facultad de Biología de la Univ. de Barcelona

los osos polares del hielo marino para cazar, desplazarse y aparearse. **El trabajo apunta la posibilidad de que si el hielo marino continúa disminuyendo al ritmo actual en la zona Ártica**, la población de osos polares se reduciría en más de un 30% durante las próximas tres o cuatro décadas. El número de ejemplares de oso polar se ha cifrado entre 20.000 y 30.000 por parte de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Esta especie tiene reconocido el estatus de vulnerable a nivel internacional, el cual señala un elevado riesgo de extinción en estado salvaje. Si esto se llegara a producir, afirma Lluís Cardona, los efectos que tendría la ausencia de este depredador no modificarían tanto el ecosistema como otros factores, como la mayor disponibilidad de luz en el mar por la ausencia de hielo, que estimularía la proliferación del fitoplancton, o la llegada de nuevos depredadores, como el bacalao. Otras especies, menos conocidas que el icónico oso polar, están sometidas a amenazas parecidas. Este es el caso de las focas anilladas que dependen del hielo marino estable para reproducirse y criar. Las focas cavan refugios en él, con accesos directos también desde el agua, para aislarse del frío extremo y para proteger a sus crías de los depredadores. Sin esa protección, la mortalidad puede hacer mella en la especie. Se estima que para final de siglo la población de focas anilladas sufrirá una reducción de entre un 50% y un 99%.

ÁRTICO CALIENTE, OLA DE FRÍO

La menor presencia de hielo marino también tiene algunos sorprendentes efectos climáticos a gran escala. El IPCC ha constatado que la región ártica se calienta más rápido

que el resto del planeta y, aunque pueda parecer contraintuitivo, esto ocasiona cada vez más olas de frío. El fenómeno se denomina "amplificación ártica" y es consecuencia directa de la disminución del hielo marino en esta región. La explicación se halla en lo que se conoce como "variación del albedo". Albedo es una palabra que procede del latín *albus*, que significa blanco, y se refiere a la radiación solar que refleja cualquier superficie. La variación del albedo, es decir, **el cambio en la cantidad de luz reflejada o absorbida, está en función del color de la superficie sobre la cual inciden los rayos solares**. Así, cuando el mar está helado y, por tanto, blanco, aumenta la cantidad de radiación reflejada y ello contribuye a su enfriamiento. Como es lógico, si la superficie helada disminuye ocurre lo contrario: en estado líquido el mar es más oscuro y absorbe más radiación, con lo que el calentamiento se incrementa, lo que conlleva, a su vez, un mayor deshielo, favoreciendo un proceso de retroalimentación continua.

Si el Ártico refleja cada vez menos luz solar y aumenta su temperatura, el comportamiento de su vórtice polar, una gran área de baja presión y aire frío que también existe en la Antártida, se altera. Este vórtice mantiene las latitudes templadas a salvo de los aires polares ya que tiende a confinarlos en esa región. Pero eso solo es posible si existe una marcada diferencia de temperatura entre la región polar y esas latitudes más bajas.

Olga Margalef

Geóloga. Participa en el proyecto científico Imbalance-P que analiza el permafrost de Suecia.





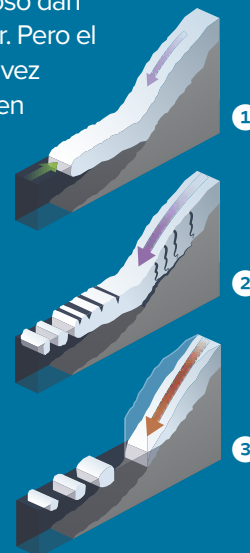
PERITO MORENO
es un enorme glaciar situado
en la provincia de Santa Cruz,
en la Patagonia argentina,
y está amenazado por el
calentamiento global.

GLACIARES QUE PODRÍAN DESAPARECER

La mayoría de los casi 200.000 glaciares del planeta, que tan bellas estampas nos ofrecen alrededor del mundo, se hallan en las regiones antártica y ártica. Pero también los hay en otros lugares, como en Europa, en el oeste de Canadá y EE. UU. Estos, sin embargo, según una reciente investigación de la Universidad de Zúrich publicada en *Nature*, podrían desaparecer en la segunda mitad de este siglo.

- **Muchos de ellos ya tienen menos grosor.** Fruto de las observaciones glaciológicas y las mediciones geodésicas por satélite, los científicos han podido constatar que el espesor del hielo de más de 19.000 glaciares está mermando. En las últimas tres décadas se han perdido 335.000 millones de toneladas de hielo por año.

- **Fusión acelerada de los glaciares.** La fuerza que ejerce el océano **1** y la sujeción al sustrato rocoso dan estabilidad al glaciar. Pero el agua y el aire, cada vez más calientes, funden la plataforma y esta se rompe **2**. El agua de fusión se infiltra por la base y hace que el glaciar avance hacia el océano y pierda masa. Entonces la pendiente se acentúa, acelerando todavía más esa dinámica **3**.



EL FINAL DEL GRAN MURO DE HIELO

Desde hace ya varios siglos, los humanos han querido explorar el Ártico y explotar sus recursos. Pero ese objetivo se ha logrado solo a medias, gracias a que esa área que rodea el Polo Norte y que se halla repartida entre una decena de países está protegida por una colosal fortaleza de hielo que, hasta ahora, lo preservaba en gran parte durante todo el año. Sin embargo, los científicos estiman que, a mediados de este siglo, el aumento de las temperaturas podría terminar con ese hielo protector.

2036: ¿EL ÚLTIMO VERANO HELADO?

A mediados de este siglo —si no antes— se espera que los veranos árticos sean lo suficientemente calurosos como para derretir la mayor parte del hielo marino que se forma en invierno. Según el Centro Nacional de Datos de Nieve y Hielo de Estados Unidos, esto podría suceder ya en 2036. A partir de entonces, el océano Ártico sería navegable en esa época del año, excepto por un remanente de hielo presente a lo largo de las islas del norte de Canadá y Groenlandia. Una de las regiones menos explotadas del mundo ofrecerá a un gran número de países ávidos de recursos un mejor acceso a enormes depósitos de gas, petróleo y minerales.

HIELO CON FECHA DE CADUCIDAD

El 11% de la superficie del glaciar Vatnajökull, en Islandia, de 8.000 kilómetros cuadrados, está cubierta de una capa de hielo que en algunos puntos alcanza el kilómetro de espesor. A día de hoy es el glaciar más grande de toda Europa.



LOS OCÉANOS SON UN ELEMENTO CLAVE EN LA REGULACIÓN DEL CLIMA DE NUESTRO PLANETA YA QUE DISTRIBUYEN EL CALOR

En caso de que la región polar se caliente más rápidamente que las latitudes medias, la diferencia de temperatura entre ambas se reduce y el vórtice se debilita. Ello da lugar tanto a entradas de aire más cálido del sur hacia el norte como, al revés, a entradas de aire polar hacia latitudes medias. **Esto explicaría algunas recientes olas de frío en Europa, Norteamérica y Rusia.** La meteorología resume el fenómeno de este modo: “Si el Ártico se calienta, tú te congelas”.

REGULADOR TÉRMICO DEL PLANETA

Está claro que la influencia del hielo en el clima va más allá de lo que sucede en las grandes regiones heladas. Se extiende a las corrientes marinas, que circulan por todo el planeta siguiendo procesos de gran complejidad que algunos científicos, como Eva Calvo, biogeoquímica marina del Instituto de Ciencias del Mar del CSIC de Barcelona, están desentrañando. Calvo investiga las conexiones entre las condiciones oceánicas del pasado, la evolución del clima y las variaciones del CO_2 atmosférico. Sus estudios más recientes se han centrado en identificar los mecanismos responsables de estas variaciones, haciendo especial énfasis en la circulación termohalina y en el papel de los microorganismos que retienen CO_2 a través de la fotosíntesis. “Los océanos son un elemento clave en la regulación del clima de nuestro planeta por su papel en la distribución de calor y en la absorción de gases de efecto invernadero, como el CO_2 ”, afirma la científica. En este contexto, un patrón fundamental es precisamente la circulación termohalina,

Circulación termohalina

LA GRAN CINTA TRANSPORTADORA DE CALOR

Existe una circulación oceánica que recorre todo el planeta y que ayuda a distribuir las aguas más cálidas.

• CÓMO FUNCIONA

La circulación termohalina actúa como una cinta transportadora que distribuye las masas oceánicas más cálidas a las latitudes más frías. Entre ambos trópicos la radiación solar calienta mucho los océanos. Eso modifica la densidad del mar (su salinidad) y provoca un importante movimiento entre aguas más y menos densas. Tras calentarse en el Pacífico y el Índico, las aguas más cálidas circulan hasta el Atlántico Norte, atemperándolo. El deshielo y el calentamiento global afectan la temperatura y la salinidad, y, por ende, a esa circulación.

• LAS CORRIENTES AFECTAN A LA

TEMPERATURA. El agua más caliente, menos densa que la fría, circula por la superficie hasta que, en su recorrido, se enfría y desciende hacia el fondo, intercambiándose con masas menos frías, que ascienden hacia la superficie. En el Atlántico Norte, la corriente del Golfo, procedente del golfo de México, es la que incrementa la temperatura de las aguas de gran parte de las costas europeas.



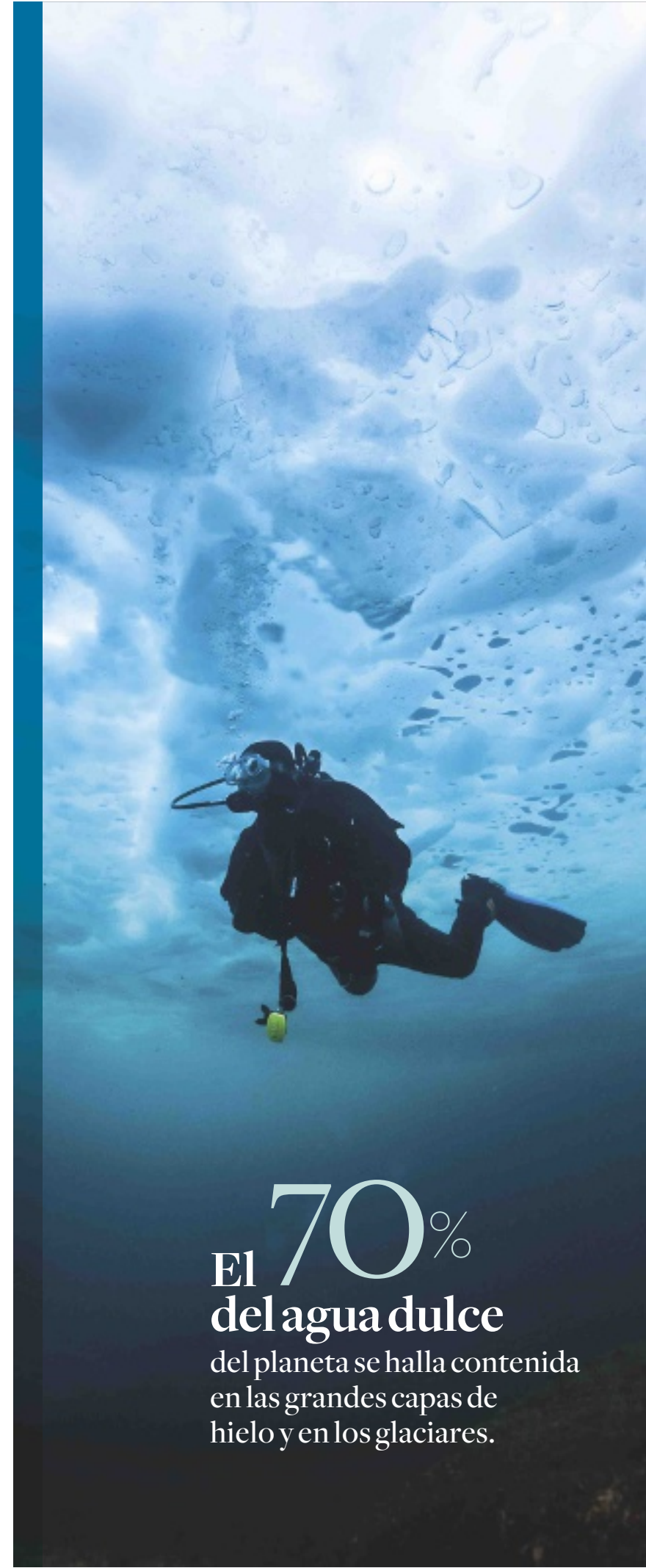
SITUACIÓN ANTERIOR



SITUACIÓN ACTUAL

CAMBIA EL MAR

El deshielo aumenta el aporte de agua dulce a los océanos y disminuye su salinidad en la superficie: el agua pierde densidad y se hunde menos. Eso ha ralentizado la circulación termohalina en el Atlántico Norte de un 15% a un 20% en los últimos 150 años, lo que puede acarrear grandes consecuencias climáticas.

A full-page background image showing a scuba diver in dark gear swimming in clear blue water. Above the diver is a large, translucent ice formation with many air bubbles trapped inside, resembling a giant's foot or a large ice shelf. The lighting is bright, coming from above, creating a high-contrast scene.

El 70%
del agua dulce
del planeta se halla contenida
en las grandes capas de
hielo y en los glaciares.

“que actúa como un gran regulador térmico de todo el planeta”, dice. Reparte el calor a través de un sistema de corrientes superficiales y profundas que siguen unas rutas fijas. **“Hoy sabemos —explica Calvo— que durante las épocas glaciales esta circulación era más lenta y menos eficaz,** y que incluso pudo llegar a pararse por completo en algunos momentos, lo que tuvo un tremendo impacto en el sistema climático.” No se descarta una disminución o alteración de esta circulación en las próximas décadas. Así lo apuntan desde el IPCC, si bien la magnitud y el impacto climático de dichos cambios son inciertos.

HIELO TERRESTRE QUE SE FUNDE EN EL MAR

Si, como señala la ciencia, la descarga de hielo terrestre al océano es uno de los factores que pueden alterar el buen funcionamiento del regulador térmico del planeta, es imperativo preguntarse qué está ocurriendo con dicho hielo. A diferencia del marino, que está sujeto a importantes variaciones estacionales, los grandes mantos de hielo terrestre son en principio más estables, si bien no están exentos de movimiento. Los glaciares son una prueba de ello. Estas grandes masas se mueven como ríos a cámara lenta. En la alta montaña son una fuente primordial de agua dulce. En las zonas polares llegan al mar, donde forman plataformas de hielo flotante que pueden tener hasta 200 metros de espesor que, al romperse, dan lugar a los icebergs.

Más allá de este movimiento ya conocido se está tratando de averiguar hasta qué punto se ha incrementado la pérdida de hielo terrestre a consecuencia del calentamiento global. En el caso de la Antártida distintos estudios apuntan a una disminución del manto de hielo en el oeste, aunque no se ha confirmado una tendencia equivalente en el este. Por su parte, la Organización Meteorológica Mundial señala en su último informe sobre el estado del clima mundial que, **en los últimos 40 años, el ritmo de los glaciares y de su descarga de hielo al mar se acelera,** mientras que el régimen de precipitaciones de nieve, encargado

LA TIERRA SE CALIENTA, LOS POLOS SE DERRITEN

El clima está cambiando en el mundo a pasos agigantados y los glaciares están retrocediendo. El deshielo de los polos se debe en gran parte a los gases de efecto invernadero. A su vez, ese mismo deshielo contribuye a que el planeta siga calentándose.

MÁS AGUA FRÍA, MENOR CIRCULACIÓN

El agua que se derrite de los polos y va a parar al mar es dulce y fría. Eso puede afectar a las corrientes oceánicas, cuyo buen funcionamiento está vinculado a la temperatura y la densidad del agua.

MENOS PERMAFROST, MÁS EFECTO INVERNADERO

El permafrost, permanentemente congelado, alberga mucha materia orgánica que queda al descubierto por el deshielo. Al descomponerse, emite CO₂ y metano a la atmósfera, empeorando el calentamiento global.

CORRIENTES MARINAS

La causa principal de la modificación de las corrientes oceánicas son los cambios de salinidad que se producen en el agua.

¿POR QUÉ OCURRE?

1 La luz solar se refleja en las capas de hielo.

2 En las zonas más delgadas de hielo o en las grietas, la luz penetra al océano.

3 El hielo se funde y libera las partículas de carbono atrapadas.

5 Una vez en el aire, el CO₂ es absorbido por la atmósfera.

4 Estas partículas ascienden hacia la superficie convertidas en CO₂.

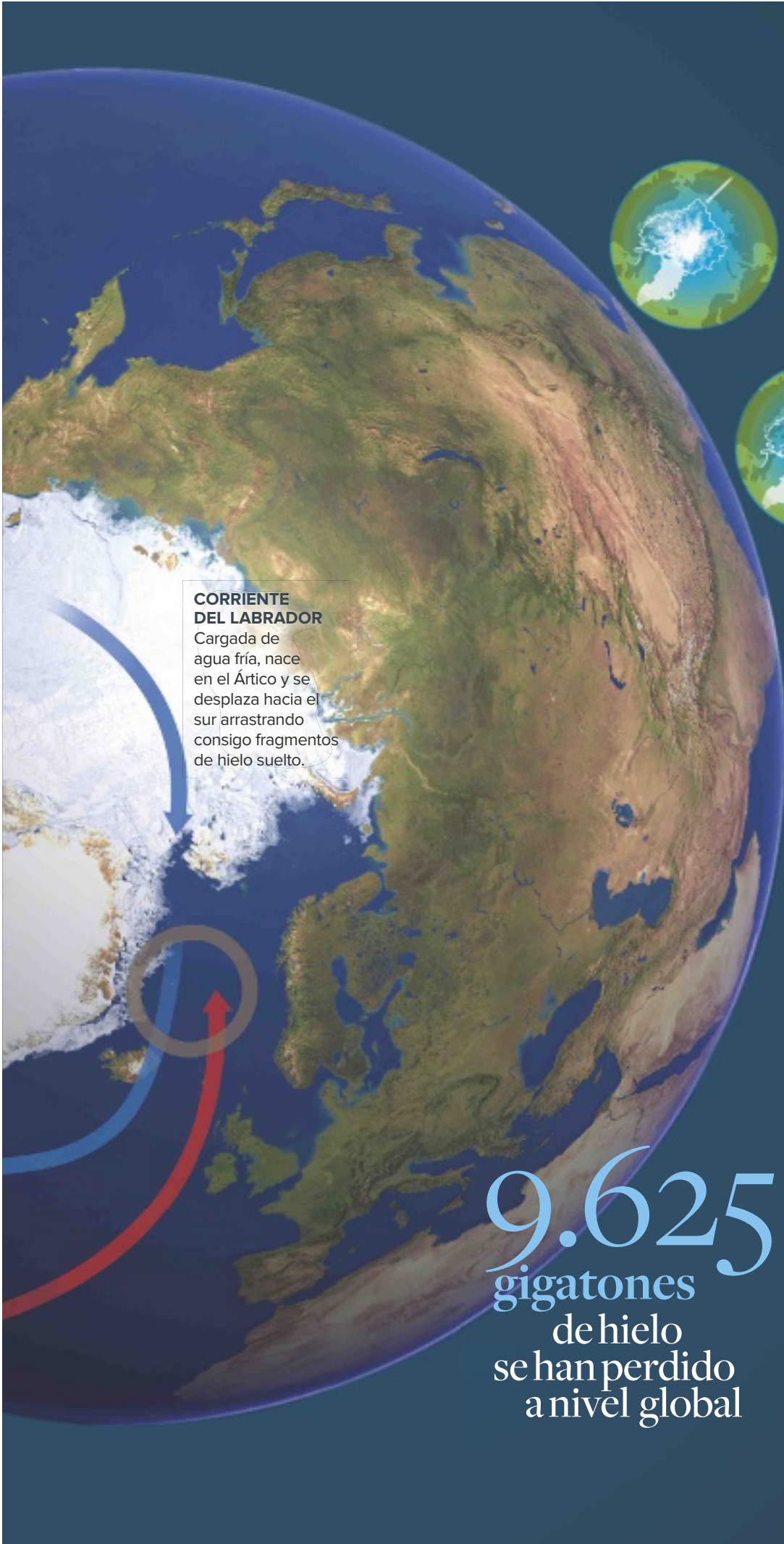
Partículas de CO₂

CADA VEZ MÁS GRIETAS

Los barcos transitan por las grietas abiertas en busca de recursos. Eso impide que se cierren, lo que empeora la situación.

CORRIENTE DEL GOLFO

Se origina en el golfo de México y transporta agua cálida hacia las latitudes altas.



CORRIENTE DEL LABRADOR
Cargada de agua fría, nace en el Ártico y se desplaza hacia el sur arrastrando consigo fragmentos de hielo suelto.

PROYECCIONES

2030
El hielo del mar en verano tiende a disminuir cada vez más rápido en el futuro.



2060
Mientras el siglo progresa, el hielo del mar se desprenderá cada vez más hacia el océano Ártico.



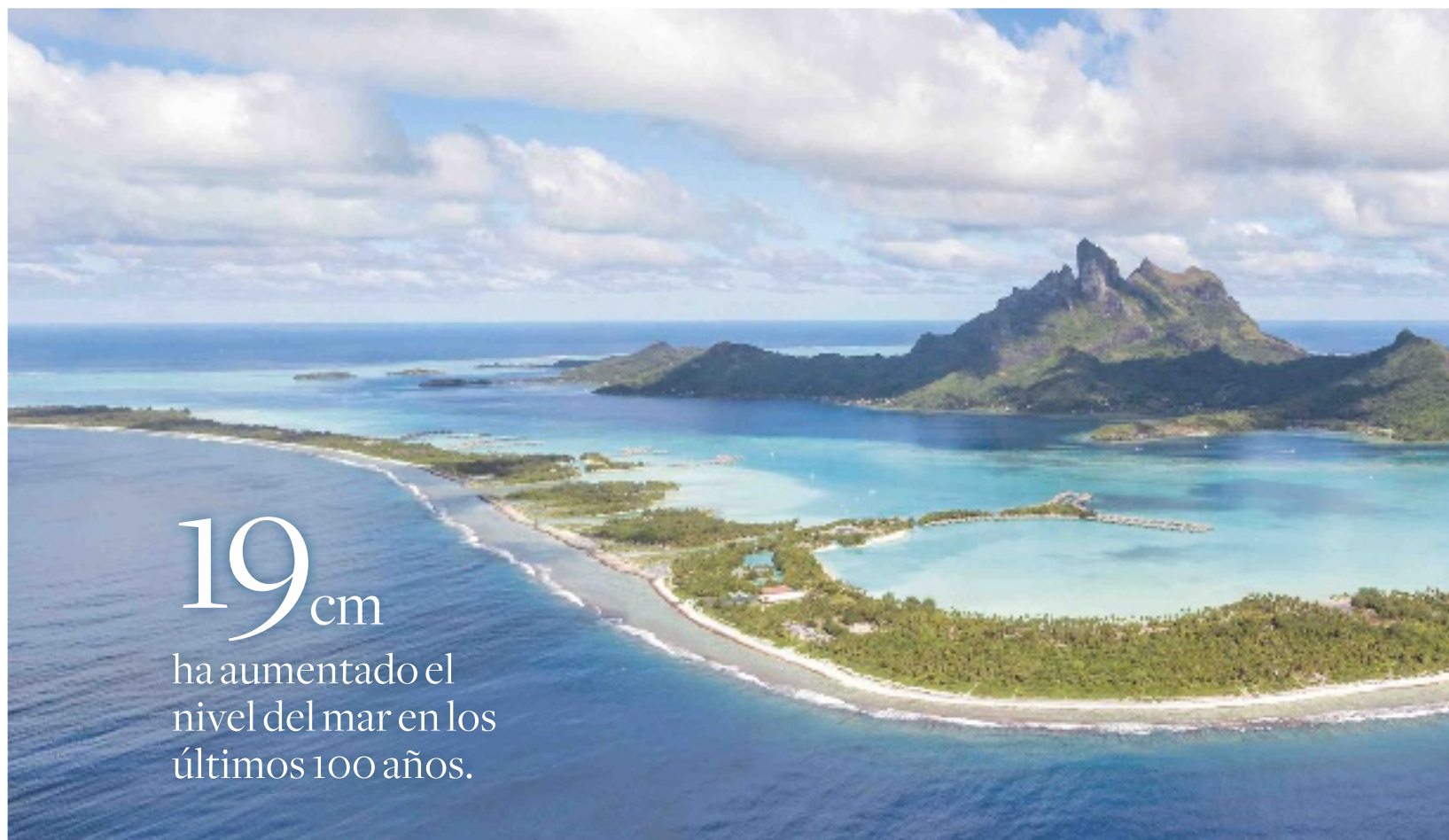
2090
Algunos modelos científicos proyectan la casi eliminación del hielo del mar durante el verano en este mismo siglo.

CUÁNTO HIELO SE HA PERDIDO YA

Un reciente estudio publicado en la revista *Nature* ha cuantificado cuantos gigatonnes (1×10^9 toneladas) de hielo se han perdido desde 1961 en cada zona del mundo:

Alaska	-3019
Oeste de Canadá y USA	-428
Ártico norte canadiense	-1069
Ártico sur canadiense	-416
Groenlandia	-1237
Islandia	-132
Svalbard y Jan Mayen	-687
Escandinavia	-38
Ártico ruso	-1044
Norte de Asia	-21
Centro de Europa	-38
Cáucaso y Oriente Medio	-25
Asia central	-43
Sur de Asia (este)	-112
Sur de Asia (oeste)	+119
Bajas latitudes	-66
Andes del sur	-1208
Nueva Zelanda	-26

9.625
gigatonnes
de hielo
se han perdido
a nivel global



19_{cm}

ha aumentado el nivel del mar en los últimos 100 años.

de reponer el hielo perdido, se ha estancado en el mismo período. El balance es, por tanto, negativo. En Groenlandia la reducción del manto de hielo ha sido confirmada por todos los estudios, según la Agencia Europea del Medio Ambiente.

Fuera de las regiones polares, 50 científicos de más de 30 instituciones europeas han llevado a cabo una gran investigación sobre el impacto del cambio climático en la criosfera. Se centraron en los Alpes, Escandinavia,

Islandia, los Pirineos, los montes Trata y el Báltico, y los resultados fueron concluyentes: las reservas de nieve en las altas montañas disminuyen; los glaciares se hallan en retroceso y podrían desaparecer por completo en algunas zonas a lo largo del

BORA BORA es una de las islas en la polinesia francesa que está amenazada por el aumento del nivel del mar producto del calentamiento global.

siglo; la duración de la cobertura invernal de hielo en ríos y lagos se ha reducido. Patrones similares se han registrado en otras partes del mundo, como en la Patagonia o en el Himalaya. La consecuencia de esta tendencia es la reducción de agua disponible para el consumo y la generación de energía.

La idea de que una fusión acelerada de las grandes masas de hielo terrestre que alcanzan el mar contribuya a elevar su nivel es correcta. Pero hay dos matices importantes. El primero es que dicha elevación no depende solo de las masas de hielo. **El aumento de temperatura de los océanos debido al calentamiento del planeta es responsable de más de un 40% de la expansión del volumen de las masas de agua que repercute en una subida del nivel del mar.**

Por otra parte, el ritmo de deshielo observado en Groenlandia y en la Antártida no reviste, de momento, un carácter alarmante. Y no menos importante: la fusión del hielo marino del Ártico, que es el más evidente y el más acelerado, no incide en un incremento del nivel de las aguas porque es un hielo que procede de la misma agua que ya estaba en el mar.



Eva Calvo

Biogeoquímica marina. Trabaja en el Instituto de Ciencias del Mar del CSIC.

AUMENTA EL NIVEL DEL MAR

Aunque el nivel del mar ha oscilado a lo largo de la historia del planeta, en los últimos 2.500 años se ha mantenido estable. Sin embargo, desde principios del siglo XX se viene detectando una tendencia al aumento que se ha acentuado desde finales de siglo hasta nuestros días. Los datos satelitales indican un incremento de unos 8 centímetros de media desde 1992.

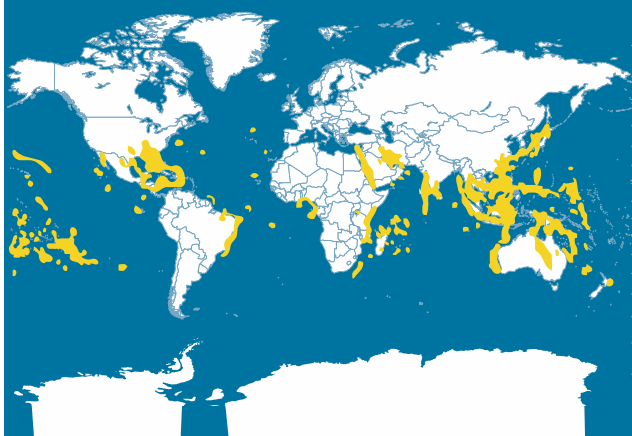
El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) **contempla como altamente probable que dicho nivel continúe aumentando a lo largo del siglo XXI** a un ritmo superior.

Cerca de la mitad de la población del planeta vive en una franja costera de 200 km de ancho.

China, India, Bangladesh, Indonesia y Vietnam –todos ellos superpoblados– son los países más vulnerables. Algunas de las mayores megalópolis del mundo, como Tokio, Nueva York o Shanghái, son costeras. Incluso en los escenarios más benignos, las consecuencias pueden ser relevantes. Si se confirman las tendencias más pesimistas, en las próximas décadas los refugiados climáticos podrían cobrar mayor importancia que los políticos.

ISLAS SUMERGIDAS

Debido al aumento del nivel del mar, algunas zonas del mundo (sombreadas en esta imagen en amarillo) podrían desaparecer.



CUANDO EL SUELO SE HUNDE

La evolución del hielo también genera problemas en tierra firme. Prueba de ello es lo que está ocurriendo con el permafrost, la capa de suelo no superficial que se encuentra permanentemente congelada (de ahí su nombre) con un grosor que oscila entre un metro y más de un kilómetro. Ocupa una extensión inmensa: cerca de 23 millones de kilómetros cuadrados o, dicho de otro modo, un 25% del suelo del hemisferio norte, principalmente en latitudes elevadas de Norteamérica, Escandinavia y Siberia. El permafrost está sufriendo un notable retroceso debido al calentamiento global. **Según la agencia de Medio Ambiente de la ONU, la frontera sur del permafrost habría retrocedido entre 30 y 80 kilómetros en las últimas décadas.**

El retroceso se está detectando claramente en zonas de Alaska. Algunas poblaciones de ese estado han tenido que dejar de utilizar los cementerios porque el deshielo del permafrost los ha convertido directamente en zonas pantanosas. Otros efectos a nivel local incluyen el hun-

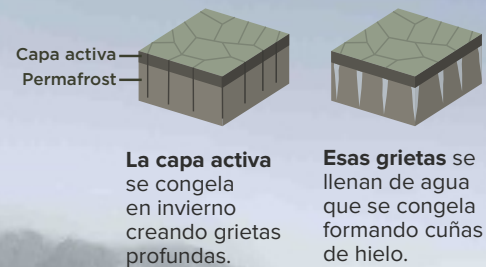
EN EL ÁRTICO, LAS CONSTRUCCIONES ESTÁN EN PELIGRO A CONSECUENCIA DEL DESHIELO

dimiento de casas y edificios o la afectación de infraestructuras como carreteras, puentes, oleoductos o gasoductos. Cerca de la costa, cuando el permafrost se derrite, la resistencia a la fuerza de la erosión marina disminuye.

Olga Margalef es geóloga y participa en el proyecto científico Imbalance-P, liderado por el ecólogo Josep Peñuelas del Centro de Investigaciones Ecológicas y Aplicaciones Forestales (CSIC-CREAF), que la ha llevado a investigar lo que está sucediendo con el permafrost en el norte de Suecia. "Imbalance-P es un proyecto pensado para comprender aspectos del ciclo del fósforo que todavía no se conocen. El deshielo del permafrost nos permite observar a nivel local si el fósforo que se almacenaba en los suelos congelados permanece en el mismo sitio después de la fusión y estimula el crecimiento de vegetación, o bien si este nutriente entra en el sistema hídrico y se transporta a otros lugares".

Una parte muy significativa del permafrost se encuentra en suelos que contienen una gran cantidad de materia orgánica y, por tanto, de carbono. "Se estima que este tipo de suelo, las denominadas turberas, se extienden por 1,4 millones de kilómetros cuadrados", explica Margalef. Existen turberas en otras partes del planeta, pero en las que están congeladas el carbono queda "protegido" frente a la actividad de los microbios y así se evita que pueda terminar en la atmósfera. La presencia o ausencia de nutrientes como el fósforo en un suelo que deja de estar helado controla la actividad de los microorganismos que consumen el carbono de la turba y lo transforman en CO₂. Esta actividad puede ge-

CÓMO SE DESCONGELA EL PERMAFROST



La capa activa se congela en invierno creando grietas profundas.

Esas grietas se llenan de agua que se congela formando cuñas de hielo.

Polígonos de permafrost. El patrón imaginativo y enigmático de algunos paisajes del Ártico está formado por cuñas de hielo debajo de la superficie.

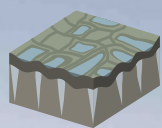
Cambio climático

¿Y SI DESAPARECE EL PERMAFROST?

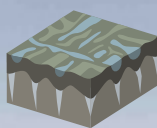
La geóloga Olga Margalef subraya que el permafrost es extremadamente sensible al cambio climático porque, para que exista, se debe dar una temperatura media anual máxima de cero grados. "Un pequeño incremento de medio grado de temperatura altera esas condiciones, con lo que el hielo se funde muy fácilmente", dice.

• **LOS EFECTOS** globales del deshielo del permafrost es un aspecto que preocupa a los científicos. La razón es que un elevado porcentaje del permafrost está formado por materia orgánica congelada. Pero cuando el hielo desaparece, empieza a descomponerse, lo que genera CO₂ y CH₄ (metano). Ambos son gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global.

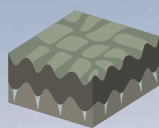
• **CADA VEZ VA A MÁS.** A medida que el hielo de los suelos congelados se derrite, el agua del deshielo circula por el permafrost, descongelándolo aún más, lo que hace que el suelo que lo cubre se desplome. Así se forman estanques que drenan y aumentan el colapso de suelos aún congelados. Un proceso que acelera la liberación de carbono y transforma el Ártico.



Las cuñas de hielo elevan el suelo formando patrones poligonales.



Se funden las cuñas, el suelo se derrumba y el agua se acumula.



La capa activa crece, las cuñas se encogen y el paisaje se drena.

Capa activa

La capa superior del permafrost se congela y descongela anualmente. El agua se drena a través del Ártico cada vez más, a medida que el hielo desaparece.

Cuñas de hielo.

Se han formado durante milenios, a medida que el suelo se congelaba y agrietaba en invierno para llenarse de agua en primavera. Ahora, desde hace pocos años, se están degradando.

nerar grandes emisiones de gases de efecto invernadero. “Debido a la gran superficie que ocupan estos suelos, si se produjera un deshielo muy acelerado del permafrost, las emisiones podrían dispararse contribuyendo de forma brusca al calentamiento global y, por consiguiente, al cambio climático”, afirma Margalef. “Hay más carbono en las turberas que en toda la vegetación del planeta”, añade. Junto con Oriol Grau, Margalef estudia tanto el permafrost continuo como el discontinuo, el cual aparece de forma fragmentada en el territorio y es más sensible a la subida de las temperaturas. Tras observar el permafrost continuo de Suecia, han continuado en Alaska, donde es de tipo discontinuo. “Cuanto más datos tengamos de distintos contextos geográficos mejor sabremos qué tipo de procesos se desencadenan con los nutrientes y con las emisiones, que en el escenario climático actual deben ser motivo de observación”, subraya Margalef. El último informe del IPCC advierte de **un deshielo generalizado del permafrost a lo largo del siglo XXI**. Aunque el calentamiento global se mantenga por debajo de los 2 °C, un 25% del permafrost situado a pocos metros bajo la superficie se deshelará de aquí a 2100. Sino, podría perderse hasta un 70%.

INSÓLITAS RUTAS MARÍTIMAS

Existe un fuerte consenso sobre el hecho de que el hielo marino podría desaparecer por completo durante los meses de verano en esa región, lo que **potenciará dos rutas marítimas: el paso del noroeste por Norteamérica y la ruta marítima del norte por Rusia**. Y esto podría empeorar las cosas: la existencia de reservas de petróleo y gas en unas aguas más accesibles ya ha llamado la atención de Rusia, pues esta región podría garantizarle reservas para todo el siglo. Pero, a diferencia de la Antártida, el Ártico no está protegido por un tratado internacional que frene las reclamaciones territoriales. ¿Cómo se gestionará el futuro de una región tan gravemente afectada por el calentamiento global? Quizá de ello dependa el futuro geopolítico de todos nosotros. ▢