

GRAN ANGULAR

Glaciares en peligro de extinción

▼ Glaciar Perito Moreno,
en la Patagonia argentina

Los glaciares se derriten a un ritmo alarmante. Esto no es una buena noticia para el planeta. El volumen de agua procedente de los glaciares está alterando el ciclo hídrico y elevando el nivel del mar, lo que constituye una amenaza para las regiones costeras. El Año Internacional de la Conservación de los Glaciares, proclamado por las Naciones Unidas para 2025, representa una oportunidad para analizar las consecuencias de este fenómeno, que sólo podrá detenerse de manera eficaz con una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero.

De los cerca de 1.400 glaciares suizos que existen hoy, ¿cuántos sobrevivirán en el futuro? La pregunta, que podía parecer descabellada hace sólo unas décadas, ya no lo es. Un estudio de la Academia Suiza de Ciencias Naturales publicado en septiembre de 2023 se muestra pesimista al respecto. Lo que alarma a los científicos no solo es el deshielo, sino también la “drástica aceleración” del fenómeno. Las cifras son vertiginosas. Según los expertos, los glaciares suizos se han derretido más en los dos últimos años que entre 1960 y 1990, y las altas temperaturas y escasas nevadas han reducido su volumen un 10% entre 2022 y 2023.

Suiza no es un caso aislado. Desde hace varios decenios, la criosfera -el conjunto de masas de hielo, nieve y suelo helado, tanto permafrost (suelo permanentemente congelado), como hielo marino, glaciares terrestres, casquetes polares (Groenlandia y la Antártida), nieve estacional o hielo lacustre y fluvial- está amenazada.

Los glaciares terrestres, enormes masas de hielo que se desplazan lentamente y cubren alrededor del 10% de la superficie del planeta, están retrocediendo en todo el mundo. En los Andes tropicales, entre el 78% y el 97% de su volumen podría desaparecer de aquí a 2100, según datos de la UNESCO. La Corona, el último glaciar de Venezuela, ya no es más que un recuerdo. En Asia Central, los glaciares de Tian-Shan y Pamir, las dos principales cadenas montañosas de la región, han perdido hasta el 30% de su volumen en los últimos

60 años, según un estudio del Banco Euroasiático de Desarrollo. En cuanto a los últimos glaciares de África, particularmente el del Kilimanjaro, se calcula que habrán desaparecido de aquí a 2050.

Estado de urgencia

El deshielo acelerado de los glaciares es un ejemplo dramático de las repercusiones del cambio climático. Demuestra la necesidad de intensificar la acción climática lo antes posible para preservar los medios de subsistencia de las poblaciones y los ecosistemas, y atraer la atención del gran público y de los responsables de la toma de decisiones acerca de este hecho. Este es el cometido fundamental del Año Internacional de la Conservación de los Glaciares, proclamado por las Naciones Unidas para 2025 y coordinado por la UNESCO y la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Esta iniciativa será la ocasión de recordar que la acción más efectiva para frenar el deshielo de los glaciares es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de forma que se pueda limitar el incremento de la temperatura del planeta a 1,5 tal y como proclaman los compromisos contraídos en 2015 por los Estados signatarios del Acuerdo de París.

Para integrar mejor el complejo fenómeno del deshielo e intentar limitar sus efectos, primero hay que entenderlo. La observación sobre el terreno, combinada con técnicas como la captación de imágenes por satélite o la fotografía aérea, ha permitido acopiar gran cantidad de datos

en todo el mundo, pero el monitoreo de los glaciares sigue siendo complicado, entre otras cosas porque están en zonas de difícil acceso. Aunque los científicos llevan casi 130 años estudiándolos, aún queda mucho por descubrir sobre estos colosos de hielo y de las consecuencias que el aumento de las temperaturas puede tener en su evolución y en las comunidades y ecosistemas que dependen de ellos.

“

En los Andes tropicales, entre el 78% y el 97% del volumen glaciar podría desaparecer de aquí a 2100, según datos de la UNESCO

La amenaza a la biodiversidad de las cumbres es la primera consecuencia directa, inmediata y bien documentada. Muchas especies vegetales – musgos, líquenes, etc. – y animales – incluido el emblemático oso polar – ya están padeciendo los cambios de su entorno. Pero los efectos no se limitan solo a los ecosistemas glaciares propiamente dichos.



Consecuencias en cadena

La nieve, el permafrost y los glaciares desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento del sistema climático y del ciclo hidrológico. Alrededor del 70% del agua dulce del planeta se halla en forma de nieve o hielo, por lo que los glaciares son esenciales para el abastecimiento de agua de millones de personas.

El agua resultante del deshielo también aumenta el riesgo de inundaciones por desbordamiento de los lagos glaciares. Según la UNESCO, cerca de un millar de lagos glaciares de Asia Central se consideran una amenaza para la población mientras, por el contrario, algunas regiones situadas río abajo que son alimentadas por el agua de los glaciares se encuentran en situación de penuria.

La afluencia de agua procedente de los glaciares también está contribuyendo a que suba el nivel del mar, lo que agrava

la erosión costera, amenaza con sumergir muchas islas y destruye medios de subsistencia de las comunidades del litoral. Desde 2006, más de la mitad del ascenso

del nivel del mar fue provocado por el deshielo de los glaciares y las capas de hielo de la Antártida y Groenlandia. Esta abundancia de agua dulce debilita también a la Circulación Meridional de Oscilación del Atlántico, el principal sistema de corrientes de ese océano, lo cual podría tener graves repercusiones en el clima mundial y local en el siglo XXI.



▼ Costa oeste de Groenlandia, uno de los principales incubadores de icebergs del mundo. Imagen capturada por el satélite Terra de la NASA.

© NASA / GSFC / METI / ERSDAC / JAROS y U.S. / Japan ASTER Science Team

Un Año Internacional para sensibilizar sobre el deshielo de los glaciares

Las Naciones Unidas han designado 2025 Año Internacional de la Conservación de los Glaciares. La UNESCO y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) son los principales socios de este esfuerzo mundial de sensibilización sobre el papel esencial que desempeñan los glaciares, la nieve y el hielo en el sistema climático y el ciclo hidrológico. A partir de ahora, el 21 de marzo será reconocido como Día Mundial de los Glaciares.

Es muy importante lo que está en juego: los glaciares aseguran el sustento y la economía de millones de personas en todo el mundo y desempeñan un papel esencial en la sostenibilidad del medio ambiente. Sin embargo, están retrocediendo a un ritmo acelerado. El Año Internacional de la Conservación de los Glaciares es una oportunidad para atraer la atención del gran público y de las autoridades acerca de este importante fenómeno y sus consecuencias, así como de las estrategias de mitigación y adaptación.

En el marco del Año Internacional de la Conservación de los Glaciares 2025, está previsto que el 21 de marzo se celebre en París un evento de alto nivel con motivo del Día Mundial de los Glaciares y el Día Mundial del Agua destinado a hacer hincapié en la creciente amenaza del deshielo y en sus graves consecuencias. Este acontecimiento marcará también el lanzamiento del Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2025, cuyo tema es "Altas montañas y glaciares".



La acción más efectiva para frenar el deshielo de los glaciares es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero

Otra consecuencia del deshielo es que podría contribuir a la liberación de elementos patógenos previamente atrapados en el hielo, lo que tendría efectos inciertos para la diversidad biológica y la salud humana. Muchas especies de virus, bacterias y pequeños organismos han conseguido detener sus constantes vitales durante largos periodos para resistir en entornos extremos. Algunas especies han sido capaces de revivir tras haber permanecido periodos muy largos, hasta de 750.000 años, en glaciares o en el permafrost. Tal es el caso de ciertos virus, y particularmente de una especie de gusano

descubierto recientemente que pasó 36.000 años congelado en el permafrost siberiano.

Las lágrimas de Hinehukaterere

Los glaciares, ecosistemas cruciales para el equilibrio del planeta, contienen además una dimensión cultural y espiritual para muchos pueblos indígenas y comunidades locales. En Nueva Zelanda, el glaciar Franz-Josef es conocido como *Ka Roimata o Hinehukaterere*, [Las lágrimas de Hinehukaterere], nombre de una semidiosa maorí que vivió abrumada por el dolor tras la muerte de su gran amor en una avalancha. Se dice que sus lágrimas dieron origen a este glaciar.

Cambio climático en la escuela: podemos hacerlo mejor

Impartir enseñanza sobre el cambio climático en las escuelas es todavía algo poco habitual. Según un estudio de la UNESCO realizado en 2021 sobre los programas escolares de un centenar de países, sólo en la mitad de éstos (47%) se aborda el cambio climático. Solamente el 40% de los docentes se sienten cómodos debatiendo en sus clases sobre temas relativos a las medidas en favor del clima. En cuanto a los jóvenes, el 70% admite que es incapaz de explicar el cambio climático.

Para hacer frente a este desafío, la UNESCO ha puesto en marcha la Alianza para una educación verde, que reúne a más de 80 Estados Miembros y a unas 1.300 organizaciones, entre las que figuran órganos de las Naciones Unidas, entidades de la sociedad civil, organizaciones juveniles y el sector privado. El objetivo es proporcionar a los países las herramientas adecuadas para reforzar el papel que debe desempeñar la educación en la lucha contra el cambio climático.



© Xavier TESTELIN / Divergence

En Perú, la peregrinación al santuario del Señor de Qoyllurit'i, inscrita en la Lista Representativa del Patrimonio Cultural Inmaterial de la UNESCO en 2011, atrae cada año a unas 90.000 personas de los alrededores de Cusco. El punto culminante del evento es una caminata nocturna hasta la cima del glaciar, que se eleva a 5.200 metros de altitud. Los *ukukus* [líderes espirituales], solían cortar bloques del glaciar y compartirlos con los peregrinos, ya que se suponía que el agua derretida tenía poderes curativos. Sin embargo, este ritual ya no se practica debido al rápido retroceso del gigante de hielo.

El "turismo de última oportunidad", una práctica de moda consistente en visitar lugares condenados a desaparecer, no parece invertir esta tendencia. Más bien al contrario: la afluencia de visitantes debilita aún más unos ecosistemas que ya están en peligro.

Es particularmente la toma de conciencia de lo que está en juego y la necesidad urgente de actuar lo que nos permitirá tomar medidas para, al menos, mitigar los efectos del deshielo. En este combate, la educación tiene un papel clave que desempeñar para concienciar a las generaciones futuras. Ahora bien, todavía falta mucho por hacer en este ámbito. Según un estudio de la UNESCO elaborado en 2021, en un centenar de países, casi la mitad de los programas escolares (47%) no hacen referencia al cambio climático. El Año Internacional de la Conservación de los Glaciares podría ser la ocasión de iniciar un cambio. Es el momento. ■

▼ Señales con la fecha marcan el retroceso del glaciar Athabasca, en el Parque Nacional Jasper de Canadá. Foto tomada en 2019.

Douglas Hardy: “El Kilimanjaro es fascinante tanto estética como científicamente”

En contra de lo que vaticinaron muchos especialistas durante el siglo XX, los glaciares del Kilimanjaro, en Tanzania, siguen existiendo. Sin embargo, desde que fueron cartografiados por primera vez en 1912, han perdido el 91% de su superficie. Para Douglas Hardy, especialista en glaciares y clima de la Universidad de Massachusetts Amherst, en Estados Unidos,, su desaparición es inevitable.

▼ *Campo de hielo del Norte, la mayor masa glaciar del Kilimanjaro.*



▼ Imagen del glaciar Rebmann, cerca de la cumbre del Kilimanjaro, en 2011. En primer plano, vegetación característica de las montañas de África del Este.



© Douglas Hardy

Tras más de veinte expediciones al Kilimanjaro, usted considera su cumbre prácticamente su “segunda casa”. ¿Qué le llevó a estudiar sus glaciares?

¡Fue por pura casualidad! Estaba investigando los glaciares tropicales con Lonnie Thompson, de la Universidad Estatal de Ohio, y en 1999 obtuvo autorización y financiación para perforar núcleos de hielo en la cima del Kilimanjaro, así que me invitaron a instalar los instrumentos meteorológicos necesarios para estudiar las muestras. Normalmente, este tipo de proyectos sólo duran tres o cuatro años. Pero en los últimos 24 años he pasado 82 noches en el cráter, mucho más de lo que hubiera imaginado.

El Kilimanjaro es un lugar absolutamente increíble, tanto desde el punto de vista estético como científico. Cuando llegas a la cima, te impresiona el contraste entre las deslumbrantes paredes verticales blancas y los neveros de hielo que descansan sobre la arena volcánica casi negra. Nunca he visto un paisaje igual.

Desde un punto de vista científico, estos glaciares son fascinantes porque están situados en África, en un entorno desértico donde a veces no hay nieve, a una altitud situada a medio camino de la atmósfera terrestre. A lo largo de todo el siglo XX, los científicos no han dejado de vaticinar su desaparición, y todos se han equivocado.

¿Cómo se prepara uno para una expedición de investigación a gran altitud?

El Kilimanjaro se eleva 5.000 metros sobre el paisaje que lo rodea. Como es relativamente fácil de escalar, la paciencia es esencial. Mientras se suba despacio, por lo general uno puede adaptarse a la altitud y al considerable cambio en la concentración de oxígeno. Por eso, aunque técnicamente el ascenso puede completarse en unas seis horas, normalmente acampamos cinco noches antes de llegar a la cumbre.

También hay que tener en cuenta que no se trata de una subida sencilla: una vez que se llega a la cima, hay que montar el campamento y poner manos a la obra. No se parece en nada a una ascensión ordinaria de la que se desciende inmediatamente.

Durante la subida, se atraviesa un impresionante número de transiciones rápidas. La ruta comienza en las llanuras, con sus innumerables pueblos y pequeñas granjas. Luego se atraviesa la selva tropical. A continuación, el entorno empieza a volverse más seco y, al llegar a la cima, ya es casi un desierto polar donde prácticamente no hay vegetación. Sin embargo, aún se puede ver mucha vida, con un número de aves e insectos que se va incrementando.

¿Ha visto cambiar los glaciares desde que comenzó su investigación en 2000?

Sí. El cambio más evidente concierne a la extensión y el grosor del hielo. Desde que los glaciares del Kilimanjaro fueron cartografiados por primera vez en 1912, han perdido el 91% de su superficie. También se han producido cambios más sutiles. Por ejemplo, en mi primera visita,

el hielo tenía rasgos afilados, con agujas y láminas estrechas y ahora, aunque algunas de estas texturas permanecen, el hielo ha cambiado. El aumento de la humedad provocado por el cambio climático tiende a hacerlo más redondeado.

¿Por qué son tan frágiles los glaciares del Kilimanjaro?

La elevación de la cumbre se está calentando. Sin embargo, con nuestros colegas austriacos y alemanes, hemos demostrado que el aumento de la temperatura no es la razón principal de este retroceso. Los glaciares del Kilimanjaro carecen de una zona de acumulación y, en ausencia de precipitaciones, están condenados a desaparecer.

A mayor escala, el océano almacena una enorme cantidad de calor que aumenta la temperatura de la atmósfera global. El clima del Kilimanjaro está estrechamente vinculado a las temperaturas de la superficie del Océano Índico y de otros lugares. La fuerte correlación entre la temperatura promedio anual en la cumbre y la de la superficie del mar subraya la importancia del sistema climático mundial en todo su conjunto.



¿Cuándo empezaron a manifestarse los primeros signos de fragilidad de estos glaciares?

Los científicos llevan mucho tiempo observando su retroceso. El geógrafo alemán Hans Meyer, que fue el primero en llegar a la cumbre en 1889, observó una gran pérdida de hielo cuando volvió en 1898. Predijo que tardaría entre 20 y 30 años en desaparecer. Pero esta predicción fue prematura. Un artículo publicado en la revista científica *Science* en 2002 sugería que, si las condiciones climáticas no cambiaban, el Kilimanjaro perdería probablemente todo su hielo entre 2015 y 2020.

Sin embargo, aunque los glaciares se han reducido considerablemente y el

campo del hielo del Norte, el mayor de ellos, está ahora más fracturado, el hielo sigue ahí. La persistencia de los glaciares forma parte del mito del Kilimanjaro, aunque su desaparición final sea inevitable.

¿Qué vínculos guardan estos glaciares con las poblaciones locales?

Los glaciares, al igual que las personas que viven y cultivan la tierra en los niveles inferiores de la montaña, son víctimas del mismo problema, a saber, la reducción de las precipitaciones regionales. Esto tiene consecuencias para los seres humanos y los ecosistemas porque crea condiciones más secas y un mayor riesgo de incendios.

El Kilimanjaro es el punto más alto de África, lo que le confiere un significado simbólico. En 1962, Julius Nyerere, primer jefe de gobierno del Tanganica independiente, envió una antorcha a la cima para difundir la luz y la esperanza por toda África. Este sentimiento sigue siendo compartido hoy en día por habitantes y visitantes.

Por eso, este monte atrae a un elevado número de escaladores. A menudo se trata de personas que desconocen

las montañas, pero que ven en la escalada uno de los objetivos de su vida. Esta actividad crea puestos de trabajo para la población local y fomenta el intercambio cultural.

Pero para preservar el entorno único del Kilimanjaro, el parque nacional vigila de cerca las escaladas. Para subir a la montaña, hay que ir acompañado de personal local: un guía y su ayudante, un cocinero y porteadores. Este apoyo es esencial para la investigación científica en la cumbre.

¿Qué podemos aprender de las muestras de hielo tomadas en 2000?

El proyecto supuso un verdadero desafío, ya que nos obligó a trasladar toneladas de equipamiento hasta una altitud de 5.000 metros, trabajar durante un mes a casi 6.000 metros y luego transportar pesadas muestras de hielo por un terreno difícil bajo el calor tropical. En 2002 publicamos un artículo en el que sugeríamos que los glaciares tenían casi 12.000 años, aunque, para ser sinceros, sabíamos que las investigaciones posteriores probablemente modificarían esta hipótesis. Es el curso normal de la ciencia, pero este artículo

“
Los glaciares del Kilimanjaro retroceden por falta de lluvia

▼ Douglas Hardy instala una varilla para medir la evolución del espesor del hielo.



© Douglas Hardy



▼ Fragmento del Furtwängler, último glaciar situado en el interior del cráter volcánico



▼ Láminas de hielo esculpidas por sublimación – transición del estado sólido al gaseoso – en el glaciar Decken, cerca del pico Uhuru.

sigue siendo la única publicación sobre la historia de los glaciares actuales del Kilimanjaro.

La *Ice Memory Foundation*, una iniciativa internacional para recuperar y conservar muestras de hielo de los principales glaciares del mundo en peligro de extinción, tenía previsto realizar una nueva campaña de perforación en 2019. Pero este esfuerzo se interrumpió por dificultades burocráticas que dejaron el proyecto inconcluso, y ahora, a causa del retroceso del hielo, es prácticamente imposible tomar nuevas muestras de la cumbre.

¿Hay alguna esperanza de preservar los glaciares del Kilimanjaro?

En 2003, la idea del científico zimbabuense Euan Nisbet suscitó cierta esperanza. Nisbet sugirió cubrir los glaciares con tres kilómetros cuadrados de lonas y retirarlas durante la temporada de lluvias. Pero la experiencia en los Alpes, donde las estaciones de esquí situadas sobre glaciares llevan décadas utilizando esta técnica, demuestra que la idea no es viable a gran escala.

Los glaciares del Kilimanjaro desaparecerán. Como lo harán, con el tiempo, los glaciares de los Alpes, los Andes e incluso del Himalaya, lo que tendrá enormes consecuencias para los recursos hídricos y las inundaciones. En última instancia, el Kilimanjaro se convertirá en un nuevo icono, un símbolo de los efectos del cambio climático global. Por el momento, creo que el mensaje más importante que nos transmiten los glaciares es que la humanidad debe reducir drásticamente su consumo de combustibles fósiles. No hay otro camino. ■

Los glaciares del Patrimonio Mundial amenazados

Aproximadamente 18.600 glaciares del mundo, con una superficie de unos 66.000 km², están incluidos en sitios naturales del Patrimonio Mundial, es decir, casi el 10% de los glaciares de la Tierra. Al igual que en todas partes, esos glaciares retroceden a un ritmo acelerado y pierden, de media, unas 58.000 millones de toneladas de hielo anuales, lo que contribuye a casi el 5% del incremento del nivel del mar.

Estas conclusiones se exponen en *World heritage glaciers: sentinels of climate change* [Los glaciares del Patrimonio Mundial: centinelas del cambio climático], un informe de la UNESCO y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) publicado en 2022. Según las proyecciones de los expertos,

si se mantiene el escenario actual de emisiones, los glaciares de casi la mitad de los sitios de la Lista del Patrimonio Mundial podrían desaparecer prácticamente de aquí a 2100.

Sin embargo, si las emisiones se reducen drásticamente para limitar el calentamiento global a 1,5°C (con relación a los niveles preindustriales), los glaciares de dos tercios de los sitios del Patrimonio Mundial podrían salvarse. La mejora de los mecanismos de vigilancia, la puesta en marcha de medidas de alerta rápida y la implantación de políticas específicas podrían contribuir a frenar este fenómeno.

Glaciares bajo vigilancia

Dado que la toma de muestras en el hielo se ha convertido en una práctica cada vez más cara y peligrosa, los científicos están empezando a emplear satélites, robots submarinos, perforadoras de agua caliente y drones para monitorear la criosfera.

Los científicos que utilizan los satélites para estudiar la Antártida y el ascenso global del nivel del mar se sorprendieron recientemente al descubrir que la superficie del vasto y remoto glaciar Thwaites, de mil metros de espesor, subía y bajaba dos veces al día, como un reloj.

En 2024 llegaron a la conclusión de que el flujo y reflujo de las mareas elevaba decenas de centímetros el glaciar, que descansa en el lecho marino del mar de Amundsen, frente a la Antártida Occidental. Estas mareas estaban empujando agua de mar salada, más caliente, muy por debajo del vientre del glaciar provocando un “deshielo acelerado”.

Estas conclusiones se añaden a otras evidencias que muestran que el cambio climático podría estar debilitando el glaciar Thwaites y acelerando el ascenso del nivel del mar. Thwaites, que cubre una superficie equivalente al Estado de la Florida o el Reino

Unido de Gran Bretaña, es conocido también como *Doomsday Glacier* [Glaciar del Juicio Final], por su vulnerabilidad al deshielo. Otros glaciares que desembocan en los océanos, desde Groenlandia hasta la Antártida, también podrían verse amenazados por esas infiltraciones de agua marina.

Talón de Aquiles

“Es asombroso pensar que una ligera variación en la presión del agua de mar pueda levantar un glaciar entero de un kilómetro de espesor”, afirma Eric Rignot, profesor de Ciencias de la Tierra en la Universidad de California en Irvine y autor principal del estudio sobre el glaciar Thwaites. Este experto, que también trabaja para el Laboratorio de Propulsión a Reacción de la Agencia Espacial Estadounidense (NASA), ha calificado la zona donde el glaciar descansa en el fondo marino de “talón de Aquiles de los glaciares” en un mundo que no cesa de calentarse.

Aunque los glaciares son hoy en día objeto de especial atención como consecuencia del cambio climático, llevan mucho tiempo despertando el interés de los científicos. En 1894 se creó, por ejemplo, la Comisión Internacional de Glaciares para vigilarlos y comprender la formación de las eras glaciares. Incluso hoy en día, los científicos siguen visitando el hielo para medir las temperaturas de la superficie o para insertar largas varas metálicas y volver algunos meses más tarde, para ver si el hielo ha disminuido o ha espesado.

Pero los peligros que entraña la exploración de glaciares con grietas profundas están llevando a los investigadores a recurrir con mayor frecuencia a la tecnología. Ahora se utilizan cada vez más satélites, submarinos robóticos, perforadoras de agua caliente, extracción de núcleos de hielo y fotografías aéreas tomadas con drones y aviones.

Se trata de técnicas eficaces, pero también tienen un coste. Estados Unidos y Reino Unido han invertido 50 millones de dólares en el periodo 2018-2025 para estudiar el glaciar Thwaites, cuyo colapso total elevaría el nivel del mar 65 centímetros.

▼ Esta imagen captada por la nave Terra de la NASA muestra una enorme grieta a través del glaciar Pine Island, una de las mayores corrientes de hielo de la Antártida.



© NASA / GSFC / METI / ERSDAC / JAROS, and U.S. / Japan ASTER Science Team



© NASA / JPL-Caltech

La lejanía de la Antártida y sus gélidas temperaturas dificultan, además, considerablemente estos proyectos de investigación.

Para examinar este gigante de hielo se despliegan impresionantes dispositivos tecnológicos. Los científicos han acampado en el glaciar y han trabajado desde barcos, desplegando submarinos robóticos, sonares, radares e incluso equipando a focas con sensores de alta tecnología. También han llegado a emplear un taladro de agua caliente para abrir un agujero de 600 metros en el hielo por donde descendieron un robot con forma de torpedo, llamado *Icefin*, destinado a estudiar el agua del mar bajo la plataforma de hielo, la lengua de hielo que flota en la punta del glaciar.

Lucha contra el tiempo

En Noruega se utilizan drones y escáneres de láser para monitorear a los glaciares pequeños. “En el norte del país, los glaciares retrocedieron a un ritmo récord este año. Resulta impresionante ver valores tan negativos en las cifras”, explica Liss Marie Andreassen, profesora e investigadora de la dirección noruega de Recursos Hídricos y Energía.

“
**El robot
Icefin ha sido
introducido
bajo el glaciar
Thwaites para
estudiar el agua
que derrite
el hielo**

Los científicos trabajan contra reloj. El calentamiento global ya ha provocado la desaparición de miles de glaciares en el mundo entero. El programa Copernicus, que estudia el cambio climático, proporciona datos sobre el clima pasado, presente y futuro

a escala europea, e indica que, en 2023, el año más cálido registrado, los glaciares en su conjunto perdieron 600.000 millones de toneladas de agua, lo que equivale a una subida del nivel del mar de unos 1,7 mm. En algunas partes del mundo, el monitoreo de los glaciares está dejando de practicarse por falta de glaciares que monitorear.

En Eslovenia, una cámara que vigila el hielo bajo la cumbre del Triglav, el pico más alto del país con 2.864 metros, muestra apenas los restos. En la actualidad, las temperaturas superan a veces los cero grados durante seis meses al año, frente a sólo cuatro meses en la década de 1950.

“Todo lo que podemos ver ahora son dos pequeños bancos de hielo, los restos del antiguo glaciar propiamente dicho...

no tienen grietas y ya no se mueven realmente”, lamenta Miha Pavšek, del Instituto Geográfico Anton Melik de Eslovenia. ■

*Doctor en Ciencias,
profesor y vicepresidente
del Instituto Noroccidental
de Eco-medioambiente
y Recursos de la Universidad
de la Academia
China de Ciencias,
en Beijing (China).*

La tecnología al servicio de los glaciares en China

En la carrera contra el deshielo de los glaciares, China recurre a soluciones innovadoras para desacelerar el proceso tales como la utilización de nanomateriales o la producción de nieve artificial.



© Laboratorio principal de ciencias de la criosfera y de la ingeniería del permafrost

▼ Sección del glaciar Ürümqi n° 1 recubierto por un textil de protección en 2022.

Al igual que en todo el mundo, a medida que el deshielo de los glaciares se acelera, proteger la criosfera, y los glaciares en particular, se convierte en una prioridad en China. Utilizar mantas térmicas o producir nieve artificial son algunos de los innovadores experimentos llevados a cabo para combatir el deshielo. Estos esfuerzos forman parte de iniciativas mundiales de las Naciones Unidas como el Año Internacional de la Preservación de los Glaciares (2025) y el Decenio de

Acción para las Ciencias Criosféricas (2025-2034).

El uso de estas tecnologías para preservar la capa de hielo no es algo nuevo. A principios del siglo XXI, un número creciente de países como Alemania, Austria, Francia, Italia o Suiza, empezaron a proteger sus glaciares cubriéndolos con geotextiles, unas mantas especialmente diseñadas para aumentar el albedo de la superficie -la reflexión de la luz- y reducir la absorción de radiación solar con el objetivo de ralentizar el deshielo de los glaciares.

Este método también se ha utilizado en China. El Laboratorio Principal de Ciencias Criosféricas de Lanzhou, en el noreste del país, ha realizado una serie de experimentos en el glaciar Dagu, situado en las montañas Hengduan, al suroeste, y en el glaciar Ürümqi No.1, en las montañas Tianshan orientales, al noroeste. Los resultados son alentadores. En el glaciar Dagu, a 4.830 metros de altitud, se cubrió un área experimental de 500 m² con geotextiles especialmente diseñados al efecto, y estas "mantas glaciares" no sólo

proporcionaron un excelente aislamiento térmico, sino que también suprimieron la absorción de radiaciones de onda corta, aumentando así el albedo de la superficie del glaciar. Como resultado, la tasa de deshielo se redujo en torno a un 34% entre agosto de 2020 y octubre de 2021.

Nanomateriales

Además se probaron otros revestimientos elaborados con nanomateriales más avanzados, para cubrir parte de la superficie del glaciar Üürmqi No.1, situado a una altitud de entre 3.740 y 3.990 metros. Gracias a esta técnica, el glaciar queda “recubierto” con una capa de “protección de alta tecnología”, que ralentiza considerablemente el deshielo, sobre todo durante la estación cálida. Estas nanofibras, con sus notables propiedades ópticas y eléctricas, han contribuido a reducir el ritmo de deshielo en un 70% durante el verano.



**En el glaciar
Üürmqi No.1,
las nanofibras
han contribuido
a reducir el ritmo
del deshielo
un 70% durante
el verano**

Pero se necesitan estudios más exhaustivos para determinar si esta tecnología puede aplicarse más ampliamente y de forma más respetuosa con el medioambiente. Hasta ahora, esta técnica de recubrimiento sólo se ha aplicado a pequeños glaciares turísticos amenazados de extinción. Aunque el método ha demostrado su eficacia para frenar el retroceso de los hielos, su aplicación entraña riesgos

medioambientales, costes elevados y sólo puede aplicarse en superficies pequeñas. Ante el retroceso rápido y a gran escala de los glaciares, el uso de nanomateriales por sí solo no resulta suficiente.

Nieve y algoritmos

La nieve artificial constituye otra forma de contribuir a la conservación de los glaciares a corto plazo y a escala regional. En términos sencillos, este método consiste en intensificar las precipitaciones en zonas montañosas para aumentar la masa del glaciar. Al mismo tiempo, dichas precipitaciones contribuyen a limpiar su superficie, lo que mejora el albedo, reduce la absorción de radiación solar y, por tanto, frena el deshielo del glaciar.

A mediados de agosto de 2018, una nevada artificial de una semana de duración realizada mediante un generador de humo en el glaciar Muz Taw, en las montañas Sawir, al noroeste de China, dio lugar a precipitaciones que representaron entre el 42% y el 54% del total del agua de deshielo del glaciar durante ese periodo. De abril a mayo de 2023, el Laboratorio Central de Ciencias Criosféricas llevó a cabo una operación a tres bandas (generadores de humo, lanzamientos de cohetes y operaciones aéreas) para producir nieve artificial en la cuenca del glaciar Bailanghe, en las montañas Qilian. Poco después, pudo observarse el fascinante espectáculo de los copos de nieve cayendo en abundancia sobre el paisaje glaciar.

Una vez finalizada la operación, se desarrolló un algoritmo que mejoraba los métodos de evaluación tradicionales, al separar el análisis regional de los riesgos meteorológicos. Los resultados mostraron que la fabricación de nieve incrementó la masa del glaciar en un 5,9% y contribuyó a reducir su deshielo, ya que el albedo de la superficie aumentó durante los dos días siguientes.

Reducción de gases de efecto invernadero

La rápida contracción de los glaciares se debe principalmente al calentamiento global causado por las emisiones de gases de efecto invernadero vinculadas a la actividad humana desde la revolución industrial. Por tanto, para detener eficazmente el proceso, es necesario reducir las emisiones de estos gases en el mundo entero. El polvo y el hollín emitidos por las actividades humanas deben disminuir a escala

regional, ya que estas partículas absorben la luz y contribuyen a derretir el hielo y la nieve al reducir el albedo.

Existen otras medidas que pueden contribuir a reducir rápidamente el ritmo de deshielo de los glaciares. Las operaciones de siembra de nubes desde el suelo, que mejoran la capacidad de éstas para generar lluvia o nieve, se podrían intensificar en las cuencas glaciares y, a partir de un estudio profundo de los patrones de precipitaciones alpinas, se podrían implantar programas más sistemáticos de siembra de nieve artificial en algunas zonas glaciares. Mediante la integración de modelos de deshielo, es posible además desarrollar un sistema completo para evaluar la siembra de nieve artificial, el deshielo de los glaciares y los cambios en los cauces de ríos y arroyos.



**Cubrir los
glaciares
implica riesgos
medioambientales
y costes elevados**

Asimismo, podría utilizarse la electricidad “verde” a mayor escala para fabricar nieve artificial a partir del agua de los glaciares fundidos para reconstituir la masa glaciar. La electricidad verde también permite accionar las bombas de agua que sirven para limpiar la superficie de los glaciares eliminando las partículas que absorben la luz. Estas técnicas tienen la ventaja de abastecer y tratar las superficies de forma ecológica, eficaz y barata. Al mismo tiempo, los drones pueden contribuir al suministro de nieve y a la restauración de los glaciares, y también es esencial supervisar las distintas soluciones para mitigar el deshielo.

Habida cuenta de la complejidad del terreno y la imprevisibilidad de la nubosidad y las precipitaciones en las regiones de alta montaña, es necesario combinar métodos de observación desde la Tierra, como los drones y las imágenes en 3D, con otras tecnologías de vigilancia. De este modo, los datos más precisos recogidos permitirán mejorar las medidas de protección de los glaciares. ■

Asia Central en primera línea

En Kirguistán, al igual que en el resto de la región, el deshielo de los glaciares tiene consecuencias evidentes en las poblaciones de las montañas, que deben hacer frente a la escasez de agua.

“Las acequias se están secando y en las praderas a las que llevaba a beber a mi ganado, algunos manantiales también se han secado”, lamenta Urmat Omurbekov, agricultor de la aldea de Kotchkor, en el centro de Kirguistán.

En su granja, situada en el corazón de este país agrícola y montañoso, a pesar de la dureza del clima y la falta de agua, Urmat sigue cultivando cinco hectáreas de cereales, sobre todo trigo y cebada. “Antes había que cruzar los ríos a caballo a causa de las fuertes corrientes que generaban los glaciares al derretirse. Ahora se pueden cruzar a pie”, explica este hombre de 59 años.

La mengua de los glaciares en Asia Central ha tenido consecuencias muy directas entre sus habitantes que, desde hace algunos años, deben hacer frente a la falta de agua. Esta región árida, sin salida al mar y a miles de kilómetros de la costa, se encuentra particularmente expuesta a los caprichos del clima.

Con picos que superan los 7.500 metros, Kirguistán y su vecino Tayikistán figuran entre los países más montañosos del mundo, y en cada uno de ellos hay de 10.000 a 15.000 glaciares. Estos glaciares son auténticos acueductos naturales para esta región, ya que proporcionan reservas vitales para la seguridad alimentaria de los cerca de 80 millones de habitan-

tes de Kazajistán, Kirguistán, Uzbekistán, Tayikistán y Turkmenistán. Cuando se derriten en verano abastecen de agua a la población los meses en los que no hay precipitaciones, y en invierno vuelven a regenerarse y acumulan nieve y hielo de nuevo.

“**Auténticos acueductos naturales, los glaciares constituyen reservas hídricas vitales para Asia Central**”

▼ La investigadora Gulbara Omorova recoge muestras en un lago glaciar, en las montañas de Tian-Shan.



© Amir Ismailov

Sin embargo, desde hace algunas décadas, este fenómeno se ha detenido. En el curso de los últimos 70 años, Kirguistán ha perdido el 16% de su masa glaciar, y en Tayikistán han desaparecido más de mil glaciares en las últimas tres décadas. Al derretirse, los glaciares dejan un suelo pedregoso que absorbe más radiación solar, lo que amplifica aún más el proceso.

Deshielo acelerado

Desde la estación científica más alta de Asia Central, enclavada a casi 3.600 metros de altitud en el corazón de la cadena Tian-Shan (Montes Celestes), Gulbara Omorova, investigadora del Instituto de Problemas Hídricos de la Academia de



© Amir Ismailov

▼ La estación científica situada a mayor altitud en Asia Central se encuentra a unos 3.600 metros sobre el nivel del mar, en el corazón de la cordillera de Tian-Shan, en Kirguistán.

Ciencias de Kirguistán, trabaja en primera línea para observar el retroceso de los glaciares. “Lo que podemos ver es que se han deteriorado considerablemente bajo los efectos del cambio climático y el aumento de las temperaturas”, explica. Ya no tienen la masa necesaria, no se regeneran y se derriten con más rapidez.

A pesar de la insuficiencia de los medios disponibles, el trabajo de Gulbara Omorova es crucial para cuantificar este fenómeno, todavía poco documentado. “Para medir el deshielo, instalamos estacas en los glaciares. El glaciar Adygene, por ejemplo, ha perdido un promedio de 16 metros al año desde la década de 1960, es decir, más de 900 metros”, añade la investigadora, que advierte que el fenómeno “se ha intensificado a lo largo del último año”.

La UNESCO vigila los glaciares de Asia Central

La reducción de la criosfera es particularmente alarmante en Asia Central, ya que los principales sistemas fluviales de la región dependen del deshielo estacional de la nieve y el hielo. El deshielo de los glaciares provoca la formación de lagos glaciares que representan una amenaza para las poblaciones de montaña. En este contexto, la UNESCO está llevando a cabo varios proyectos en la región destinados a realizar un seguimiento de la evolución de este fenómeno y proponer estrategias de adaptación para las comunidades vulnerables.

En el marco de un proyecto titulado “Reducción de la vulnerabilidad de la población de la región de Asia Central a las inundaciones producidas por el desbordamiento de lagos glaciares en el contexto del cambio climático”, la Organización está implantando sistemas de alerta temprana para prevenir a la población de cualquier amenaza inminente. Otro proyecto permite a Kazajistán, Kirguistán, Tayikistán, Turkmenistán y Uzbekistán compartir sus experiencias en materia de vigilancia de la criosfera, en particular las informaciones relativas al impacto del deshielo de los glaciares sobre la disponibilidad de agua. Dichos conocimientos permitirán diseñar estrategias nacionales y regionales de adaptación al cambio climático. La ejecución de este proyecto se lleva a cabo en el marco del Programa Hidrológico Intergubernamental de la UNESCO, en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial.



Las previsiones son alarmantes: la aceleración del deshielo de los glaciares de Asia Central alcanzará su punto máximo entre 2035 y 2055, según un estudio publicado en 2023 por la prestigiosa revista científica *Science*. Las autoridades kirguisas y tayikas coinciden en que en 2050 podría dejar de existir un tercio de los glaciares de la región y que a finales de siglo se produciría su desaparición total, lo que podría generar tensiones entre los países de Asia Central por el control de los recursos hídricos.

Glaciares artificiales

En este contexto, los habitantes de la región se ven obligados a adaptarse. Urmat Omurbekov es muy consciente de esto. “Debemos tener en cuenta el cambio climático y modificar nuestras prácticas. Kirguistán es un país rural y agrícola, por lo que no podemos sobrevivir sin el ganado y la agricultura”.



Los glaciares de la región ya no se regeneran y se derriten con más rapidez

En los últimos años se han llevado a cabo experimentos para hacer frente a esta problemática que incluyen el uso de glaciares artificiales. “Hemos construido una fuente que se abastece mediante tuberías subterráneas con agua de un manantial situado en la cima de la montaña. En invierno, el agua brota a presión y se congela al contacto con el aire. En primavera, el glaciar se derrite y el ganado puede beber. Y nosotros también”, explica el granjero.

“Este glaciar artificial de dos hectáreas nos proporciona un 20% más de agua y abastece a unas mil personas. No es suficiente, pero cubre parte de nuestras necesidades”. Se trata de un mecanismo aún poco utilizado que tiene la ventaja de ser sencillo y económico. Desde 2020, se han construido una treintena de estos glaciares artificiales en todo el país.

© Amir Ismailov



▼ El glaciar Adygene, situado a una altitud de unos 4.000 metros en la cadena montañosa de Tian-Shan, ha retrocedido más de 900 metros desde los años 60.

Riego por goteo

La penuria de agua también está obligando a la población local a dedicarse a actividades más adaptadas. Es el caso de Taalai Malabaiev, ganadero de Kara-Jygach, un pueblo al pie de la cordillera de Tian-Shan, en el norte de Kirguistán, que ha abandonado la ganadería y el cultivo del trébol para dedicarse a plantar bayas, que necesitan menos agua.

El riego por goteo también se está desarrollando en esta región, donde la escasez de agua se ve agravada por infraestructuras en mal estado. Este sistema “ahorra tiempo, esfuerzo y agua”, indica este hombre de unos cuarenta años de edad.

“El riego tradicional desperdicia mucha agua, mientras que la irrigación por goteo

sólo humedece las raíces de las plantas, lo que es mucho más eficiente”, explica. Esta técnica también ahorra tiempo. “Antes tardaba un día entero en regar una hectárea. Ahora sólo tardo tres horas”.

El único problema del riego por goteo es su coste, ya que exige importantes inversiones a agricultores que normalmente tienen ingresos modestos.

Aunque estas iniciativas son beneficiosas porque contribuyen a paliar la escasez hídrica y a mejorar las condiciones de vida de la población local, no evitan otra consecuencia del deshielo de los glaciares: la ruptura de los lagos de alta montaña, cuya frágil estructura puede quebrarse y sumergir territorios enteros al liberar repentinamente enormes masas de agua.



El pasado al descubierto

Al permitir la afloración de restos que a veces tienen miles de años, el deshielo es un regalo para los arqueólogos. Estas reliquias del pasado proporcionan información sin precedentes sobre la vida de los humanos prehistóricos, pero los investigadores tienen que trabajar contra reloj para extraer estos objetos antes de que desaparezcan.

Ötzi, también conocido como el *Hombre del Hielo* o la *Momia de Similaun*, fue hallado en 1991 en el paso de Tisenjoch, en la cordillera de los Alpes que se extiende entre Italia y Austria. Gracias a la datación por radiocarbono, sabemos que Ötzi y los objetos que se encontraron junto a él tienen 5.300 años. Entre esas piezas figuran su ropa, un arco, un carcaj lleno de flechas, un hacha con una hoja de cobre y una daga de sílex. La excepcional conservación del cuerpo ha proporcionado

abundante información sobre su salud, su dieta y los últimos días de su vida.

Ötzi es una de las numerosas reliquias que los hielos de alta montaña han dejado al descubierto en las últimas décadas. El retroceso de glaciares y bancos de hielo en todo el mundo ha abierto nuevas perspectivas a la arqueología. Cuando las condiciones son favorables, los glaciares actúan como neveras gigantes que conservan los objetos intactos, congelados en el tiempo.

Las regiones montañosas de Norteamérica, Alpes, Escandinavia y

Mongolia son los escenarios que más restos han proporcionado. Fuente inestimable de información histórica, los artefactos descubiertos también arrojan luz sobre cómo los humanos se adaptaron al cambio climático en el pasado.

A medida que el hielo se funde, los objetos descubiertos son cada vez más antiguos. En cierto modo, vamos retrocediendo en el tiempo y cada descubrimiento nos permite comprender un poco mejor la historia de la humanidad. Sin embargo, el tiempo apremia ya que, una vez que los restos quedan expuestos a la intemperie y a los elementos, si no se salvan rápidamente pueden perderse para siempre.



A medida que el hielo retrocede, los restos hallados son cada vez más antiguos

▼ Imagen de una flecha de hace 1.500 años descubierta en el macizo montañoso de Jotunheimen, en el Condado de Innlandet, Noruega.



© Andreas Nilsson, Consejo del Condado de Innlandet

Herramientas, huesos y dardos

El descubrimiento de un paso de montaña olvidado en el banco de hielo de Lendbreen, en el condado de Innlandet, al sureste de Noruega, ha procurado más de mil hallazgos arqueológicos. Este puerto de montaña, utilizado ininterrumpidamente entre los años 200 y 1500 d.C., tuvo un pico de actividad en torno al año 1000 y era el punto de unión de las granjas con sus pastos de verano, lo que facilitaba el comercio a larga distancia con el fiordo Sognefjord. Los hallazgos efectuados en esa zona, muchos de los cuales están expuestos en el Centro Noruego de Montaña de Lom, incluyen vestimentas, herramientas, restos de trineos y osamentas de caballos y de un perro.

El vestigio más antiguo descubierto en el hielo de montaña es un dardo de propulsor de más de 10.000 años de antigüedad, que fue encontrado cerca de un glaciar menguante en las Montañas Rocosas, en Estados Unidos. Otro dardo parecido de una cronología más reciente fue descubierto en el territorio canadiense de Yukón. La datación por radio-

carbono sitúa una de las transiciones de las técnicas de caza, con el paso de los propulsores al arco y las flechas, hace unos 1.200 años.

El par de esquís prehistóricos mejor conservados del mundo fue descubierto en el banco de hielo de Digervarden, en el condado noruego de Innlandet. El primer esquí se descubrió en 2014 y el segundo en 2021. Las fijaciones están intactas, lo que es extremadamente raro, y ha permitido experimentar la práctica del esquí en la Edad de Hierro utilizando réplicas.

Arqueología de altura

La arqueología de los glaciares se desarrolla en un entorno muy diferente al de la arqueología tradicional. Las zonas de estudio, situadas a altitudes de entre 1.800 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, son mayormente pendientes rocosas y escarpadas. La mayoría de los objetos se encuentran cerca de los lugares en que los glaciares han retrocedido, pero, a veces, cuando el deshielo es especialmente severo, también pueden aparecer en la propia superficie del hielo. El trabajo de campo en estas remotas regiones de

gran altura a menudo adopta la forma de una expedición de alpinismo, con un campamento base para una estancia prolongada.

“
El par de esquís prehistóricos mejor conservados del mundo fue descubierto en Noruega

Las mejores condiciones de conservación se dan en el hielo estacionario, sobre todo en las placas, pequeñas masas de hielo que permanecen congeladas en el suelo. Estos neveros pueden conservar objetos en materia orgánica, como madera, cuero y textiles, durante miles de años.

© Johan Wildhagen / Palookaville

▼ Fragmento de corteza de abedul descubierto en la superficie de la placa de hielo de Lendbreen, en el centro de Noruega.





© James H. Barrett

▼ Astas de reno halladas en el monte Trollsteinhøe, en el Condado de Innlandet, Noruega.

Con estos descubrimientos se ha puesto de relieve que había más actividad humana en la alta montaña de lo que se pensaba, incluso durante el invierno. En Escandinavia y Norteamérica, los cazadores acechaban a los renos, que se refugiaban en el hielo durante el verano para evitar los insectos, y dejaban tras de sí instrumentos de caza como flechas o propulsores de dardos, objetos cotidianos como ropa, herramientas o forraje y, a veces, hasta huesos de animales de carga y trineos. Este tipo de lugares de paso son particularmente habituales en los Alpes, y también pueden encontrarse en Noruega.

Retroceso acelerado

El aumento de las temperaturas hace que los glaciares y las capas de hielo retrocedan a un ritmo cada vez mayor. Incluso si hoy cesaran las emisiones de gases de efecto invernadero, el deshielo continuaría a causa de la inercia del hielo de montaña. En Noruega, por ejemplo, se calcula que entre el 60% y el 80% del hielo de

montaña desaparecerá de aquí a finales de siglo. Con los compromisos climáticos actuales, la pérdida de hielo podría alcanzar el 90%.

“ Las placas de hielo pueden conservar objetos en materia orgánica durante miles de años

Sin embargo, sólo dos regiones del mundo (Yukón y el condado de Innlandet) cuentan con programas de rescate financiados de forma permanente. En el resto de lugares, las actividades de salvaguarda son

esporádicas, cuando existen, y están limitadas por una financiación a corto plazo.

Además de restos arqueológicos, los bancos de hielo contienen datos medioambientales, como ADN, polvo volcánico, polen y antiguos indicadores climáticos. Estos frágiles materiales son mucho más vulnerables que los huesos o los restos arqueológicos, y se pierden para siempre cuando se derrite el hielo que los encierra. Para hacer frente a este desafío, los glaciólogos han iniciado campañas de extracción de núcleos de hielo de montaña.

La arqueología de los glaciares se encuentra actualmente en una fase de intensa actividad en el terreno. En una segunda fase -quizá ya a finales de este siglo- esta disciplina debería pasar del trabajo de campo al estudio de los artefactos hallados. Mientras tanto, los arqueólogos, los especialistas en medioambiente y la población local deben hacer todo lo posible por salvar del hielo el mayor número posible de testimonios históricos antes de que sea demasiado tarde. ■

Tradiciones alteradas por el deshielo

Los científicos no son los únicos que se preocupan por el deshielo de los glaciares. La vida cultural y espiritual de las poblaciones indígenas de las montañas también queda afectada.

Elizabeth Allison

Profesora de Ecología y Religión del Instituto de Estudios Integrales de California en San Francisco (Estados Unidos), dirige su programa de Ecología, Espiritualidad y Religión. Allison lleva más de 20 años investigando la ecología espiritual de las comunidades indígenas afectadas por el cambio climático.

“Recuerdo a mi abuelo diciéndome: ‘esas cumbres nevadas que ves ahora, desaparecerán dentro de unos años’. Entonces pensaba que exageraba y no le creía... ¿Cómo sabía que la nieve dejaría de caer un día, que algún día se acabaría?”, comenta un joven indígena del pueblo aymara evocando la profecía de su abuelo cuando era niño. Las declaraciones fueron recogidas en 2022 por el investigador aymara Wilson Poma, en el marco de un estudio titulado *Vanishing Ice, Vanishing Cultures?* [Hielos que desaparecen, culturas que desaparecen], realizado en el valle de Milluni, cerca del glaciar boliviano de Chacaltaya.

Este glaciar, donde antes se ubicaba la estación de esquí con remontes más alta del mundo, desapareció en 2009, seis años antes de lo previsto por los científicos, dejando la antigua estación de esquí convertida en una nave varada en la cima de un pico escarpado.

No es de extrañar que las poblaciones locales estén alarmadas. Según un informe de 2019 de la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES), gran parte de la diversidad biológica de todo el mundo se encuentra en tierras que son propiedad, están gestionadas o son mantenidas por poblaciones locales e indígenas. Para garantizar la sostenibilidad de las culturas y las formas de vida indígenas, es indispensable preservar los paisajes a los que

Los glaciares tropicales o la desaparición de un mundo

Centinelas del cambio climático, los glaciares tropicales se derriten a un ritmo alarmante. De aquí a 2050, estos gigantes de hielo, presentes en 11 países de América Latina, África y el Sudeste Asiático, habrán perdido alrededor del 90% de la superficie que ocupaban antes del siglo XX. Muchos de ellos habrán desaparecido por completo. Esta pérdida no sólo amenaza los ecosistemas locales, sino que también priva a los pueblos indígenas de una parte esencial de su patrimonio cultural y de sus creencias espirituales.

El libro *The Voices of Glaciers: Stories of Grief and Hope Among Fading Glaciers in the Tropics* [La voz de los glaciares: del dolor a la esperanza ante la desaparición de los glaciares tropicales], publicado por la UNESCO e IRD Éditions en 2025, presenta la crisis climática a través de vivencias particulares tales como la del último recolector de hielo de los Andes ecuatorianos, que perpetúa una tradición al borde de la extinción.

El libro también destaca iniciativas destinadas a preservar los glaciares o su memoria, como la apertura de una nueva ruta de escalada al pico Margherita, el tercero más alto de África, cuyo glaciar ya ha desaparecido, o la composición de una obra musical que traduce la complejidad del conocimiento científico en términos emocionales.

Combinando glaciología, antropología y arte visual, *The Voices of Glaciers* explora las emociones que despierta el deshielo de los glaciares y el papel que dichas emociones pueden desempeñar a la hora de movilizar a la acción. ¿Podemos alcanzar los corazones donde los números fracasan? La respuesta que proporciona este libro es un rayo de esperanza.



estas culturas están inextricablemente asociados.

Sentimiento de pérdida

El retroceso de los glaciares tiene efectos culturales y espirituales considerables en las poblaciones de alta montaña, ya que modifica la forma en que las poblaciones locales se ven a sí mismas y dan sentido a su entorno. Estas comunidades expresan un sentimiento de pérdida y culpabilidad ante la irremediable alteración de su paisaje, y las profecías tradicionales evocan un final desastroso si los glaciares llegan a desaparecer.

En las cumbres andinas de Perú, las montañas nevadas se están volviendo marrones a medida que se derriten las capas de hielo. El pico más alto de la cordillera de Vilcanota, el Ausangate, es venerado como el poderoso *Apu*, un dios del paisaje que cuida de las plantas y los animales de la región. Los quechuas locales consideran a la deidad de la montaña



Según una profecía quechua, con la desaparición del glaciar del monte Ausangate comenzará una nueva era

una manifestación de la *Pachamama*, la Madre Tierra.

Al observar el retroceso del glaciar del Ausangate, los indígenas quechuas han modificado ciertos aspectos de su peregrinación anual, conocida como *El Señor de Qoylluriti* (Señor de la Estrella de Nieve). Antes, los líderes del ritual, mediadores entre los dioses de la montaña y los pueblos, cortaban grandes bloques de hielo del glaciar y los transportaban río abajo. Se suponía que este elixir de la salud de *Apu* fomentaba la vitalidad y la fertilidad agrícola.

La preocupación por el retroceso del glaciar ha provocado cambios en el ritual: los guardias impiden que se deteriore o se retire el hielo, y sólo se permiten pequeñas botellas con el agua del deshielo a modo de reliquia. Con el mismo deseo de cuidar el paisaje y la divinidad de la montaña que los sustenta, los aldeanos han reducido el tamaño de las velas votivas que encienden y colocan al borde del glaciar. Según la profecía local, con la desaparición del glaciar comenzará una nueva era.



Deidades de la montaña

En Bhután el alpinismo está prohibido para proteger el hogar de las deidades que supuestamente habitan las cumbres heladas del Himalaya oriental en este país asiático y Nepal. La moral y la armonía con las divinidades protectoras están vinculadas al mantenimiento de la calidad medioambiental de la región.

Antes de la llegada de los montañeros europeos a principios del siglo XX, las costumbres y la religión locales prohibían las incursiones humanas en las alturas del Himalaya nepalí, pero la economía del alpinismo, que permitía ganar más en unas pocas semanas que en un año de trabajo agrícola, animó a la población local a unirse a las expediciones.

Los miembros de la comunidad étnica sherpa, muchos de los cuales viven en el Parque Nacional de Sagarmatha – llamado Chomolungma en sherpa y tibetano, y conocido en el resto del mundo como monte Everest –, se han adaptado a los rigores de la altitud y se han convertido en excelentes montañeros. Antes de iniciar una expedición de alpinismo en Nepal, es necesario rezar y hacer ofrendas a las

deidades de la montaña para garantizar un recorrido seguro.

El aumento de las temperaturas ha hecho más difícil y peligroso el montañismo, ya que el hielo se ablanda y se fragmenta, desencadenando avalanchas de hielo y roca. Los sherpas creen que los desastres en la montaña, como la tragedia del Everest de 2014 que se cobró la vida de 16 alpinistas sherpas, se deben a

“

Para los vecinos, su existencia está ligada a la del glaciar sagrado de Mingyong

© Kondoruk / Shutterstock



▼ Ceremonia de Puja, que combina oraciones y ofrendas en honor de las divinidades de la montaña, en las faldas del lado nepalí del monte Everest.



▼ *Khawa Karpo, montaña sagrada del macizo montañoso Meili Xue, en el noroeste de Yunnan, en China.*

“
**En Bhután
el alpinismo
está prohibido
para proteger
el hogar de
las deidades
que viven
en las cumbres
heladas**

la actitud irrespetuosa de muchos escaladores, a prácticas inadecuadas como las peleas, a dejar desechos humanos y material de escalada usado en la montaña y al omnipresente ruido que provocan los helicópteros.

El glaciar sagrado

Para no provocar la ira de las deidades de la montaña, el pueblo que vive cerca del monte Khawa Karpo, un pico sagrado de la cordillera de Meili Xue (literalmente

‘las montañas nevadas de Meili’), en el noroeste de Yunán (China), ha prohibido el acceso al glaciar sagrado Mingyong, incluidos los científicos. Los vecinos han pedido que los estudios se realicen a distancia mediante sucesivos levantamientos fotográficos. Para la población local, es imposible que el glaciar muera, ya que la continuidad de la comunidad humana está ligada a su existencia.

El retroceso y la desaparición de los glaciares ponen de relieve a culturas que asimilan esta pérdida, reconocen su

responsabilidad y adaptan sus prácticas y rituales espirituales. Los valores que conforman los modos de vida indígenas, tradicionales y locales van más allá de los conceptos de eficacia, materialismo y rentabilidad. Las poblaciones de montaña aplican una ética de cuidado a su entorno biofísico, reconociendo la necesidad de relaciones y responsabilidades recíprocas con un paisaje vivo para mantener su bienestar y sus medios de subsistencia. El resto del mundo debería seguir su ejemplo. ■

¿Ver el glaciar islandés Vatnajökull y luego morir?

El turismo de Islandia se enfrenta a un futuro incierto a medida que sus glaciares se van fundiendo. La isla nórdica se afana en buscar un equilibrio saludable entre preservación y beneficio, en plena era del “turismo de última oportunidad”.

▼ Barcos de turistas en la laguna glaciar de Jökulsárlón, en el sureste de Islandia.



© Giacomo G / Shutterstock

Durante sus visitas guiadas a los glaciares, la guía turística islandesa Íris Ragnarsdóttir Pedersen siente a veces una punzada de tristeza. “Poco a poco veo cómo se reduce mi trabajo, y no sé si las próximas generaciones podrán seguir haciéndolo”, lamenta.

Iris creció entre los glaciares y en apenas unas pocas décadas los ha visto retirarse, historias que comparte con los visitantes. “Llevo haciéndolo desde hace diez años y, cuando empecé, la gente era más escéptica sobre el cambio climático. Hoy en día, se sorprenden al ver la velocidad con la que están cambiando las cosas”, relata.

“

El 97% de los visitantes considera el entorno natural de Islandia el principal motivo de su visita

Si se mantiene la tendencia actual, todos los glaciares de Islandia habrán desaparecido en los próximos dos siglos, pero para algunos, como Snæfellsjökull, inspirador del *Viaje al centro de la Tierra* de Julio Verne, el plazo está más cercano; probablemente sólo les queden 25 años de vida.

Es un panorama sombrío para la ecología, pero también para la economía de la isla. Hoy, a pesar del deshielo, el turismo prospera en este país en el que abundan glaciares y volcanes. En una encuesta realizada en 2022 por la Oficina de Turismo de Islandia, el 97% de los visitantes dijo que el principal motivo de su visita era el entorno natural islandés.

En los últimos 15 años, el turismo en la isla ha experimentado un notable crecimiento, gracias en parte a la campaña de comunicación *Inspired by Iceland*

[Inspirados por Islandia] lanzada en 2011, que contribuyó a que el número de visitantes pasara de medio millón a más de dos millones al año.

Turismo de la última oportunidad

Por muy controvertido que parezca, el deshielo de los glaciares también podría fomentar el llamado “turismo de última oportunidad”, una práctica oportunista consistente en visitar lugares antes de que desaparezcan, lo cual puede contribuir a su mayor deterioro. Ya se observa una tendencia de este tipo en algunos glaciares, sobre todo en los Alpes.

Edward H. Huijbens, geógrafo especializado en turismo considera que la amenaza de este “turismo de última oportunidad” es insignificante en Islandia en la medida en que el deshielo de los glaciares se debe sobre todo al aumento de las temperaturas. “El verdadero problema es que el país suele atraer a personas que vienen de países lejanos y, como consecuencia, su huella de carbono es elevada. Luego, lo mismo da

que vengan a ver un glaciar o a tomarse un perrito caliente”, opina.

Ahora bien, ¿cómo conciliar economía y ecología? “Tenemos que aprender a apreciar las cosas de otra manera”, reflexiona, defendiendo la belleza del *slow travel* o turismo lento. “La tendencia actual del consumidor es ir de un lado a otro, tomarse un selfi y luego salir deprisa hacia el siguiente lugar de moda. Pero ¿es que realmente todos necesitamos ver un glaciar antes de morir?”.

La fiebre del oro blanco

Ante esta nueva fiebre del oro blanco, las normativas y las infraestructuras tienen dificultades para seguir el ritmo, lo cual quedó trágicamente demostrado en agosto de 2024, cuando un estadounidense murió y su compañera resultó gravemente herida al derrumbarse una gruta de hielo sobre un grupo de turistas bajo el glaciar Breiðamerkurjökull.

Breiðamerkurjöll forma parte del Parque Nacional de Vatnajökull, que toma su nombre del segundo glaciar más



© Marco Zorzanelli

grande de Europa, que cubre el 10% del país. Cuando se reanudaron las excursiones a la gruta de hielo, la directora del parque, Steinunn Hödd Harðardóttir, culpó a algunos operadores turísticos en un mensaje publicado en Facebook ya que, según ella, algunas agencias “habían sido sorprendidas excavando nuevos túneles y grutas de hielo en el parque, con el pretexto de mejorar la accesibilidad”.

“Pero el accidente nos ha brindado una lección”, recuerda por su parte Íris Ragnarsdóttir Pedersen. “El Gobierno se dio cuenta de que debía tomar medidas. Ahora se evalúa todas las semanas la seguridad en todas las grutas. Si los operadores turísticos no cumplen las normas, sencillamente se les prohíbe trabajar en el parque nacional”.

Edward H. Huijbens es más escéptico. “No veo grandes cambios en este ámbito. En el fondo, temo que todavía se pueda morir por un glaciar”.

Funerales por un glaciar

Hace cinco años, el escritor y activista medioambiental islandés Andri Snær Magnason se disfrazó de sepulturero para celebrar el funeral... de un glaciar. El objetivo era llamar la atención celebrando el duelo del primer glaciar desaparecido en Islandia. Se colocó una placa conmemo-

“
**La huella
de carbono
de los turistas
que visitan
Islandia
es elevada**

rativa, titulada “Carta al futuro”, donde se puede leer: “En los próximos 200 años, es probable que todos nuestros glaciares corran idéntica suerte. Este memorial demuestra que sabemos lo que está pasando y lo que hay que hacer. Sólo ustedes sabrán si lo hemos hecho”.

Para garantizar que los glaciares sigan existiendo no solo en las lápidas, la educación puede ser una herramienta eficaz. Entre algunos operadores turísticos está surgiendo una tímida concienciación. “La mayoría de las agencias tienen ahora una política medioambiental”, dice Íris Ragnarsdóttir Pedersen. “Gran parte de mi trabajo consiste en informar a los turistas sobre el estado de los glaciares y los efectos del cambio climático sobre ellos. Esta es una oportunidad única para comprobarlo, antes de que sea demasiado tarde”. ■

© 2024 Judy Natal. Todos los derechos reservados (www.judynatal.com)



▼ El escritor y militante ecologista Andri Snær Magnason posa con la placa conmemorativa realizada en homenaje a Okjökull, el primer glaciar islandés desaparecido, en 2014.

Zaria Forman: “Dibujo para revelar la naturaleza sublime y vulnerable del hielo polar”

La artista estadounidense Zaria Forman ha participado en misiones de la NASA destinadas a documentar la evolución de los hielos polares de la Tierra. Sus dibujos al pastel de gran formato complementan las observaciones de los científicos al captar la belleza y la fragilidad de los paisajes helados.

En 2016 y 2017 participó en misiones aéreas de la NASA, ¿pudo observar entonces las consecuencias del cambio climático?

Los vuelos duraban un promedio de 12 horas, y volábamos 450 metros por encima de los glaciares, los bloques de hielo y las cadenas montañosas. Para mucha gente, los casquetes polares no son más que gigantescas manchas blancas en un mapa. ¡(De hecho, muchas veces, eso es lo que parecen desde el aire!). Pero los científicos e ingenieros de las misiones IceBridge saben que, bajo la superficie, se están produciendo cambios rápidos: una compleja interacción entre ríos de agua dulce, valles de sustrato rocoso y calentamiento de las aguas oceánicas, que poco a poco van erosionando los glaciares. El ritmo de deshielo de la Antártida se ha triplicado en la última década, y las misiones IceBridge están recopilando información crucial sobre la evolución de este proceso.

Aunque algunos de los dibujos de esta serie están inspirados en fotografías tomadas desde las ventanas del laboratorio volante de la NASA, muchos de ellos proceden de cámaras montadas bajo el fuselaje del avión, orientadas hacia abajo.

Mi estrecha relación con los científicos de la NASA me permitió formular un gran número de preguntas sobre los cambios

observados y la forma de medirlos. Gracias a esta experiencia, pude perfeccionar y enriquecer mi propia forma de observar el hielo y, en consecuencia, aportar mayor precisión y más sutileza a mis dibujos.

A diferencia de un iceberg o un glaciar, los motivos de estos dibujos no son fácilmente identificables. Para plasmar la naturaleza sublime y vulnerable del hielo polar tuve que ampliar la imagen. Los diseños geométricos del hielo craquelado y la textura de la nieve barrida por el viento cuentan muchas historias. Las distintas tonalidades de azul, desde los tonos tinta a los eléctricos, dan testimonio de la presión y del paso del tiempo.

Como artista, ¿qué ve usted que no vean los científicos?

La perspectiva a veces vertiginosa de las imágenes de esta serie refleja la imposibilidad de captar el tamaño o la magnitud de estos sitios. Incluso después de viajar casi 65.000 kilómetros y pasar 95 horas en el aire, es difícil apreciar la inmensidad del hielo polar y la velocidad con la que se está deshelando. Lo mismo ocurre con el cambio climático, que puede parecer desproporcionadamente abstracto. Aunque, sin duda, se trata del mayor desafío de nuestro tiempo, también es una de las historias más difíciles de contar. Los dibujos de la NASA

“
**Los diseños
geométricos
del hielo craquelado
y la textura de
la nieve barrida
por el viento
esconden muchas
historias**





▼ La artista Zaria Forman reproduce en pintura el glaciar Jakobshavn, en la costa oeste de Groenlandia.

© Con la amable autorización de Zaria Forman

muestran el retrato de una pérdida acelerada e invitan a hacer algo para combatirlo.

Dejo a otros especialistas la tarea de aducir argumentos racionales, basados en datos, para explicar la necesidad de preservar nuestros ecosistemas. Con mi trabajo intento apelar a un nivel más elemental. El arte, a diferencia de los datos científicos, tiene la capacidad especial de suscitar emociones. Por eso la NASA me invitó a participar en estas misiones. Nuestras acciones y decisiones están dictadas, sobre todo, por nuestras emociones, y esto está científicamente demostrado.

Usted lleva casi 20 años dibujando paisajes glaciales. ¿Por qué le atraen estos lugares?

Crecí pasando mucho tiempo al aire libre en lugares muy remotos, y esas experiencias me infundieron el amor a los paisajes. Mi madre, Rena Bass Forman, era fotógrafa paisajista y viajaba mucho. La familia tuvimos la suerte de poder acompañarla en

algunas de estas aventuras, ya fuera cruzando el norte de África a lomos de un dromedario o viajando en trineos tirados por perros cerca del Polo Norte. Como artista, siempre he intentado subrayar la conexión emocional con estos lugares espectaculares y frágiles al mismo tiempo, y crear un sentido de la responsabilidad. Cuando amas algo, quieres protegerlo. Quiero transmitir la naturaleza sublime y vulnerable del hielo polar, y espero que mis dibujos despierten la curiosidad del público e inviten a sumergirse en estos entornos helados y descubrir todas sus complejidades.

Mi trabajo se ha centrado en la urgencia del cambio climático. La mayoría de la gente no tiene acceso a los lugares apartados que yo represento, así que, en cierto modo, los avatares medioambientales pueden parecerles lejanos, desconectados de sus vidas. Por eso trabajo a gran escala, para recrear la maravilla de ver un iceberg de cerca. Si te enamoras de estos sitios, como me sucedió a mí, quizá tengas más ganas de protegerlos y conservarlos. ■

“
**El arte tiene
la capacidad
especial de apelar
a las emociones**

▼ Obra de Zaria Forman que representa un iceberg frente a las costas de Groenlandia, en el océano Ártico, 2019 (Arctic Ocean, Greenland No.2, N66.32140 W37.17977982).

