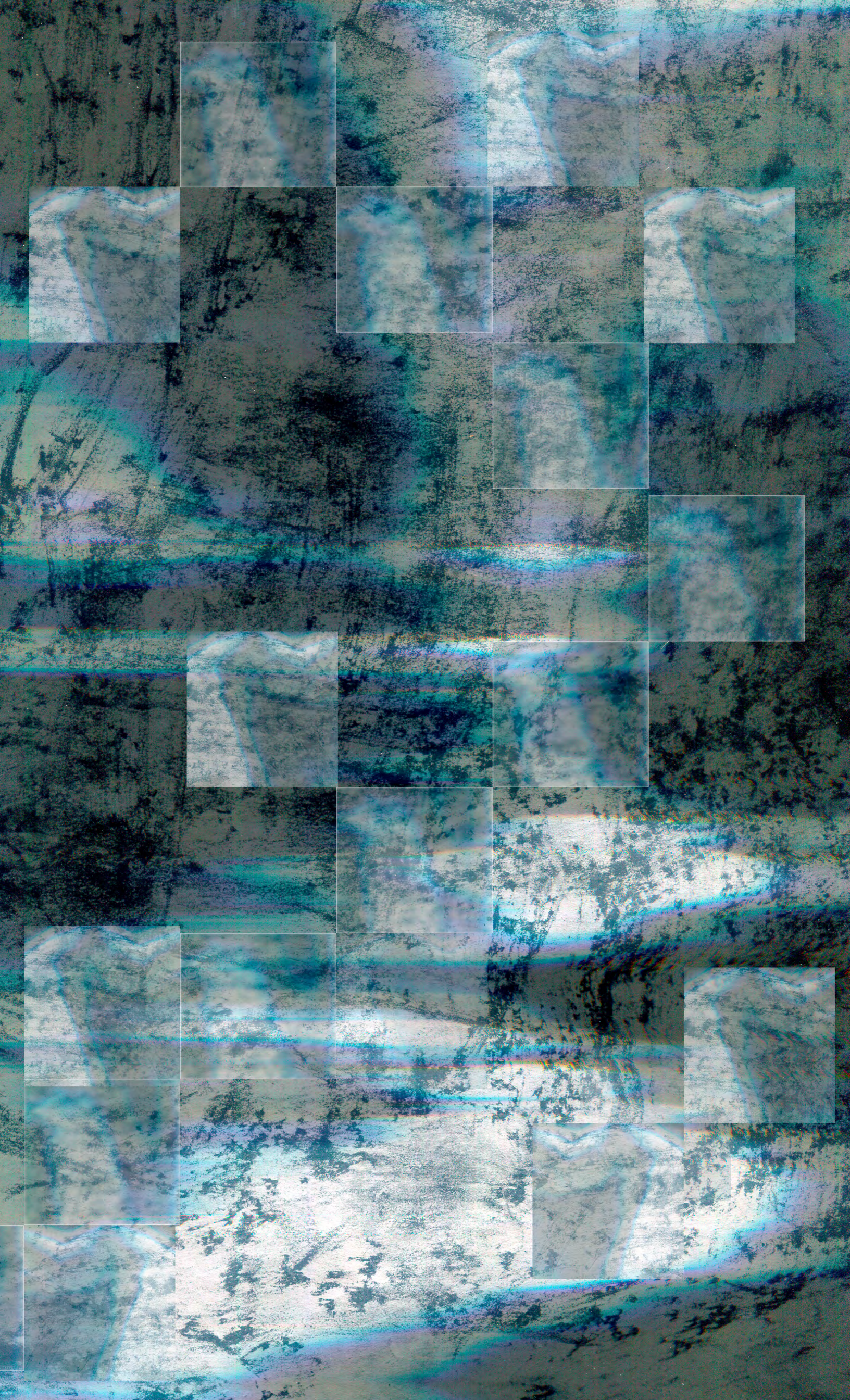




Desprendimiento de bloques de hielo en glaciares marino- terminales: *Ice Calving*

Víctor Hugo Soto Molina

Día Mundial de los Glaciares

A finales del 2022 la Asamblea General de las Naciones Unidas decretó al año 2025 como el “Año Internacional de la Conservación de los Glaciares” (International Year of Glaciers’ Preservation), proclamando los días 21 de marzo como el “Día Mundial de los Glaciares”. Desde entonces, la UNESCO y la Organización Meteorológica Mundial han coordinado acciones con la intención de sensibilizar a todos los sectores de la sociedad y los gobiernos sobre el papel vital que representa la *criósfera* (glaciares, nieve, hielo marino y permafrost) como agente regulador del clima planetario y fuente hídrica. Entre las principales metas se contempla el mejoramiento en el monitoreo y la actualización de datos sobre el estado actual de los glaciares, el desarrollo de sistemas de alerta temprana ante los peligros que representa el desequilibrio glaciar,

así como promover la participación social en favor de la conservación de la criósfera, entre otras más.

Para el caso de América Latina, incluyendo México, el Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos (GTNH), creado en 2003 por iniciativa del Programa Hidrológico Intergubernamental de la UNESCO (PHI-LAC), se dio a la tarea de preparar distintos programas de trabajo durante el 2025, lo cual se repitió para marzo del 2026. Uno de los objetivos centrales ha sido llevar el conocimiento del estado actual de la cobertura

glaciar de la región a los tres niveles de gobierno, al sector escolar y a la ciudadanía en general, en un lenguaje alejado de tecnicismos que permitiera su entendimiento y una mayor posibilidad de sensibilización. Sin embargo, resultó medular que al mismo tiempo se comunicara un mensaje claro y objetivo, sin caer en el sensacionalismo.

En este contexto, este trabajo tiene como propósito abordar y clarificar una situación que con gran frecuencia es difundida en todos los medios de comunicación, la cual relacionan con las consecuencias del cambio climático y su impacto en el retroceso de los glaciares. Dicha situación, más que abonar al conocimiento básico y general sobre el retroceso glaciar, ocasiona confusión al pretender forzar una sensibilización basada en el mal entendimiento de un proceso demasiado común en la dinámica de los glaciares, especialmente en aquellos próximos a los polos que desembocan en aguas oceánicas.

Nos referimos a los cientos de imágenes y videos difundidos en todos los medios, en los que se observa la fragmentación y desprendimiento de hielo en glaciares que desembocan en cuerpos de agua, proceso que erróneamente asocian con el cambio climático y/o con el calentamiento global; ya que un evento de *ice calving* no prueba evidencias de lo anterior, puesto que para eso se requiere un análisis de los factores ambientales como temperatura del aire y del mar, de precipitación, entre otros.

Características de un glaciar

Es más frecuente observar en medios de comunicación las distintas consecuencias del cambio climático, afectando, en mayor o menor medida, a todos los ecosistemas terrestres.

Es sabido que a escala mundial los glaciares funcionan como un claro indicador de cambio climático,

ya que comúnmente los cambios en su superficie y en su espesor dan muestra de los efectos que ocasiona el aumento global de la temperatura del aire, así como la variación en el régimen de precipitación.

En la actualidad, 15 millones de km² de superficie terrestre se encuentra cubierta por glaciares, de la cual, la gran mayoría se localiza en regiones circumpolares. Sin embargo, el Servicio de Monitoreo Mundial de Glaciares (WGMS por sus siglas en inglés), señala una tasa de pérdida de hielo glaciario equivalente a 335 mil millones de toneladas anuales entre 2006 y 2016 (WGMS, 2023), lo cual expresa el continuo retroceso a partir del Último Máximo Glaciar (hace aproximadamente 20 mil años), cuando el área ocupada por glaciares, tanto polares como alpinos, cubrió alrededor del 25% de la superficie terrestre.

Además de su extensión, la principal diferencia entre los glaciares circumpolares (principalmente aquellos de la Antártida y Groenlandia) y los de alta montaña radica en la temperatura de su entorno. Debido a una menor incidencia de energía solar en la superficie, por consecuencia de la latitud a la que se ubican, a los glaciares circumpolares se les conoce como glaciares “fríos” por poseer un régimen térmico menor a -10°C en promedio; por su parte, aquellos localizados en sistemas montañosos (en su mayoría ubicados en la cordillera de los Andes) son llamados glaciares “cálidos” o “templados” por contar con una temperatura interna media cercana al punto de fusión del hielo (0°C).

Cabe señalar que es justo por la temperatura de su entorno que los glaciares de montaña son mucho más vulnerables ante las anomalías de temperatura de décadas recientes. Una diferencia importante es que mientras los glaciares circumpolares rondan en centenas de metros de espesor, los de sistemas de montaña son del orden de algunas decenas de metros en promedio.

Los glaciares “fríos” o “cálidos”, ambos poseen un origen y un mecanismo de equilibrio relativamente similar, ya que las condiciones de estabilidad dependen de la igualdad entre la ganancia y pérdida del volumen de hielo.

En términos simples, la permanencia de un glaciar a través del tiempo se basa en que la cantidad de nieve depositada en su zona de acumulación sea igual al volumen de fusión que generalmente ocurre en la zona de ablación.

Cuando la acumulación es mayor al volumen de pérdida ocurre un avance de extensión; por el contrario, si existe un déficit de acumulación con respecto al volumen de pérdida, ocurrirá un retroceso evidente. Esto es lo que en el ámbito de la *glaciología* se le conoce como balance de masa positivo o negativo, respectivamente.

Zonas de ablación: una mirada a la dinámica de pérdida de masa

Se ha señalado que el mecanismo de ganancia y pérdida de masa es un tanto semejante en todos los glaciares. Cuando las condiciones del terreno permiten que la precipitación sólida, comúnmente de tipo nivosa, se acumule a través del tiempo, esta se irá compactando por el peso tras las nuevas nevadas, convirtiéndose en capas estacionales de acumulación. La Figura 1 muestra en detalle un corte vertical de nieve acumulada, en la que se aprecian diferentes capas.

Debido a la presión por el peso y al recongelamiento, las capas previas de nieve se irán transformando de cristales a nieve granular (conocida como *neviza*), y se convertirán en hielo sólido. Por cuestiones de presión y de humedad interna, el hielo en grandes volúmenes, como el de un glaciar, se comporta como un fluido semi plástico (Cuffey & Paterson, 2010). Con el pasar del tiempo (decenas o cientos de años), el excedente de hielo de la zona donde se acumuló la nieve que le dio origen (zona de acumulación) habrá de fluir por gravedad hacia zonas más bajas, obedeciendo las características del relieve, canalizándose por valles y depresiones hasta llegar al punto en el que el hielo de estas lenguas de glaciar se funda al alcanzar temperaturas superiores a 0°C; es aquí donde se localiza el frente glaciar, el cual variará de acuerdo con las fluctuaciones que experimente la temperatura media anual del aire en el lugar.

En los glaciares de sistemas montañosos, la zona de ablación corresponde a la parte más baja y somera del glaciar, más cerca del límite inferior, donde el grosor del hielo suele poseer decenas de centímetros o algunos metros en el mejor de los casos; es por las razones anteriores que el frente glaciar es la zona vulnerable de todo el cuerpo de hielo. Por encontrarse ante temperaturas positivas al menos durante el verano, el hielo en la zona baja de ablación se funde, reduciendo su volumen.

Cuando se trata de un glaciar en equilibrio, esta pérdida veraniega es compensada por el flujo que repta desde la región de captación durante la acumulación invernal;

en caso contrario, el glaciar comienza a retroceder en espesor y extensión (Soto, 2024).

Adicional al efecto de la temperatura, otro efecto característico de los glaciares de montañas de baja latitud, es que la alta tasa de energía solar que llega a la superficie ocasiona que el hielo y la nieve sufran de sublimación (es decir, la pérdida por evaporación del agua bajo congelamiento), lo cual se suma al volumen de pérdida por fusión. Es justo la suma del factor térmico y de la sublimación lo que determina que los glaciares de montañas tropicales experimenten un retroceso más evidente en comparación con los glaciares circumpolares, ocasionando que cada vez exista un mayor número de glaciares de montaña en franco retroceso o incluso hayan quedado extintos.

La velocidad de flujo de hielo entre la zona de acumulación hacia la región de pérdida depende de distintos factores; la temperatura interna del hielo, su espesor, la cantidad de agua líquida en su interior, y las características del terreno por donde se desplaza, entre otros, determinan las propiedades de viscosidad del hielo y a su vez, de la velocidad de flujo. En condiciones generales, la velocidad de flujo de los glaciares de montaña oscila en el orden de decenas a cientos de metros por año; por su parte, existen glaciares circumpolares que alcanzan velocidades de 3 km anuales y hasta más de 8 km cada año.

La combinación de distintos factores climatológicos y geomorfológicos, así como la consecuente velocidad de flujo es lo que determina la dinámica particular de cada glaciar, lo que los vuelve únicos, inclusive con respecto a glaciares vecinos. La Figura 2 muestra las generalidades entre la zona de acumulación y de ablación de un glaciar promedio.

La malinterpretación de la dinámica de ablación

Debido a que la mayor extensión de hielo glaciar se localiza en las inmediaciones de los polos terrestres, y que el hielo en enormes volúmenes adquiere un comportamiento viscoso como respuesta a las grandes presiones ejercidas en su interior, los glaciares circumpolares experimentan las mayores velocidades de flujo.



Figura 1. Capas de nieve estacional.

Por cuestiones de gravedad, el hielo fluye hacia las zonas más bajas del terreno, muchas de las veces alcanzando las aguas marinas (de aquí el nombre de marino-terminales),

donde culmina la máxima extensión del glaciar. Un ejemplo de glaciar marino-terminal es el “Pata de elefante”, al noreste de Groenlandia; un glaciar estéticamente simétrico en su parte terminal (zona de ablación o pérdida).

La dinámica de ablación en un glaciar marino-terminal suele caracterizarse por un proceso dramático de pérdida de masa, el cual consiste en la ruptura y desprendimiento de grandes bloques de hielo que se vierten de forma violenta al mar. Este proceso, conocido como *ice calving*, se ha asociado a los efectos del cambio climático; sin embargo, esto está muy lejos de ser verdad. Aunque el *calving* es parte normal de la dinámica, un video aislado no demuestra por sí mismo un cambio climático; para su atribución se requieren mediciones durante un tiempo considerable. No obstante, el aumento de la temperatura, bajo ciertas circunstancias, sí intensifica esta dinámica en algunos glaciares.

Para brindar una idea visual de cómo ocurre la pérdida de hielo en este tipo de glaciares, se muestra una secuencia de imágenes del Glaciar Perito Moreno, en la Patagonia Argentina; uno de los glaciares más dinámicos del planeta (Figuras 3 a-c); así como en el Glaciar Qooqqup, en Groenlandia (Figura 4 a-c).

La constante fractura y desprendimiento dramático de grandes bloques de hielo glaciario hacia las aguas marinas es un mecanismo bastante común en las costas de Groenlandia y la Antártida; existen además otras regiones menores con glaciares de semejante dinamismo; entre ellas la Patagonia, Alaska, Svalbard, y Terranova. Dependiendo del volumen y de la velocidad de flujo del hielo, diariamente ocurren decenas o cientos de desprendimientos de bloques de distintas dimensiones.

Muchos de estos bloques de hielo desprendido pueden ser trasladados por las corrientes marinas, convirtiéndose en témpanos o icebergs,

los cuales pueden tener una duración de algunos meses o hasta algunos años en función de su volumen y de la región oceánica a la que alcancen a llegar, especialmente por la temperatura del agua donde flotan. Una idea sobre la cantidad de hielo que es vertido al mar, producto del proceso de *ice calving*, es aportada por Rignot *et al.*, (2013) y Depoorter *et al.*, (2013), quienes señalan que solo en el Océano Antártico se desprenden anualmente entre 1265 y 1500 Gigatoneladas (Gt) de hielo (1 GT= mil millones de toneladas) provenientes del casquete polar.

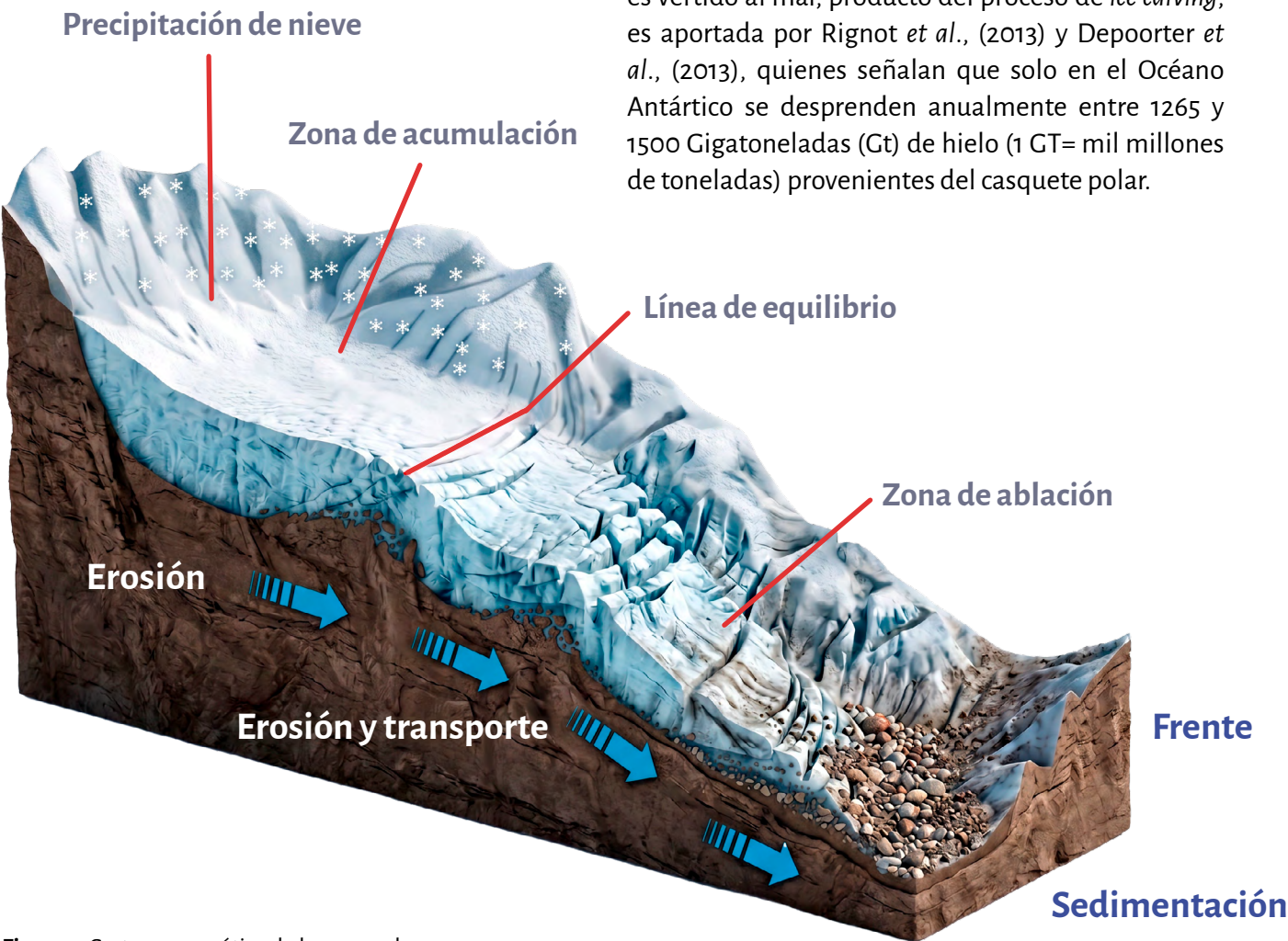


Figura 2. Corte esquemático de las zonas de acumulación y ablación de un glaciar. Fuente: Universo, Sistema de noticias de la UV.

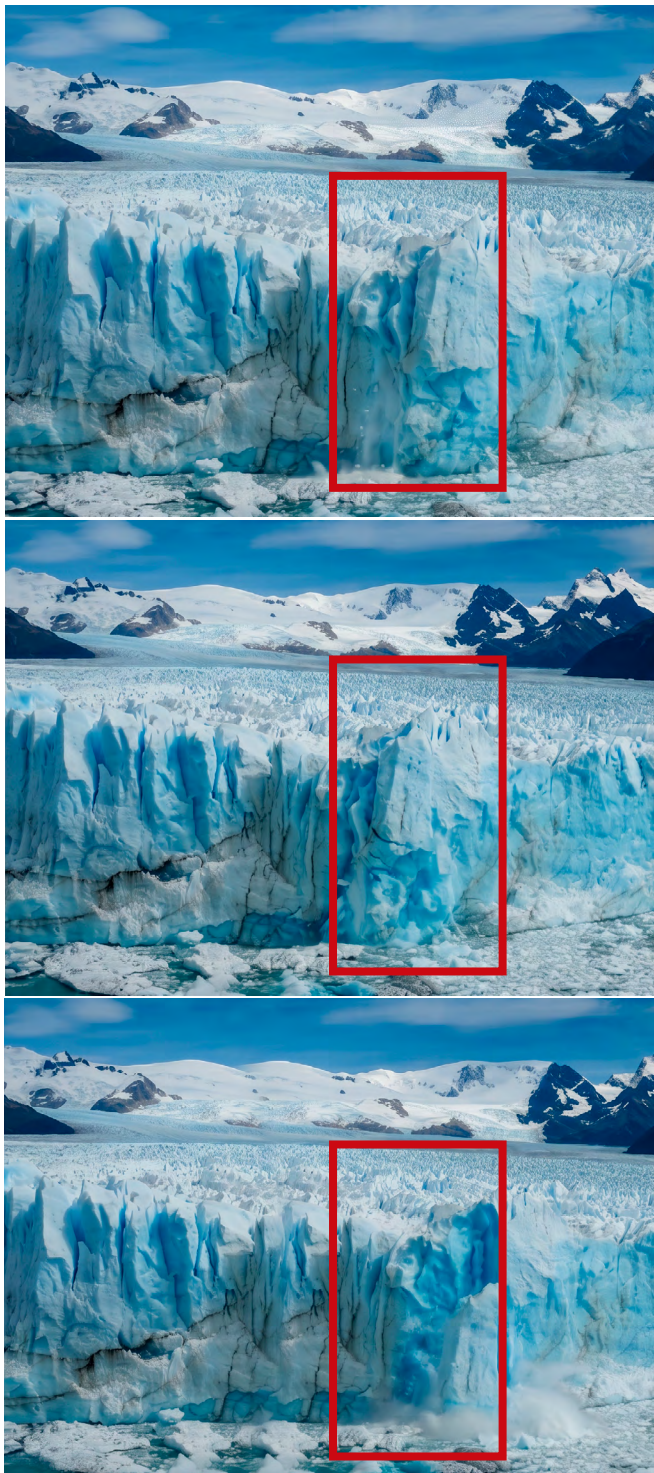


Figura 3. Ice calving en el glaciar Perito Moreno, Argentina, durante el 2022.

Mecanismo de ice calving

La característica principal de un glaciar está dada por su dinámica de flujo de hielo; la existencia de esta dinámica es la que le otorga el nombre de *glaciar*; si esta no existe, entonces solo se trataría de remanentes estáticos de hielo de origen glaciar.

Existen distintos factores físicos, los que gobiernan el volumen y la velocidad de reptación del hielo desde la región de acumulación hacia la zona de ablación:

espesor del glaciar, temperatura interna, cantidad de agua líquida en el interior, pendiente y rugosidad del terreno, contenido de humedad entre el hielo y el suelo, entre otros.

La combinación de estos factores determina la existencia de una velocidad de flujo variable, tanto de manera horizontal como vertical del hielo; la consecuencia de este flujo diferencial da origen a la compresión de masa, así como a la formación y propagación de grietas en respuesta al estrés mecánico (es decir, una ruptura ocasionada por fuerzas internas); específicamente por la variación en la tensión de tracción (en otras palabras, por la compactación y estiramiento del hielo). Estas fracturas van dividiendo el glaciar en bloques cuyo número dependerá del incremento en la cantidad de grietas, de su extensión y profundidad a través del flujo reptante del hielo. Una vez que estos bloques alcanzan la parte terminal del glaciar, son empujados por la masa de hielo que fluye detrás, dejando que la gravedad termine por dar pie al desprendimiento individual de esos bloques que son vertidos hacia el mar o inclusive en lagos.



Figura 4. Ice calving en el glaciar Qooqqup, Groenlandia durante el 2024.

El relieve sobre el que se desplaza el hielo es un factor medular para la parte media y baja del glaciar. Para el caso de glaciares marino-terminales, mientras que en la parte media (debajo de la zona de acumulación), el basamento ocasiona cierto grado de fricción, regulando la velocidad del flujo, una vez que el hielo alcanza la zona terminal del glaciar esta situación cambia.

Las primeras decenas o cientos de metros de hielo terminal descansan sobre un lecho lubricado por el agua lacustre u oceánica, situación que provoca un aceleramiento brusco del flujo que promueve la propagación vertical de las fracturas, facilitando la ruptura y el desprendimiento de los bloques. De manera general, la mecánica de *ice calving* puede observarse en la Figura 5, en la que se diferencian las zonas de compresión y liberación de la tensión del hielo.

Adicionalmente al proceso representado por la Figura 5, la presión hidrostática marina o lacustre genera erosión y fusión por fricción en el frente del glaciar, lo cual puede sumarse a la propagación vertical de las fracturas previas, ocasionando un corte horizontal en el bloque y acelerando así su desprendimiento. Este mecanismo puede observarse en la Figura 6. Al inicio (Figura 6a), el efecto de erosión horizontal del agua se suma a la propagación vertical de la grieta; posteriormente (Figura 6b), la tensión al fondo de la grieta es superada por la acción de gravedad que ocasiona la caída del bloque.

Conclusión

Ice calving es un proceso mecánico que ocurre como respuesta al flujo de hielo en un glaciar que desemboca en cuerpos de agua. El común desprendimiento y caída de bloques de hielo hacia mares o lagos enfatiza que todo el cuerpo de hielo del que se desprenden corresponde a un glaciar activo: un glaciar con dinámica de acumulación, flujo y ablación.

Este proceso, totalmente normal en glaciares marino-terminales, no debe confundirse con la dinámica de retroceso y extinción que ocurre en todos los cuerpos de hielo como consecuencia de las anomalías climatológicas de recientes décadas.

Mucho menos debe utilizarse para forzar una sensibilización sobre los impactos que la variación del clima ejerce sobre la criósfera y otros ecosistemas.

Por otra parte, es innegable la extinción glaciar que se ha documentado a nivel planetario, resultado del cambio climático natural del planeta, y su forzamiento causado por el calentamiento global a partir del consumo de combustibles fósiles. Ante tal escenario, los glaciares retroceden y se extinguen por la reducción de su superficie y por el adelgazamiento de su espesor. Por ello, resulta en la fusión del hielo para convertirse en agua líquida, y no se manifiesta estrictamente en el desprendimiento de bloques sólidos de hielo.

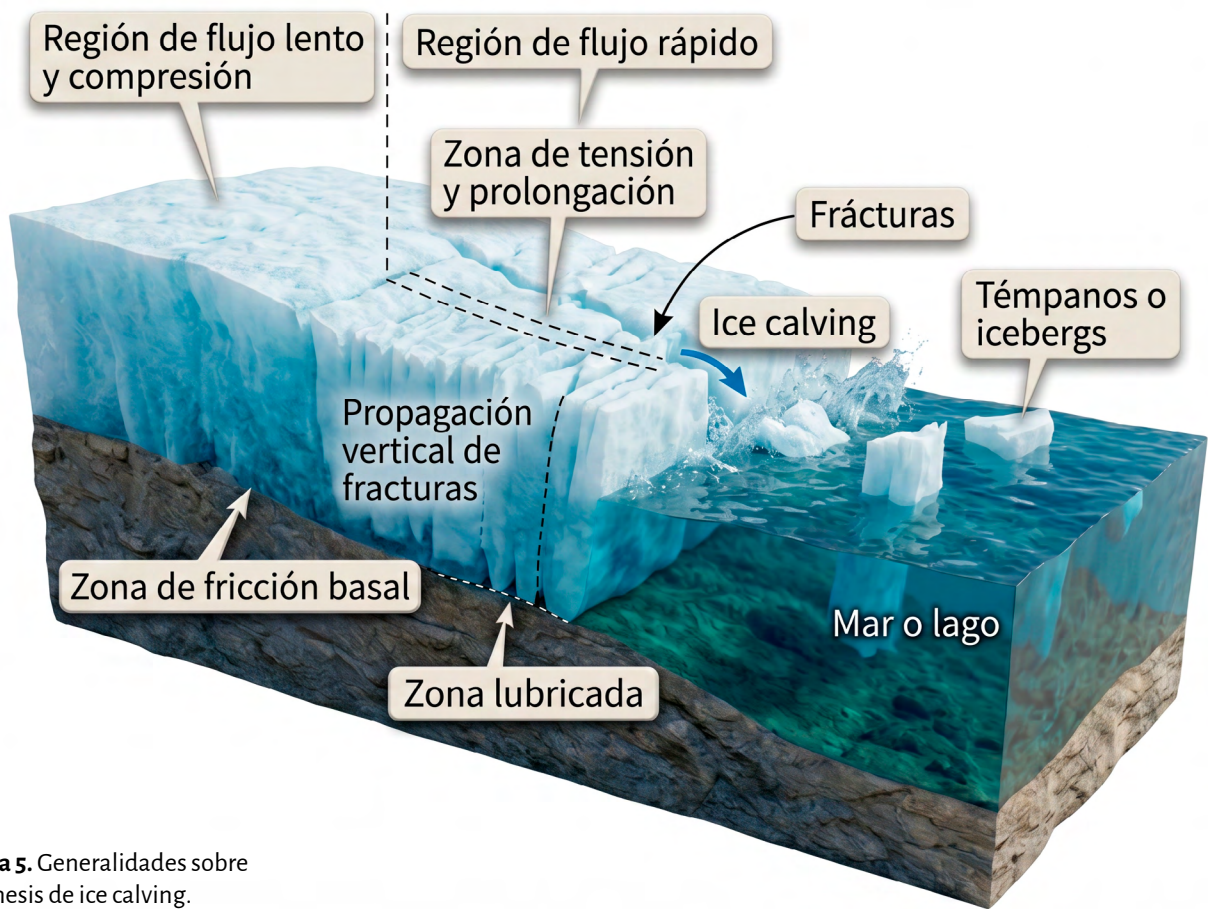


Figura 5. Generalidades sobre la génesis de ice calving.

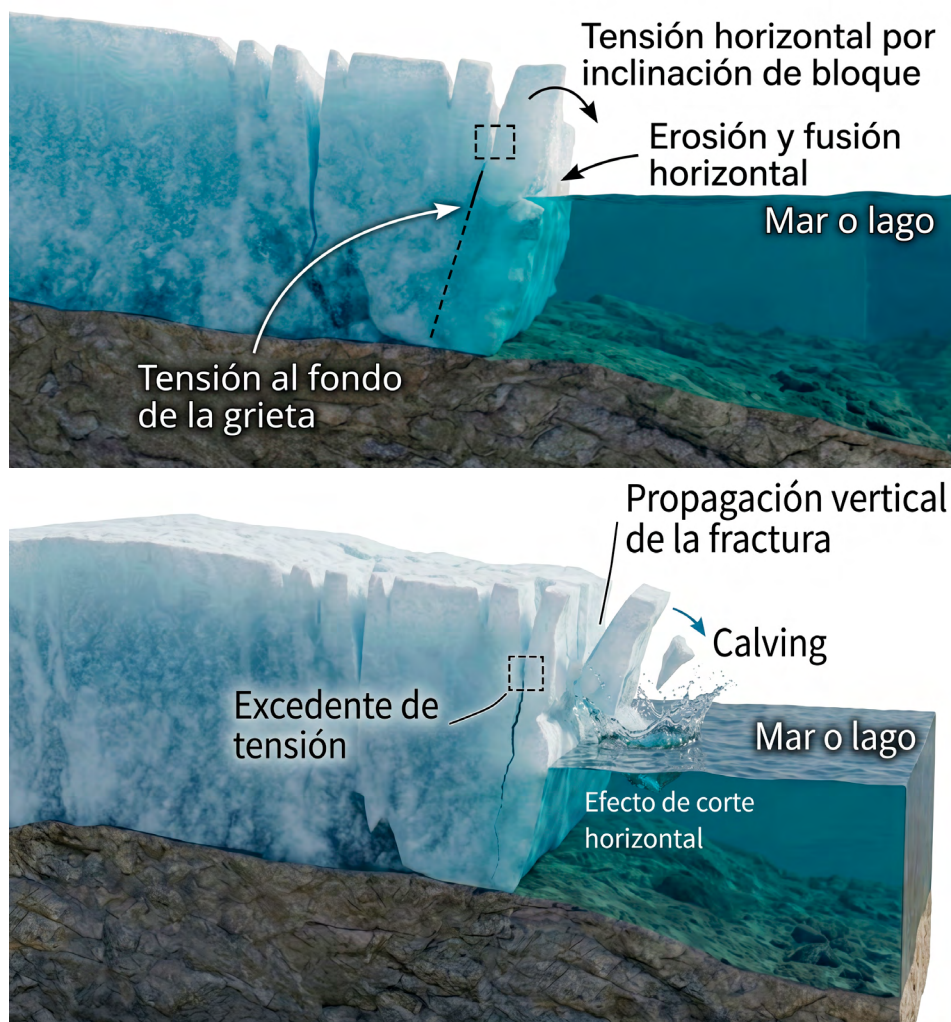


Figura 6. Secuencia del efecto de corte horizontal por erosión del agua.

Si el cambio climático observado en la actualidad repercute en mayor o menor medida en todos los componentes de la criósfera, resulta lógico pensar que los glaciares marino-terminales se han visto afectados. Es posible que el incremento de la temperatura media del aire en torno a estos glaciares favorezca la fusión del hielo superficial, provocando la aparición de áreas con agua líquida por encima del cuerpo de hielo, entre otras manifestaciones. Al mismo tiempo, una temperatura en ascenso determina que el frente glaciar retroceda hacia nuevos límites donde la temperatura alcanza su nivel de equilibrio, es decir 0°C.

Las anomalías del clima, particularmente aquellas representadas por valores de temperatura cada vez mayores, y por la reducción del régimen de precipitación, ocasionan menor acumulación de nieve; y, por lo tanto, podrían disminuir en algunos casos el volumen de flujo de hielo hacia la zona de ablación. Al final, esto habría de determinar que el proceso de *ice calving* en un glaciar dado se vea reducido también con el tiempo.

Así, es necesario evitar propagar una mala sensibilización con respecto al impacto del cambio climático sobre los ecosistemas del planeta, basado, erróneamente, en un proceso totalmente natural de un glaciar “vivo”.

Referencias

- Cuffey, K. M. & Paterson, W. S. B. (2010). *The physics of glaciers*. Academic Press.
- Depoorter, M. A., Bamber, J. L., Griggs J. A., Lenaerts, J. T. M., Ligtenberg, S. R. M., Van den Broke, M. R. & Moholdt, G. (2013). Calving fluxes and basal melt rates of Antarctic ice shelves. *Nature*, 502(7469), 89-92.
- Rignot, E., Jacobs, S., Mouginot, J. & Scheuchl, B. (2013). Ice-shelf melting around Antarctica, *Science*, 341(6143), 266-270
- Soto, V. (2024). La imposibilidad de pronosticar la extinción de un glaciar de montaña. *Investigaciones geográficas*, 114. <https://doi.org/10.14350/rig.60921>
- WGMS (2023). Global Glacier Change Bulletin No. 5 (2020-2021). M. Zemp, I. Gärtner Roer, S.U. Nussbaumer, E. Z. Welty, I. Dussaillant & J. Bannwart (eds.), ISC(WDS)/IUGG(IACS)/ UNEP/UNESCO/ WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland. Doi:10.5904/wgms-fog-2023-09.