

## DOSSIER

## ANTÁRTIDA Y CAMBIO CLIMÁTICO

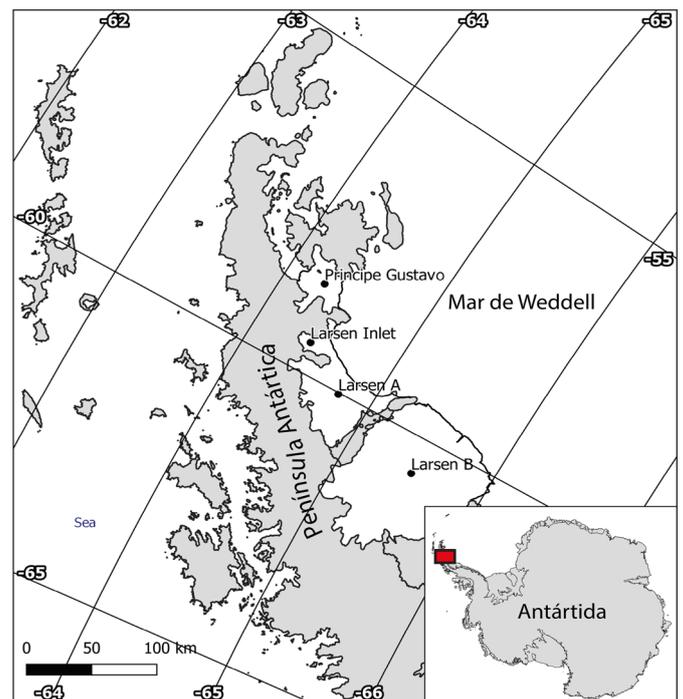
## LARSEN B, RETRATO DEL CALENTAMIENTO

*En la bahía Larsen B, noreste de la Península Antártica, desembocan numerosos glaciares de descarga, que son importantes reservas de agua dulce... ¿Cómo les está afectando el cambio climático?*

**Liliana S. Margonari, Sebastián Marinsek y Juan M. Lirio**

El continente antártico es el más frío, ventoso y seco de los continentes. La Península Antártica (ver Figura 1) se sitúa en el sector oriental de la Antártida y posee una extensión que ronda los 1.300 km desde el sur del paralelo 60° sur hasta casi el paralelo 80° sur, a lo largo de la cual corre un sistema montañoso que alcanza los 5.000 m de altura sobre el nivel del mar y hospeda una extensa capa de hielo.

Desde las zonas más altas del cordón montañoso de la Península fluyen pendiente abajo distintas masas de hielo (glaciares, ver Glosario), encontrándose tanto glaciares de descarga que terminan en tierra como glaciares que terminan en el mar. Los glaciares de descarga del noreste de la Península Antártica lo hacen al Mar de Weddell, mar que durante gran parte del año se encuentra parcialmente congelado dadas las bajas temperaturas que se registran en esta región durante los inviernos. En la bahía Larsen A, los frentes glaciares se encontraban en contacto con lo que se conoce



**Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, bahía Larsen B, Península Antártica.**

Imagen: gentileza de los autores.

**Palabras clave:** barreras de hielo, calentamiento global, glaciares, hielo marino, Península Antártica.

**Liliana S Margonari**<sup>1, 2, 3</sup>

Lic. en Cs. Geológicas

lilo.margonari@gmail.com

**Sebastián Marinsek**<sup>1</sup>

Dr. en Ingeniería

smarinsek@dna.gov.ar

**Juan Manuel Lirio**<sup>1</sup>

Dr. en Cs. Geológicas

liriojm@gmail.com

<sup>1</sup>Instituto Antártico Argentino (IAA), Buenos Aires.

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

<sup>3</sup>Dto. de Geología, FCEyN, Universidad de Buenos Aires (UBA).

Recibido: 01/09/2023. Aceptado: 14/11/2023.

como una “barrera de hielo” hasta 1995 y en la bahía Larsen B, hasta 2002.

Estas barreras son grandes masas de hielo flotante en el mar, formadas y alimentadas por el flujo del hielo glaciar continental que desciende desde el interior del continente hacia el océano, y son alimentadas por las precipitaciones níveas que ocurren sobre ellas. Dada su ubicación y morfología suelen ser ambientes muy importantes para los ecosistemas marinos locales. En los últimos treinta años, tres de las cuatro barreras de hielo más importantes de la península colapsaron, es decir, se fragmentaron y derritieron en el océano. La barrera de hielo más septentrional, Príncipe Gustavo, se desintegró en el año 1995, al igual que la barrera de hielo Larsen A. En el año 2002, la barrera de hielo Larsen B se desintegró parcialmente, dejando un pequeño remanente al sur. Es importante destacar que, a diferencia de los glaciares, la desintegración de las barreras de hielo, al estar en equilibrio hidrostático

# DOSSIER

(ver Glosario) con el mar, no impactan en el nivel relativo del mar. Es decir que si se derriten al estar flotando no aumenta el nivel del mar. Pero su fragmentación implica un aumento en la velocidad de descarga de los glaciares al océano, dado que los glaciares detrás de las barreras de hielo, al desaparecer ellas, pierden la contención que tenían en su frente lo que impacta en el aumento del nivel del mar. Se ha observado que, a lo largo de las bahías Larsen A, Larsen B y Príncipe Gustavo, posterior a la fragmentación de las barreras de hielo, los glaciares allí situados entraron en un acelerado y constante retroceso.

## Cambios en los glaciares de Larsen B

El colapso abrupto y casi completo de la barrera de hielo de la bahía Larsen B en 2002, dejó una bahía abierta. Desde ese año hasta 2011, los glaciares situados en esta nueva bahía retrocedieron pronunciadamente. Pero desde el verano de 2012 hasta el verano de 2022 los glaciares se encontraron en un constante avance. Luego, a principios de 2022, de nuevo los glaciares retrocedieron abruptamente.

El hielo marino (ver Glosario), a diferencia de las barreras que se forman por el flujo de hielo glaciar continental aportado hacia el mar y que se acumula en las costas, es formado por el congelamiento directo del agua marina y que, a lo largo de los años, si permanece estable, se hace cada vez más grueso. Durante el primer período mencionado, 2002-2012, la condición del hielo marino en la bahía Larsen B, formado luego de la ruptura de la barrera de hielo, fue muy variable, lo que coincidió con una tendencia general al retroceso de los glaciares allí situados. Durante los siguientes diez años, es decir de 2012 a 2022, los glaciares se encontraron en etapa de crecimiento. Este avance glaciar coincidió con la formación y permanencia de hielo marino en la bahía Larsen B. Luego, en el verano de 2022, el hielo marino viejo que se encontraba en la bahía Larsen B (formado hacía diez años y nunca fragmentado durante la década 2012-2022), se desintegró abruptamente, lo que condujo a un desequilibrio de los glaciares de descarga que estaban allí contenidos, y causó un retroceso acelerado y generalizado de todos ellos. Si bien después de este evento, durante el invierno de 2022 se regeneró nuevamente el hielo marino, y los frentes se vieron estabilizados durante ese invierno austral, dicha estabilidad no fue constante a lo largo del año, y en el verano de 2023, los glaciares nuevamente entraron en un retroceso acelerado, lo que también coincidió con escasez de hielo marino en la bahía Larsen B para dicho momento. En la Figura 2 se puede ver el cambio neto

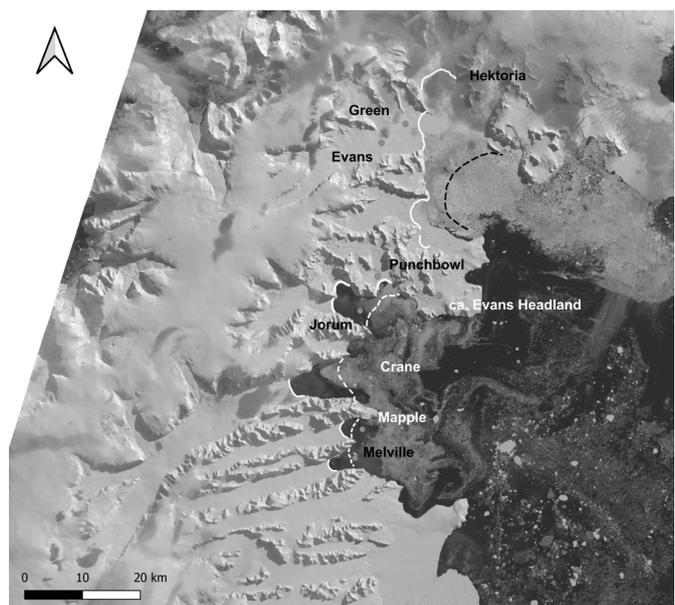


Imagen: gentileza de los autores.

**Figura 2. Cambios en la posición de los frentes glaciares situados en la bahía Larsen B, Península Antártica, observados entre diciembre 2002 (línea punteada blanca) y marzo 2023 (línea continua blanca).**

de la posición de los frentes glaciares situados en la bahía Larsen B, entre 2002 y 2023.

Dadas las condiciones de hielo marino y el avance/estabilidad o el retroceso/inestabilidad de los glaciares, se definieron los tres períodos de la siguiente manera: 12/2002-03/2011, 03/2011-12/2021, 01/2022-03/2023 (ver Tabla 1).

Se destaca que, durante el verano de 2023, la mayoría de los glaciares que desembocan en la bahía Larsen B han experimentado su máximo retroceso desde que la barrera de hielo se desintegró en el año 2002.

## Cambios en la temperatura

En 2021, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) informó que las actividades antropogénicas (ver Glosario), principalmente a través de las emisiones de gases de efecto invernadero, causaron un inequívoco aumento de la temperatura global de la superficie de 1,1 °C promedio entre 2011 y 2020 en comparación con el promedio del período 1850-1900. Hay que tener en cuenta que las barreras de hielo, el hielo marino y los glaciares son muy susceptibles al aumento de temperatura superficial del aire y que, con el calentamiento global, la Península Antártica también se está calentando. Para la Península Antártica ya a principios de la década del 2000 se hablaba de un calentamiento atmosférico de 3,5 °C para el pasado siglo, el cual fue induciendo una retracción del ambiente glaciar.

# DOSSIER

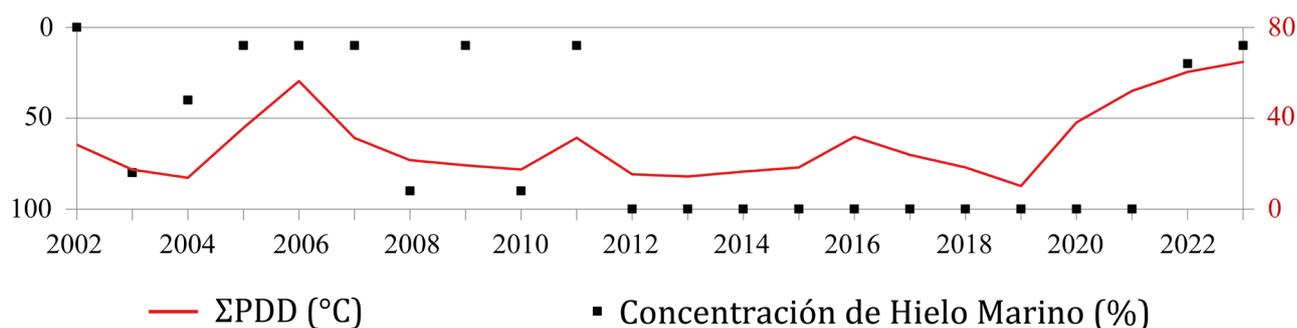
**Tabla 1. Detalle de los cambios en la posición de los frentes glaciarios situados en la bahía Larsen B, para los tres períodos que fueron diferenciados por la condición de hielo marino (2002-2012: hielo marino variable; 2012-2022: hielo marino estable y 2022-2023: hielo marino fragmentado). El glaciar Jorum posee 2 lenguas (ver figura 2), razón por la que se definieron los 2 valores.**

Glaciar	Retroceso (km) 2002-2012	Avance (km) 2012-12/2021	Retroceso (km) 01/2022-03/2023	Año de Máximo Retroceso
Melville	4	1,18	1,1	2012
Mapple	1,7	0,83	1,14	2023
Crane	9,7	11,17	9,9	2005
Jorum	7,4	1,4	4,2-1,75	2023
Punchbowl	6,6	0,5	0,5	2023
Green-Evans	10,3	14,5	17,53	2023
Hektoria	10,3	12,7	18,8	2023

Si bien la dinámica glaciaria está condicionada por diversos factores (tipo y morfología del glaciar, topografía circundante, etc.), el derretimiento, técnicamente denominado "ablación" (ver Glosario), es el resultado de la energía neta suministrada a la superficie del glaciar, la cual depende de numerosas variables como la temperatura, el albedo (ver Glosario), el viento, etc. Pero se ha determinado que la ablación glaciaria está altamente relacionada con temperaturas del aire elevadas. Entonces, para entender la ablación de los glaciares se puede utilizar el método de "Días de Grado Positivo" (conocido como *Positive Degree Days*, PDD, por sus siglas en inglés ver Glosario). Este método, a diferencia de otros, solo requiere conocer la temperatura diaria del aire. Este parámetro se usa para calcular la suma de las temperaturas positivas diarias (temperatura diaria promedio por encima de los 0 °C, punto de fusión del hielo, temperatura generalmente superada solamente durante los veranos antárticos), medidas durante un año (para glaciología se usan los llamados "años hidrológicos", en el hemisferio

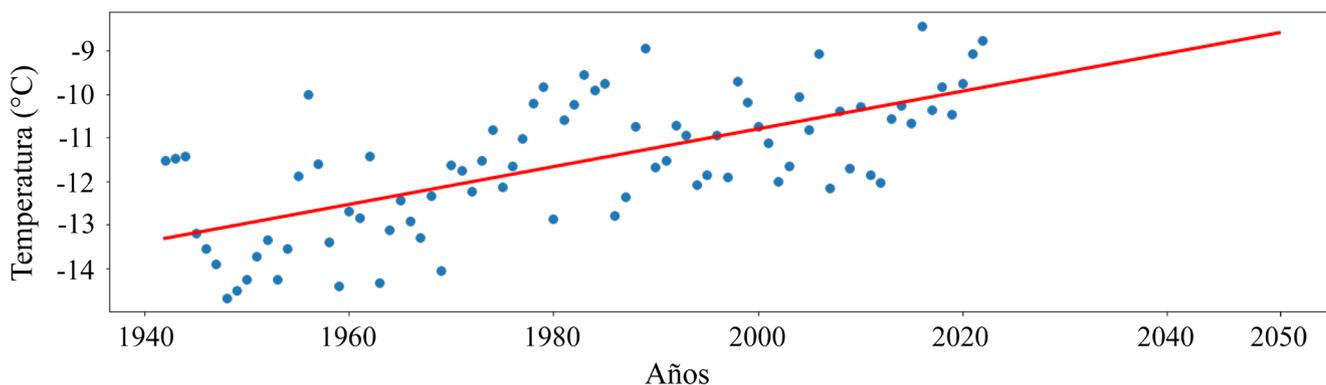
sur estos comienzan en marzo y terminan en febrero del año siguiente, momento en el cual termina la temporada de ablación glaciaria austral). El dato de temperatura es sencillo de obtener, no solo porque a lo largo de la Península Antártica hay un elevado número de estaciones meteorológicas, sino porque actualmente es posible obtener datos de temperatura superficial *in situ* de forma remota, para cualquier sector de Antártida, a partir de fuentes de datos satelitales. En nuestro caso usamos los datos de re-análisis meteorológico ERA5, de temperatura medida a dos metros de la superficie, provistas por el Centro Europeo para Pronósticos Meteorológicos a Medio Plazo. Estos datos fueron comparados con los datos de temperatura de la estación meteorológica de la base argentina Marambio, provistas por el Servicio Meteorológico Nacional.

Según diversos autores, el derretimiento de la superficie de los glaciares se correlaciona linealmente con la suma de los Días de Grado Positivo ( $\Sigma PDD$ ), multiplicada por un factor de proporcionalidad que depen-



**Figura 3. Cambios de 0 a 100% en la concentración de hielo marino (puntos) superpuestos con los cambios de temperatura positiva acumulada (línea) en las últimas dos décadas en la bahía Larsen B, Península Antártica.**

## DOSSIER



**Figura 4. Temperatura media anual (puntos) registrada desde 1941 por el satélite ERA5, ECMWF, y la tendencia lineal (línea), hasta 2050.**

de del tipo de hielo. De esta forma se infiere que un valor más elevado de  $\Sigma PDD$  dará un mayor grado de ablación del hielo.

Para la zona de estudio Larsen B, se determinaron los días de grado positivo, desde 2002 hasta 2023 a partir de datos satelitales (ver Figura 3). Se determinó que la tendencia general de la suma anual de las temperaturas de grado positivas es mayor y se exagera en los últimos años.

Teniendo en cuenta que, en general, las temperaturas positivas se registran solamente en verano para este sector del planeta, y por lo tanto es la estación en la que el hielo marino puede sufrir las mayores consecuencias, se ha determinado la condición de hielo marino para los veranos de la bahía Larsen B, desde que se desintegró la barrera de hielo en 2002 hasta el último verano, en el año 2023 (ver Figura 3).

Se determinó que, durante los veranos con baja suma de temperaturas positivas, en general, el hielo marino se mantiene estable. Mientras que durante los veranos con una elevada suma de temperatura positiva, el hielo marino se desintegra total o parcialmente.

Por otro lado, se determinaron los valores promedio durante los meses de verano de la temperatura positiva para los tres períodos mencionados, usando los datos horarios que provee el Servicio Meteorológico Nacional. Entre los años hidrológicos 2002 y 2011 el promedio de la temperatura positiva estival fue de  $0,72\text{ }^{\circ}\text{C}$ , entre 2012 y 2021 fue la más baja,  $0,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y para los veranos de 2022 y 2023 la temperatura fue la más elevada de los tres períodos, siendo el promedio de  $1,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se reconoce de esta forma que el período de temperatura positiva media más baja coincide con el período con permanencia de hielo marino y con el avance de los frentes glaciares, y que el período con media de temperatura positiva más alta

el hielo marino se fragmentó y desapareció casi totalmente y los glaciares registraron elevadas pérdidas.

Por último, se calcularon los promedios anuales de temperatura superficial de Larsen B desde que los datos de ERA5 se encuentran disponibles. Los promedios de temperatura muestran una tendencia positiva (ver Figura 4), con sus "altibajos", sugiriendo que la tendencia local es al calentamiento, presentando un aumento medio de  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  en la década 2010-2020 respecto de la década 1950-1960. Para la década 2040-2050 se estima un aumento promedio de  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  respecto de la media de la década 2010-2020.

Se debe tener en cuenta que las temperaturas antárticas se ven condicionadas por factores globales como los fenómenos de El Niño y La Niña, así como por factores regionales como Modo Anular del Sur (SAM por sus siglas en inglés). Esta es una fluctuación natural climática de la presión atmosférica que cuando se encuentra en su fase positiva fortalece la circulación atmosférica circumpolar lo cual genera en la región antártica vientos intensos provenientes del oeste. A su vez causa el mínimo de los mares de Amundsen-Bellingshausen (ASL por sus siglas en inglés), el cual es un sistema de baja presión atmosférica que afecta directamente al SAM, fortaleciéndolo. Si bien existe consenso dentro de la comunidad científica de que la tendencia general es al calentamiento y, si bien en 2023 se batieron los récords de máxima temperatura registrada en diferentes estaciones meteorológicas antárticas, así como lluvias en sectores donde solo se habían registrado nevadas, se debe considerar que esto también es, en parte, explicado por factores locales. El fenómeno "Foehn" es un fenómeno de vientos locales en la península Antártica, en el cual vientos provenientes desde el oeste chocan con el cordón montañoso perdiendo humedad y se calientan hacia el lado oriental

# DOSSIER

de la península. Este fenómeno local se ve potenciado con índices de SAM altamente positivos los cuales se ven a su vez potenciados con índices de ASL altamente negativos. Lo que no deja de ser preocupante, es que estos mismos factores se estén potenciando como consecuencias de los cambios climáticos globales.

## Reflexiones

Se ha explicado y demostrado cómo el hielo marino actúa como protector de los glaciares, reduciendo la descarga de hielo continental al océano circundante, como sucede con las barreras de hielo, las cuales protegen a los glaciares al generar una fuerza de tensión en sus frentes. También se ha explicado y demostrado cómo la condición de hielo marino depende de la suma de Días de Grado Positivo. Entonces, teniendo en cuenta las tendencias generales de la temperatura, se espera que, si sigue aumentando, una de las principales reservas de agua dulce en la Península Antártica se verá potencialmente en riesgo, así como tendrá su impacto no solo incrementando en el nivel relativo del mar, sino también modificando otros factores del ambiente marino como cambios en la salinidad y la posible consecuencia que esto significaría para la biota local.

## Resumen

Antártida contiene la mayor reserva de agua dulce del planeta y se encuentra en forma de hielo. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático reportó un aumento de 1,1 °C en la temperatura media global, lo cual preocupa a los países miembros del Tratado Antártico, entre ellos, Argentina. Para saber cómo afecta este aumento de la temperatura a las masas de hielo, el Instituto Antártico Argentino está realizando hace décadas un constante estudio de los glaciares de la Península Antártica. Se registró que, durante los últimos años, los glaciares situados en la bahía Larsen B, en el noreste de la Península Antártica, presentan un acelerado retroceso.

## Glosario

**Ablación glaciar:** proceso por el cual el hielo glaciar (agua congelada) disminuye su volumen por diferente tipo de factores (derretimiento, voladura por viento, fracturación y pérdida).

**Albedo:** porcentaje de la radiación solar reflejado por una superficie relativo a la radiación que incide sobre ella (si es blanca como los glaciares, será elevada).

**Antropogénico:** relativo a la actividad humana que tiene efectos sobre el ambiente.

**Barrera de hielo:** masa de hielo costera formada en contacto con tierra, alimentada por glaciares que fluyen hacia ella y que flota en un cuerpo de agua.

**Días de Grado Positivo:** refiere a los días en el que la temperatura media fue superior a 0 °C, es decir, por encima del punto de fusión del hielo.

**Equilibrio hidrostático:** equilibrio entre el peso de la barrera de hielo y la presión que ejerce el agua hacia ella, lo cual implica que el hielo flote y se eleve sobre el agua sin hundirse.

**Foehn:** fenómeno de vientos locales dentro de la península Antártica, en el cual los vientos provenientes del oeste chocan con el cordón montañoso perdiendo humedad y calentándose hacia el sector oriental de la Península Antártica.

**Glaciar:** cuerpo de hielo perenne que se forma por la acumulación de la nieve, y fluye por una superficie.

**Hielo marino:** hielo que se forma por el congelamiento directo del agua marina u oceánica.

## Para ampliar este tema

IPCC Sixth Assessment Report. Sitio oficial del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 6to reporte sobre el cambio climático. [[Disponible en Internet](#)]

Parra, S. (2023). La Antártida, en mínimos históricos: el hielo perdido equivale al tamaño de Argentina. National Geographic en español. [[Disponible en Internet](#)].

National Snow and Ice Data Center (2023). Antarctic sea ice settles at record low in 2023. [[Disponible en Internet](#)].

University of Cambridge (2022). Sea ice can control Antarctic ice sheet stability, new research finds. ScienceDaily. ScienceDaily, 12 May 2022. [[Disponible en Internet](#)].

Morris, E. M. & Vaughan, D. G. (2023). Spatial and Temporal Variation of Surface Temperature on the Antarctic Peninsula And The Limit of Viability of Ice. Shelves Antarctic Research Series, 79:61-68.