



# Informe

Monitoreo Antártica: Icebergs y Glaciares

Carlota Abarzúa, Tomás Oyaneder, Javier Arriagada

## Introducción y descripción del problema

La Antártica, el continente más austral de la Tierra, cubre aproximadamente 14 millones de kilómetros cuadrados y contiene alrededor del 70 % del agua dulce del planeta en forma de hielo. De esta manera es crucial monitorear este vasto desierto de hielo es crucial para comprender y predecir el cambio climático. El monitoreo de icebergs de la Antártica juega un papel clave en la regulación de las corrientes oceánicas y los patrones climáticos, lo que impacta directamente en el clima global. Además, el derretimiento de las capas de hielo de glaciares tiene el potencial de elevar significativamente el nivel del mar, afectando a las comunidades costeras globales.

## Objetivos generales y específicos del proyecto

### Objetivos Generales

- Monitorear los recursos naturales de la Antártica (icebergs y en menor cantidad glaciares).

### Objetivos Específicos

- Lograr a una correlación entre estaciones como invierno o verano y la velocidad de desplazamiento de un iceberg
- Analizar la tasa de cambio masa glaciar, determinando una relación con los cambios en el nivel del mar.

## Descripción de los datos

Vamos a usar cuatro datasets: dos para el trackeo de icebergs y dos para el análisis y predicciones de glaciares. A continuación, se especifican sus detalles y su propósito.

Cuadro 1: Descripción de los datos utilizados de Sentinel-1

Atributo	Descripción
Fuente	Agencia Espacial Europea (ESA)
Instrumento	Synthetic Aperture Radar (SAR)
Cobertura espacial	Global
Resolución espacial	10 metros para bandas de co-polarización y de cross-polarización.
Resolución temporal	La colección se actualiza diariamente. Nuevos datos son añadidos dentro de los dos días posteriores a su disponibilidad.
Bandas espectrales	["HH", ".angle"]
Variables de interés	Velocidad del flujo de hielo, deformación del hielo, detección de cambios en la superficie.
Cantidad de registros	Dependiendo del área de estudio y el período de tiempo analizado.

Cuadro 2: Descripción de los datos utilizados del National Snow and Ice Data Center

Atributo	Descripción
Fuente	National Snow and Ice Data Center (NSIDC)
Instrumento	AMSR-E, AVHRR, DRIFTING BUOYS, SMMR, SSM/I, SS-MIS
Cobertura espacial	N: 90, S: -90, E: 180, W: -180
Resolución espacial	Varía, principalmente 25 km
Resolución temporal	1 día
Variables de interés	Velocidad del hielo, movimiento del hielo marino
Cantidad de registros	Días del año (365 o 366)
Formato de datos	NetCDF, PNG
Sistema de referencia espacial	NSIDC EASE-Grid North EPSG:3408, NSIDC EASE-Grid South EPSG:3409
Cobertura temporal	25 de octubre de 1978 al 31 de diciembre de 2022

Cuadro 3: Descripción de los datos utilizados del Antarctica Mass Data

Atributo	Descripción
Fuente	NASA Jet Propulsion Laboratory
Instrumento	GRACE y GRACE-FO
Cobertura espacial	Antártida
Resolución temporal	Mensual
Variables de interés	Anomalías de masa de la Antártida
Cantidad de registros	Desde abril de 2002 hasta abril de 2024
Formato de datos	Texto ASCII
Sistema de referencia espacial	Georreferenciado
Cobertura temporal	Abril de 2002 a abril de 2024

Cuadro 4: Descripción de los datos utilizados del Global Mean Sea Level Data

Atributo	Descripción
Fuente	NASA Goddard Space Flight Center
Instrumento	TOPEX/Poseidon, Jason-1, OSTM/Jason-2, Jason-3, Sentinel-6 Michael Freilich
Cobertura espacial	N: 90, S: -90, E: 180, W: -180
Resolución temporal	10 días
Variables de interés	Nivel medio global del mar (GMSL)
Cantidad de registros	Desde septiembre de 1992 hasta enero de 2024
Formato de datos	Texto ASCII
Sistema de referencia espacial	Georreferenciado
Cobertura temporal	Septiembre de 1992 a enero de 2024

## Desarrollo

### 0.1. Derretimiento de glaciares/icebergs

### 0.2. Trackeo de icebergs

Para ser capaces de rastrear un iceberg, se tienen que definir ciertos parámetros básicos. La idea detrás de nuestro método para rastrear icebergs se centra en hacer uso de la segmentación con el algoritmo SNIC para poder detectar las figuras de los icebergs en las imágenes satélites. El proceso completo sigue ciertos pasos cruciales para su funcionamiento.

- a) **Polígono inicial:** Nuestro método al tener una naturaleza semi-automático implica que para que se pueda iniciar el trackeo, se tiene que instanciar el iceberg inicial que queramos trackear. Para hacer esto, hacemos uso de Google Earth Engine para buscar y denotar nuestro iceberg con un polígono para así exportar sus atributos.

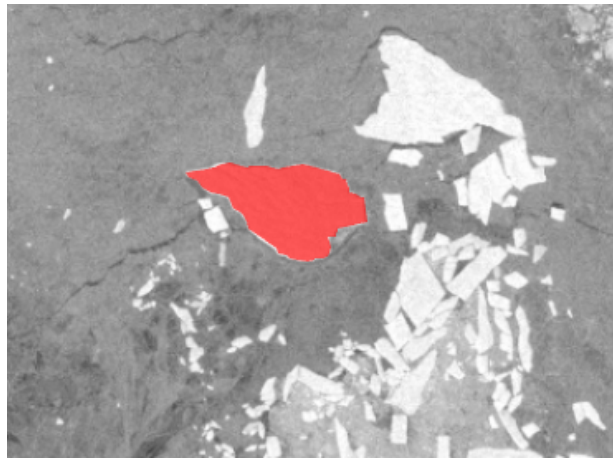


Figura 1: Polígono definido a mano desde GEE

- b) **Atributos básicos:** Una vez exportado el polígono desde Google Earth Engine, podemos empezar a definir las bases que representarán nuestro iceberg. Estas bases incluyen el centroide del iceberg, el área del iceberg y un histograma de las distancias desde el centroide a los bordes del iceberg. El histograma será de utilidad para verificar la similitud.

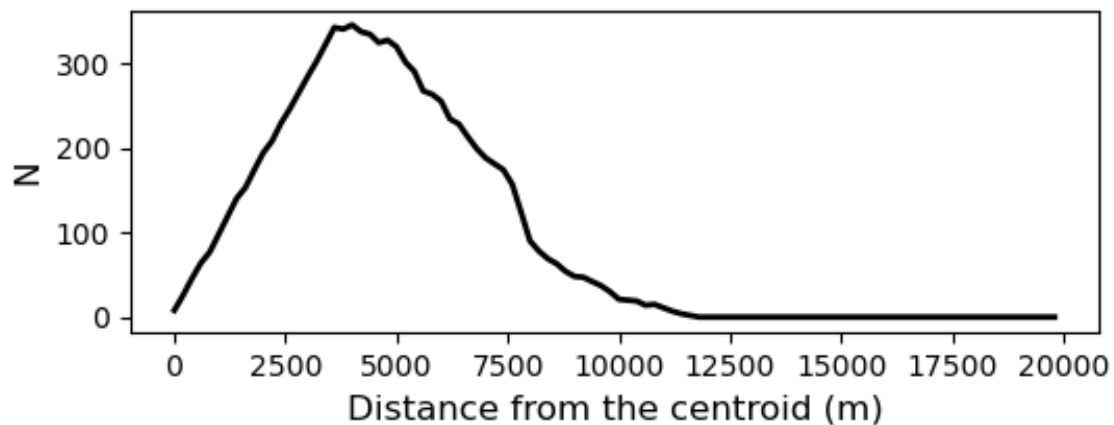


Figura 2: Histograma de distancias desde el centroide a los bordes del iceberg

- c) **Trackeo:** Para ser mas específico, el trackeo se puede subdividir en 3 acciones principales:
1. **búsquedaSegmentación:** Se define un área de búsqueda basada en un radio definido. Se realiza una segmentación en el área de búsqueda para poder destacar los icebergs contenidos en el área. En la figura 3 se aprecia cómo se genera la segmentación alrededor del iceberg.

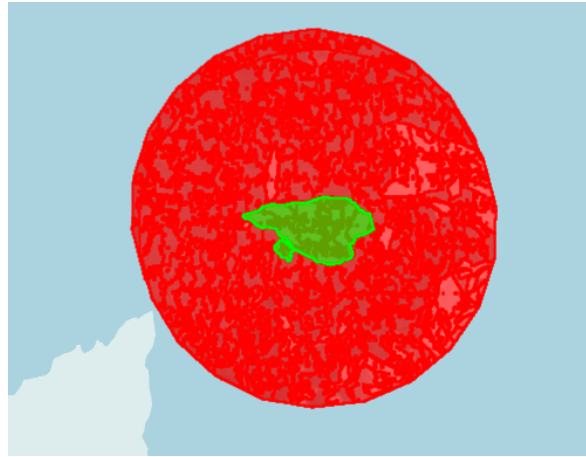


Figura 3: Segmentación con radio de búsqueda de 20km

2. **Comparación:** Una vez encontrado un polígono a través de la segmentación, primero se compara el área de este con el área inicial de nuestro iceberg, si el área esta dentro de un margen de error del 20 %, se considera para comparar similitud en base a su histograma, entre el histograma baseline y el histograma actual, debe haber un 70 % de similitud para que este iceberg sea considerado como un candidato.

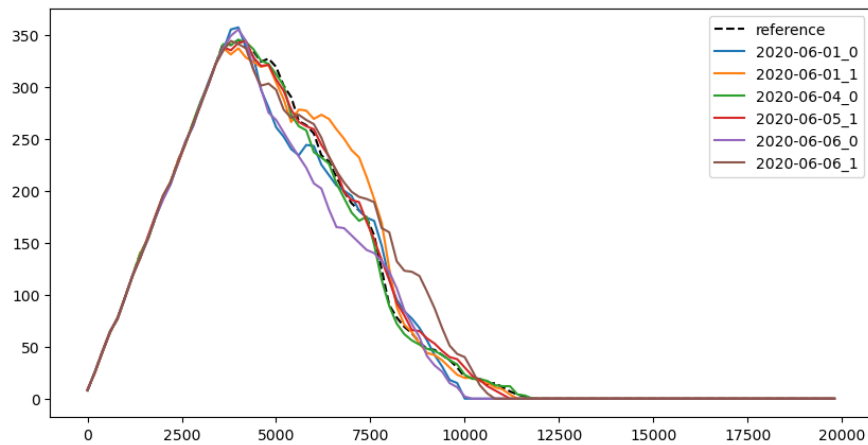


Figura 4: Representación de la comparación de histogramas en 6 iteraciones

3. **Actualización parámetros:** Finalmente cuando se obtiene el iceberg con mayor similitud, se actualiza el centroide del área de búsqueda para la siguiente iteración y se cambian las fechas para generar imágenes en los siguientes 2 días.

### 0.3. Trackeo de glaciares:

Para predecir el nivel del mar y la masa glaciara para el año 2030, se utilizó un enfoque basado en la regresión lineal. Este método es ideal para identificar tendencias en datos históricos y proyectarlas hacia el futuro.

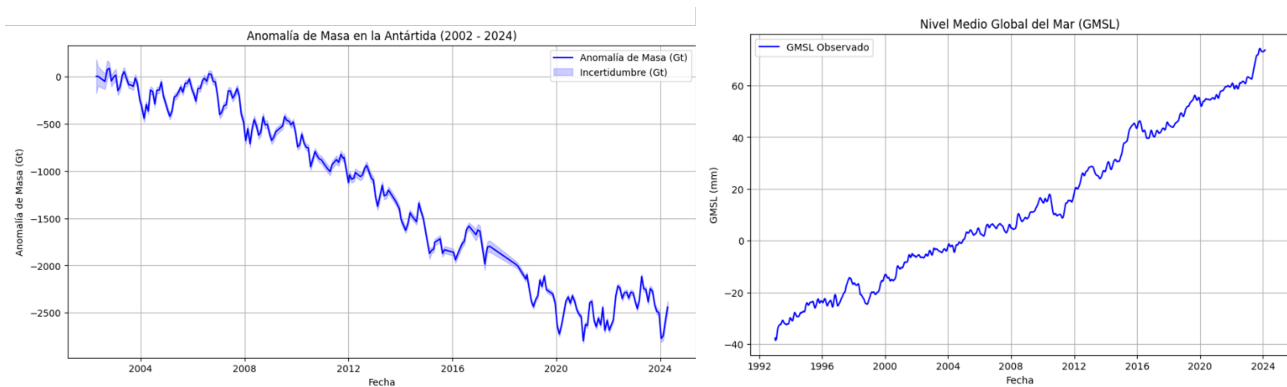
#### a) Regresión Lineal: Teoría y Aplicación

La regresión lineal es una técnica estadística que modela la relación entre una variable dependiente ( $y$ ) y una variable independiente ( $x$ ) mediante una línea recta. La ecuación de la regresión lineal es:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon$$

donde: -  $y$  es la variable dependiente (nivel del mar o masa glaciara). -  $\beta_0$  es la ordenada al origen, el valor de  $y$  cuando  $x$  es 0. -  $\beta_1$  es la pendiente de la recta, que indica el cambio en  $y$  por cada unidad de  $x$ .

cambio en  $x$ . -  $x$  es la variable independiente (tiempo en años). -  $\epsilon$  es el término de error, que representa la desviación de los datos respecto a la línea de regresión.



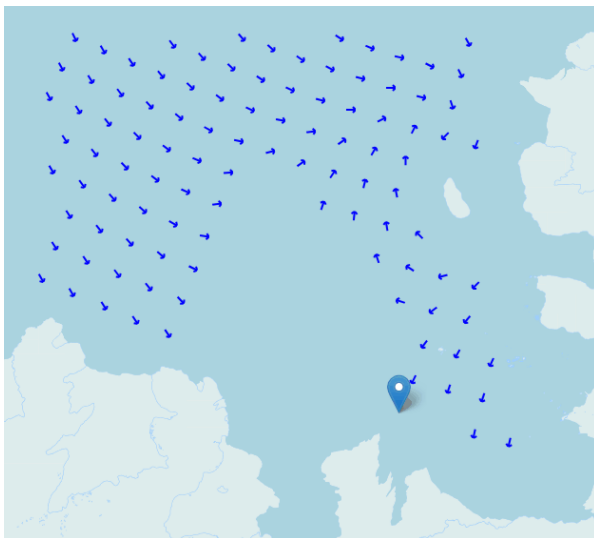
(a) Gráficos de evolución temporal de masa glaciar vs. nivel del mar

## Estudio y Resultados

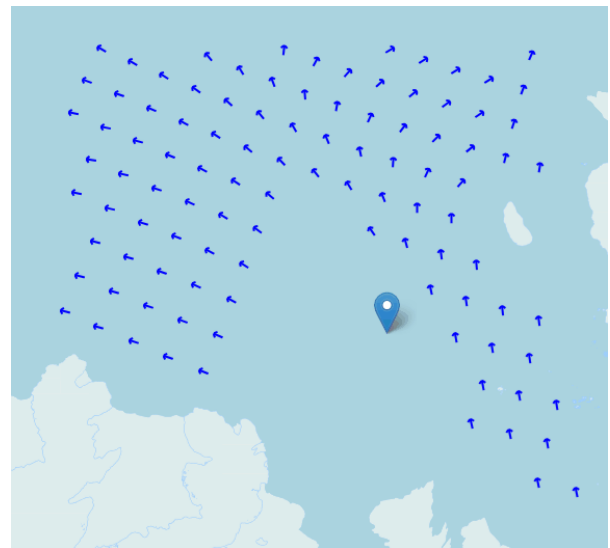
### Interpretación de Resultados: Icebergs

Para llevar a cabo el estudio se consideraron 2 aspectos, las corrientes y el movimiento de hielo para corroborar y la velocidad del iceberg.

1. **Corrientes:** Al estudiar el movimiento del primer iceberg, notamos que alrededor de septiembre, este se alejaba rápidamente. Al visualizar las corrientes, nos dimos cuenta de que toda el área cercana sufría del mismo fenómeno. Según la figura 5, se plantea la hipótesis de que si se acaba el invierno o simplemente aumenta la temperatura, las corrientes cambian notablemente.



(a) Iceberg y corrientes marinas en Julio



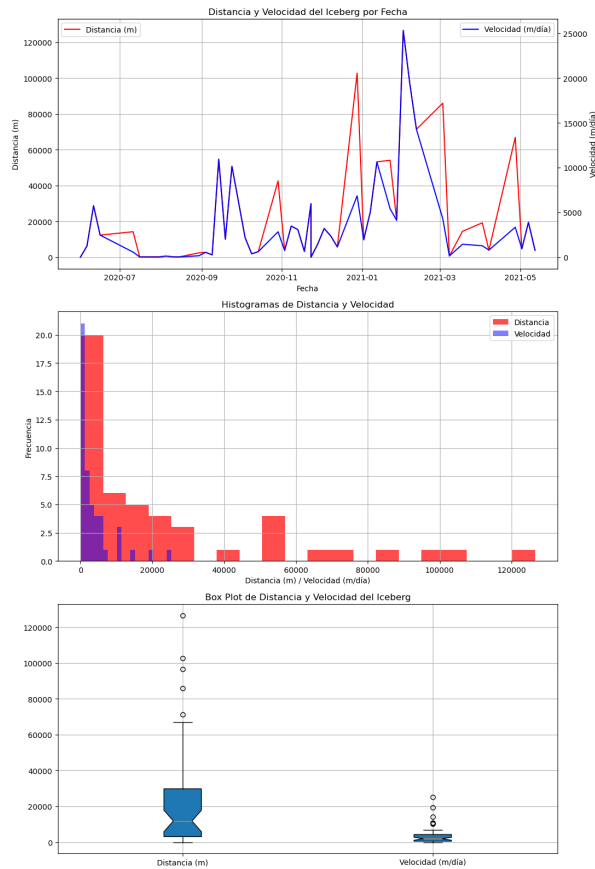
(b) Iceberg y corrientes marinas en Septiembre

Figura 6: Cambio de las corrientes después del invierno

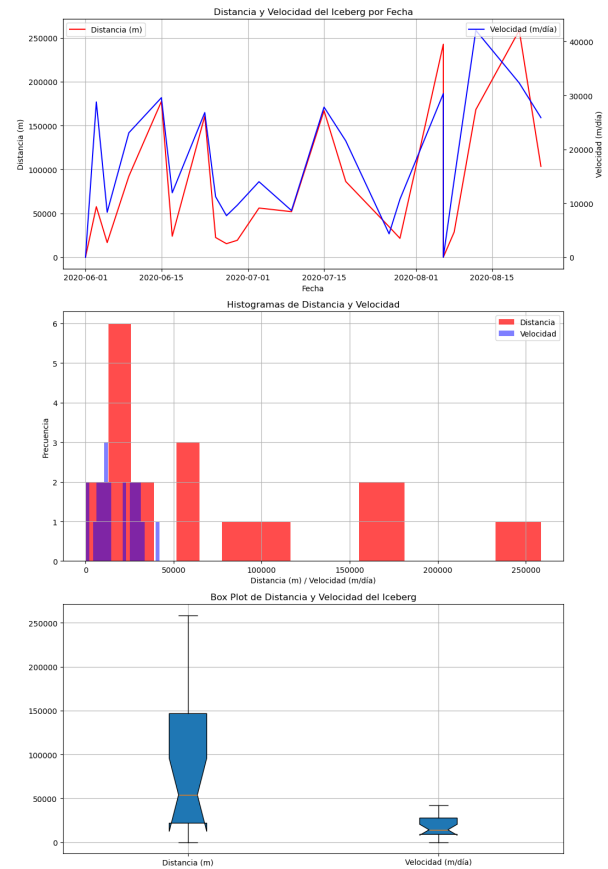
2. **Velocidad y desplazamiento:** Para corroborar la idea de que el desplazamiento del iceberg se relaciona con la estación del año, decidimos hacer un gráfico para la velocidad promedio del iceberg y la distancia viajada. Para tener un poco mas de data al momento de llegar a una conclusión, logramos trackear otro iceberg en otro sector de la Antártica por 2 meses y medio.

Fijándose en el grafico (a) de la figura 6, específicamente en el gráfico de distancia y velocidad VERSUS fecha, se puede apreciar como efectivamente aumenta la velocidad y distancia en Septiembre y después

entre diciembre y marzo alcanza sus valores mas altos. Hasta se podría decir que en el gráfico (b) la velocidad pareciera ir aumentando desde agosto. Esto respalda la idea de que fuera del invierno aumentan las velocidades de desplazamiento de los icebergs y con ello las corrientes.



(a) Gráficos de movimiento del iceberg principal durante 1 año



(b) Gráficos de movimiento de un iceberg secundario durante 2 meses

Figura 7: Cambio de las corrientes después del invierno

### Interpretación de Resultados: Glaciares

Para el estudio de los glaciares, se consideraron dos aspectos principales: la masa glaciaria y el nivel del mar. A continuación, se presentan los resultados y análisis obtenidos a partir de los datos históricos y las predicciones realizadas para el año 2030.

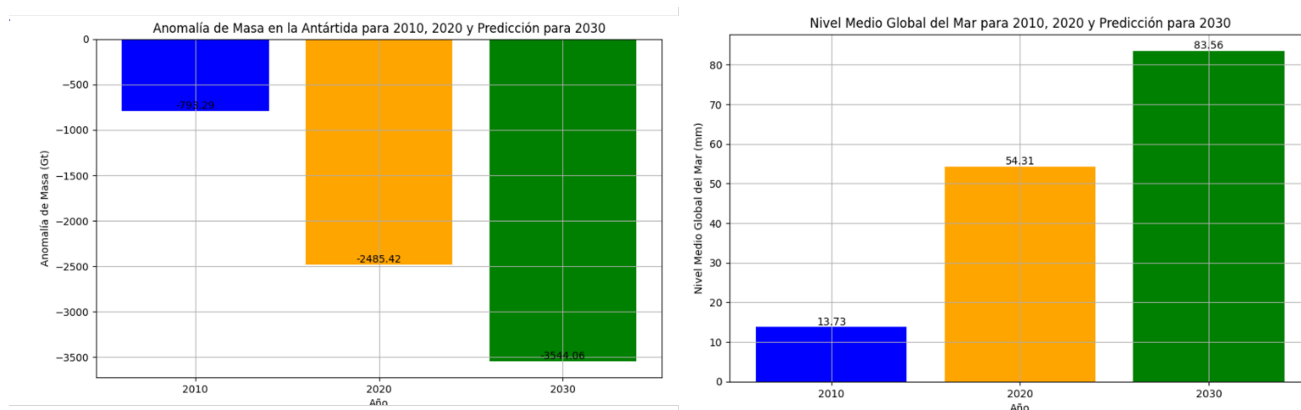
#### ■ Masa Glaciaria

Al analizar la anomalía de masa glaciaria en la Antártida, se observó una tendencia de disminución significativa.

#### ■ Nivel del Mar

El análisis del nivel medio global del mar (GMSL) también mostró una tendencia ascendente.

El análisis muestra una correlación clara entre la disminución de la masa glaciaria en la Antártida y el aumento del nivel del mar. Los gráficos indican que la pérdida de masa glaciaria se acelera con el tiempo, lo que contribuye al aumento del nivel del mar. Este comportamiento resalta la importancia de monitorear y mitigar el impacto del cambio climático en los glaciares y el nivel del mar.



(a) Gráficos predicciones de masa glaciar vs. nivel del mar al 2030

## Conclusion

Los resultados del estudio indican un aumento estacional notable en la velocidad y desplazamiento de icebergs durante los meses de septiembre a marzo, fenómeno que se correlaciona con cambios en las corrientes oceánicas y el incremento de las temperaturas. Esta dinámica estacional subraya la influencia directa del clima en la movilidad de los icebergs, destacando la importancia de considerar estos factores estacionales en el monitoreo y gestión de los recursos antárticos.

Continuar con un monitoreo a largo plazo es crucial para obtener datos precisos sobre la pérdida de masa de hielo y su impacto global. Este seguimiento continuo permitirá capturar variaciones estacionales y a largo plazo en la dinámica de los glaciares e icebergs, proporcionando información esencial para la investigación climática y la toma de decisiones en políticas ambientales.

Para mejorar la precisión en la detección y seguimiento de cambios, es esencial avanzar en métodos de segmentación y análisis de datos satelitales. La integración de tecnologías de alta resolución y el desarrollo de algoritmos avanzados pueden facilitar la identificación más precisa de icebergs y cambios en la estructura de los glaciares.

El uso de modelos de regresión lineal ha demostrado ser efectivo para proyectar tendencias futuras en la masa glaciar y el nivel del mar hasta 2030. Estas proyecciones subrayan la urgencia de acciones para abordar el cambio climático y sus efectos globales, resaltando la importancia de estrategias adaptativas y de mitigación a nivel internacional.

En resumen, mejorar la tecnología de monitoreo y análisis de datos geoespaciales en la Antártida es fundamental para entender y mitigar los impactos del cambio climático en los ecosistemas polares y globales.

## Referencias

### Datasets

- European Space Agency. (2024). Sentinel-1 satellite data [Data Set]. Copernicus Open Access Hub. <https://scihub.copernicus.eu/>. Date Accessed 07-08-2024.
- National Snow and Ice Data Center. (2020). Ice Motion Daily, Southern Hemisphere, 25km (Version 4.1) [Data set]. NSIDC. [https://nsidc.org/data/icemotion\\_daily\\_sh\\_25km\\_20200101\\_20201231\\_v4.1.nc](https://nsidc.org/data/icemotion_daily_sh_25km_20200101_20201231_v4.1.nc). Date Accessed 07-08-2024.
- National Snow and Ice Data Center. (2021). Ice Motion Daily, Southern Hemisphere, 25km (Version 4.1) [Data set]. NSIDC. [https://nsidc.org/data/icemotion\\_daily\\_sh\\_25km\\_20210101\\_20211231\\_v4.1.nc](https://nsidc.org/data/icemotion_daily_sh_25km_20210101_20211231_v4.1.nc). Date Accessed 07-08-2024.
- NASA. Ice Sheets. Climate Change: Vital Signs of the Planet. Recuperado el 9 de julio de 2024, de <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/?intent=121>
- NASA. Sea Level. Climate Change: Vital Signs of the Planet. Recuperado el 9 de julio de 2024, de <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/?intent=121>

## Papers

- Koo, Y., Xie, H., Ackley, S. F., Mestas-Núñez, A. M., Macdonald, G. J., & Hyun, C.-U. (2021). Semi-automated tracking of iceberg B43 using Sentinel-1 SAR images via Google Earth Engine. *The Cryosphere*, 15(10), 4727-4744. <https://doi.org/10.5194/tc-15-4727-2021>