

ESTUDIO MULTITEMPORAL DEL GLACIAR MAYO UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES

Pilato, Guido Luis ¹; Barrios, Abril ³; Gari Jorge Marcelo ¹; Saavedra, Solange ⁴; Ortone Lois, Ailín Sol ^{1,2}

¹ Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Haedo.
Paris 532, 1706 Haedo, Buenos Aires
guidopilato@gmail.com

² Centro de Sensores Remotos – Fuerza Aérea Argentina.
Belisario Roldán 4511, 1425, CABA

³ Universidad de Buenos Aires – Facultad de Agronomía.
Av. San Martín 4453, 1417, CABA

⁴ Universidad Nacional de Luján.
Ruta 5 y Avenida Constitución - (6700) Luján, Buenos Aires

RESUMEN

El objetivo de este trabajo se centra en el estudio del comportamiento de uno de los grandes glaciares del CHPS ubicado dentro del Parque Nacional Los Glaciares, el Glaciar Mayo. A pesar de ser un importante glaciar de valle compuesto (39,59km² medidos al momento de este trabajo), no se encuentran muchos desarrollos puntuales sobre el mismo.

Para analizar su comportamiento nos valdremos de la teledetección, una poderosa herramienta muy utilizada en investigaciones internacionales y nacionales, generando productos como el estudio multitemporal de imágenes satelitales de sensores ópticos a bordo de satélites de observación de la Tierra.

Comparando las imágenes satelitales procesadas de la serie Landsat y Sentinel de las últimas décadas, con referencia a una imagen aérea, se pueden medir variaciones en su frente y pérdidas de áreas de hielo, estos datos junto con información meteorológica de la zona de los últimos años, nos permitieron obtener conclusiones sobre el comportamiento de este glaciar.

Palabras clave: teledetección, Glaciar Mayo, estudio multitemporal, detección de cambios, CHPS.

INTRODUCCIÓN Y ZONA DE ESTUDIO

Un glaciar es una masa de hielo y nieve en continuo desplazamiento, más o menos veloz según la pendiente y el volumen. Se forma por la acumulación de la nieve en las cuencas superiores (zona de acumulación o ventisquero) especialmente en invierno, con pesos específicos bajos, inferior a 0,1 g/cm³, luego en la primavera los cristales de nieve se transforman en gránulos con densidades entre 0,4 a 0,6 g/cm³ que van eliminando los aires, re congelan el agua en las cavidades, uniendo y compactando entre sí a los cristales. Estos gránulos con las caídas de nuevas nevadas se van comprimiendo y compactando formando una masa opaca llamada neviza que se desliza hacia el valle, al ir perdiendo el aire adquiere mayor transparencia, compacidad y dureza constituyendo el hielo esponjoso, etapa intermedia hasta llegar al hielo del glaciar, que es una masa cristalina, azulada y muy compacta que es el

hielo del glaciar, formación que se denota muy bien en las imágenes satelitales en las zonas de ablación de los glaciares, en época estival donde no hay cobertura de nieve sobre el hielo a esas alturas.

El Hielo Continental Patagónico con sus 17.200 km² de superficie aproximada se extiende a lo largo de la Cordillera de los Andes entre Argentina y Chile y es el área glaciaria más extensa del hemisferio sur a excepción de la Antártida. Este campo de hielo en su sector norte cubre 4.200 km² y el sur que es el denominado Campo de Hielo Patagónico SUR (CHPS), 13.000 km², este último tiene una extensión de 350 km entre los paralelos 48° 20' y 51° 30' S, a lo largo del meridiano de 72° 30' O, con un ancho en su parte de mayor desarrollo entre 30/40 km, lo forman 48 glaciares que descargan sus aguas al este, en grandes lagos proglaciarios y al oeste, en la vertiente chilena en fiordos en el Océano Pacífico.

El área cubierta en territorio argentino es de 3.500 km². Existen 13 grandes glaciares unidos a la gran masa del CHPS que bajan del mismo y la mayoría tocan sus frentes con las aguas de los lagos Argentino y Viedma, siendo modeladores de amplios y profundos valles entre montañas.

El Parque Nacional Los Glaciares creado en 1937, desarrollándose a lo largo de la Cordillera de los Andes en dirección N-S, nuclea a todos estos glaciares del tipo temperado por la latitud en que se encuentran y que salvo el Glaciar Frías finalizan en los lagos proglaciarios mencionados previamente en un fenómeno denominado calving, que es un proceso de ablación muy importante que se verifica con ruptura de los frentes y formación de grandes témpanos que suelen obstruir a veces la navegación en las zonas aledañas.

Navegando por el Seno Mayo del lago, se aprecia el Glaciar del Cerro Mayo, avistado en 1876 por primera vez según relato del propio Francisco Pascasio Moreno, quien escribe "...una forma aguda, atrevida, se eleva radiante de blancura entre rosados tintes que comunica el cielo, allí tan despejado,... Esta montaña se llamará en adelante Cerro de Mayo... las nieblas lo amortiguan a la vista, pero su inmensa aguja paleocrística se destaca del cielo celeste a través de la capa de nubes." [3]

El Glaciar Mayo es del tipo de valle compuesto, que se origina por la confluencia de dos o más glaciares de menor tamaño que alimentan al glaciar principal, cuya lengua de hielo fluye hacia abajo por un valle bien demarcado.

Su ubicación geográfica dentro del CHPS es de 50° 22' S y 73° 20' O corre de N a S con una longitud aproximada medida desde su frente de 15 km, este en su tramo final forma una elevación que en forma de martillo se divide en dos brazos, el derecho que finaliza en forma de calving hacia el Lago Argentino y el izquierdo de la misma manera en la Laguna Escondida, este espejo de aguas está siempre cubierto de témpanos y su nivel llega a elevarse hasta 80 metros sobre el nivel del Lago Argentino.

ANÁLISIS DE RETROCESO

Datos y Metodología.

Se realizó una búsqueda de imágenes ópticas de la zona de estudio, de la época estival y con la menor cobertura de nubes y nieve posible para identificar de forma precisa las áreas de ablación y acumulación del glaciar. En el caso de la imagen aérea, se georreferenció en base a la imagen de mejor resolución.

Los contornos de los glaciares de la cuenca del Glaciar Mayo se obtuvieron de GLIMS con las modificaciones incorporadas por Herreid y Pellicciotti [8]. Se ajustaron parámetros manualmente en base a imágenes aéreas (para el año 1979) y ópticas, LANDSAT y Sentinel 2 sin nubes para los años 1986, 2005, 2011, 2016 y 2021, ayudados por mapas de acumulación de flujo, donde se eliminaron las áreas mal clasificadas, como lagos proglaciares y rocas, de forma manual. Para identificar las regiones glaciariadas, se utilizó un índice NDSI, identificando los contornos de los glaciares. La superficie final se calcula en la proyección UTM 18S.

En la Figura 1, se muestran mediciones de retroceso entre el año 1979 y 2021

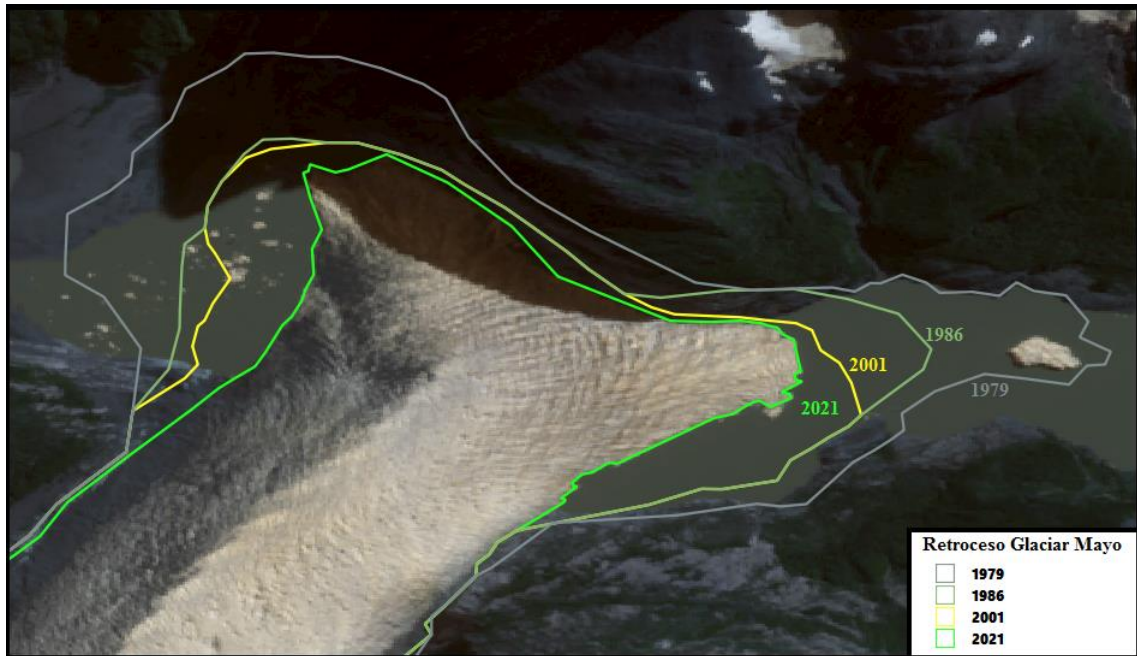


Fig.1. Retroceso superficial Glaciar Mayo entre los años 1979, 1986, 2001 y 2021

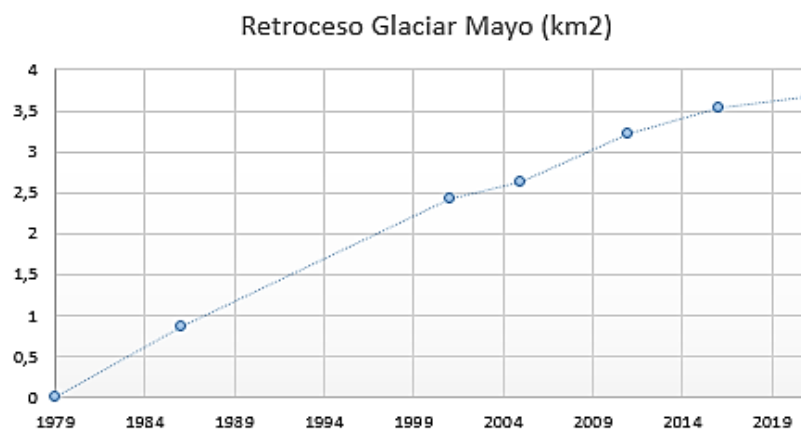


Fig.2. Retroceso superficial del glaciar Mayo entre 1979 y 2021 medido en km²

Tabla 1. Tasa de retroceso en km² por año

Año	Sensor	Área(Km2)	Medicion(km2)
1979	Aérea	43,2726	0
1986	TM	42,4197	0,8529
2001	ETM+	40,8526	2,42
2005	ETM+	40,6445	2,6281
2011	ETM+	40,0481	3,2245
2016	S2 MSI	39,7407	3,5319
2021	S2 MSI	39,5952	3,6774

RESULTADOS

RETROCESO SUPERFICIAL

Desde el primer año de medición, este conjunto de glaciares indica un retroceso lineal positivo de sus frentes, con algunas épocas más aceleradas como entre los años 1979 / 1986, y 2005 / 2011 (Fig. 2). Los datos fueron extraídos de las mediciones que se detallan en la Tabla 1, observándose un retroceso de 3,6774 Km² para el período 1979-2021.

METEOROLOGÍA

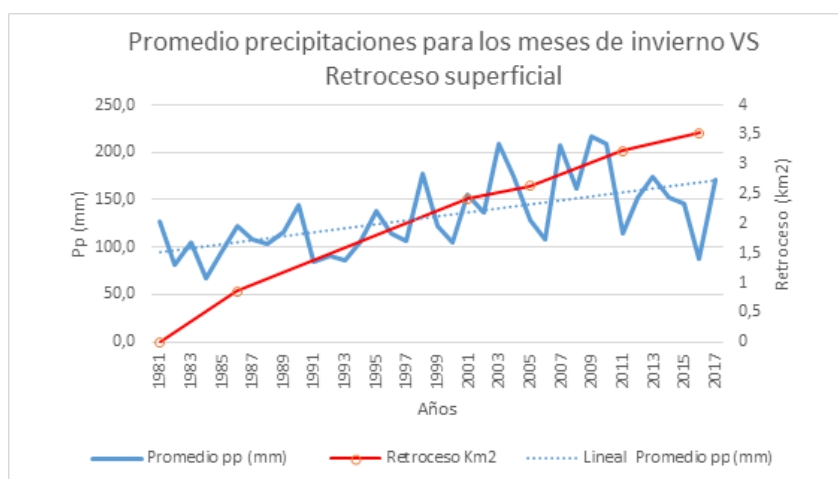


Figura 3 – Gráfico combinado del retroceso superficial medido en km² entre 1979 y 2017 comparado con las precipitaciones promedio durante los meses invernales (mayo-junio-julio-agosto) entre los años 1981 y 2017. Fuente: Proyecto POWER – NASA.[7]

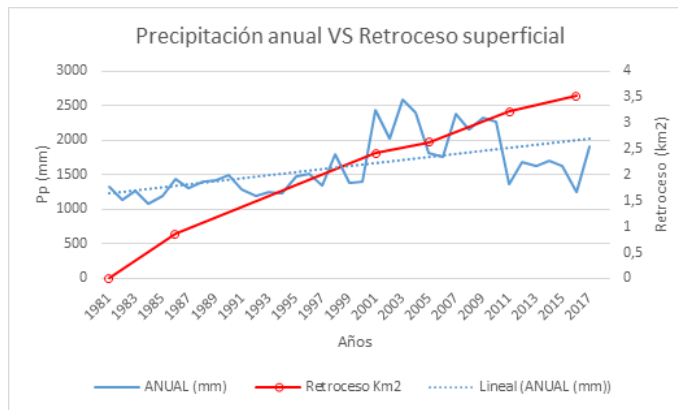


Figura 4 - Gráfico combinado del retroceso superficial medido en km^2 entre 1979 y 2017 comparado con las precipitaciones promedio anuales entre los años 1981 y 2017. Fuente: Proyecto POWER – NASA[7].

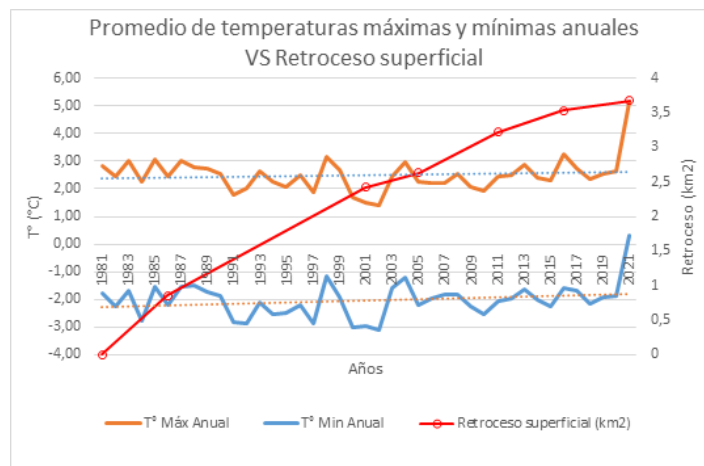


Figura 5 - Gráfico combinado del retroceso superficial medido en km^2 entre 1979 y 2021 comparado con las temperaturas medias máximas y mínimas anuales, entre los años 1981 y 2021. Fuente: Proyecto POWER – NASA[7].

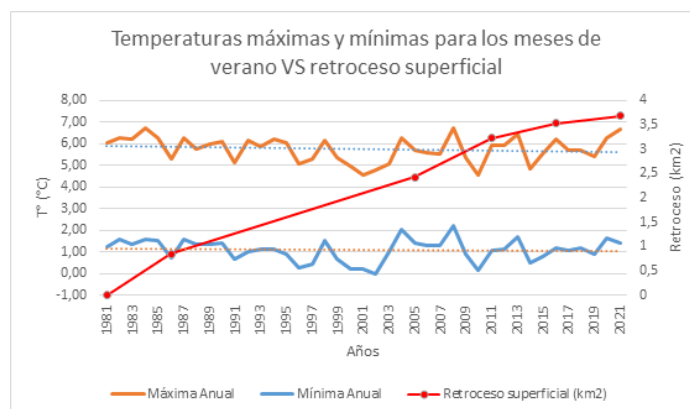


Figura 6 - Gráfico combinado del retroceso superficial medido en km^2 entre 1979 y 2017 comparado con las temperaturas medias máximas y mínimas para los meses de verano (diciembre, enero, febrero, marzo) entre los años 1981 y 2017. Fuente: Proyecto POWER – NASA[7].

DATOS METEOROLÓGICOS

Se utilizaron datos de precipitaciones y temperaturas de la plataforma POWER (Predicción de los recursos energéticos mundiales) de la NASA que se inició para mejorar el conjunto de datos de energía renovable actual y crear nuevos conjuntos de datos a partir de nuevos sistemas de satélites[4]. El proyecto POWER proporciona conjuntos de datos solares y meteorológicos de la investigación de la NASA para respaldar la energía renovable, la eficiencia energética de los edificios y las necesidades agrícolas[7]

Temperatura.

Se analizaron las series climáticas del período comprendido entre los años 1981 y 2021 (hasta mayo inclusive). La Figura 5 muestra el promedio de temperaturas máximas y mínimas anuales versus el retroceso superficial medido en Km². El valor 0 de retroceso corresponde al año 1979, pero en este caso se muestra correspondiente al año 1981 para facilitar el análisis, debido a que no se han encontrado datos meteorológicos de los años 1979 y 1980. Al mismo tiempo se obtuvieron datos de temperaturas máximas y mínimas para los meses de verano (diciembre a marzo) como se observa en la Figura 6. Contar con información de temperaturas de época estival es de gran relevancia debido a que es el momento del año donde se produce el mayor derretimiento del hielo. Identificar anomalías en las temperaturas de estos meses puede ayudar a determinar las causas de la dinámica del glaciar.

Precipitación.

Se extrajeron promedios de precipitaciones anuales para el período comprendido entre 1981 y 2017 y el promedio para los meses de invierno (mayo a agosto). No se incluyeron los años 2018 al 2021 ya que las fuentes consultadas arrojaron inconsistencias en los datos. Ambos gráficos muestran la precipitación promedio en mm versus el retroceso superficial en Km². Se analizaron las precipitaciones invernales ya que son los meses donde se produce la mayor caída de nieve, la cual puede quedar acumulada en verano para luego convertirse en hielo permanente.

CONCLUSIONES

En 1820 y 1900 hubo avances menores relacionados con fluctuaciones en la intensidad de la radiación solar. A partir de 1900 no ocurre lo mismo, sino que el retroceso es sostenido en la mayoría de los glaciares del CHPS, acompañando a la elevación de la temperatura media global.

Existen evidencias de muchas investigaciones realizadas, que una elevación de la temperatura media sobre todo en las áreas de ablación de los grandes glaciares del CHPS, acompañado de una merma de las precipitaciones media anuales en las áreas de acumulación, originarían una intensificación de la tasa de derretimiento acelerando el proceso de retroceso de sus frentes.

Estudios de largo término realizados en los últimos 100 años, analizando registros de estaciones en la Patagonia entre las latitudes 41° a 55°, revelaron que las temperaturas se incrementaron en todo el sur del paralelo 46° en especial en el sector E de los Campos de Hielo, donde estos cambios tienen una decisiva influencia en el retroceso de los glaciares siendo más marcado este fenómeno en el CHPS (paralelos 48° A 51° 30').

Ibarzábal y Dondángelo (1996) analizaron datos de 4 estaciones meteorológicas en el sur de Argentina (paralelos 47° a 52°) durante los últimos 50/60 años encontrándose una suave tendencia a la suba de la temperatura y a la baja de las precipitaciones medias anuales.

Además de estos cambios climáticos locales, la dinámica de un glaciar está fuertemente influenciada por factores como la relación entre áreas de acumulación / ablación (AAR,) el

gradiente superficial alrededor de la ELA, si su frente termina en calving en un lago proglaciario o en un fjord y por la topografía subglaciaria, causando amplias variaciones en sus frentes y pérdidas de hielo en forma de desprendimientos de témpanos.

Por lo tanto y con respecto a las perspectivas futuras, los glaciares del CHPS verán afectada su dinámica por el calentamiento generado debido al efecto invernadero sumado a un ciclo de calentamiento que sufre la Tierra desde el final de la Pequeña Edad de Hielo (LIA) alrededor de 1850, pudiéndose comprobar que son muy sensibles a las variaciones meteorológicas (disminución de precipitaciones medias níveas en la zona de acumulación y ascenso de las temperaturas medias en la zona de ablación).

De los datos de retroceso del frente del Glaciar Mayo comparados con los datos meteorológicos adquiridos, se puede observar en el gráfico de las precipitaciones anuales que hay una marcada disminución desde el 2009 y se repite en el de las precipitaciones invernales donde se destacan períodos de baja en 2000, 2006 y 2016, aunque la curva media de precipitaciones tiene un suave ascenso (fig. 3 y 4). En el caso de las temperaturas se verifica un aumento de temperaturas máximas anuales y de verano a partir del 2011/2013.

Como ocurre en otros glaciares del CHPS, en el Glaciar Mayo la disminución de las precipitaciones y suba de temperaturas son dos factores importantes, aunque no excluyentes en el retroceso de su frente y pérdida de área glaciaria, teniendo un comportamiento similar

El Glaciar Mayo mostró una recesión de su frente, especialmente en la zona de ablación, como se pudo observar en los resultados de retroceso superficial, siendo $-3,6774 \text{ Km}^2$ para el período 1979-2021, aproximadamente una pérdida de área de 9,28% sobre su extensión actual, fenómeno observado en las imágenes a través de las variaciones en su frente, traducidos en pérdidas de hielo en forma de desprendimientos de témpanos. Esto nos indica que a futuro el comportamiento de retroceso sostenido será similar; con tasas cuyas oscilaciones serán muy dependientes a las variaciones climáticas, tornándose un factor primordial para tales cambios.

Sin embargo, en un escenario donde la Tierra entre en un período de enfriamiento como vaticinan algunos científicos y que se podía producir a partir del 2050, en el cual tenga lugar una disminución profunda de la línea de equilibrio (ELA), siendo ésta el límite en altura entre las zonas de acumulación y de ablación de un glaciar, los glaciares avanzarían y en el CHPS lo harían hasta las morenas Neo glaciares Pearson IIa, que se formaron aproximadamente en 1730. [1] Estos sucesos están representados por los cordones morrénicos situados en la zona Norte del Lago Argentino

BIBLIOGRAFÍA

- [1].Malagnino, Eduardo. (2008). Un pasado, un presente y un futuro incierto. Sitios de interés geológico de la República Argentina. (SEGEMAR).Anales 46,tomo II, 819-836.
- [2].Aniya, M., Sato, H., Naruse, R., Skvarca, P., Cassasa, G. (1997). Recent variations in the Southern Patagonic Icefield.South America. Artic and Alpine Research.Vol.29,Nº1,1-12.
- [3].Moreno Francisco Pascasio., Viaje a la Patagonia austral, (1879). Imprenta de la Nación.
- [4].Ortone, A., Pilato, G., Gari, J., Macote, E., Cook, L. (2019). Representación topográfica mediante imágenes satelitales sobre el CHPS. X Congreso de Tecnología Espacial.
- [5].Cassasa, G. Rivera, A., Aniya, M., Naruse, R. (2000). Características glaciológicas del Campo de Hielo Patagónico Sur. Anales Instituto Patagonia.Vol.28.5-22.
- [6]. Pilato, G., Ortone Lois, A., Barrios, A., Macote Yparraguirre, E., Saavedra, S. Tecnología espacial aplicada a Glaciares Patagónicos y su comportamiento como indicadores ambientales. (2020). XI Congreso de Tecnología Espacial.
- [7]. Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/-/data-access-viewer/>. NASA, (2020).
- [8]. Herreid and Pellicciotti, Nature Geoscience, (2020)