

Cambio climático: retroceso de glaciares y formación de nuevos lagos



Elizabeth Mazzoni
Jorge Rabassa

El calentamiento regional en los Andes Patagónicos ha provocado un rápido derretimiento de la casi totalidad de los frentes glaciares, con la aparición y crecimiento de nuevos lagos, lagunas y humedales en las últimas décadas en los espacios abandonados por el hielo. Este proceso continúa en la actualidad, generando la pérdida de patrimonio natural al ser afectados muchos glaciares en toda la Cordillera Andina. Se toma como caso de estudio el Monte San Lorenzo de la Patagonia Austral.

Nuestro planeta ha experimentado numerosos cambios climáticos a lo largo de su historia. Desde finales del Mioceno (6-7 millones de años atrás, o Ma) hasta la actualidad se sucedieron al menos 100 períodos glaciares e interglaciales asociados a estas variaciones en la temperatura media global.

En los momentos de mínimas temperaturas (períodos glaciares), los glaciares patagónicos alcanzaron su máxima extensión. Uno de

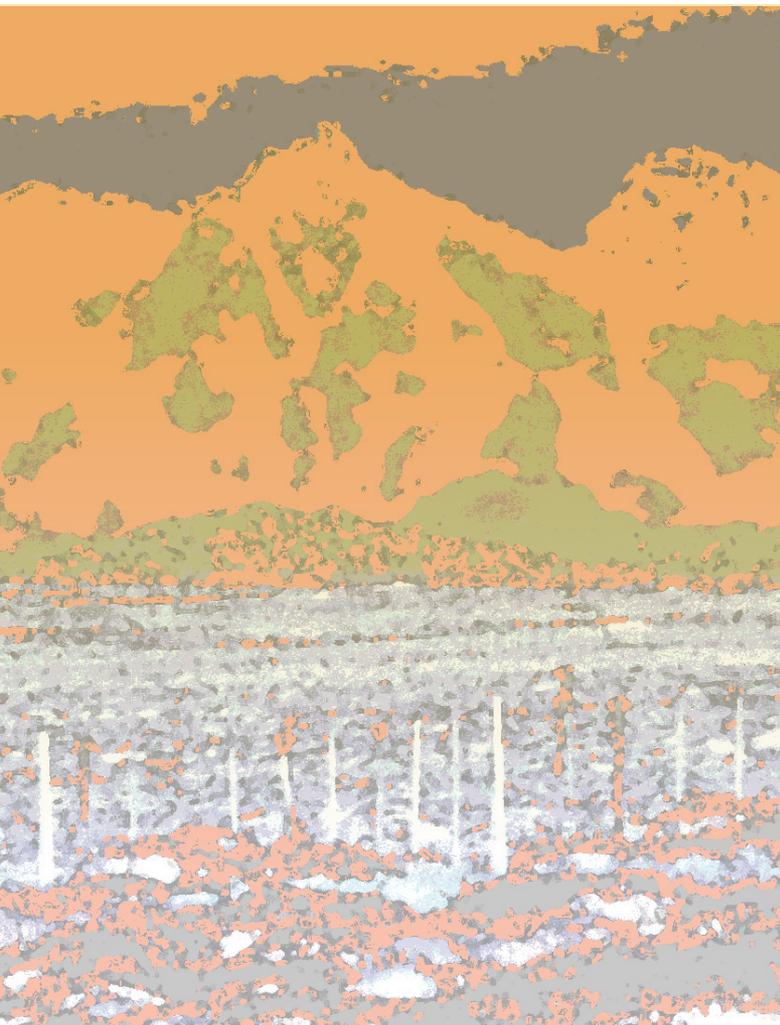
estos momentos se conoce como el Último Máximo Glacial (UMG) que ocurrió hace unos 23.000 años, cuando el Manto de Hielo Patagónico se generó y extendió sobre la Cordillera en forma continua entre las latitudes 36° S (Patagonia Norte) a 56° S (Cabo de Hornos), con una longitud superior a 2.000 km. Tenía enormes dimensiones, ya que su superficie era el doble del tamaño del manto de hielo de los Alpes europeos y 6 veces el de los Alpes de la isla Sur de Nueva Zelanda. El margen oriental del manto de hielo alcanzó las planicies patagónicas y el borde occidental llegó a la presente plataforma submarina en el Océano Pacífico Sur.

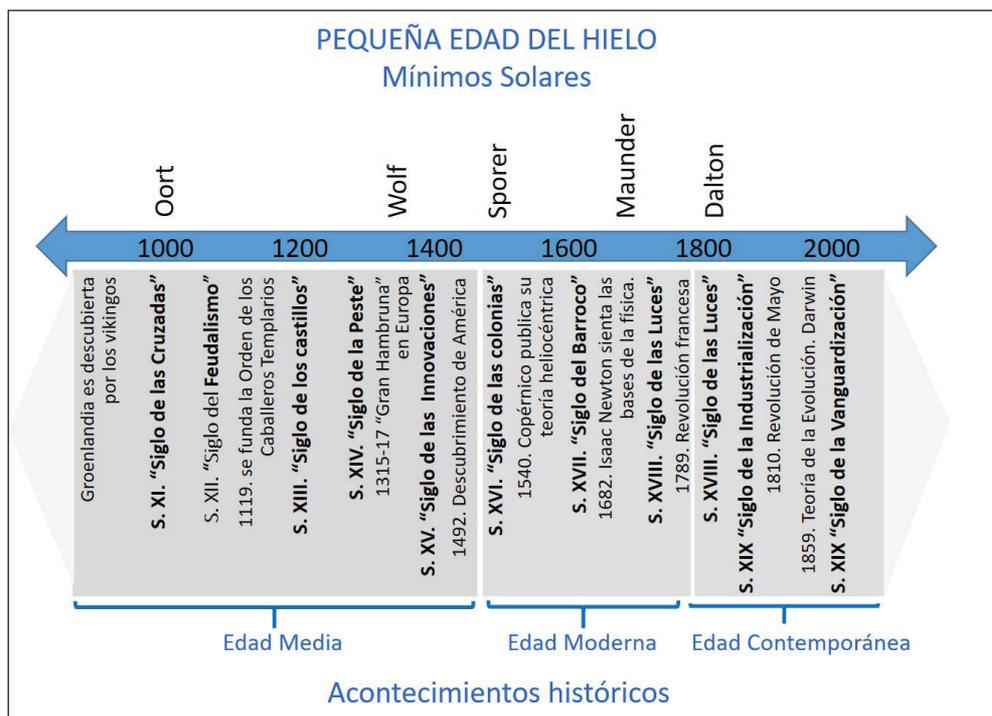
Por el contrario, durante los momentos de mayor temperatura (períodos interglaciales) el clima se hizo más benigno y los frentes glaciares retrocedieron muy pronto hacia las montañas, por la fusión producida como consecuencia del calentamiento regional. En lo que comúnmente se llama el período Tardiglacial (final del Pleistoceno, entre 15.000 y 10.000 años atrás) y en el comienzo del Holoceno (entre 10.000 y 8.000 años atrás), esta retracción ocurrió muy veloz-

mente, a razón de hasta varios kilómetros por año. Asimismo, los glaciares perdieron espesor y el manto de hielo se desintegró en muchos casquetes aislados en las montañas, la mayoría de los cuales desaparecieron luego durante el resto del Holoceno, hasta los tiempos actuales. Sólo los Mantos de Hielo Patagónico Norte y Sur y sus grandes glaciares de descarga, y el manto existente sobre la Cordillera Darwin en Tierra del Fuego, sobrevivieron al calentamiento global del Holoceno.

Desde el Último Máximo Glacial (UMG) los hielos patagónicos han avanzado y retrocedido por cambios climáticos globales, denominados eventos Heinrich (fríos) y Daansgard/Oeschger (cálidos), generados por cambios astronómicos y oceanográficos de alcance global. Obsérvese que estos cambios climáticos son naturales, no están relacionados a actividades humanas. Por ejemplo, durante el UMG la línea de nieves permanentes se ubicaba próxima al nivel del mar actual en la región patagónica. Durante el Holoceno, su posición se elevó rápidamente, hasta 2.000 m s.n.m. (metros sobre nivel del mar actual) en los Andes Patagónicos Septentrionales y a menos de 1.000 m s.n.m. en los Andes Patagónicos Australes y en los Andes Fueguinos. Así, sólo los citados mantos, los casquetes de hielo y numerosos pequeños glaciares llamados de circo permanecen como remanentes del gigantesco Manto de Hielo de Montaña del UMG.

El paisaje andino es el resultado de la acción glacial durante el UMG, que modeló tanto las divisorias de agua como las partes bajas del relieve, donde excavó extensas cubetas hoy ocupadas parcialmente por grandes lagos, como el Lacar y el Nahuel Huapi, en cuyas márgenes se localizan las localidades de San Martín de los Andes (Neuquén) y San Carlos de Bariloche (Río Negro), respectivamente, o el Lago Argentino, uno de los más extensos de Sudamérica, en proximidad de la localidad de El Calafate (Santa Cruz), entre otros. No obstante, variaciones climáticas más recientes continúan provocando cambios en estos paisajes. Durante el Holoceno (en los últimos 4.500 años), tuvieron lugar los estadios deno-





Recuadro 1

minados "Neoglaciales". En Patagonia se han reconocido por lo menos tres eventos Neoglaciales que tuvieron lugar hacia 4.500 y 2.200 años atrás, y el tercero, en los últimos siglos. El último de estos períodos fríos es la denominada "Pequeña Edad de Hielo" (PEH, llamada en inglés "Little Ice Age"), la cual tuvo carácter global y se desarrolló entre los siglos 14 y 19, finalizando alrededor del año 1850 (Ver Recuadro 1). La PEH ocurrió luego del "Período Templado Medieval" (PTM), evento paleoclimático templado que se extendió entre los siglos 8 y 14. A su vez, el PTM tuvo lugar después de la denominada "Primera Pequeña Edad de Hielo" (PPEH), que se desarrolló entre los siglos 4 y 8, con su pico extremo de bajas temperaturas hacia el año 590. Tanto la PPEH, como el PTM y la PEH se produjeron por causas naturales, sin intervención antrópica ni en sus orígenes ni en su desarrollo.

La máxima expansión de los glaciares se puede determinar por las rocas que dejan en su frente cuando se retiran y que se denominan morenas terminales. Estas morenas terminales pueden ser utilizadas como la referencia física a partir de la cual es posible medir la recesión total del hielo desde 1850. Durante la PEH se produjo la última expansión de los glaciares patagónicos.

Los glaciares de la región del Monte San Lorenzo

En el área del Monte San Lorenzo (Fig. 1), Provincia de Santa Cruz, los glaciares se formaron por el avance del hielo en el mínimo de Maunder, ca. 1700 de la PEH (ver Recuadro 1).

Algunos de los nuevos lagos identificados en esta área comenzaron a formarse luego de la finalización de la PEH, a mediados del siglo 19. Sin embargo, la mayoría de ellos, son el resultado del calentamiento global de las últimas décadas, que incrementó la tasa de retroceso del frente de la casi totalidad de los glaciares del mundo, incluyendo los patagónicos. Dada su formación tan reciente, estos lagos no están registrados en la cartografía oficial, la cual fue levantada hace casi 40 años atrás y, en consecuencia, tampoco poseen una denominación formal. Sin embargo, a los tres cuerpos de agua mayores se los identifica (en nuestros trabajos y en algunas otras publicaciones existentes para el área) como Lago Lácteo, Lago San Lorenzo Sur y Lago Penitentes (Fig. 2).

Además de cuantificar la evolución de estos nuevos cuerpos de agua mediante la utilización de imágenes satelitales, en nuestro estudio hemos medido también

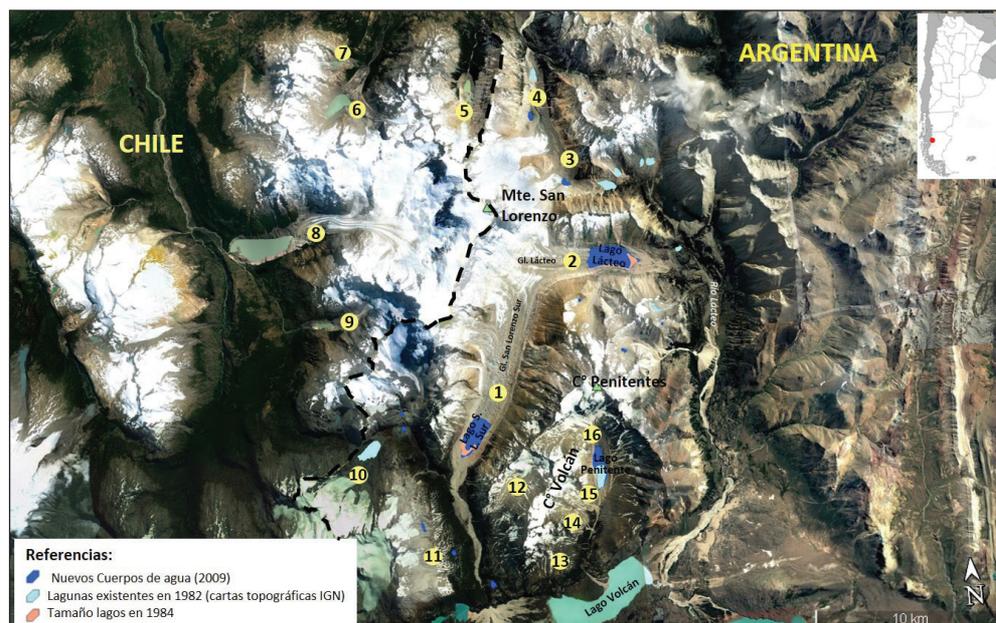


1. Vista del Monte San Lorenzo desde el este, tal como se observa desde la Ruta Nacional 40 en un atardecer. Fotografía: E. Mazzone

el retroceso de los glaciares en las últimas cuatro décadas, en una de las zonas de más difícil acceso de la Provincia de Santa Cruz y por ello, relativamente poco estudiada.

El Monte San Lorenzo, conocido como Monte Cochrane en Chile, es una enorme montaña de granitos de la Era Mesozoica, ubicada en el límite internacional Argentina-Chile (latitud $47^{\circ}35' S$, longitud $72^{\circ}18' O$). Con una elevación de 3.706 m s.n.m. es la cumbre más alta de la provincia de Santa Cruz y una de las más altas de Patagonia (Fig.2). La primera ascensión al Monte San Lorenzo fue realizada por el geógrafo, glaciólogo, montañista y religioso Salesiano Alberto De Agostini en 1943, cuando ya contaba con 60 años de edad.

Los macizos montañosos del área, además del Monte San Lorenzo, incluyen al Cerro Penitente ($47^{\circ} 35' S - 72^{\circ} 18' O$, 2.943 m s.n.m.), al Cerro Volcán ($47^{\circ} 42' S - 72^{\circ} 17' O$, 2.268 m s.n.m.) y al Cerro Hermoso ($47^{\circ} 33' S - 72^{\circ} 13' O$, 2.276 m s.n.m.) ubicados al este del macizo principal. En su conjunto cubren una superficie cercana a los 1.000 km² y se encuentran relativamente aislados de otras regiones englazadas, situándose a unos 70 km hacia el este del extremo sur



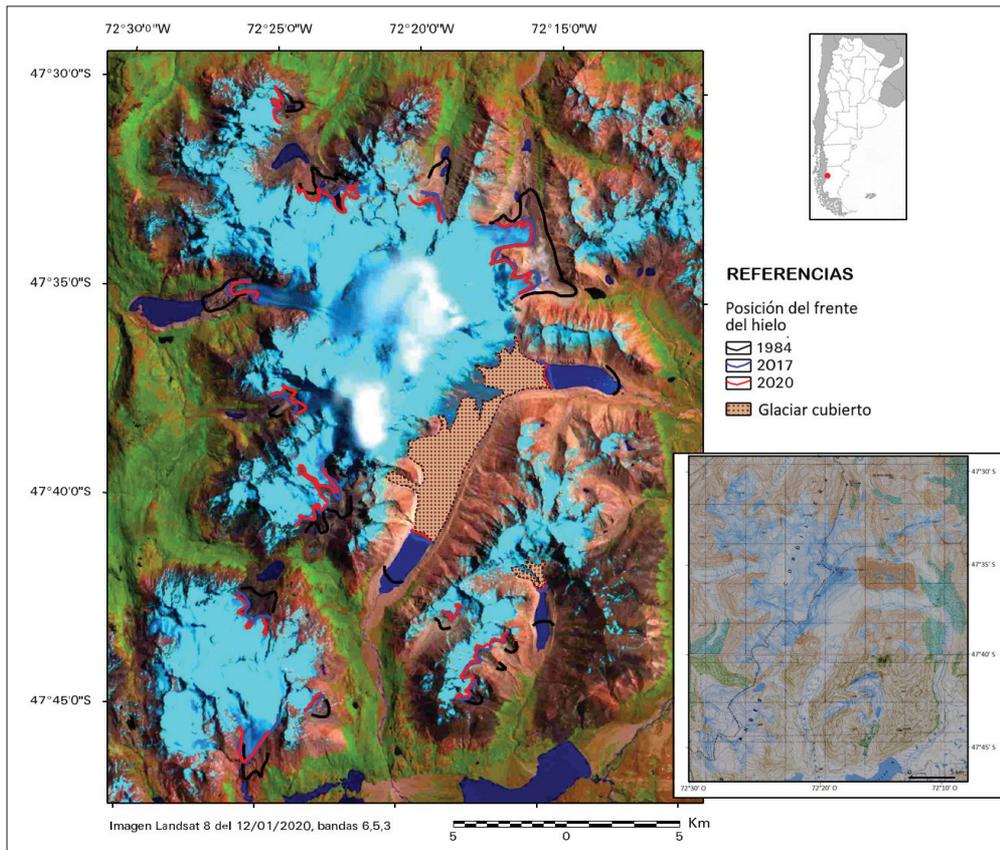
2. Área de estudio con la localización de los 16 glaciares y cuerpos de agua evaluados. Elaboración propia en base a imágenes multitemporales del programa Landsat y Google Earth.

del Hielo Patagónico Norte (Fig. 2). El área circundante tiene pobre accesibilidad, por lo cual las imágenes satelitales son la herramienta más apropiada para el estudio de los glaciares allí ubicados.

Según el relevamiento efectuado por el Instituto Argentino de Nivología y Glaciología (IANIGLA) en 2015, en el área se reconocieron 213 cuerpos glaciarios con superficie mayor a 1 hectárea (1 hectárea = 0,01 km²). El 51 % de los mismos cuenta con dimensiones inferiores a 0,1 km², el 36 % de ellos posee un área entre 0,1 y 1 km², el 9 % se ubica en la clase con superficie entre 1 y 5 km² y el 4 % restante posee un área mayor a 5 km². En su conjunto, cubren 206,9 km², con una orientación predominante hacia el sureste. Su distribución hipsométrica (altitudinal) varía entre 520 m s.n.m. y 3.700 m s.n.m., casi en la cima del Monte San Lorenzo. La posición de la línea de nieves permanentes se ubica próxima a los 1800 m. La comparación con imágenes satelitales de los años 1985 – 2005/2008 mostró que el área cubierta de hielo disminuyó 44,3 km² en ese período (es decir, casi la cuarta parte de la ciudad de Buenos Aires o 100 veces la superficie de la ciudad del Vaticano), lo cual significa una reducción de 0,8 % por año. También se evidenció la desaparición de algunos glaciares de pequeño tamaño.

La recesión del frente de los glaciares es concomitante con la formación de nuevos lagos, lagunas o humedales en los valles libres de hielo, así como con la expansión de los lagos ya existentes en contacto con el hielo. En los últimos años, partiendo de la situación plasmada en las cartas topográficas del área levantadas a principios de 1980 por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), evaluamos el retroceso del frente de los glaciares hasta la época actual y su relación con los cuerpos de agua. Estos procesos se analizaron mediante la comparación de imágenes satelitales Landsat disponibles desde 1984 a la fecha así como con la utilización de imágenes de alta resolución espacial de la plataforma Google Earth. Adicionalmente, se obtuvieron valores de cotas (alturas sobre el nivel del mar) que permitieron estimar el espesor del hielo perdido y observar la presencia de diversos rasgos geomorfológicos relacionados con los procesos de desintegración glacial.

Así, se pudo medir el retroceso de 16 glaciares de descarga (lenguas de hielo que descienden desde la cuenca de alimentación) ubicados en el Monte San Lorenzo y en los cerros Penitentes y Volcán y la superficie de los cuerpos de agua que ocupan los valles glaciarios expuestos desde la PEH (Fig. 2). La máxima recesión identificada



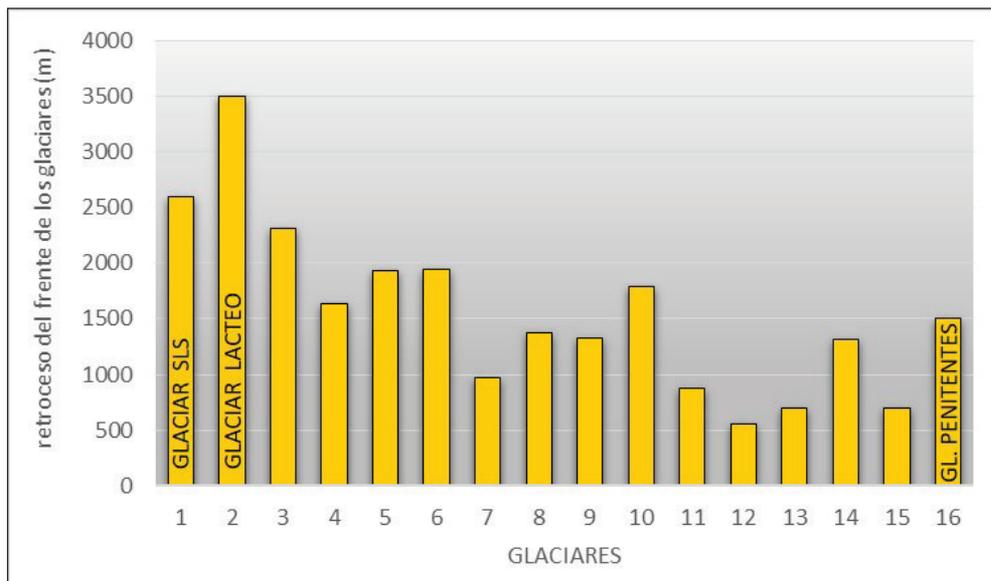
3. Cambios producidos en los frentes de los glaciares entre 1984, 2017 y 2020 indicados sobre la imagen más reciente utilizada (Landsat 8, del 12/01/20). A la derecha se presenta el mosaico del área de trabajo elaborada con las cartas topográficas 4772-27, Cerro Pico Agudo, y 4772-33 y 32, Lago Belgrano, publicadas en 1982.

alcanzó valores de 3.503 m y 2.591m en los dos glaciares mayores que descienden del Monte San Lorenzo: el Glaciar del Lácteo y el Glaciar San Lorenzo Sur, respectivamente. El menor valor de retroceso registrado fue de 552 m (Figs. 3 y 4). La distribución de frecuencias muestra que el 81 % de los glaciares retrocedió en el rango comprendido entre 500 y 2000 m en tanto que el 19 % restante superó los 2000 m hasta el máximo arriba señalado. El promedio del retroceso es 1.565 m en el período analizado (1984–2020), lo cual equivale a una recesión media anual de 43,5 m. El valor máximo fue de 219 m/año para el Glaciar del Lácteo en tanto que el mínimo equivale a 15 m/año, registrado en un pequeño glaciar de valle que desciende del Cerro Volcán.

Simultáneamente con este retroceso, se generaron 12 nuevos cuerpos de agua cuyas superficies oscilan entre 1 y 306 hectáreas y se triplicó el área del Lago Penitentes. En total, la superficie de lagos y lagunas pasó de 202 a 906 ha, representando un incremento

de casi el 350 %. En la figura 2 se muestran en color celeste aquellos cuerpos de agua existentes en la cartografía de 1982 y en color azul los generados recientemente, según las imágenes de alta resolución de 2009 y 2011 disponibles en Google Earth. En la figura 5 se graficó la evolución de la superficie de los tres lagos mayores en el período considerado (1982-2020): en el Lago Lácteo, la superficie pasó de 0 a 306 ha; en el San Lorenzo Sur (SLS), de 0 a 276 ha, y en el Lago Penitentes (LP), de 39 a 121 ha. Cabe señalar que este último es el único registrado en la cartografía oficial, en tanto que los valles glaciarios que hoy contienen a los lagos mayores (Lácteo y SLS) estaban totalmente cubiertos por hielo en dicha cartografía (es decir, que esos lagos no existían entonces).

La comparación de las cotas superficiales de los sectores hoy ocupados por ambos lagos así como sobre los respectivos glaciares Lácteo y San Lorenzo Sur, obtenidas desde las cartas topográficas y desde la plataforma Google Earth (datos presentados en la



4. Retroceso del frente de los 16 glaciares evaluados en el período 1984 – 2020. La localización de cada uno puede observarse en la Fig. 2.

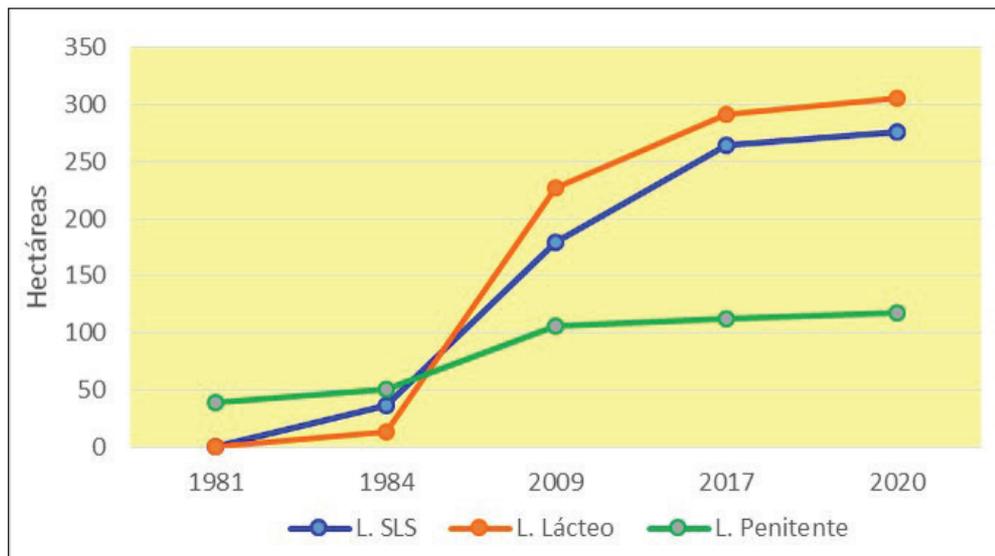
Tabla), posibilitó calcular la diferencia de altura ocurrida en el período, la que puede interpretarse como el espesor de hielo perdido. Los datos muestran una diferencia de altura que varía entre 40 y 69 m, con un promedio de 52 m. Si bien estos valores constituyen solo una primera aproximación dadas las diferentes fuentes de información utilizadas y las escasas mediciones efectuadas, brindan una idea de la magnitud del proceso, indicando que el adelgazamiento de la capa de hielo en estos valles superó en todos los casos un metro por año. Esta disminución del espesor del hielo puede ser correlacionada con la abundancia de detritos sobre las lenguas glaciarias.

Algunos de estos glaciares mayores tienen su superficie cubierta por derrubios, los que pueden distinguirse claramente en las imágenes satelitales. Sin embargo, no fueron

representados en las cartas topográficas, por lo que puede asumirse que su presencia era nula o muy escasa cuando se confeccionaron las mismas. La secuencia de imágenes presentada en la figura 6 muestra cómo la cantidad de sedimentos que cubren los glaciares se incrementó a lo largo del tiempo, resultando éste un indicador apropiado de la inestabilidad de las laderas, provocada por la disminución del volumen de hielo que actuaba como elemento de contención para estos depósitos.

Son notables las geoformas observadas en la cubierta sedimentaria supraglacial, donde se identifican pináculos de relleno de grietas, morenas supraglaciales, depresiones de termokarst, lagunas y cursos de agua supraglaciales, que infiltran en cavernas de hielo. En la Fig. 7 se presentan vistas satelitales de estas extraordinarias geoformas.

Puntos de medición			Cotas (m s.n.m.)		Diferencia de altura (m)
Ubicación	Latitud	Longitud	Carta Topográfica	Google Earth	
Lago SLS	47°41'34"S	72°20'06"O	1050	1005	45
Lago Lácteo	47°36'46"S	72°13'51"O	1200	1149	51
Glaciar SLS	47°39'23"S	72°18'27"O	1250	1210	40
Glaciar Lácteo	47°36'56"S	72°15'28"O	1300	1243	57
Área de acumulación entre ambos glaciares	47°37'5"S	72°16'6"O	1400	1331	69



5. Evolución de la superficie de los lagos de mayor tamaño entre 1982 y 2020.

Cabe señalar que los glaciares cubiertos por sedimentos no son comunes. Otro ejemplo puede observarse en el Monte Tronador (Glaciar Ventisquero Negro), en proximidad de San Carlos de Bariloche, Río Negro.

La actividad glacial ha sido responsable del modelado de extensas cuencas glacio-lacustres en Patagonia durante el Pleistoceno, especialmente durante el UMG. Todos los grandes lagos glaciales de los Andes Patagónicos (de norte a sur, Nahuel Huapi, Buenos

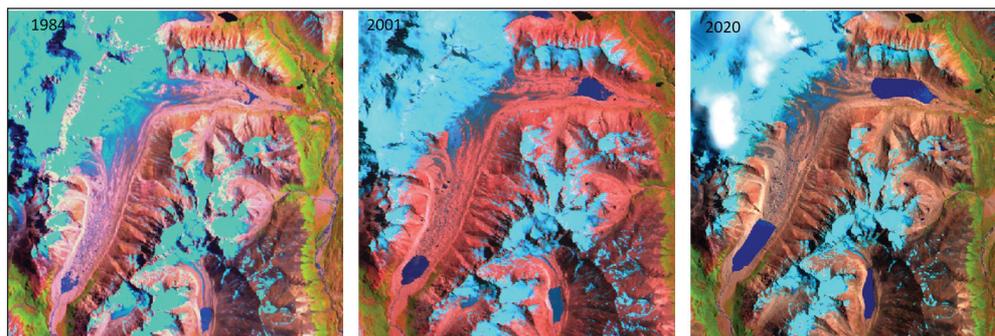
Aires, San Martín, Viedma y Argentino, entre otros) ocuparon cuencas generadas por enormes glaciares de piedemonte y luego rellenadas por aguas de fusión y sedimentos asociados. Las mediciones obtenidas a partir de las imágenes satelitales sugieren que el retroceso de los frentes glaciares continuará en el futuro por las altas tasas de fusión registradas, hasta que se alcance una nueva posición de equilibrio del cuerpo de hielo con las condiciones climáticas regionales.

Calentamiento Global

El calentamiento global es, total o parcialmente, el resultado del aumento de gases de invernadero (CO₂, CH₄, entre otros) en la atmósfera, los cuales retienen la energía solar reflejada en la superficie planetaria, produciendo aumentos en la temperatura atmosférica global. El exceso de calor atmosférico es transferido a los glaciares hasta que éstos alcanzan el punto de fusión y el hielo se derrite, generando condiciones ambientales que permiten la aparición de nuevos lagos en contacto con el hielo, donde el relieve disponible provee espacios adecuados. Este proceso continuará mientras la línea de nieves permanentes ascienda lo suficiente y se alcance un nuevo equilibrio.

La actividad industrial y agropecuaria produce gases de invernadero, fundamentalmente dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), que se acumulan en la atmósfera y contribuyen en forma creciente al calentamiento global. Las condiciones de calentamiento global y regional provocan la fusión de los glaciares y muchos de ellos desaparecerán en el transcurso de este siglo, aún los ubicados en las áreas más remotas.

El calentamiento global provoca diversos impactos sobre el clima, la hidrología, la oceanografía, la biogeografía y numerosas actividades humanas. La conservación de los ecosistemas naturales y el uso de fuentes de energía no contaminantes pueden contribuir a morigerar el calentamiento global y evitar la desaparición de los glaciares. Es nuestra responsabilidad que las futuras generaciones puedan disfrutar de los glaciares, extraordinarios elementos naturales del paisaje.

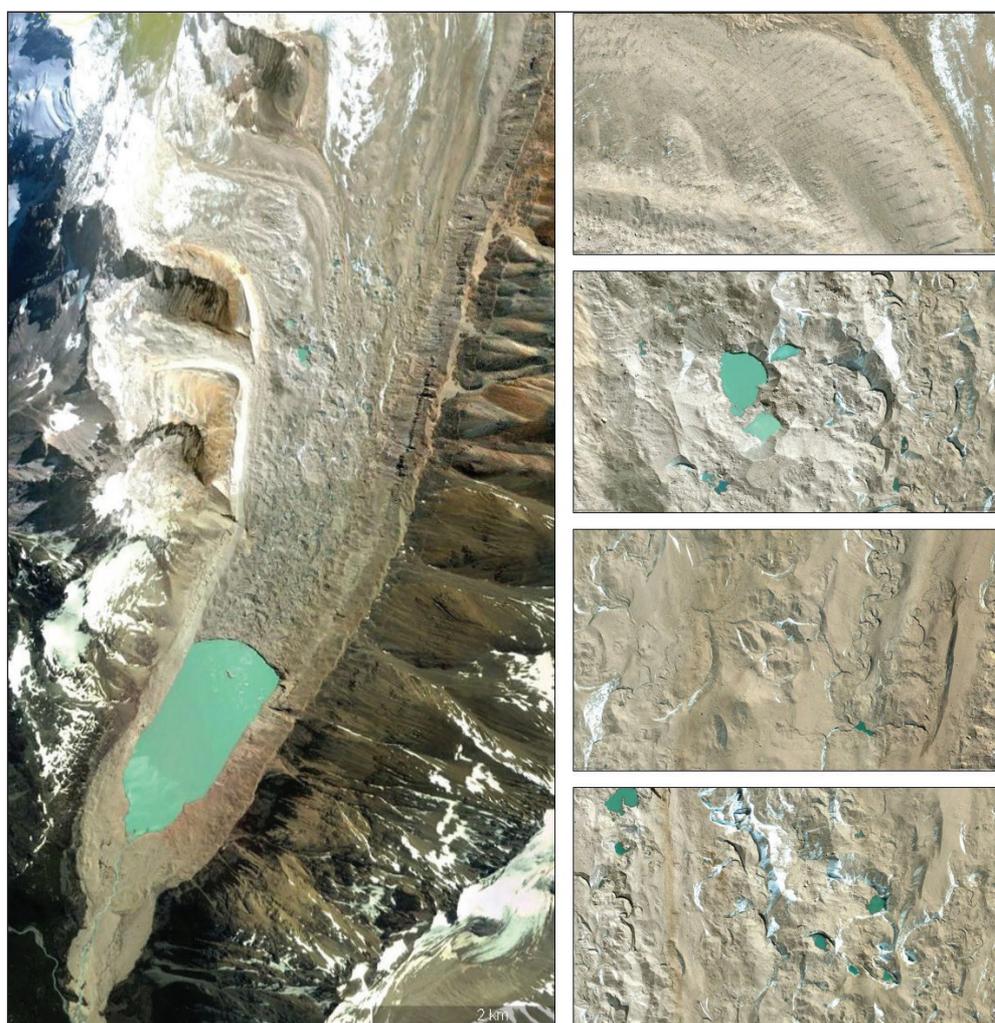


6. Evolución de la cobertura sedimentaria de los glaciares San Lorenzo y Lácteo entre 1984 (izquierda), 1999 (centro) y 2017 (derecha), tal como se observa en las imágenes Landsat. El hielo cubierto toma tonalidades similares a los afloramientos rocosos. En la combinación de bandas utilizadas (6,5,3), la nieve y el hielo se distinguen por sus tonos celestes.

Como se expresó más arriba, los glaciares del Monte San Lorenzo tuvieron su máxima expansión durante la PEH, alrededor del año 1700. Desde entonces, los glaciares se estabilizaron y comenzaron a derretirse

a consecuencia del calentamiento regional. El frente de hielo se apartó entonces de las morenas de la PEH, con pérdida de masa glaciaria y disminución de su espesor. La consecuencia de este proceso de fusión

7. Imagen satelital del glaciar cubierto San Lorenzo Sur y detalles (derecha) de su morfología superficial. Nótese el sistema de grietas cubiertas en el detalle superior, así como la existencia de depresiones, cuerpos de agua supraglaciarios, líneas de escurrimiento, morenas medianas y las importantes morenas terminales de la PEH, perfectamente preservadas. Fuente: Google Earth.



glacial ha sido la aparición de nuevos lagos, lagunas y humedales donde antes había glaciares de gran espesor. Las mediciones deberán continuar para poder demostrar la continuidad del calentamiento regional o su eventual disminución en el futuro. Sin embargo, es probable que los procesos descritos continúen por un tiempo, sugiriendo que los glaciares de la región del Monte San Lorenzo perderán longitud y masa durante el presente siglo hasta un momento que es difícil de predecir.

La comparación con otros sitios de los Andes Patagónicos Australes en la región, como la Laguna Torre (49°19'30"S, 73°O, 636 m s.n.m.) en proximidad de la localidad de El Chaltén, Santa Cruz, mostró que en el área del Monte San Lorenzo la tasa de aumento de los lagos fue muy superior en el período analizado. La Laguna Torre incrementó su tamaño por el mismo proceso descrito de retroceso del frente de hielo, 47 ha en 50 años (1969-2019), pasando de 125 a 172 ha. Este comportamiento diferencial entre ambos sitios puede atribuirse a que la Laguna Torre tiene una posición más occidental, mayor altura y mayor proximidad al Hielo Patagónico que el Monte San Lorenzo. La falta de series de datos meteorológicos en el área de estudio constituye una dificultad para correlacionar los datos obtenidos con el aumento regional de la temperatura.

La predicción final, si continúan estas condiciones en el siglo 21, sugiere que las lenguas glaciares se derretirán masivamente y grandes lagos, quizás de hasta varios km de longitud, cubrirán estos valles, lo que sería una adecuada estimación de la evolución futura de estos cuerpos de agua.

Es importante destacar que estos nuevos lagos, cuyas superficies rondan ya las 300 ha, no están registrados aún en la cartografía oficial, siendo los presentes datos de importancia para su actualización cartográfica en el futuro.◆

Lecturas Sugeridas

Fagan, B. (2000). La Pequeña Edad de Hielo. Barcelona, Gedisa Editorial.

Fagan, B. (2008). El Gran Calentamiento. Barcelona, Gedisa Editorial.

Le Roy Ladurie, E. (2017). Historia humana y comparada del clima. México, Fondo de Cultura Económica.

Rabassa, J. (2008), editor. Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego. Developments in Quaternary Science, vol. 11. Elsevier, Amsterdam.

*Dra. Elizabeth Mazzoni
Unidad Académica Río Gallegos,
Universidad Nacional de la Patagonia
Austral (UNPA).*

*Dr. Jorge Rabassa
CADIC-CONICET, Ushuaia, Tierra
del Fuego. Miembro de la Academia
Nacional de Ciencias en Córdoba.*