

LAS GLACIACIONES EN EL NORTE DE LA PATAGONIA

Origen de las Edades Glaciares en nuestro planeta. Extensión y cronología de las diversas glaciaciones en la región de San Carlos de Bariloche durante el Pleistoceno y el Holoceno.

Federico H. Planas

Cuando el perito Moreno llegó al lago Nahuel Huapi en enero de 1876, reconoció que esta región de la Cordillera Patagónica había sido modelada por glaciares. Si nos ubicamos en el mismo lugar donde llegó Moreno, comprenderemos las razones de su afirmación al ver la enorme cuenca lacustre del lago Nahuel Huapi, las formas agudas de los cerros más elevados, el perfil transversal en forma de U de los valles de montaña, los glaciares actuales en el Monte Tronador que representan un remanente de los ya desaparecidos, y los depósitos de origen glacial, sobre los cuales él estaba parado (Figura 1).

Desde entonces se ha progresado mucho en el conocimiento de la dinámica de los glaciares y de su desarrollo en esta región. Tal conocimiento es útil para tratar de entender qué pasa actualmente con el clima de la Patagonia septentrional.

¿Por qué se originan las glaciaciones?

A lo largo de un lapso tan prolongado como son los 4.600 millones de años (Ma) que se calcula para la edad de nuestro planeta, existieron períodos de enfriamiento de la atmósfera con el consiguiente crecimiento de los glaciares a una magnitud continental. A estos períodos se los denomina *Edades Glaciales*, que son lapsos mayores del orden de algunos millones de años en los cuales los glaciares cubren las regiones polares de manera permanente. No obstante, durante una *Edad Glacial* hay períodos de fluctuaciones de los frentes glaciares, que abarcan decenas de miles de años, denominándose *Glaciaciones* a los avances so-



Foto F. H. Planas

Figura 1. Fotografía de San Carlos de Bariloche tomada desde el Este, sobre la morena Nahuel Huapi, que se ve en primer plano. Se pueden observar formas del relieve de origen glacial: cuenca del Lago Nahuel Huapi, agujas del Cerro Catedral, etc.

bre las latitudes medias, e *Interglaciales* a las retracciones de los mismos que quedan restringidos a las regiones polares y a las altas cumbres; los retrocesos menores dentro de una misma Glaciación se denominan interstadiales. Hay pruebas de que se han desarrollado por lo menos cinco *Edades Glaciales* (Figura 2).

Las causas de mayor peso que modifican el clima se relacionan con el modelo de desplazamiento constante de los continentes que nos propone la persuasiva teoría de *Tectónica de Placas*, de amplia aceptación entre los científicos de las ciencias de la Tierra. Esta teoría explica que durante la mayor parte de la historia de nuestro planeta, los océanos y los continentes han estado distribuidos de tal manera que posibilitaron que las corrientes oceánicas cálidas ecuatoriales fluyeran fácilmente hasta las regiones polares norte y sur, de manera que las características climáticas globales eran más cálidas que en la actualidad, por lo que no existían glaciares de extensión continental en las regiones polares.

Sin embargo, con una distribución de los continentes como la existente en los últimos millones de años (Figura 3), hay enormes superficies continentales ubicadas en -o cerca de- las regiones polares donde el efecto de las corrientes oceánicas cálidas provenientes de la zona ecuatorial no tiene mayor influencia, por lo que los veranos en latitudes tan altas son fríos.

Palabras clave: glaciaciones, génesis, distribución, edad, Patagonia norte.

Federico Horacio Planas

Lic. en Ciencias Geológicas, Univ. de Buenos Aires, Argentina.

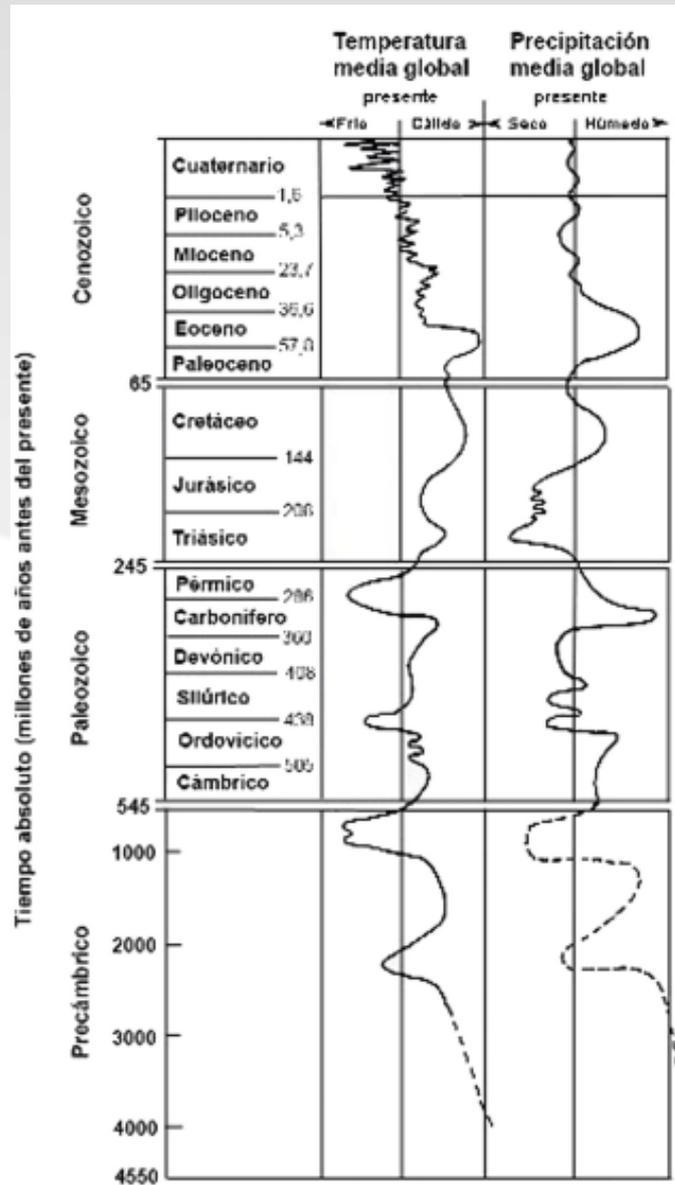
Centro Regional Universitario Bariloche, Univ. Nac. del Comahue, Argentina.

hplanas@crub.uncoma.edu.ar

Recibido: 03/12/2008. Aceptado: 22/07/2009.

Figura 2. Historia generalizada de las temperaturas y las precipitaciones. Se representan los cinco periodos en los cuales la temperatura era inferior a la media actual. Se indica que la escala del tiempo es progresivamente más expandida en los periodos más recientes (modificado de Frakes, 1979).

Este hecho genera un aislamiento climático muy estricto y posibilita la acumulación progresiva y prolongada de nieve y su posterior transformación en hielo, provocando el desarrollo de enormes masas glaciares. Las precondiciones paleo-geográficas señaladas explican el enfriamiento progresivo de la atmósfera y de los océanos en el entorno de los continentes ubicados en latitudes polares, es decir que explican el inicio de una *Edad Glacial*. Pero, ¿por qué varía el clima dentro de una *Edad Glacial*?, ¿qué hace que enormes masas de hielo cubran superficies continentales aún en latitudes medias, ocasionando las *Glaciaciones*, mientras que en lapsos intermedios los mantos de hielo disminuyan abruptamente? Las explicaciones para estas fluctuaciones están relacionadas, en primer lugar, con el cambio progresivo y cíclico de los parámetros del desplazamiento de la Tierra tales como: la órbita alrededor del Sol, que varía entre una forma más elíptica a otra más circular, o sea la excentricidad; la inclinación del eje de rotación de nuestro planeta que varía respecto al plano de traslación y, por último, se agrega un bamboleo o precesión de dicho eje que acentúa el efecto anterior. Si bien estos cambios se producen a lo largo de ciclos de diferente duración, fue el matemático Milutin Milankovitch en 1920, quien calculó los períodos de coincidencia en los cuales los factores señalados suman sus efectos provocando condiciones climáticas con veranos frescos e inviernos fríos en latitudes altas y medias, generando condiciones que favorecen el enfriamiento de la atmósfera. Por el contrario, cuando los parámetros astronómicos mencionados favorecen el calentamiento, ocurren los períodos denominados *interglaciales* (Figura 4).



¿Cómo se determina la cronología de las glaciaciones?

Las metodologías para determinar la edad de los cambios climáticos son muchas, y tienen distinto alcance temporal y distinta precisión. Sobre los continentes el avance de los arcos de morenas respecto de los lugares de origen de los glaciares constituye una herramienta muy concluyente para establecer la edad relativa. También se aplican otras técnicas tales como datación radiométrica de rocas volcánicas intercaladas con sedimentos de origen glacial, magnetoestratigrafía, anillos de meteorización, liquenometría, dendro-cronología, palinología, datación por Carbono 14 [N. del E.: ver Glosario], etc.

Por otra parte se cuenta con patrones de variación de la temperatura del agua de mar a lo largo del tiempo, establecida por la relación del contenido de los



Figura 3. Circulación actual de las aguas superficiales de los océanos (modificado de Abbott, 1996. *Natural Disasters*. Brown Publishers).

LAS GLACIACIONES EN EL NORTE DE LA PATAGONIA

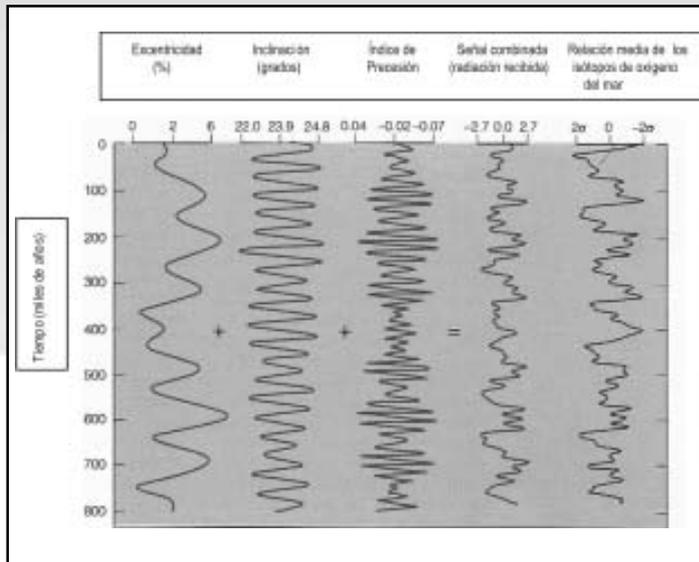


Figura 4. Curvas que muestran las variaciones en la excentricidad, la inclinación y la precesión de los equinoccios durante los últimos 800.000 años. La suma de esos factores produce una señal combinada que muestra la cantidad de radiación recibida por la Tierra, a una latitud particular, a través del tiempo. La frecuencia de las oscilaciones en la señal orbital combinada muestra un estrecho acuerdo con la curva de isótopos de oxígeno del mar (sobre la derecha de la figura) lo cual constituye un confiable registro del cambiante volumen de hielo global (modificado de Skinner, y Porter, 1995: *The Blue Planet. An Introduction to Earth System Science.* John Wiley & Sons).

isótopos de oxígeno ($^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$) medida en las conchillas de carbonato de calcio especialmente de foraminíferos, lo que ha permitido establecer y numerar los estadios isotópicos de oxígeno (OIS por su sigla en inglés – Figura 5).

¿Qué ocurrió en la Patagonia en la última Edad Glacial?

Para la Edad Glacial del Pleistoceno, la tendencia hacia el enfriamiento climático comenzó cuando la Antártida se ubicó en la región polar sur y una corriente marina circumpolar la aisló climáticamente hace unos 22 Ma.

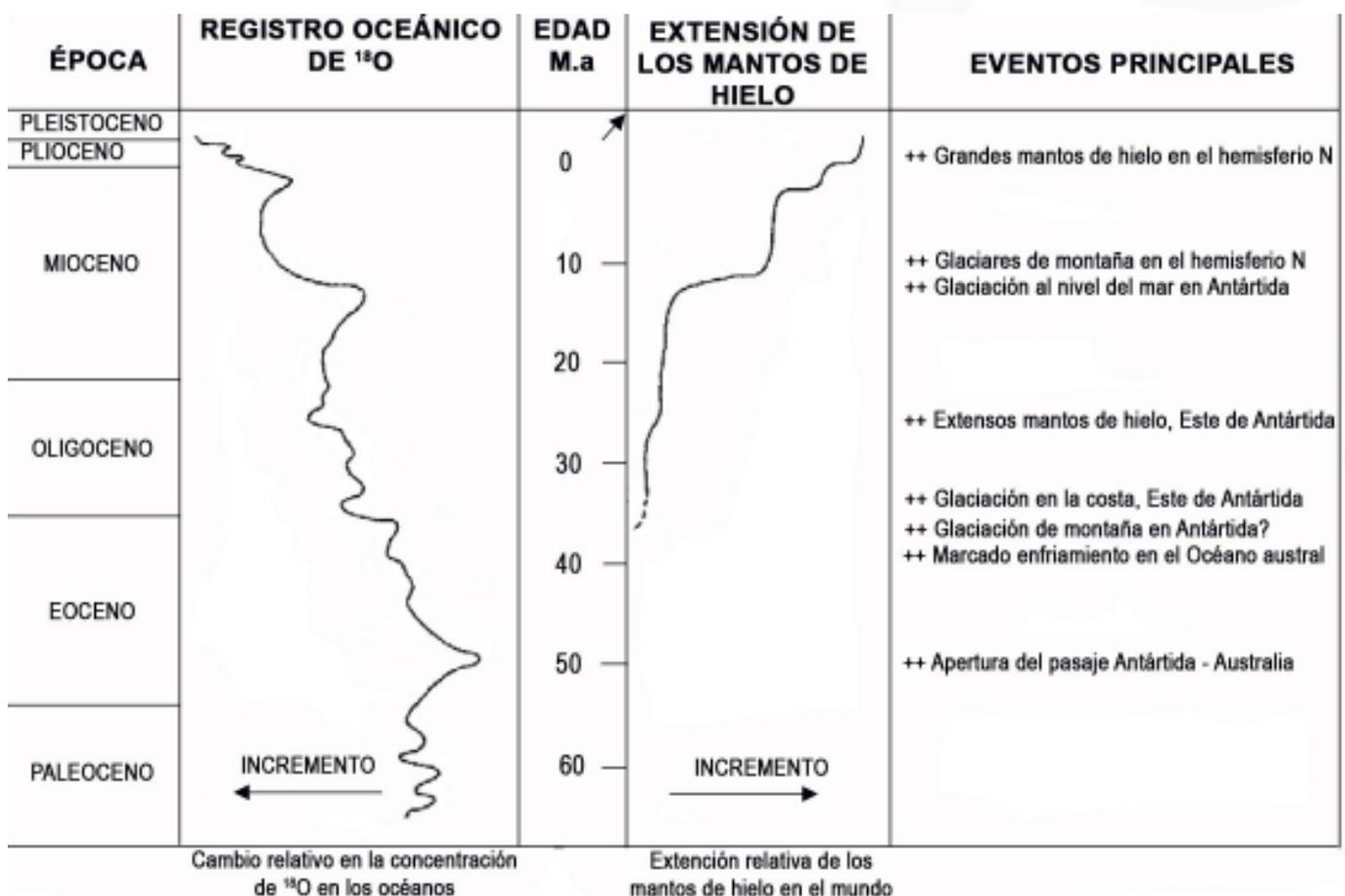


Figura 5. Historia del desarrollo de la glaciación durante el Cenozoico. Se evidencia una notable tendencia al enfriamiento de los océanos y un aumento de la extensión de los mantos de hielo a partir, aproximadamente, de 38 Ma (modificado de Sugden (1987) en Clark, Gregory y Gurnell (eds) *Horizons in Physical Geography.* Macmillan).

Era	Sub-Era	Período	Época	Edad (millones de años) Ma	
Cenozoico	Cuaternario	Neogeno	Holoceno	0,018	
			Pleistoceno	1,8	
	Terciario		Plioceno	5,3	
			Mioceno	23,0	
				Oligoceno	33,9
			Paleogeno	Eoceno	55,8
				Paleoceno	65,5

Cuadro 1. Cuadro estratigráfico (modificado de: *International Stratigraphic Chart, International Commission on Stratigraphy, 2006*).

imperantes hicieron que la línea de nieve permanente descendiera unos 1.000 metros respecto a la altura actual; esto significa que, en el norte de Patagonia, la mayor parte de la Cordillera tuviera altura suficiente como para que se formaran los glaciares que cubrieron como un manto el relieve de la región y con una disminución en la temperatura media de unos 6° C.

¿Cuántas y cuáles fueron las glaciaciones cuaternarias en la Patagonia norte?

La extensión y ocurrencia de los avances glaciares se puede determinar por las formas de erosión y de acumulación producidas por el hielo (como cuencas lacustres, morenas, etc.). La historia geológica de nuestro sector es muy rica en tales rasgos, los que han permitido proponer una secuencia de fluctuaciones de los hielos determinada por su estratigrafía.

Lógicamente los investigadores han visto reforzadas y enriquecidas sus hipótesis al considerar las investigaciones provenientes de regiones de otras latitudes y de ambos lados de la Cordillera Patagónica, de manera que se complementa el conocimiento sobre todo porque las formas de los depósitos (ej. morenas) se conservan mejor en la vertiente oriental (Argentina) de la cordillera. Esto se debe a que los depósitos glaciares no han sido destruidos por la erosión posterior a las glaciaciones, como consecuencia de un clima más seco. Mientras que en la vertiente occidental (chilena) de la cordillera, los arcos de morenas más jóvenes contienen restos de troncos de árboles arrasados por los glaciares e incorporados a los depósitos de origen glacial. Estos restos permiten emplear la metodología del Carbono 14 (¹⁴C) para determinar la edad absoluta de las glaciaciones más jóvenes (menos de 40.000 años).

Rabassa, en trabajos de revisión sobre las glaciaciones en Patagonia, consigna dataciones de entre 7 y 5 Ma para las glaciaciones más antiguas. Luego ocurrieron un mínimo de ocho glaciaciones en el Plioceno medio-tardío. La denominada *Gran Glaciación Patagónica* (GGP) se desarrolló hace 1,168 y 1,016 Ma. Después de la GGP, entre 14 y 16 eventos fríos (glaciares/estadales) alternaron con los equivalentes cálidos (interglaciales/interstadiales). El último máximo glacial (UMG) se ubica entre los 25.000 y 16.000 años atrás. Finalmente hubo dos nuevos avances glaciares denominados *Tardiglaciales*, entre 15.000 y 10.000 años atrás, que generaron morenas internas (más cercanas al origen de los glaciares) respecto a las del último máximo glacial.

En cada región las glaciaciones tienen nombres particulares, de acuerdo a los sitios donde se docu-

Se ha argumentado que además de la influencia del enfriamiento global de la atmósfera, los cambios climáticos en América del Sur están asociados al levantamiento de la Cordillera, a las temperaturas de las superficies oceánicas del Atlántico y del Pacífico y a la corriente oceánica circumpolar. Durante el Cuaternario, los mantos de hielo se expandieron y contrajeron varias veces en respuesta a tales factores.

En primer lugar, debemos señalar que a la latitud aproximada de 38° Sur se produce un marcado salto en la altura media de la Cordillera, descendiendo de unos 4.000 metros en el norte a poco más de 2.000 metros hacia el sur. Este hecho modifica la eficiencia de la cordillera como barrera climática que, sumado a la mayor influencia del centro de alta presión atmosférica del océano Pacífico sur en nuestras latitudes, hacen que en ambas vertientes se produzcan precipitaciones abundantes, aunque existe un acentuado gradiente transversal de humedad decreciente a la misma en nuestro territorio. Si un esquema climático similar se ha mantenido durante el Cuaternario (Cuadro 1), se puede justificar el desarrollo de importantes mantos glaciares durante dicho lapso, principalmente desde los 38° hacia el sur. Las condiciones climáticas



Figura 6. Mapa de la región mostrando el límite (línea de trazo grueso) de los glaciares durante la glaciación Llanquihue en Chile y Nahuel Huapi en Argentina (modificado de Porter, 1980).

de incisión del relieve (profundización de los cauces), que rebajó pronunciadamente el paisaje, período al que Rabassa ha denominado *Profundización de los Cañones*. Este evento marca un antes y un después en cuanto a la historia glacial, por cuanto en los avances subsiguientes, los glaciares fluyeron de manera más encauzada y los arcos de morenas se ubicaron en posiciones internas, más cercanas a la Cordillera, respecto a las glaciaciones anteriores y a menos altitud. Se postula que la profundización se produjo como consecuencia del último pulso de ascenso de la Cordillera Patagónica, hecho que ocurrió entre 1,0 y 0,8 Ma.

El siguiente evento frío durante el Pleistoceno medio fue inicialmente denominado *Glaciación El Cóndor*, y posteriormente Rabassa y Evenson lo subdividieron en *La Fragua* y *Anfiteatro* en el área del río Limay.

menta su presencia. El geólogo sueco Carl Caldenius fue el primero en estudiar las distintas glaciaciones patagónicas desde los 41° S hasta el Cabo de Hornos e identificó cuatro eventos glaciares mayores (*Initioglacial*, *Daniglacial*, *Gotiglacial* y *Finiglacial*) que consideró como fases de recesión de la última glaciación. Si bien el esquema estratigráfico es esencialmente correcto, Caldenius subestimó la edad de los arcos de morenas más antiguos.

Posteriormente fueron Flint y Fidalgo quienes estudiaron las glaciaciones en la Cordillera Patagónica Norte. Ellos denominaron *Glaciación Pichileufú* (*Drift Pichileufu*) a la glaciación más antigua en nuestra zona (equivalente a *Initioglacial* de Caldenius). Los principales afloramientos asignados a esta Glaciación, depositados directamente por el glaciar, por las aguas de deshielo o en pequeños cuerpos lacustres genéticamente relacionados con el hielo, afloran principalmente a lo largo del río Pichileufú, unos 20 km al SE del Aeropuerto Bariloche y a unos 350 m por encima del lago Nahuel Huapi (1100 – 1200 msnm, metros sobre el nivel del mar). Los glaciares de esta edad deben haber sido lóbulos de piedemonte (más allá del frente montañoso) de gran extensión y poco espesor relativo.

A posteriori de la Glaciación Pichileufú, durante el interglacial subsiguiente, se produce un largo período

	Edad (miles de años)	Área Bariloche
HOLOCENO	10	Neoglacial 3 Neoglacial 2 Neoglacial 1
		?
		Nahuel Huapi II
PLEISTOCENO TARDIO	30	Interstadial
	60	Nahuel Huapi I
	75	Último interglacial
PLEISTOCENO MEDIO	125	Anfiteatro
	700	La Fragua
PLEISTOCENO TEMPRANO	780	Profundización de los cañones
	1800	Drifts
PLIOCENO TARDIO	2480	
PLIOCENO TEMPRANO	5300	Pichileufú
MIOCENO TARDIO	<7000	

Cuadro 2. Crono-estratigrafía tentativa de los depósitos de origen glacial del Pleistoceno y Holoceno en la región de San Carlos de Bariloche (modificado de Rabassa y Evenson, 1996).

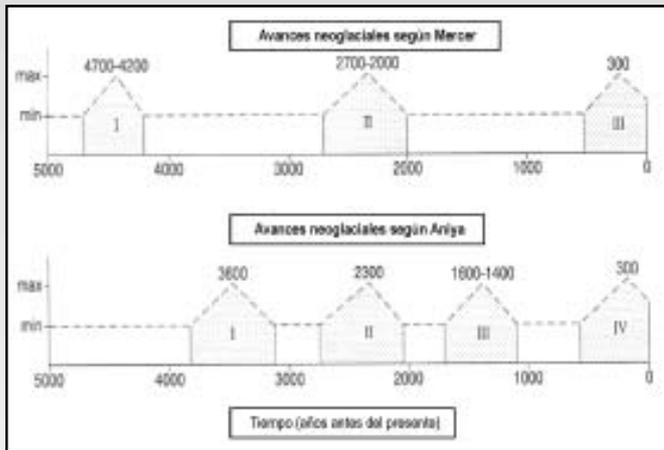


Figura 7. Cronologías de las fluctuaciones glaciales del Holoceno según las propuestas de Mercer y de Aniya. El volumen representado es esquemático (modificado de Glasser, Harrison, Winchester y Aniya, 2004. Global and Planetary Change).

caracterizado al Holoceno denominadas, *Neoglaciaciones*.

En las primeras fases del Holoceno se sospecha que hubo un mejoramiento climático, con temperaturas de alrededor de 2°C por sobre los valores actuales, durante el período entre 8.500 a 6.500 años antes del presente (AP) para algunos autores, o 9.400 a 8.600 años AP para otros.

A partir del Holoceno medio (aproximadamente 5.000 años) se produjeron tres o cuatro avances neoglaciales a lo largo de la Patagonia andina austral. La ubicación temporal aproximada de los mismos se muestra en la Figura 7.

En la Patagonia Norte no hay trabajos actualizados que correlacionen los avances neoglaciales con los de la zona austral. Pero aunque se carezca hasta el momento de fechados, hay arcos de morenas que son indudablemente neoglaciales: en Puerto Blest, entre los lagos Moreno Este y Oeste, en la Divisoria de Aguas, etc. y, para tiempos más cercanos, en la zona de los glaciares del Monte Tronador.

Como conclusión, podemos comprender que las variaciones climáticas han sido muy numerosas y de distinta magnitud tanto en el pasado lejano como en el más reciente. No ha transcurrido tanto tiempo desde la retracción de los glaciares correspondientes a la *Última Gran Glaciación* como para que podamos definir si estamos en un período *Interglacial* o si está finalizando la *Edad Glacial del Pleistoceno*. Además, el hombre ha alterado con su intervención los ciclos climáticos naturales, en una magnitud que no está claramente definida.

Estos depósitos y sus equivalentes en latitudes más australes han sido acotados temporalmente al Pleistoceno Medio por su relación estratigráfica con volcanitas datadas entre 0,760 Ma y 0,128 Ma., que representan las edades límite inferior y superior, respectivamente.

Sucedió luego un intervalo de mejoramiento climático (aumentó la temperatura) que representa el último interglacial.

La *última glaciación* denominada *Drift Nahuel Huapi* (equivalente argentino de la *Glaciación Llanquihue* de la vertiente chilena), es la que muestra formas de depósitos mejor conservadas, como es de esperar dado que son más recientes. Las secuencias de las fluctuaciones glaciales mejor datadas se encuentran en la región de los lagos chilenos (Lago Llanquihue). En esa región los glaciares descendieron hasta el nivel del mar, avanzando sobre sectores donde existían bosques y pantanos, de manera que el material orgánico incorporado a los sedimentos glaciales sirve para la aplicación del método del Carbono 14. El máximo avance de esta última glaciación (Nahuel Huapi) se estima que ocurrió hace unos 20.000 años atrás. En nuestra región se pueden observar fácilmente los arcos de morenas correspondientes a esta glaciación en el extremo oriental del Lago Nahuel Huapi, camino a Villa La Angostura (Brazo Huemul) y también en las partes más elevadas del camino de acceso al aeropuerto de Bariloche (Figura 6 y Cuadro 2).

¿Qué ocurrió después de la última gran glaciación?

En este aspecto no hay total acuerdo. Una hipótesis es que después de la última glaciación, los frentes de los glaciares retrocedieron gradualmente, mientras que otra posición es que durante el milenio 11.000 a 10.000 años se produjo un nuevo avance de los hielos, que se corresponde, aproximadamente, con el período denominado *Younger Dryas* del Hemisferio Norte. A estos avances temporalmente cercanos a la última glaciación se los denomina genéricamente como *Tardiglaciales*. A posteriori de los mismos, se ha tratado de reconstruir las fluctuaciones glaciares que han

Glosario

Anillos de meteorización: se mide la meteorización (alteración de rodados transportados por el hielo) que progresa desde la superficie de los rodados hacia su interior, siendo de mayor espesor cuanto más tiempo han estado expuestos tales rodados a la acción meteórica.

Condiciones paleogeográficas: distribución espacial de los continentes en el pasado geológico, que influye y condiciona las características ambientales (temperaturas, precipitaciones, vegetación, etc.).

Drift: término sin traducción, para referir a cualquier tipo de sedimento (bloque, *till*, grava, arena o arcilla), transportado y depositado directamente por un glaciar o bien por el agua proveniente de su derretimiento.

Estratigrafía: rama de la geología histórica que conduce al ordenamiento cronológico de los estratos y/o depósitos sedimentarios.

Fases de recesión: cuando la merma de una glaciación no es gradual sino que se produce en diversas etapas.

Fluctuaciones de los frentes glaciares: los glaciares de valle se forman en las zonas de acumulación de nieve (circos), donde, por sucesivas acumulaciones durante períodos prolongados de años, se transforma progresivamente en hielo. Las lenguas glaciares descienden y adquieren una longitud que depende del balance entre la nieve acumulada durante los inviernos y la que merma durante los veranos –durante lapsos prolongados. Si el balance es positivo, el glaciar se alarga y si el balance es negativo, el glaciar se acorta.

Frentes glaciares: refiere al extremo de avance frontal de un glaciar, señalando su máxima extensión.

Isótopos de oxígeno: el principio que sustenta el uso de isótopos estables en foraminíferos, es que la relación entre los dos isótopos de oxígeno ^{18}O / ^{16}O extraída por los organismos durante su formación, es controlada por la temperatura y la composición isotópica del agua del ambiente. Se evapora más ^{18}O de los océanos cuando las temperaturas son elevadas y en consecuencia abunda más el ^{18}O en el agua de mar durante los períodos fríos. En los sondeos de los sedimentos marinos se recogen microfósiles (foraminíferos) que en sus conchillas registran las variaciones de temperatura de acuerdo al contenido isotópico descrito.

Línea de nieve permanente: altura aproximada sobre la cual no toda la nieve precipitada durante los inviernos –a lo largo de muchos años- se derrite durante los veranos, de manera que desde dicha altura hacia arriba hay posibilidad de que se formen glaciares.

Lóbulos de piedemonte: cuando los glaciares encauzados en sus valles alcanzan longitudes que les permiten salir de la zona montañosa, se dispersan al pie de las montañas adquiriendo formas lobuladas de menor espesor.

Magnetoestratigrafía: refiere a la aplicación de la técnica de medir, en ciertos depósitos de origen glacial, las características paleomagnéticas (orientación, inclinación y polaridad del campo magnético de la Tierra en el pasado) y compararlas con una escala magnética del tiempo estandarizada.

Métodos de datación: las dataciones pueden ser relativas, lo que equivale decir que un depósito es más joven o más viejo que otro. Los métodos absolutos en cambio, permiten establecer la edad de los depósitos y/o rocas, asignando un número de años –con un error estimado. Los métodos de datación absoluta son varios: la datación radiométrica se basa

en la descomposición de ciertos isótopos radiactivos que se produce a una tasa fija, lo que permite calcular la edad en que comenzó tal descomposición al medir las proporciones relativas del isótopo radiactivo original (padre) y el isótopo final (hijo).

Morenas: denominación que se aplica a las formas de acumulación de sedimentos que configuran lomadas con forma de arco, de hasta varias decenas de metros de altura y que por su ubicación en el frente o en los laterales de los glaciares, se califican como frontales o laterales, respectivamente.

Tectónica de placas: teoría que postula la existencia de una docena de placas litosféricas mayores (las placas tienen un espesor que incluye toda la corteza y la parte superior del manto terrestre y una superficie que, en general, supera la dimensión de los continentes) y que explica la ocurrencia de fenómenos geológicos de primera magnitud, como el movimiento relativo entre ellas, el origen de las cadenas montañosas, el volcanismo, los sismos, la formación de nuevo fondo oceánico, etc.

Till: sedimento no estratificado, sin selección, transportado y/o depositado directamente por un glaciar.

Volcanitas: rocas de origen volcánico, a las cuales se les pueden aplicar métodos de datación radiométrica.

Lecturas sugeridas

Flint, R.F. y Fidalgo, F. 1963. Geología glacial de la zona de borde entre los paralelos 39°10' y 41°20' de latitud sur en la Cordillera de los Andes, República Argentina. *Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín N° 93*. Buenos Aires.

Glasser, N.F., Jansson, K., Harrison, S. y Kleman, J. 2007. The glacial geomorphology and Pleistocene history of South America between 38°S and 56°S. *Quaternary Science Reviews*. 27: 365-390.

Porter, S.C. 1980. Pleistocene Glaciation in the Southern Lake District of Chile. *Quaternary Research*. 16: 263 – 292.

Rabassa, J. y Clapperton C. 1990. Quaternary glaciations of the Southern Andes. *Quaternary Science Reviews*. 9: 153-174.

Rabassa, J., Coronato, A. y Salemme, M. 2005. Chronology of the Late Cenozoic Patagonian glaciations and their correlation with biostratigraphic units of the Pampean region (Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*. 20: 81-103.