



**CRONOLOGÍA DEL PROCESO DE DEGLACIACIÓN
EN EL GLACIAR DE LEIRBREEN (MACIZO
DE JOTUNHEIMEN, NORUEGA), DESDE LA PEQUEÑA
EDAD DEL HIELO HASTA LA ACTUALIDAD**

*Chronology of the deglaciation process in Leirbreen glacier (Jotunheimen massif,
Norway) since the Little Ice Age to the present time*

J. Chueca Cía y A. Julián Andrés

*Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio; Universidad de Zaragoza
E-mail: jchueca@posta.unizar.es y ajulian@posta.unizar.es*

Resumen: En el presente trabajo se analiza el proceso de deglaciación identificado en el glaciar de Leirbreen, emplazado en el sector occidental del macizo de Jotunheimen, en el sur de Noruega. La caracterización cronológica de ese proceso se ha realizado mediante la aplicación de técnicas de liquenometría, que han permitido datar una secuencia morrénica muy completa, compuesta por diez episodios bien marcados (arcos M1-M10), desarrollados desde mediados del siglo XVIII, en plena Pequeña Edad del Hielo, hasta la actualidad (M1: 1755-1760 AD; M2: 1791-1795 AD; M3: 1830-1831 AD; M4: 1842-1845 AD; M5: 1870-1873; M6: 1875-1880; M7: 1902-1905; M8: 1923-1925; M9: 1935-1938; M10: 1958-1960). Los datos obtenidos se comparan con los disponibles hasta la fecha para otros sectores del mismo macizo, examinándose en particular su posible correlación con la secuencia del vecino glaciar de Storbreen.

Palabras clave: *Cronología, deglaciación, Pequeña Edad del Hielo, liquenometría, glaciar Leirbreen, Noruega.*

Abstract: In this work, we analyze the process of deglaciation identified in the Leirbreen glacier, which is located in the western sector of Jotunheimen massif, in southern Norway. The chronological characterization of this process has been made by using lichenometrical techniques, that have allowed us to date a complete morainic sequence, consisting of ten well formed episodes (morainic ridges M1-M10), developed from the mid XVIIIth century, during the Little Ice Age, to the present time (M1: 1755-1760 AD; M2: 1791-1795 AD; M3: 1830-1831 AD; M4: 1842-1845 AD; M5: 1870-1873; M6: 1875-1880; M7: 1902-1905; M8: 1923-1925; M9: 1935-1938; M10: 1958-1960). The data thus obtained are compared with the information available for other sectors of the same massif, examining in particular its possible correlation with the nearby Storbreen glacier.

Key words: *Chronology, deglaciation, Little Ice Age, lichenometry, Leirbreen glacier, Norway.*



Chueca Cía, J. y Julián Andrés, A. (2000). Cronología del proceso de deglaciación en el glaciar de Leirbreen (macizo de Jotunheimen, Noruega), desde la Pequeña Edad del Hielo hasta la actualidad. *Rev. C. & G.*, 14 (3-4), 55-64. © SEG. AEQUA. GEOFORMA Ediciones

1. Introducción: el área de estudio

El macizo de Jotunheimen es la cadena montañosa de mayor altitud de Noruega y toda Escandinavia; culmina en el pico Galdhøpiggen

(2.469 m s.n.m.), y gran parte de sus cordales cimeros sobrepasan los 2.200 m de altura. Situado además a una latitud considerable (61°N), los dos factores favorecen la presencia en el macizo de numerosos glaciares de, en general, pequeñas dimensio-

nes y variada morfología: casquetes glaciares (*ice caps*), glaciares en circo, y glaciares en lengua (Figura 1). Casi todo el macizo está labrado en litologías resistentes de tipo gneiss con granulitos piroxénicos, a excepción de su tramo más meridional, donde dominan los gabros en facies de anfibolitas (Battey y McRitchie, 1975); sobre ambos roquedos las formas de relieve mantienen bien conservados los efectos de un modelado glaciar muy intenso y reciente: son abundantes las artesas glaciares, los circos, y los *hörner* y crestas de divisoria relativamente afilados, y aunque toda la zona está marcada por las formas pesadas y macizas, la acción del glaciario ha actuado rejuveneciendo esos rasgos.

La climatología del sector está caracterizada por su relativa crudeza. A partir de los datos aportados por la estación meteorológica de Fannaråken (emplazada en el extremo más oriental del macizo, a una altitud de 2.062 m y a unos diez kilómetros del glaciar de Leirbreen), sabemos que las temperaturas medias anuales a esa altura rondan los $-5/-6^{\circ}\text{C}$

(enero: $-11,5^{\circ}\text{C}$; julio: $2,5^{\circ}\text{C}$) y el total de precipitación media anual se sitúa en torno a los 1.200 mm, en buena parte caídos en forma sólida (octubre: 60 mm; agosto: 180 mm) (Bruun y Håland, 1970). La vegetación se adapta claramente a estas condiciones, localizándose el límite de las últimas especies arbóreas (*treeline*) a aproximadamente 1.000-1.100 m de altura; por encima, dominan las comunidades de herbáceas acompañadas por pequeños arbustos de porte minúsculo (*Vaccinium*, *Salix*, etc.) que, poco a poco, van desapareciendo y perdiendo cobertura al ascender en altitud hasta que, finalmente, sólo algunos líquenes saxícolas mantienen una reducida aunque constante presencia.

2. Material y métodos

El glaciar de Leirbreen es una de las pequeñas lenguas glaciares que arrancan del casquete glaciar de Smørstabbreen, el de mayor tamaño de todo el

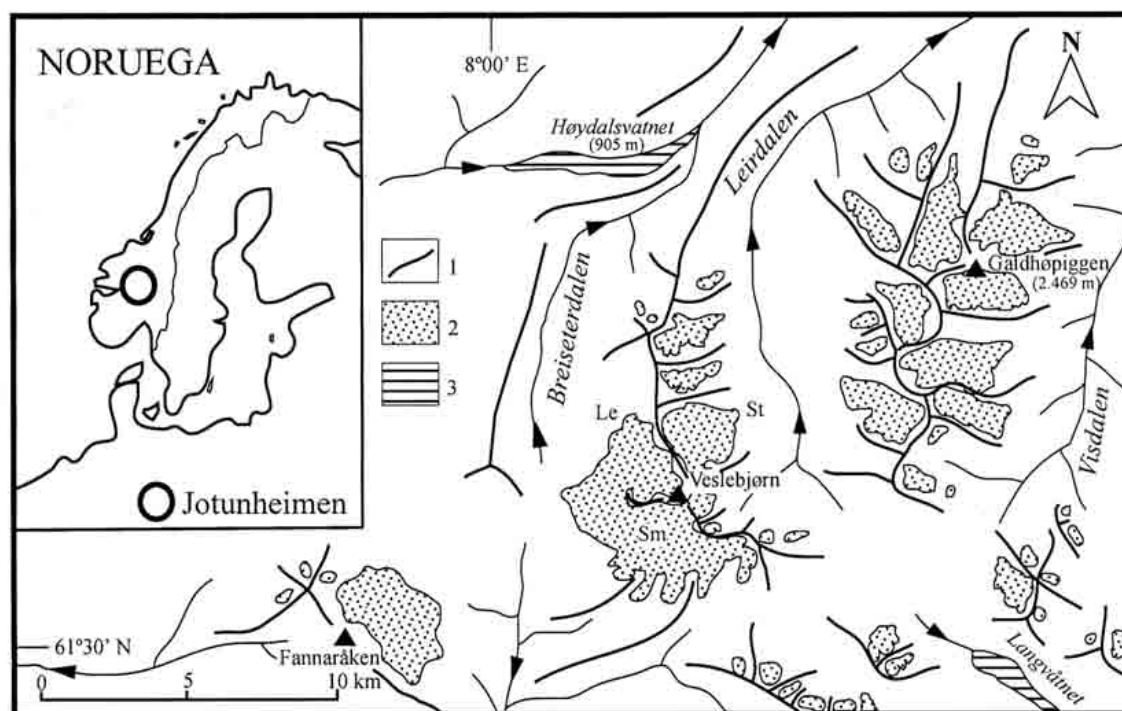


Figura 1. Área de estudio: localización de aparatos glaciares en el sector centro-occidental del macizo de Jotunheimen. 1: divisorias; 2: glaciares; 3: lagos. Sm: casquete glaciar de Smørstabbreen; Le: glaciar de Leirbreen; St: glaciar de Storbreen.
 Figure 1. Study area: location of glaciers in the middle-western sector of Jotunheimen massif. 1: divisory ranges; 2: glaciers; 3: lakes. Sm: Smørstabbreen ice cap; Le: Leirbreen glacier; St: Storbreen glacier.

macizo de Jotunheimen, que se encuentra situado en su tramo occidental y tiene una extensión total de unos 24 km² (Figura 1). Las cumbres que destacan sobre el *ice cap* rondan los 2.100 m de altura (Kalven, 2.034 m; Skeia, 2.118 m; Veslebjørn, 2.150 m). El glaciar de Leirbreen, en concreto, está actualmente casi desgajado del resto del casquete; con apenas 5 km² de extensión, presenta una morfología en lengua de dimensiones modestas (unos 3,5 km de largo y una anchura máxima de 1,8 km). Orientada al NO, la lengua de hielo arranca a los 2.100 m de altitud y muere a los 1.510 m en un pequeño lago proglaciar que vierte sus aguas al río Bøvra, en la cabecera del valle de Breiseterdalen (Figura 2). Aunque no disponemos de datos específicos para el glaciar de Leirbreen, los resultados de la monitorización efectuada desde hace varias décadas por parte del NVE (*Norges Vassdrags og Energidirektorat*), controlando el balance de masas y el avance o retroceso frontal en varios glaciares representativos del macizo (Storbreen, en la zona occidental; Hellstugubreen, en el tramo central;

Gråsúbreen, en la zona más oriental), indican que, con oscilaciones menores, es patente en toda la zona la tendencia general hacia una pérdida de volumen de hielo y longitud de los distintos aparatos, acrecentada en la parte final de la década de los noventa (Kjøllmoen, 1998).

El glaciar de Leirbreen, como la gran mayoría de los cuerpos glaciares localizados en el macizo de Jotunheimen, presenta una secuencia morrénica muy bien conservada de edad histórica, con un máximo claramente atribuible a la Pequeña Edad del Hielo (PEH). A diferencia de otros sectores escandinavos y árticos donde se han conservado e identificado otros episodios igualmente holocenos, aunque más antiguos, enmarcables también dentro del período Neoglaciar, en el sur de Noruega la dinámica glacial durante la PEH fue de una intensidad suficiente como para arrasar la mayor parte de esos testigos morrénicos previos (Matthews y Shakesby, 1984; André, 1986; Nesje, 1992; Eronen y Huttunen, 1993; Kullman, 1995; Bennett *et al.*, 1999). De hecho, los trabajos desarrollados en



Figura 2. Vista del sector frontal del glaciar de Leirbreen (agosto de 1999); en primer plano, lago proglaciar drenado por el arroyo de Leira.
 Figure 2. Frontal view of Leirbreen glacier (August, 1999); on the front, proglacial lake drained by Leira stream.

Jotunheimen por Matthews (1974, 1991), Grove y Battagel (1983), o McCarroll *et al.* (1998), confirman un máximo a lo largo del siglo XVIII, caracterizado por una expansión de los glaciares y una dinámica muy activa en el desarrollo de movimientos en masa en las laderas de la zona; ese máximo fue seguido por paulatinos retrocesos del hielo y una menor movilización en las vertientes durante el siglo XIX, y por tasas de actividad aun menores a lo largo del presente siglo.

Tal y como indican Vere y Matthews (1985), en el macizo de Jotunheimen existen dos grandes modalidades de deposición morrénica dentro de la PEH: 1) por un lado, en los glaciares de mayor tamaño, ubicados normalmente a más baja altitud, dominan las secuencias morrénicas desarrolladas a partir de pequeños pero muy numerosos arcos morrénicos; 2) por otro lado, en los glaciares

emplazados a mayor altura, las secuencias son más simples y, en general, aparece una clara tendencia hacia el desarrollo o retrabajamiento a partir de ellas de morfologías de glaciar rocoso. La secuencia morrénica identificada en el glaciar de Leirbreen se ajusta básicamente al primer modelo mencionado, constando de una decena de arcos mayores (M1 a M10), de dimensiones reducidas, que apenas rebasan los 2-3 m de altura en la mayoría de los casos (la excepción es el arco frontal M1, con una potencia superior a la decena de metros en algunos tramos). Todos los arcos se escalonan valle abajo en un transecto longitudinal de unos 800 m, partiendo desde las proximidades del lago proglaciar mencionado, a unos 1.510 m de altura, hasta los aproximadamente 1.460 m, donde se localiza el más externo y mayor de todos ellos (Figura 3). Están constituidos por bloques angulosos y suban-

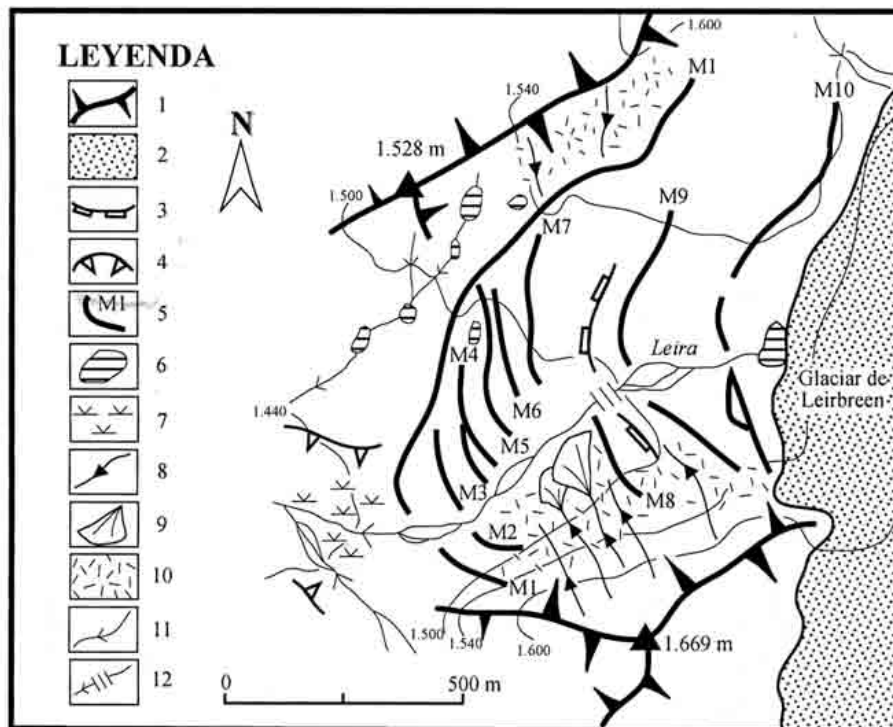


Figura 3. Esquema geomorfológico con representación de la secuencia morrénica del glaciar de Leirbreen. Leyenda: 1) Cordales de divisoria; 2) Glaciares; 3) Umbrales de origen glaciar; 4) Cubetas de sobreexcavación; 5) Arcos morrénicos; 6) Lagos de origen glaciar; 7) Áreas colmatadas y turberas; 8) Canales de aludes; 9) Conos mixtos; 10) Canchales; 11) Red fluvial; 12) Cambios bruscos de pendiente en la red fluvial.

Figure 3. Geomorphological map showing the Leirbreen glacier morainic sequence. Legend: 1) Watershed lines; 2) Glaciers; 3) Glacier steps; 4) Glacier erosive-bowls; 5) Morainic ridges; 6) Glacier lakes; 7) Peat areas; 8) Avalanche chutes; 9) Mixed talus cones; 10) Screens; 11) Streams; 12) Changes in stream slope.

gulosos de tamaño métrico a centimétrico, con una matriz fina que se hace escasa en la proximidad de las crestas y creciente conforme nos desplazamos hacia la base de los depósitos (Figuras 4 y 5). El pequeño arroyo de Leira, que drena el lago proglaciar, corta varios de los arcos morrénicos de la secuencia (M1, M2, M9 y M10), proporcionando buenos perfiles de la estructura mencionada. En general, las morrenas se encuentran mejor conservadas en la vertiente derecha de este arroyo, donde se hallan alejadas de los activos procesos de derrumbamiento, muy dinámicos (con caída de bloques por gravedad, que generan canchales y conos de clastos), que se desarrollan en el sector meridional de la caja glaciar; así, los arcos morrénicos M3, M4, M5, M6 y M7 sólo se han mantenido en esta vertiente, habiendo desaparecido totalmente de la margen izquierda del torrente.

El objeto de este trabajo es, precisamente, datar esa secuencia morrénica y comparar los resultados de esa datación con los registrados en otras zonas del macizo que exhiben rasgos deposicionales similares

y, más en particular, con la secuencia morrénica del vecino glaciar de Storbreen, la mejor documentada del macizo como luego expondremos. Para ello hemos utilizado técnicas de datación liquenométricas, abundantemente empleadas en la zona desde hace una veintena de años con buenos resultados. De hecho, este sector noruego puede considerarse *clásico* en la aplicación de métodos liquenométricos (*vid.* el apartado de resultados y discusión).

Partimos de la utilización de los taxones clásicos negro-amarillentos del subgénero *Rhizocarpon*. Dentro de éste, las secciones *Alpicola* y *Rhizocarpon* (las dos habitualmente presentes en el ámbito de estudio; Runemark, 1956 a, b) pueden presentar un desarrollo diferencial debido al efecto *green-zone* que, en función de los aportes de humedad relacionados con la microtopografía de cada morrena, potencia un crecimiento desigual (Chueca, 1994). Estas circunstancias nos hicieron desechar del muestreo los ejemplares de *R. Alpicola* y trabajar únicamente con los agrupados dentro de la sección *Rhizocarpon*, indiferenciables en el campo (dentro



Figura 4. Aspecto del arco morrénico M1 (ladera externa o distal) (la persona enmarcada en el óvalo sirve de escala orientativa).
Figure 4. Morainic ridge M1 (distal slope) (person inside circle as a scale).



Figura 5. Vista de los arcos morrénicos M10 (en primer término y a la izquierda) y M9 (en el centro y a la derecha).
Figura 5. View of morainic ridges M10 (on the front and to the left) and M9 (on the center and to the right).

de esta sección, las muestras recogidas y examinadas posteriormente en el laboratorio evidenciaron la presencia de las especies *R. geographicum* (L.) DC, *R. macrosporum* Räs y *R. intermediellum* Räs). El muestreo se realizó utilizando sobre el terreno retículas cuadrangulares de 5 x 5 m; el número de estas retículas varió en función de las dimensiones de cada cordón morrénico, pero siempre se superó el número de diez, para trabajar áreas con una superficie mínima de 250 m², tal y como se recomienda en la literatura (Chueca, 1994). Todas las localidades presentaban síntomas de estabilidad, y se eliminaron aquellas zonas con actividad fluvio-glaciar que pudiera generar microambientes en los que se favoreciera el desarrollo de talos anómalos. Las orientaciones en cada localidad variaban ligeramente, pero las medidas siempre se efectuaron en la porción proximal o interna de los arcos morrénicos. En cada uno de estos arcos, y con propósitos comparativos, se obtuvieron datos de tres parámetros distintos: 1) el talo liquénico de mayor tamaño identificado; 2) la media de los cinco talos mayores; y 3) la media de los diez talos

mayores (en general, suelen reconocerse como más fiables los datos derivados de valores medios; Chueca, 1994). En todos los casos, los diámetros o ejes mayores de los talos —circulares o semicirculares— se midieron con un calibrador (trabajando con una precisión $\geq 0,1$ mm).

Los valores de estas mediciones aparecen recogidos en la Figura 6, donde se puede apreciar las diferencias entre los tres parámetros mencionados para cada uno de los diez arcos morrénicos examinados. Para el caso de los valores medios, se incluye la representación en barras verticales de los intervalos de confianza al 95%, que constituyen una buena ayuda visual para determinar la significación estadística existente entre las medias (dentro de cada arco morrénico o, más interesante en nuestro caso, comparando unos arcos con otros): el solapamiento de las barras que indican el intervalo de confianza sugeriría diferencias no significativas estadísticamente, mientras que el no-solapamiento indicaría una diferencia significativa al nivel de confianza del 95%. En valores medios de cinco y diez talos mayo-

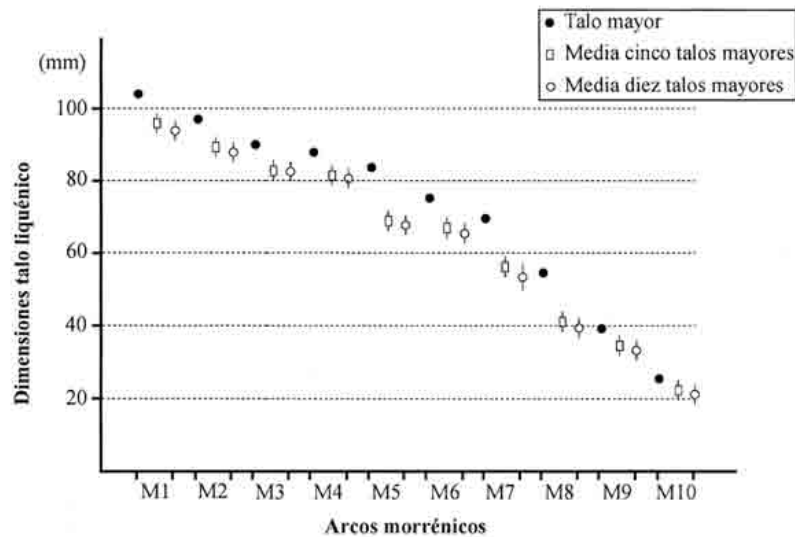


Figura 6. Diferencias en los valores de talo líquénico en función de los tres parámetros de muestreo utilizados en los arcos morrénicos M1-M10; las barras verticales indican los intervalos de confianza al 95%.
 Figure 6. Differences in the values of lichenic talus according to the three used parameters in the morainic ridges M1-M10; the vertical bars show 95% confidence intervals.

res, todos los arcos morrénicos analizados presentan entre sí diferencias significativas al 95%, a excepción de los pares M3-M4 y M5-M6 (los situados más próximos sobre el terreno); en cualquier caso, estos dos grupos de morrenas ya muestran valores estadísticamente significativos trabajando al nivel de confianza del 90%, por lo que la fiabilidad de las muestras es considerada aceptable.

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos se basan en la aplicación de una curva de crecimiento líquénica a los datos que acabamos de mencionar en el anterior apartado. La curva de crecimiento utilizada es la establecida por Matthews (1974) para el subgénero *Rhizocarpon* sección *Rhizocarpon* en su trabajo clásico sobre la secuencia morrénica del glaciar de Storbreem, complementada por otras aportaciones (Matthews, 1975, 1977), y corroborada por varios autores con posterioridad (Haines-Young, 1983; Innes, 1984; Bickerton y Matthews, 1992; Matthews *et al.*, 1997, 1999). El glaciar de Storbreem se localiza inmediatamente al este del glaciar de Leirbreen, encontrándose ambos separa-

dos tan sólo por la afilada arista que divide los valles de Breiseterdalen y Leirdalen (Figura 1). Es un glaciar muy similar al que nosotros hemos analizado: con morfología en lengua, de pequeño tamaño (5,3 km²), se orienta al NE, arrancando a unos 2.090 m de altitud y extinguiéndose a los 1.390 m, con una longitud aproximada de unos 3 km. Su secuencia morrénica comprende, igualmente, una decena de arcos mayores que en algunos casos aparecen desdoblados. El contexto de desarrollo ecológico y microecológico de las especies líquénicas es, por tanto, muy semejante en ambos casos, y permite aplicar con fiabilidad esa curva de crecimiento en la secuencia morrénica de Leirbreen.

Matthews (1974) se basó en el análisis de múltiples localidades en cada cordón morrénico para elaborar su curva de crecimiento líquénico, partiendo de dataciones absolutas disponibles para algunos de los arcos; la curva adoptó la siguiente expresión: $\log(y + c) = a + bx$. Donde y = tiempo transcurrido desde la deglaciación; x = tamaño líquénico (en mm); a , b y c son distintas constantes ($c = 50$; $a = 1,8143$; $b = 0,0062$). Matthews (1974, 1975, 1977) elaboró distintas curvas de crecimiento (o como él las denominó, *familias de cur-*

vas líquénicas) a partir de las que elaboró la curva general que acabamos de mencionar. Las curvas se desarrollaron utilizando distintos índices para el valor x , basados en el estudio de 1, 3 y 5 localidades por morrena, y 1, 5 o 10 talos mayores por cada localidad. Para cada arco morrénico no datado por métodos absolutos (a excepción de los dos más recientes, que Matthews no llegó a datar), se generaba así un conjunto de nueve dataciones liquenométricas (combinando número de localidades estudiadas y número de talos analizados por localidad). De éstas Matthews seleccionaba finalmente el valor medio, aunque el rango de edades que comenta el autor nunca era elevado, y oscila en general, en los casos más extremos, entre ± 12 años respecto a la edad media; Matthews, 1974).

En nuestro caso, como ya hemos mencionado, utilizamos parámetros de muestreo similares para poder aplicar directamente en la secuencia morrénica de Leirbreen los valores apuntados por Matthews en sus familias de curvas de crecimiento líquénicas de Storbreen. Así, tuvimos especialmente en cuenta analizar en cada localidad de estudio (siempre 10 como mínimo en cada arco morrénico, con lo que cubríamos incluso por exceso las utilizadas por Matthews en su trabajo, aunque en los cálculos posteriores se emplearon los valores de 1, 3 ó 5 localidades) las dimensiones: a) de los talos mayores individuales; b) la media de los cinco talos mayores; y c) la media de los diez talos mayo-

res. De las nueve combinaciones resultantes, que arrojan nueve cronologías diferentes para cada arco morrénico, puede obtenerse un valor medio, aunque, en nuestro caso, y para poder matizar y valorar mejor las diferencias resultantes de emplear 1, 5 o 10 talos en el muestreo, hemos preferido ofrecer estos desglosados, tal y como aparecen en la Tabla 1. En ella también se incorporan, con propósitos comparativos, los valores medios obtenidos por Matthews (1974) en Storbreen para la secuencia M1-M8.

Como puede apreciarse, se observan las lógicas diferencias en las dataciones en función de la técnica de muestreo —y la consiguiente curva de crecimiento— empleada. En general (pese a que existe alguna excepción, como los cordones morrénicos M5 y M7), estas divergencias en el rango de edades son mayores cuanto más antiguo es el arco analizado (M1: 20 años; M2: 15 años), y disminuyen al decrecer la edad de las morrenas (M10: 5 años; M9 y M8: 7 años). Ya hemos mencionado anteriormente que la máxima fiabilidad se alcanza trabajando con valores medios, por lo que pensamos que el rango de edades más aproximado sería el comprendido entre las dos estimaciones que utilizan valores medios de talla líquénica. En cualquier caso, es evidente que la secuencia de deposición en el glaciar de Leirbreen comienza aproximadamente a mediados del siglo XVIII (M1), marcando ese momento la máxima expansión de los

Tabla 1. Estimación de edades para la secuencia morrénica del glaciar de Leirbreen (arcos M1-M10) y de Storbreen. Parámetros de muestreo. Leyenda: A) talo de mayor tamaño identificado; B) media de los cinco talos mayores; C) media de los diez talos mayores. Table 1. Age estimations for Leirbreen and Storbreen glacier morainic sequences (ridges M1-M10). Legend: A) largest lichen talus; B) mean of the five largest talus; C) mean of the ten largest talus.

Arco morrénico	Parámetro muestreo			Storbreen
	A	B	C	
M1	AD 1740	AD 1755	AD 1760	AD 1750
M2	AD 1780	AD 1791	AD 1795	AD 1810
M3	AD 1823	AD 1830	AD 1831	AD 1825
M4	AD 1835	AD 1842	AD 1845	AD 1852
M5	AD 1860	AD 1870	AD 1873	AD 1870
M6	AD 1870	AD 1875	AD 1880	AD 1900
M7	AD 1890	AD 1902	AD 1905	AD 1917
M8	AD 1918	AD 1923	AD 1925	AD 1928
M9	AD 1931	AD 1935	AD 1938	—
M10	AD 1955	AD 1958	AD 1960	—

hielos en época histórica, expansión claramente ligada al recrudescimiento climático que supuso en la zona la Pequeña Edad del Hielo. Estas fechas son similares a las que ya hemos señalado con anterioridad que se apuntaban para el macizo en los trabajos de Matthews (1974, 1991), Grove y Battagel (1983) o McCarroll *et al.* (1998). No se detectan, en la secuencia morrénica de Leirbreen, restos anteriores de edad Neoglaciaria, que pudieron existir pero habrían sido arrasados durante este episodio. El proceso de deglaciación adquiere su mayor dinamismo en el período comprendido entre finales del siglo XVIII y finales del XIX, ya en la fase terminal de la PEH, lapso en el que se generaron cinco nuevos arcos morrénicos (M2-M6). A lo largo del presente siglo ha proseguido esa tendencia, aunque sólo se han construido cuatro arcos morrénicos mayores (M7-M10), que evidencian una relativa ralentización en la dinámica regresiva del glaciar de Leirbreen.

Comparando los resultados con los obtenidos por Matthews (1974, 1977) en el glaciar de Storbreen, y empleando como rango de valores de referencia los estimados por nosotros a partir de las medias de los cinco y los diez talos liquénicos mayores, no puede hablarse de una correlación plena entre las dos secuencias, aunque ésta sí es apreciable para, por lo menos, los primeros cinco episodios. La génesis del arco morrénico frontal es muy similar (M1-Storbreen: 1750 AD; M1-Leirbreen: 1755-1760 AD; diferencia: +5/10 años), y valida lo expuesto anteriormente; en los cordones M2 a M5 se observan diferencias cronológicas menores (el cordón morrénico M2 sería la única excepción), que indican breves adelantos o retrasos en la deposición de un arco respecto a otro (M2-Storbreen: 1810 AD; M2-Leirbreen: 1791-1795 AD; diferencia: -15/19 años; M3-Storbreen: 1825 AD; M3-Leirbreen: 1830-1831 AD; diferencia: +5/6 años; M4-Storbreen: 1852 AD; M4-Leirbreen: 1842-1845 AD; diferencia: -7/10 años; M5-Storbreen: 1870 AD; M5-Leirbreen: 1870-1873 AD; diferencia: 0/+3 años). A partir de esta última fecha la correlación entre las dos secuencias se rompe y únicamente podrían asimilarse las morrenas M6 de Storbreen y M7 de Leirbreen (M6-Storbreen: 1900 AD; M7-Leirbreen: 1902-1905 AD; diferencia: +2/5 años), y M8 de Storbreen y M8 de Leirbreen (M8-

Storbreen: 1928 AD; M8-Leirbreen: 1923-1925 AD; diferencia: -3/5 años; recordemos que los dos arcos más recientes de Storbreen no fueron datados por Matthews). Parece que, una vez finalizadas las últimas pulsaciones de la PEH en el último tramo del siglo pasado, fecha hasta la que se registraba una buena correlación en el proceso de deglaciación de los dos aparatos, comienzan a experimentarse patrones de comportamiento diferentes en los dos glaciares, que han continuado hasta la fecha con las dos excepciones citadas. La explicación a este hecho puede radicar en que la respuesta a los condicionantes climáticos (que durante la PEH eran evidentes, y marcaban los avances, estabilizaciones y retrocesos de los dos glaciares) se ha visto atenuada a lo largo de este siglo, pasando a entrar igualmente en juego factores más locales que controlan la dinámica glaciaria tales como la topografía de cada caja glaciaria, las distintas orientaciones o la distribución altitudinal de las masas de hielo.

4. Conclusiones

Como conclusión del presente trabajo puede resaltarse el hecho de que la datación detallada de la secuencia morrénica del glaciar de Leirbreen ha permitido corroborar en una nueva localidad que el máximo de la Pequeña Edad del Hielo en el macizo de Jotunheimen tuvo lugar a mediados del siglo XVIII, sin que se hayan localizado testimonios de fases neoglaciares previas que pudieron, sin duda, existir, pero probablemente generaron una expansión de los glaciares del macizo menos marcada. Se confirma asimismo que existe una correlación apreciable en la génesis de las secuencias morrénicas de los glaciares de Leirbreen y Storbreen, cuando menos desde el máximo de la PEH hasta la finalización de esa fase al terminar el siglo pasado, correlación que se va perdiendo para fechas posteriores. Como ya hemos apuntado, la explicación a este hecho puede radicar en que la respuesta a los condicionantes climáticos se ha ido atenuando, pasando a primar más los factores locales que controlan la dinámica glaciaria (como la topografía de las cajas glaciares, sus orientaciones o la distribución altitudinal de cada masa de hielo).

Referencias bibliográficas

- André, M.F. (1986). Dating slope deposits and estimating rates of rock wall retreat in northwest Spistbergen by lichenometry. *Geografiska Annaler*, 68 (A), 65-75.
- Bathey, M.H. & McRitchie, W.D. (1975). The petrology of the pyroxene-granulite facies rocks of Jotunheimen. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 55, 1-49.
- Bennett, M.R., Huddart, D. & Glasser, N.F. (1999). Large-scale bedrock displacement by cirque glaciers. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 31 (1), 99-107.
- Bickerton, R.W. & Matthews, J.A. (1992). On the accuracy of lichenometric dates: an assessment based on the 'Little Ice Age' moraine sequence of Nigardsbreen, southern Norway. *The Holocene*, 2 (3), 227-237.
- Bruun, I. & Håland, L. (1970). *Standard Normals 1931-1960. Climatological summaries for Norway*. Det Norske Meteorologisk Institutt, Oslo, 270 pp.
- Chueca, J. (1994). *Liquenometría*. Cuadernos Técnicos de la S.E.G., 7, Geoforma Ediciones, Logroño, 34 pp.
- Eronen, M. & Huttunen, P. (1993). Pine megafossils as indicators of Holocene climatic changes in Fennoscandia. *Paläoklimatforschung-Palaeoclimate Research*, 9, 29-40.
- Grove, J.M. & Battagel, A. (1983). Tax records from western Norway, as an index of Little Ice Age environmental and economic deterioration. *Climatic Change*, 5, 265-282.
- Haines-Young, R.H. (1983). Size variation of *Rhizocarpon* on moraine slopes in southern Norway. *Arctic and Alpine Research*, 15, 295-305.
- Innes, J.L. (1984). The optimal sample size in lichenometric studies. *Arctic and Alpine Research*, 16, 233-244.
- Kjøllmoen, B. (Ed.) (1998). *Glasiologiske undersøkelser i Norge 1996 og 1997*. NVE Rapport, 20, Oslo, 134 pp.
- Kullman, L. (1995). Holocene tree-limit and climate history from the Scandes Mountains, Sweden. *Ecology*, 76 (8), 2490-2502.
- Matthews, J.A. (1974). Families of lichenometric dating curves from the Storbreen gletschervorfeld, Jotunheimen, Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 28, 215-235.
- Matthews, J.A. (1975). Experiments on the reproducibility and reliability of lichenometric dates, Storbreen gletschervorfeld, Jotunheimen, Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 29, 97-109.
- Matthews, J.A. (1977). A lichenometric test of the 1750 end-moraine hypothesis: Storbreen gletschervorfeld, southern Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 31, 129-136.
- Matthews, J.A. (1991). The late Neoglacial ('Little Ice Age') glacial maximum in southern Norway: new ¹⁴C-dating evidence and climatic implications. *The Holocene*, 1, 219-233.
- Matthews, J.A. & Shakesby, R.A. (1984). The status of the 'Little Ice Age' in southern Norway: relative-age dating of Neoglacial moraines with Schmidt hammer and lichenometry. *Boreas*, 13, 333-346.
- Matthews, J.A., Dahl, S.O., Berrisford, M.S., Nesje, A., Dresser, P.Q. & Dumayne-Peaty, L. (1997). A preliminary history of Holocene colluvial (debris-flow) activity, Leirdalen, Jotunheimen, Norway. *Journal of Quaternary Science*, 12, 117-129.
- Matthews, J.A., Shakesby, R.A., McEwen, L.J., Berrisford, M.S., Owen, C. & Bevan, P. (1999). Alpine debris-flows in Leirdalen, Jotunheimen, Norway, with particular reference to distal fans, intermediate-type deposits, and flow types. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 31 (4), 421-435.
- McCarroll, D., Shakesby, R.A. & Matthews, J.A. (1998). Spatial and temporal patterns of Late Holocene rockfall activity on a Norwegian talus slope: a lichenometric and simulation-modelling approach. *Arctic and Alpine Research*, 30 (1), 51-60.
- Nesje, A. (1992). Younger Dryas and Holocene glacier fluctuations and equilibrium-line altitude variations in the Jostedalbreen region, western Norway. *Climate Dynamics*, 6, 221-227.
- Runemark, H. (1956 a). Studies on *Rhizocarpon*. I: Taxonomy of the yellow species in Europe. *Opera botanica*, 2 (1), 1-152.
- Runemark, H. (1956 b). Studies on *Rhizocarpon*. II: Distribution and ecology of the yellow species in Europe. *Opera botanica*, 2 (2), 1-150.
- Vere, D.M. & Matthews, J.A. (1985). Rock glacier formation from a lateral moraine at Bukkeholsbreen, Jotunheimen, Norway: a sedimentological approach. *Z. Geomorph. N.F.*, 29 (4), 397-415.

Recibido el 8 de mayo de 2000

Aceptado el 5 de octubre de 2000