



LA DEGLACIACIÓN DE LA ALTA MONTAÑA. MORFOLOGÍA, EVOLUCIÓN Y FASES MORFOGENÉTICAS GLACIARES EN EL MACIZO DEL POSETS (PIRINEO ARAGONÉS).

High mountain deglaciation. Glacial morphology, evolution and morphogenetic phases in the Posets massif (Aragonese Pyrenees).

E. Serrano⁽¹⁾, C. Agudo⁽²⁾ y J.J. González Trueba⁽³⁾

(1) Dpto. Geografía. Universidad de Valladolid. Pº Prado de la Magdalena s/n 47011 Valladolid.
e-mail. serrano@fyl.uva.es. fax, 983-42.31.49

(2) Edelvives S.A. C/ Xaudaró, 25. 28034 Madrid.

(3) Dpto. Geografía, Urbanismo y O.T. Universidad de Cantabria. Av/ Los Castros s/n. 39005 Santander.

Resumen: El Posets es un macizo de alta montaña prácticamente deglaciado, donde las formas glaciares dominan en un medio crionival actual. Mediante la elaboración de la cartografía geomorfológica, la reconstrucción de las distintas fases glaciares y la estimación de los límites de equilibrio glaciar de cada fase, se establece la evolución de la deglaciación y la transición de un medio glaciar a periglacial. Se han detectado cinco fases morfogénicas principales en la alta montaña, Fase I, Pleniglacial, con el macizo cubierto por una extensa capa de hielo; Fase II, Máxima extensión interna, mayor expansión de los glaciares en el interior del macizo, adscrita al Tardiglacial; Fase III, Retroceso interno, muy próximos a los anteriores, también del Tardiglacial; Deglaciación holocena, período de retroceso glaciar y progresión periglacial; Fase IV, Avance menor, del período de avance acaecido en época histórica, la Pequeña Edad del Hielo; y Retroceso reciente. En la Pequeña Edad del Hielo se describe la evolución, con seis fases principales responsables del modelado del entorno de los glaciares.

Palabras clave: deglaciación, alta montaña, morfología glaciar, evolución glaciar, Pequeña Edad del Hielo, Pirineos.

Abstract: The Posets massif is the second highest massif in the Pyrenees (3.368 m). It is a deglaciaded high mountain massif, that includes three small glaciers at the highest cirque of Posets peak. The deglaciation evolution and the transition from a glacial environment to a periglacial one have been established from (1) geomorphological mapping, (2) depositional landforms description and (3) paleoELA reconstruction. Five main morphogenetic phases are defined: Phase I, Pleniglacial, during this phase the massif is covered by ice and glaciers which fed the Ésera and Cinqueta valley glaciers; Phase II, Inner advance maximum, main advance of glaciers in the massif, of Late Glacial age; Phase III, Inner retreat, also Late Glacial age; Holocene deglaciation, backward motion of glaciers phase and periglacial features; Phase IV, Smaller advance, glacial historic period, the Little Ice Age (L.I.A.); and Recent retreat. The L.I.A. morphogenetic evolution is formed by six main phases. Nowadays, the Posets massif is a high rocky mountain, very recently deglaciaded, with a marginal glacial morphodynamic and an intense cryonival activity.

Key words: high mountain deglaciation, glacial morphology, glacial evolution, Little Ice Age, Pyrenees



Serrano, E., Agudo, C., González Trueba, J.J. (2002). La deglaciación de la alta montaña. Morfología, evolución y fases morfogénicas glaciares en el macizo del Posets (Pirineo aragonés). *Rev. C. & G.*, 16 (1-4), 111-126.

1. Introducción

El macizo del Posets estuvo ocupado por extensos glaciares durante el Último Máximo

Glaciar Pleistoceno (LGM), al igual que otros macizos del Pirineo Axial aragonés, que fluían valle abajo alimentando, en este caso, las grandes lenguas del Ésera y Cinqueta (Figura 1). Su

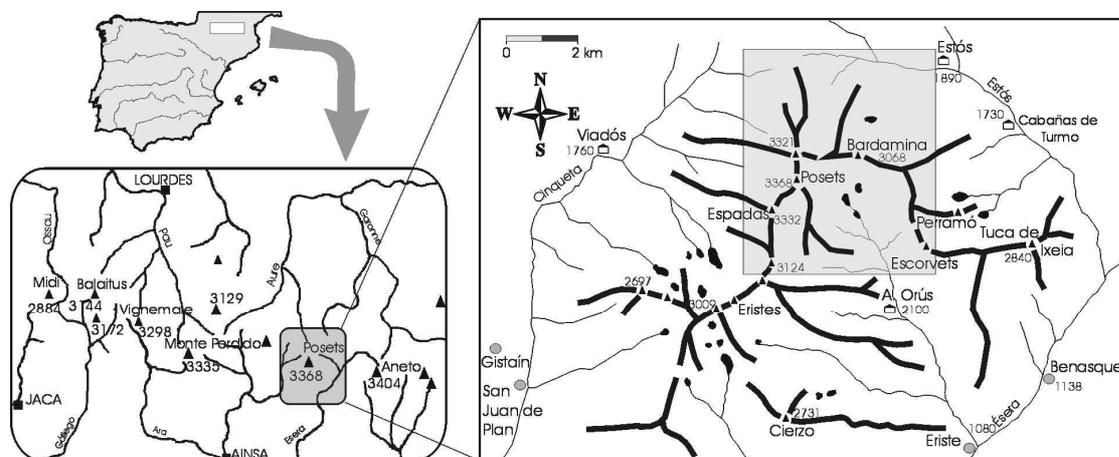


Figura 1. Localización de la zona de estudio.
 Figure 1. Location of the study area.

reciente deglaciación ha puesto al descubierto un paisaje de alta montaña donde la huella de los hielos cuaternarios permanece omnipresente. Localizado en su totalidad al sur de la divisoria de aguas pirenaica, el macizo del Posets se levanta entre los valles del Ésera y Cinqueta. Es el segundo más alto del Pirineo aragonés, alcanzando el pico Posets o Llardana, los 3.368 m (según la altitud registrada por el Instituto Geográfico Nacional).

El macizo está constituido por una sucesión de pizarras y calizas de edad paleozoica intensamente plegadas y granitoides, dividiéndose el conjunto en dos sectores, Posets y Millaris. Todo el conjunto está fracturado, dominando las fracturas de direcciones NW-SE y NE-SW, algunas de las cuales son determinantes en la configuración del relieve actual.

El relieve del macizo ha sido estudiado en el contexto del Pirineo axial, con aportaciones generales (Martínez de Pisón, 1990a y 1990b; García Ruiz et al. 1992), pero sobre todo centradas en la morfología glaciaria de las zonas limítrofes del macizo (Nussbaum, 1949; Martínez de Pisón, 1989; García Ruiz et al. 1992), el estudio de los glaciares actuales (Schrader, 1936; Martínez de Pisón y Arenillas, 1988; Martínez de Pisón et al. 1998) y del medio periglaciario (Hamilton, 1988; Agudo et al. 1989; Serrano y Agudo, 1998; Serrano et al. 1999, 2001).

2. Metodología

El método de trabajo se fundamenta en la combinación de técnicas cartográficas, geomorfológicas y de reconstrucción de la altitud de la línea de equilibrio glaciario (ELA), y la utilización de formas como indicadores de las distintas fases glaciares. Se ha realizado la cartografía geomorfológica a escala 1/10.000 del grupo de Posets y 1/25.000 del conjunto, de modo que el mapa ha sido uno de los objetivos prioritarios del análisis de campo. El inventario de las formas y su distribución espacial ha permitido establecer las distintas fases glaciares, su extensión y reconstruir las condiciones paleoglaciares de cada etapa mediante la estimación de las distintas paleoELAs. La línea de equilibrio glaciario se define como el límite inferior de la acumulación glaciaria, señalado en los glaciares actuales por la presencia de nieve al final de la estación de ablación. En el límite entre la zona de acumulación y ablación el balance de masa anual es cero, y se define como la altitud de la línea de equilibrio glaciario. La ELA representa, pues, la línea altitudinal que separa las zonas de acumulación y ablación de un glaciar, que varía anualmente. Mediante la reconstrucción de fases glaciares del pasado se puede estimar la altitud de la línea de equilibrio glaciario medio de cada aparato para el conjunto del periodo estudiado (altitud media de la línea de

equilibrio glaciar, MELA), así como para el conjunto del macizo. En este último caso representa las condiciones de la glaciación para cada fase en el conjunto del macizo. Para obtener este parámetro existen distintas técnicas (Porter, 1975; 2001; Meierding, 1982; Hawking, 1985; Dahl y Nesje, 1992; Kuhle, 1992) y el método utilizado ha sido el de la relación entre el área de acumulación y el área total (AAR), que se ha mostrado como la más fiable en estudios anteriores del Pirineo (Serrano, 1996). Este método (AAR) se basa en la relación entre el área de acumulación y el total de su superficie, incluyendo el área de acumulación y el de ablación, partiendo de considerar que el estado de equilibrio AAR de los glaciares de circo y de valle en latitudes templadas es de $0,6 \pm 0,05$, donde el área de acumulación ocupa aproximadamente dos tercios del área total. A la estimación de la superficie, para al cálculo de paleoELAs, se deben tener en cuenta la topografía subglaciar (Kuhle, 1988; Nesje, 1992), lo que permite una estimación más fiable de la MELA en cada fase glaciar. Para ello, se reconstruye el límite glaciar de cada fase con la máxima precisión a partir de las formas de erosión y acumulación, y se calcula el área para cada franja altitudinal considerada, y teniendo en cuenta que el relieve del glaciar sería cóncavo en las zonas de

acumulación y convexo en las de ablación. Con las áreas de cada porción del glaciar se genera una curva acumulativa que permite distribuir en altitud la distribución de la masa del glaciar. Considerando que el estado de equilibrio glaciar teórico en glaciares templados es de $0,6 \pm 0,05$, determinamos la ELA gráficamente. En ella el límite de error está definido por el rango del valor de la relación entre ablación y acumulación, en nuestro caso de 0,05 (Porter, 1975; 2001; Meierding, 1982; Hawking, 1985; Kuhle, 1988, 1992; Nesje, 1992).

3. El modelado glaciar

Junto a las morfoestructuras que establecen las líneas generales del macizo (Martínez de Pisón, 1990a ; García Ruiz et al. 1992), el modelado glaciar configura el relieve de la alta montaña del Posets. La morfología glaciar se caracteriza por una amplia representación de formas de edades, tamaños y tipos variados.

3.1. Las formas de erosión.

Los circos glaciares (Figura 2), de tipología muy variada, constituyen la forma esencial en la

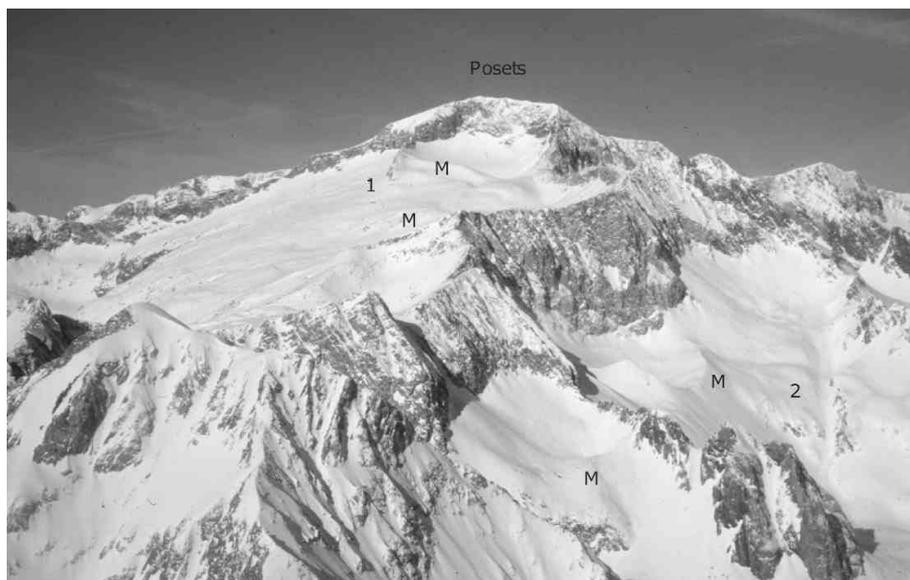


Figura 2. Vertiente septentrional del macizo del Posets. 1, circo de Posets. 2, circo de Bardamina. M, morrenas de la Pequeña Edad del Hielo.
Figure 2. North slope of Posets massif. 1, Posets cirque. 2, Bardamina cirque. M, Little Ice Age moraines.

Tabla 1. Formas de acumulación glaciaria en el grupo del Posets.
 Table 1. Glacial Accumulation landforms of the Posets group.

VALLE	DENOMINACIÓN	TIPO DE FORMAS	ALTITUD (m)
<i>La Paúl</i>	Depósito morrénico externo	Morrena lateral derrubada	2600-2800
	Complejo morrénico medio	Morrenas frontales (3 arcos) y lateral	2690-3000
	Complejo morrénico interno	Morrenas frontolaterales.	2790-3000
<i>Bardamina</i>	Complejo morrénico frontal externo	Morrenas frontales (4 arcos)	2300-2360
	Complejo morrénico interno	Arcos morrénicos frontolaterales	2575-2630
<i>Posets</i>	Complejo morrénico frontal externo	Arcos y material disperso frontal	2750-3050
	Complejo morr. Frontolateral interno	Morrena lateral y material frontal	3.050-3130
<i>Alto Llardaneta</i>	Complejo morrénico frontal externo	Arcos morrénico frontales (3)	2860-2910
	Complejo morrénico medio	Arco morrénico frontal	3010-3050
	Morrenas internas	Arcos morrénicos frontolaterales	3150-3200
<i>Llardana</i>	Complejo morrénico interno	Arcos morrénicos frontales (2)	2800-3000

articulación del relieve. Sobresalen los circos polilobulados, localizados principalmente en la vertiente oriental y asociados a los granitos, con un modelado de circos en Van, amplios y poco profundos, con paredes poco pronunciadas, como es el caso de los circos de Perramó, La Vall, Las Juntas, Ribereta y Bageña. La vertiente oriental del pico de Posets se configura como una amplia cuenca glaciaria definida por la sucesión de circos polilobulados de tendencia circular en planta. También están presentes los circos simples de pequeñas dimensiones y forma circular, en sillón. Están asociados a las pizarras y calizas y la erosión diferencial derivada de la alternancia de materiales. Los circos en sillón, pequeños y encajados, son propios de las pizarras y calizas del paleozoico, destacando los circos que conforman la cresta somital del pico de Posets, horn aplanado en su culminación, elaborado por los circos encajados de Llardana, Paúl, Posets y Llardaneta.

En la sucesión de cubetas de sobreexcavación escalonadas en las distintas artesas se pueden diferenciar tres tipos de cubetas. Las cubetas lacustres modeladas en granitos, donde se alojan ibones, aunque también es frecuente la presencia de cubetas colmatadas o semicolmatadas, como el caso del Ibón de Abaixo, son de tamaños y formas muy variadas y la fracturación guía su morfología, como es el caso de Las Alforjas, Abaixo, Leners o Ibón Alto. Las cubetas profundas y de tendencia circular sobre materiales pizarrosos se excavan a favor de

la erosión diferencial, como sucede en Llardana, Llardaneta, Bardamina y Llardaneta alta. Finalmente, asociadas a las calizas devónicas existen cuatro cubetas glaciokársticas, de reducidas dimensiones y profundas, en la vertiente septentrional del macizo. En el valle de los Ibones destaca el importante umbral de 500 m de desnivel, caracterizado por pequeños escalonamientos moldurados por el hielo, que configura un amplio afloramiento rocoso prominente sobre las cubetas de sobreexcavación.

El macizo del Posets, por su situación altitudinal, no presenta valles modelados por el hielo bien configurados en artesas. En él dominan los circos, que canalizaron el hielo hacia las artesas de Estós, Viadós y Eriste, donde el hielo alcanzó 600 m de espesor en las dos primeras y 500 m en la última. En el interior del macizo, sólo existen pequeños sectores que pueden considerarse artesas glaciares, el valle alto de Llardaneta, la cabecera de Eriste y la Coma de La Paúl.

3.2. Formas de acumulación.

Las formas y los depósitos de acumulación glaciaria están presentes en casi todos los circos y valles del macizo. Los restos morrénicos del LGM son muy importantes por debajo de la alta montaña, tanto en el Ésera como en el Cinqueta (Nussbaum, 1949; Martínez de Pisón, 1989; García Ruiz et al. 1992; Serrano y Martínez de Pisón, 1994) pero

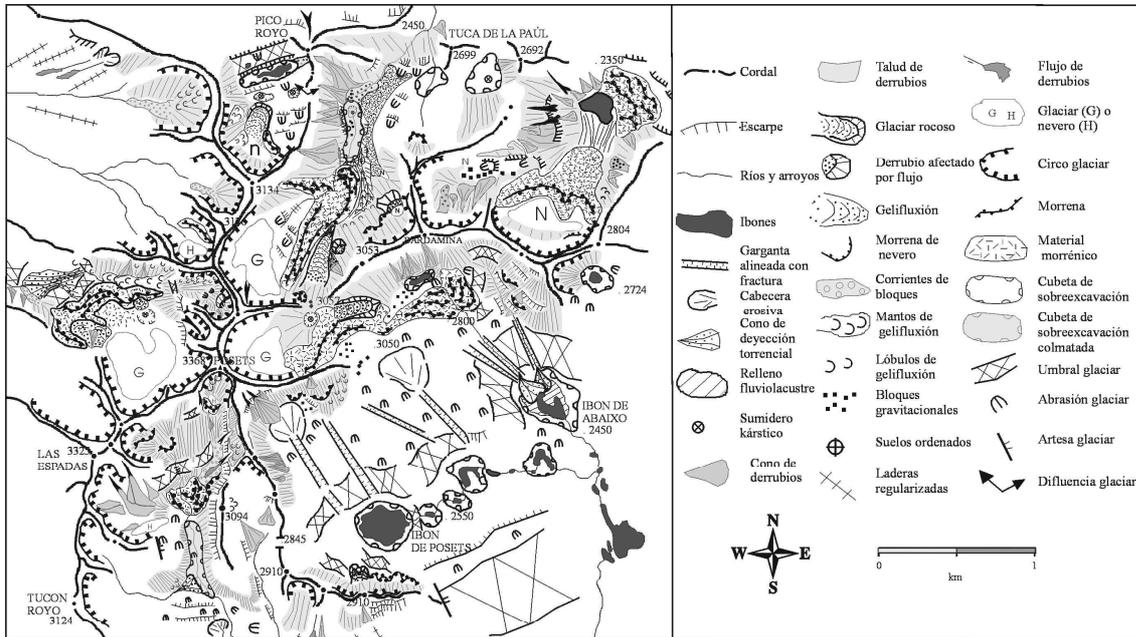


Figura 3. Esquema geomorfológico del grupo de Posets.
 Figure 3. Geomorphological sketch of Posets group.

están prácticamente ausentes en la alta montaña. Los restos más recientes se escalonan en los diferentes circos y valles (tabla 1 y Figura 3):

- Coma de La Paúl: A partir de los 2.600 m, en su margen oriental, se localiza un depósito de grandes bloques, con estructura abierta en superficie, que no conserva la morfología morrénica. Son bloques predominantemente graníticos, apoyados en el contrafuerte pizarroso que divide el valle, y alineados entre 2.600 y 2.800 m. Los interpretamos como restos de una morrena lateral (I) muy retocados por los procesos periglaciares. A 2.690 m se localiza un complejo morrénico frontal (II) bien conservado, que presenta tres arcos morrénicos frontales enlazados con una morrena lateral también bien conservada. En su interior se aloja un segundo complejo morrénico (III) compuesto por dos morrenas laterales perfectamente conservadas, incididas por las aguas proglaciales en su porción frontal, donde se ubican materiales morrénicos esparcidos que enlazan con el complejo morrénico inferior (Figura 4). Al pie del Collado de la La Paúl se ubica el glaciar rocoso

del mismo nombre, cuyo frente está deformado por el empuje glaciar que depositó la morrena lateral externa (II) de La Paúl, denotando con claridad la génesis anterior a este aparato (Figura 5) y, a su vez, posterior a la elaboración de la morrena lateral externa (I).

- Circo de Bardamina: En el circo de Bardamina se ubican dos complejos morrénicos bien conservados. Al exterior, en el contacto con la artesa de Estós, un complejo morrénico frontal (I y II) entre 2.300-2.360 m compuesto por cuatro arcos que limitan y retienen el ibón de Bardamina. El ibón está colmatado en su parte norte por un complejo sedimentario fluvioglacial de carácter proglaciar que enlaza con el complejo morrénico superior (III), compuesto por dos arcos morrénicos localizados a 2.575 m y otros dos a 2.630 m.
- Circo de Posets: En la porción comprendida entre la cumbre del Posets y el pico Bardamina se alojan sendos complejos morrénicos. El más bajo, un complejo morrénico frontal mal conservado (I y II), entre 2.750 y 2.900 m, forma



Figura 4. El glaciar de La Paúl y el complejo morrénico frontal de la Pequeña Edad del Hielo.
Figure 4. La Paúl glacier and the frontal morainic complex of Little Ice Age.



Figura 5. El glaciar rocoso de La Paúl y las morrenas de la Pequeña Edad del Hielo. Se observa la conexión entre ambas formaciones. M, morrenas de la Pequeña Edad del Hielo. M1, morrena externa. M2, morrena interna. G, glaciar de la Paúl. GR, glaciar rocoso de la Paúl.

Figure 5. La Paúl rock glacier and the Little Ice Age moraines. Note the connection between both formations. M, Little Ice Age moraines. M1, external moraine. M2, inner moraine. G, La Paúl glacier. GR, La Paúl rock glacier.

do por un manto morrénico disperso de bloques y cantos muy heterométricos, en el que se reconocen de tres a cuatro arcos. Una pequeña morrena lateral se alarga por encima de los 3.050 m en forma de depósito morrénico disperso. Entre 3.050 y 3.130 m se ubica un complejo morrénico frontolateral difluente que consta de una morrena lateral (III) con dos arcos en la porción superior que enlaza con el glaciar rocoso de Posets y con el depósito morrénico esparcido del collado de la Paül. Forma un neto arco compuesto por bloques y cantos con matriz muy heterométrica, pero compuesto por clastos de menor tamaño que en el complejo inferior. En la parte superior está en contacto con el hielo del glaciar de Posets.

- Valle alto de Llardaneta: A2.860 m se ubica un complejo morrénico frontal muy deteriorado (I), en el que se reconocen tres arcos morrénicos discontinuos, el más interno perfectamente conservado (II). Al frente enlazan con un complejo proglaciar que ha colmatado la cubeta de sobreexcavación. Sobre el umbral contiguo a este complejo se aloja una morrena frontal deteriorada (III), que puede adscribirse a un periodo de

equilibrio dinámico. Al pie del pico Espadas, a 3.150 m, y del Pico Posets, entre 3.150 y 3.200 m, hay dos arcos morrénicos individualizados (III) perfectamente conservados, el último con un helero permanente en su interior.

- Circo de Llardana: Entre 2.800 y 3.000 m se desarrolla un complejo morrénico voluminoso y perfectamente conservado que consta de una morrena laterofrontal externa (II) y otra interna (III), esta última en contacto con el glaciar actual (Figura 6). Aguas abajo enlaza con un cono de deyección generado por las aguas proglaciares, mal conservado por la fuerte pendiente, que dispersa los materiales por la zona próxima al glaciar.

4. La evolución glaciardel macizo: el tránsito de la alta montaña glaciada a la alta montaña deglaciada.

Los depósitos y formas glaciares dispersos por los distintos circos y artesas del macizo del Posets permiten reconstruir la deglaciación del macizo. Este proceso es especialmente interesante porque

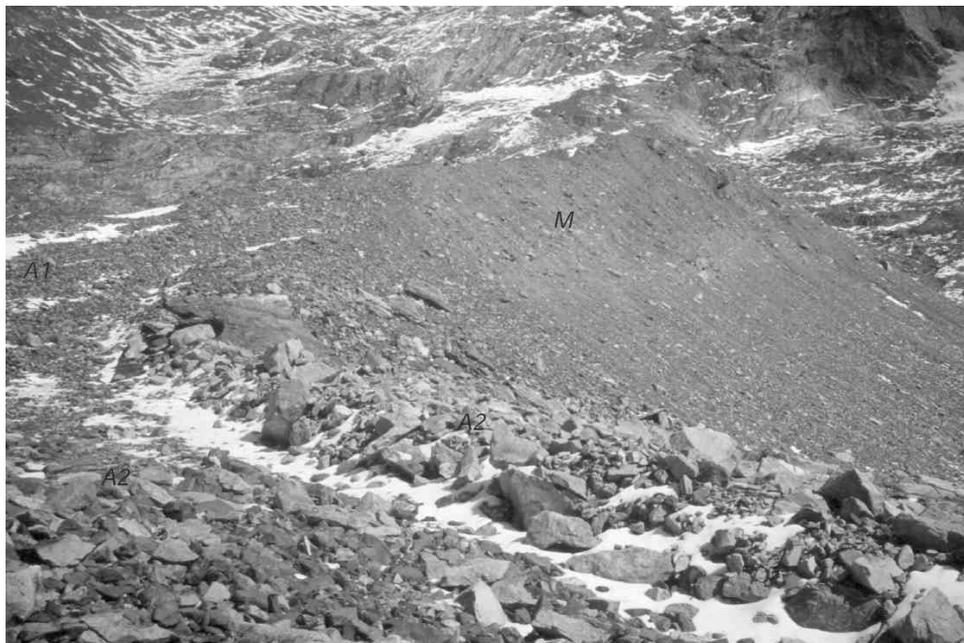


Figura 6. Complejo morrénico de la Pequeña Edad del Hielo de Llardana. A1, morrena externa. A2, morrena interna.
Figure 6. Llardana morainic complex of Little Ice Age. A1, external moraine. A2, inner moraine.

Tabla 2. Características de los principales sistemas glaciares del grupo de Posets.
 Table 2. Characteristics of the main glacial systems of the Posets group.

GLACIAR	FASE	ELA m s.n.m.	OR.	PERIODO	LONGITUD m	DESNIVEL m	SUPERFICIE Ha
<i>Posets</i> 1	I	2990	NE	Tardiglac.I	1600	450	59
	II	2950	NE	Tardiglac.II	1400	330	50
	II	3075	NE	P.E.H.	700	150	23
	glaciar	--	NE	Actual	550*	100*	14,5*
<i>Llardana</i> 2	I	2860	NW	Tardiglac.I	1000	800	68
	II	2890	NW	P.E.H.	750	480	36
	III	2860	NW	P.E.H.	150	470	27
	glaciar	--	NW	Actual	<700*	200*	23,5*
<i>Llordaneta</i> 3	I	3035	S	Tardiglac.I	1000	430	35
	II	3045	S	Tardiglac.II	750	410	23
	III	3230	S	P.E.H.	150	100	2
	helero	--	S	Actual	120	--	--
<i>La Pauíl</i> 4	I	2735	NNE	Tardiglac.I	1850	660	81
	II	2825	NNE	P.E.H.	950	500	29
	III	2855	NNE	P.E.H.	720	420	23
	glaciar	--	NNE	Actual	300*	160*	13*
<i>Gemelos II</i> 5	I	2837	NW	Tardiglac.I	600	400	12
	II	2915	NW	P.E.H.	350	260	6
	III	--	--	--	--	--	--
	helero	--	NW	Actual	100	--	--
<i>Bardamina</i> 6	I	2445	NNE	Tardiglac.I	1550	650	91
	II	2515	NNE	Tardiglac.II	1400	540	75
	III	2680	NNE	P.E.H.	420	330	31

ELA, altitud de la línea de equilibrio glaciar. OR., orientación. Tardiglac, tardiglaciario. P.E.H. Pequeña Edad del Hielo. *datos de Programa "Estudio de recursos hidráulicos producidos por la innivación en la alta montaña española", ERHIN, 1998. La numeración de la primera columna corresponde con la numeración de la figura 4.

posibilita reconstruir la paulatina transformación del medio de alta montaña glaciar en un medio de alta montaña periglaciario (Serrano et al. 2001). La ausencia de dataciones absolutas no permite establecer cronologías definitivas, si bien se establecen por correlación y analogía con lo que sucede en otros macizos del Pirineo, donde sí existen dataciones absolutas y correlaciones más precisas (Mardones, 1982; Hubschmann y Jalut, 1987; Andrieu et al. 1988; Vilaplana et al., 1989; Montserrat, 1992; Bordonau, 1992; Serrano y Martínez de Pisón, 1994; Serrano, 1998; Chueca et al. 1998). Las fases morfogénicas glaciares que han dejado registro son (tabla 2):

- Fase I, El pleniglaciario:

La zona de estudio durante esta fase estuvo cubierta por una extensa capa de hielo de la que sobresalían algunas crestas y cumbres aisladas

(nunataks). Estos glaciares formarían parte de las principales zonas de acumulación que, a partir de la cresta divisoria principal y las cumbres más elevadas (Posets, Espadas, Eriste), alimentarían los grandes glaciares cuaternarios del Ésera y Cinqueta, este último afluente del Cinca, que tenían sus frentes a 900 m en el Esera (Barrère, 1953; Martínez de Pisón, 1989; García Ruiz et al. 1992) y 800 m en el Cinqueta (Nicolás, 1981; Martí Bono y García Ruíz, 1993; Chueca et al. 1998). Durante Pleniglaciario el interior del macizo permanecería prácticamente recubierto por el hielo, por lo que no han quedado morrenas pertenecientes a este período.

- Fase II, Máxima extensión interna.

En el interior del macizo se localizan, como se ha descrito en el apartado anterior, complejos morrénicos pertenecientes a distintas fases glacia-

Tabla 3. Hipótesis cronológica de las fases glaciares en el grupo del Posets.
 Table 3. Chronological hypothesis on the glacial phases of the Posets group.

VALLE	DENOMINACIÓN LOCAL	ALTITUD (m)	CORRELACIÓN CRONOLÓGICA
<i>La Paül</i>	Depósito morrénico externo	2600-2800	Tardiglaciario I
	Complejo morrénico medio	2690-3000	Tardiglaciario II ?
	Complejo morrénico interno	2790-3000	Pequeña Edad del Hielo
<i>Bardamina</i>	Complejo morrénico frontal externo	2300-2360	Tardiglaciario I y II
	Complejo morrénico interno	2575-2630	Pequeña Edad del Hielo
<i>Posets</i>	Complejo morrénico frontal externo	2750-3050	Tardiglaciario I y II
	Complejo morr. frontolateral interno	3.050-3130	Pequeña Edad del Hielo
<i>Alto Llardaneta</i>	Complejo morrénico frontal externo	2860-2910	Tardiglaciario I
	Complejo morrénico medio	3010-3050	Tardiglaciario II ?
	Morrenas internas	3150-3200	Pequeña Edad del Hielo
<i>Llardana</i>	Complejo morrénico interno	2800-3000	Pequeña Edad del Hielo

res. Los depósitos morrénicos externos están presentes en todos los valles y circos, excepto en Llardana. Los glaciares que generaron estas formas superan el kilómetro de longitud, tienen importantes complejos proglaciares de dimensiones mayores de un kilómetro, sus frentes se localizan entre 2.250 y 2.700 m al norte o 2.750 y 2.870 m en orientaciones meridionales, son de lengua, de corto recorrido y fuerte pendiente: 1.850 m de longitud y 660 m de desnivel en la Coma de La Paül; 1.550 m de longitud y 650 m de desnivel en Bardamina; 1000 m de longitud en Llardaneta, con 430 de desnivel; y en Posets, 1.600 m de longitud y 450 m de desnivel. La ELA se localizaría entre los 2.445 m de Bardamina y los 3.035 m de Llardaneta, donde se refleja la diferencia entre las orientaciones septentrionales y meridionales. La ELA para el conjunto del macizo se localizaría a 2.805 m, cota muy próxima a los frentes de las vertientes meridionales.

La cronología de esta fase representa un período de expansión máxima de los glaciares alojados ya en la actual alta montaña, que ha sido correlacionado con el Tardiglaciario, representado en todo el Pirineo. En otros macizos existen dos fases para este período (Serrano, 1998; Serrano y Martínez de Pisón, 1994), si bien los análisis palinológicos no lo detectan (Montserrat, 1992). Esta fase se situaría, por correlación con el Pirineo francés, en una primera fase de expansión Tardiglaciario, correlacionable con el Dryas antiguo, en torno a

15.000-13.000 años B.P. Al finalizar esta fase se inicia un retroceso menor que no libera de hielo prácticamente a la alta montaña (tabla 3).

- Fase III, Retroceso interno:

En la alta montaña y muy próximas a las morrenas de la fase anterior se localizan un conjunto de morrenas que en algunos casos forman parte de los mismos complejos morrénicos, por lo que podemos considerarlos como distintas pulsaciones de la misma fase. De hecho, la MELA se localizaría a una altitud muy próxima, de modo que la MELA del macizo sólo está 30 m más alta, a 2.840 m de altitud, que en la fase anterior. Estas morrenas, por formar parte de los mismos complejos, pueden ser fácilmente correlacionadas con la fase anterior. En cualquier caso, el período Tardiglaciario más frío en Europa, y en particular en el Pirineo, sería el Dryas reciente, por lo que cabe atribuir a este período los restos morrénicos simples, en los que no han quedado huellas de pulsaciones o fases de retroceso. Los glaciares son de lengua y ocupan más de un kilómetro en Posets (1.400 m) y Bardamina (1.400 m). Esta fase finaliza con la deglaciación de los circos y valles altos, donde no hay restos morrénicos de pulsaciones intermedias. Sin embargo, en este momento se desarrolla el glaciar rocoso de la Paül, lo que denota una deglaciación posterior a esta fase mayor o igual en extensión a la etapa posterior, la Pequeña Edad del Hielo (Figuras 7 y 5).

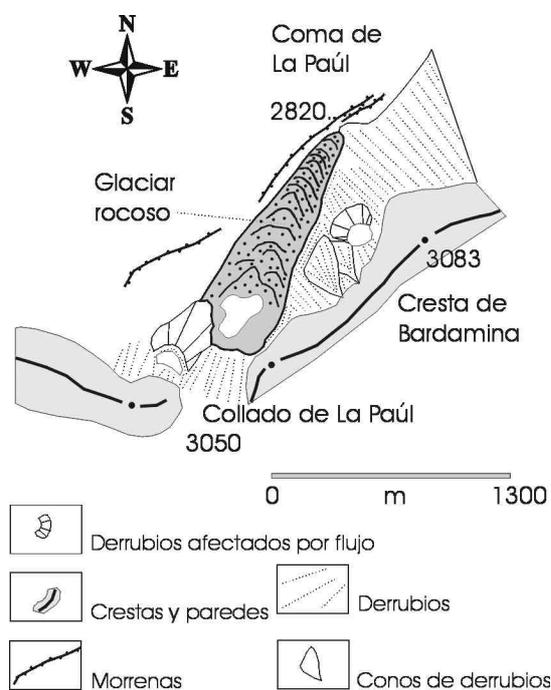


Figura 7. Esquema geomorfológico del glaciar rocoso de La Paül.
Figure 7. Geomorphological sketch of La Paül rock glacier.

- Fase IV, Avance menor:

En las zonas altas se localizan complejos morrénicos entre 2.570 y 3.200 m, carentes de vegetación, alojados en el fondo de los circos y a menudo en contacto con heleros y glaciares actuales. Fueron depositados por glaciares de circo pequeños, con lenguas incipientes y sólo en orien-

taciones septentrionales bajo cumbres que superan los 3.000 m y paredes escarpadas. La ELA del macizo se localiza a 2.930 m, por debajo de las altitudes de los glaciares de orientación meridional, lo que muestra la importancia de la orientación y la fuerte disimetría norte-sur. Este es un indicador de la marginalidad de los glaciares: en Bardamina (3.100 m) los frentes se sitúan al norte a 2.630 m, mientras al sur no existían; y en Posets (3.368 m) los frentes glaciares se sitúan a 2.800 m al noroeste, 3.050 al noreste y 3.200 al sur.

Esta fase muestra al menos dos pulsaciones dentro del conjunto, muy próximas entre sí, y ha sido adscrita a la Pequeña Edad del Hielo (3 y 4 en Figura 8). La complejidad de esta pulsación, que responde al modelo pirenaico de evolución glaciar de la Pequeña Edad del Hielo (tabla 4), ha sido constatada en el Pirineo meridional mediante fuentes históricas (Martínez de Pisón y Arenillas, 1988) y múltiples registros morfológicos.

En los Pirineos esta fase se inicia con un crecimiento de los glaciares responsable de las morrenas externas (F.Iva en tabla 4) ocasionado por el periodo de máximo enfriamiento que tiene lugar hasta el siglo XVIII (1750 AD) y genera las morrenas más voluminosas en Llardana (Figura 6), La Paül y Bardamina (Figura 2). A esta pulsación le sigue un retroceso intercalado con pulsaciones menores que depositaría las morrenas internas y los arcos interiores de los complejos externos (dos en Posets, una desdoblada en Llardana y tres en La Paül) (F.Ivb en tabla 4) y algunos autores han atribuido en el Aneto a la década de 1820-1830 (Schrader, 1936, Plandé, 1947; Brunet, 1956;

Tabla 4. Evolución de los glaciares de la Pequeña Edad del Hielo: modelo pirenaico
Table 4. Evolution of the Little Ice Age glacials: Pyrenean Model

FASE	DENOMINACIÓN DINÁMICA	CRONOLOGÍA Año AD	RESTOS MORRÉNICOS
1. Fase IVa	Máxima extensión	1600/1750	Complejos externos
2. Fase IVb	Retroceso inicial y equilibrio	1750/1820-30	Pulsaciones internas de los complejos externos
3. Fase IVc	Retroceso generalizado	1820-30/1905	
4. Fase IVd	Pulsación menor	1905/1920	Arcos internos simples y depósitos deformados
5. Fase IVe	Retroceso generalizado	1920-1980	Recubrimientos supraglaciares y mantos morrénicos
6. Fase IVf	Retroceso drástico	1980-2000	Recubrimientos supraglaciares.

FUENTES: Schrader, 1936; Lucas Mallada, 1878; Plandé, 1947; Brunet, 1956; Barrère, 1953; Martínez de Pisón y Arenillas, 1988; Martínez de Pisón et al. 1995 y 1998; Serrano y Martínez de Pisón, 1994; Copons y Bordonau, 1994; Chueca y Julián, 1996; Serrano, 1998; Chueca et al. 1998.

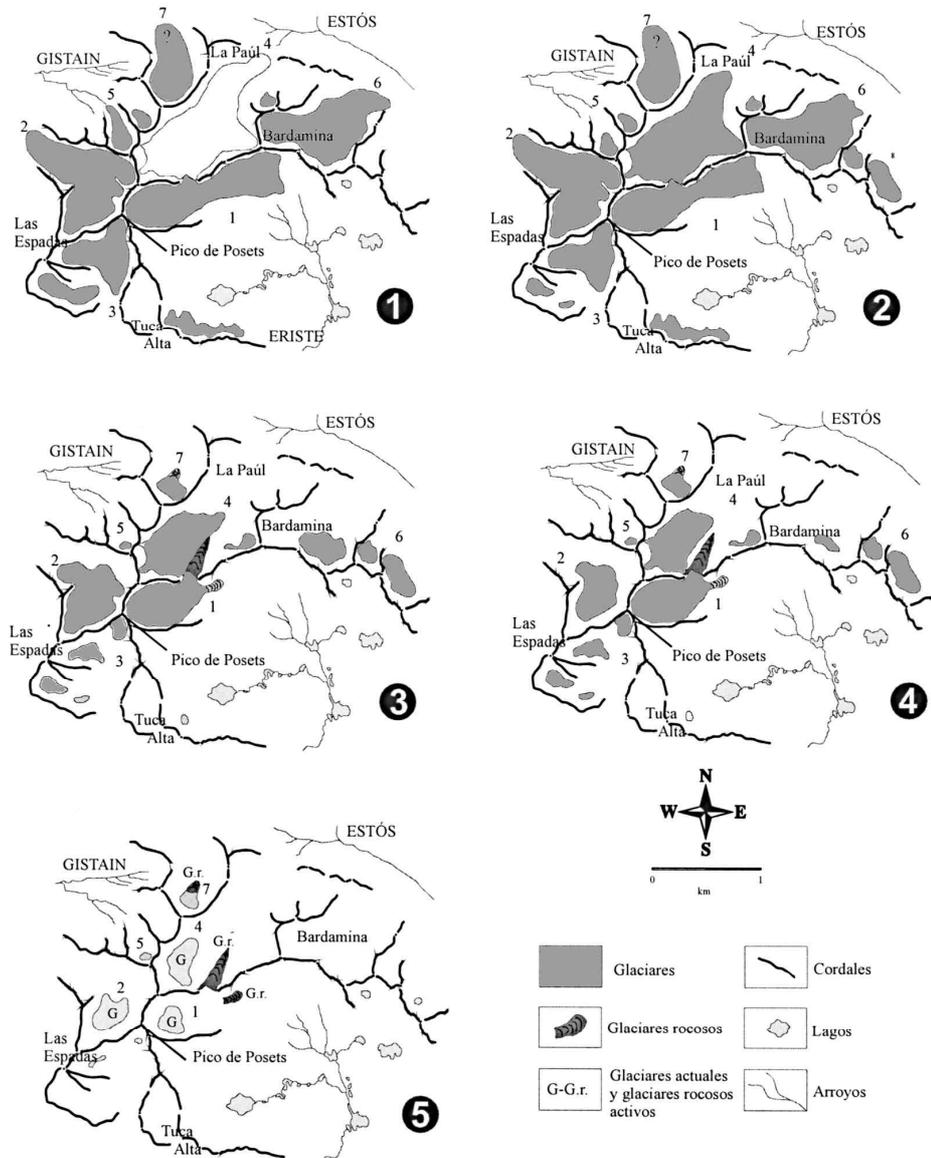


Figura 8. Evolución glaciar del grupo de Posets. 1. F.I, máxima extensión. 2. F.III, Retroceso interno. 3. F.IV, Avance menor, P.E.H. 4. Retroceso durante la P.E.H. 5. Situación actual. Los números del interior de la figura coinciden con los de la tabla 2.

Figure 8. Glacial evolution of Posets group. 1, F.II, Inner maximum advance. 2, F.III, Inner retreat. 3, F.IV, Smaller advance, L.I.A. 4, L.I.A. retreat. 5. Nowadays situation. The numbers in the maps are described in table 2.

Martínez de Pisón y Arenillas, 1988). Hacia 1876 los glaciares ya están separados de las morrenas más externas, de modo que es el avance registrado a partir de 1905, con un máximo menor hacia

1910-15, el que construiría las morrenas menores internas (F.Ivd en tabla 4), con un sólo arco en La Paúl y Llardana. Los restos alojados a mayor altitud y más pequeños (F.Ive en tabla 4), muestran una

gran simplicidad, con algunos aparatos ajenos a esta evolución, pues permanecerían estables en sus dimensiones. Finalmente, se detecta un rápido retroceso reciente, para las últimas décadas, señalado por la pérdida de masa de los glaciares y el descubrimiento de umbrales y la caja rocosa en La Paúl, Posets y Llardana. A partir de los datos disponibles (Programa de “Estudio de recursos hidráulicos producidos por la innivación en la alta montaña española”, ERHIN, 2001) se observa que en el macizo para un periodo de 97 años (1894-1991), la pérdida de superficie ha sido de un 78%, mientras para los últimos 10 años esta ha sido de un 30%, lo que implica una pérdida anual cuatro veces mayor para este período que para los 100 años anteriores, y constata el drástico retroceso reciente (F.Ivf en tabla 4).

5. Los glaciares actuales y la distribución de ambientes glaciares y periglaciares.

En el macizo del Posets, como es sabido, existen en la actualidad tres glaciares, La Paúl, Llardana y Posets, todos ellos en torno al pico Posets (3.368 m) (tabla 5). En total ocupan una superficie próxima a las 48 Ha y se alojan en circos encajados, en altitud y bajo la cumbre más elevada del macizo.

- Glaciar de La Paúl: Se ubica en la vertiente NE del Posets, abierto hacia la Coma de la Paúl. Es

un glaciar de circo “colgado con forma lenticular” (Martínez de Pisón et al. 1992), que en la actualidad presenta un frente cortado a bisel hasta los 3.000 m. En su zona inferior presenta pequeños tapices de derrubios y en la porción media un sistema de grietas de tracción transversales y una longitudinal que denotan su dinamismo. Este glaciar ha sufrido un retroceso reciente que implica que su longitud actual es inferior a 300 m, su ubicación actual es entre 2.950 y 3.100 m de altitud, y ha dejado al descubierto el umbral sobre el que reposaba hace dos décadas.

- Glaciar de Posets: En la actualidad es un núcleo de hielo con estructura estratificada que no posee grietas, con un frente a bisel prácticamente recubierto de clastos que afloran desde las zonas superiores próximas a las paredes. Es un glaciar “anichado cóncavo” (Martínez de Pisón et al. 1992), en la actualidad más pequeño que el de la Paúl, al que superaba hace pocas décadas. Si en 1988 tenía 14,5 Ha, frente a 13 Ha el de La Paúl, (Martínez de Pisón y Arenillas, 1988), Chueca et al. (1998) establecen para 1992, 10,9 Ha para el glaciar de Posets y 13 Ha para el de La Paúl. Se señala claramente un retroceso rápido y reciente muy acusado. En la actualidad los restos de hielo más bajos se ubican entre 3.070-3.100 m. Lo exiguo del glaciar, el abandono de la cubeta inferior, la inexistencia de grietas y la presencia de acumu-

Tabla 5. Glaciares del macizo del Posets.
Table 5. Posets Massif glacials

GLACIAR	LA PAÚL	POSETS	LLARDANA
CUENCA	Ésera	Ésera	Cinqueta
ORIENTACIÓN	NE	ENE	NW
LONGITUD (m)	300	550	700
ALTITUD ¹ (m)	2950-3100	3070-3160	2860-3100
ESTIMACIÓN MELA ²	3.040	3.090	3.005
1895 Ha		132	52
1980 Ha	13	14,5	23,5
1991 Ha		48	
PÉRDIDA 1894-1991		78%	
PÉRDIDA 1991-2001		30%	
PÉRDIDA 1894-2001		84%	

FUENTE: Programa EHRIN. 1, Datos propios de campo. 2, Estimación cartográfica.

laciones voluminosas sobre el glaciar constatan su estado terminal como glaciar activo, sin duda en franco tránsito hacia helero.

- Glaciar de Llardana: Encajado en el circo de Llardana, y orientado al NW bajo una pared de más de 200 m de desnivel, se ubica entre los 2.860 de su frente y los 3.100 m. Se trata de un “glaciar de circo anichado cóncavo” (Martínez de Pisón et al. 1992), cuyo estrechamiento frontal le confiere un aspecto lengüoide. Su mitad inferior se encuentra cortada a bisel, con clastos en superficie aflorando desde el lecho por grietas transversales de cizalla, que recubren en la actualidad la mayor parte del glaciar. En el tercio medio, un sistema de grietas glaciares, prioritariamente transversales, con alguna de tendencia longitudinal, muestran la actividad del glaciar.

En las últimas dos décadas, todos los glaciares han sufrido importantes variaciones, con pérdida de masa del 84% desde 1894 y cambios morfológicos notables (Martínez de Pisón, 1988; Martínez de Pisón et al. 1995; 1998). En el glaciar de La Paúl, el menos afectado, se aprecia un retroceso frontal que ha liberado el umbral sobre el que se apoyaba en las décadas anteriores; el glaciar de Llardana ha perdido masa en el frente, acortándose e incrementando el recubrimiento de clastos que lo caracteriza, y el glaciar de Posets, el más afectado, ha sufrido una importante pérdida de extensión, desaparición de grietas, biselamiento de prácticamente toda su superficie, recubrimiento generalizado de clastos y abandono de las cotas más bajas, que implica una intensa dinámica regresiva muy reciente. Para el macizo, ya hemos señalado la pérdida de masa constante durante los últimos 110 años (tabla 5) que implica una pérdida del 80% de la superficie de los glaciares, acelerada durante las últimas décadas.

Los glaciares no alcanzan el 2% del total de la superficie de alta montaña del grupo de Posets. Es pues, en la actualidad, una alta montaña rocosa en la que los procesos glaciares, sobresalientes por su carácter relicto y singular, no poseen más que una incidencia menor en el dinamismo actual de la alta montaña del macizo del Posets. Aunque no son de importancia, su evolución y extensión mayor en fases muy recientes condicionan los medios periglaciares actuales. El macizo ha permanecido glaciado durante el Último Máximo Glaciar y el final

del Pleistoceno, con masas de hielo que han remodelado el relieve y han sido capaces de generar un paisaje glaciar que condiciona de modo directo los procesos y las formas periglaciares. Estas han sido prácticamente inexistentes en el macizo hasta el Tardiglaciar, pues en su totalidad estaba cubierto por los glaciares, y la génesis de las existentes en la actualidad es, pues, muy reciente.

La deglaciación del macizo se inicia al final del Último Máximo Glaciar, pero los frentes tardiglaciares permanecerán en cotas entre 2.300-2.600 m hasta el Dryas reciente. Los glaciares que ocupan el macizo durante el periodo Tardiglaciar se caracterizan por las lenguas kilométricas y la ocupación casi total de los circos altos y las porciones superiores de los valles, generalmente por encima de los 2.300 m. La ELA del macizo en su conjunto se situaría a 2.805 m en la fase I, adscrita al Tardiglaciar, altitud hasta la cual se producirían procesos periglaciares intensos. En Posets o Llardaneta asciende hasta los 2.990 m y los 3.035 m, por lo que son estas zonas de la alta montaña las que fueron afectadas por procesos nivales y periglaciares en esta fase, lo que significa que desde los últimos 15.000-13.000 años algunos sectores de las paredes y crestas de la montaña están expuestos a los procesos periglaciares. En este período la superficie ocupada por glaciares supone sólo un 13% de la superficie total de la alta montaña actual, que permanecería, pues, predominantemente deglaciada. Por encima de los glaciares las zonas libres de hielo estarían prácticamente heladas durante casi todo el año, mientras en los márgenes de estos glaciares y por debajo de ellos, en cotas más bajas de los 2.300 m, los procesos periglaciares tuvieron más importancia durante el Tardiglaciar. En orientaciones al sur, donde estarían libres de hielo amplias superficies hasta los 3.000 m, los procesos periglaciares alcanzaron cotas más altas, en particular en Posets (valle de los Ibones) y Llardaneta. Constituyen, pues, la porción en altura del macizo que mayor tiempo ha permanecido libre de hielo.

Podemos considerar que la deglaciación se inicia a partir del Dryas reciente, es decir con posterioridad a los 11.000-10.000 años B.P., cuando el ambiente periglaciar se impone paulatinamente en la alta montaña. En esta fase el periglaciarismo afecta a las zonas liberadas por el hielo y a las crestas y paredes, que están sometidas a cambios anua-

les, congelamientos y ciclos de hielo-deshielo con rápidas transferencias de materiales en las zona más verticales. Aún así, es presumible que los ámbitos con permafrost permanecieran en las porciones más altas.

El tránsito de un ámbito glaciario, la “alta montaña glaciada”, a un ámbito periglaciario, la “alta montaña rocosa”, se producirá, de modo paulatino, durante el Holoceno. En la Pequeña Edad de Hielo la ELA del macizo ha ascendido hasta los 2.930 m, a 3.075 m en Posets y 3.230 m en Llardaneta. Prácticamente toda la masa montañosa está afectada por los procesos periglaciares en las vertientes meridionales, siendo más restringidos en los valles de orientaciones septentrionales. En conjunto, la superficie ocupada por glaciares (127 Ha) en este momento supone tan sólo un 5% de la superficie total estudiada de la alta montaña actual, siempre por encima de 2.680 m en orientaciones más favorables y los 3.000 m en las desfavorables.

La Pequeña Edad del Hielo significa un nuevo avance glaciario, acantonado en los circos superiores, y un incremento de los procesos periglaciares en la alta montaña, que afecta a los procesos y formas periglaciares preexistentes y genera otros nuevos. Finalmente, el retroceso reciente de los glaciares, durante los últimos doscientos años, ha posibilitado nuevos procesos que, como la deglaciación, están plenamente vigentes, son funcionales y están sustituyendo al ámbito glaciario en altura. En la actualidad más del 98% de la superficie altimontana del Posets está afectada por los procesos nivales y periglaciares en mayor o menor intensidad, dominando netamente sobre los reducidos ambientes glaciados (Serrano et al. 2001).

6. Conclusiones

Durante el Último Máximo Glaciario el macizo estuvo ocupado por masas de hielo que fueron capaces de remodelar la morfología preexistente, generando un neto paisaje y relieve glaciario que condiciona de modo directo los procesos y las formas periglaciares actuales. En la actualidad, los glaciares ocupan aproximadamente un 2% de la superficie del macizo del Posets, acantonados en la parte alta de sus principales circos.

Las formas de acumulación permiten reconstruir la evolución glaciario del macizo y el proceso de

deglaciación, y se han registrado cinco fases morfológicas glaciares. A falta de dataciones absolutas que establezcan una cronología definitiva, por correlación y analogía con otros macizos del Pirineo se ha establecido la siguiente evolución glaciario del macizo:

1. Fase I. Pleniglaciario, el macizo estaría cubierto por una extensa capa de hielo, de la que tan sólo sobresaldrían pequeños nunataks. Formaría parte del área de alimentación de los grandes glaciares cuaternarios del Ésera y Cinqueta.
2. Fase II, Máxima extensión interna. Período de expansión máxima de los glaciares en el interior del macizo, está representado en todos los valles salvo Llardana y señala la presencia de glaciares de importantes dimensiones, con lenguas hasta los 2.250-2.700 m al norte y 2.750-2.870 m al sur. Por correlación la adscribimos al Tardiglaciario, en torno a 15.000-13.000 años B.P., momento en el que el macizo es plenamente glaciario.
3. Fase III, Retroceso interno. Las morrenas de esta fase se localizan muy próximos a los restos pertenecientes a la fase anterior, entre los 2.300 y 2.700 m. Por correlación se establece una edad Tardiglaciario, en torno a 11.000-10.000 años B.P. En esta fase estarían ocupados por el hielo todos los circos y valles por encima de los 2.300 m al norte y 2.700 m al sur.
4. Deglaciación Holocena: Durante este periodo los glaciares desaparecen prácticamente de la alta montaña y se generan formas periglaciares (glaciario rocoso de la Paül, corrientes de bloques, lóbulos de piedras, derrubios afectados por flujo) que ocupan las porciones altas de laderas y circos.
5. Fase IV, Avance menor: Esta pequeña fase glaciario ha sido registrada por los restos de las zonas más altas de los principales circos y bajo cumbres de más de 3.000 m, como consecuencia del pequeño período pulsador acaecido en época histórica, la Pequeña Edad del Hielo. Dentro de ésta última fase es posible diferenciar tres pulsaciones menores principales (1600-1750, 1820-1830, 1905-1920 AD) que retocan las formas periglaciares holocenas.

6. Retroceso reciente: Los glaciares se separan de las morrenas frontales, inician procesos de derrumbamiento en las porciones inferiores (Llardana y Posets) y se liberan del hielo umbrales y laderas, donde se instalan enérgicos procesos gravitatorios y periglaciares en un medio predominantemente crionival.

El macizo del Posets es, pues, en la actualidad, un ámbito de alta montaña rocosa, recientemente deglaciada, donde la morfodinámica glacial actual no tiene más que un carácter marginal, en relación con una extensa e intensa morfodinámica crionival, en un ambiente periglacial reciente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Consejo de Protección de los Glaciares de Aragón (Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, Gobierno de Aragón). Los autores desean agradecer la ayuda prestada en la realización de este trabajo al programa ERHIN (M^o Medio Ambiente), a E. Martínez de Pisón y José Navarro, así como las sugerencias y correcciones al original realizadas por Jaume Bordonau.

Referencias Bibliográficas

- Agudo, C., Serrano, E., Martínez de Pisón, E. (1989). El glaciar rocoso activo de los Gemelos en el Macizo del Posets (Pirineo Aragonés). *Cuaternario y Geomorfología*, 3, 83-91.
- Andrieu, V., Hubschmann, J., Jalut, G. & Hérail, G. (1988). Chronologie de la deglaciation des Pyrenees françaises. Dynamique de sedimentation et contenu pollinique des paléolacs: application à la interprétation du retrait glaciaire. *Bulletin Associaton Française pour l'étude du Quaternaire*, 2-3, 55-67.
- Barrère, P. (1953). Equilibre glacier actuel et quaternaire dans l'Ouest des Pyrénées Centrales. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 2, 116-134.
- Bordonau, J. (1992). *Els complexos glacio-lacustres relacionats amb el darrer cicle glacial als Pirineus*. Geoforma Ediciones, Logroño. 251 pp.
- Brunet, R. (1956). Un exemple de la regression des glaciares pyreneennes. *Pirineos*, 62 (39-42), 261-264.
- Copons, R. & Bordonau, J. (1994). La Pequeña Edad del Hielo en el macizo de La Maladeta (Alta cuenca del Ésera, Piineos centrales). En: *El glaciario surpirenaico: Nuevas aportaciones* (García, J.M. y Martí, C.E.eds.). Geoforma Ediciones, Logroño, 111-124.
- Chueca, J. & Julián, A. (1996). Datación de depósitos de la Pequeña Edad del Hielo: macizo de la Maladeta. En: *Dinámica y evolución de medios cuaternarios* (Perez, A., Martini, W., Chesworth, W., Martínez, A. (eds.)). Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 171-182.
- Chueca, J., Peña, J.L., Lampre, F., García Ruiz, J.M. & Martí, C.E. (1998). *Los glaciares del Pirineo aragonés: estudio de su evolución y extensión actual*. Dpto. Geografía, Urbanismo y O.T., Zaragoza.
- Dahl, S.O. & Nesje, A. (1992). Paleoclimatic bas on equilibrium line altitude depressions of reconstructed Younger Dryas and Holocene cirque in Inner Nordfjord, western Norway. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 94, 87-97.
- García Ruíz, J.M., Bordonau, J., Martínez de Pisón, E. & Vilaplana, J.M. (1992). *Mapa Geomorfológico E.1/50.000. Benasque (M.T.N.180)*. Geoforma ediciones, Logroño.
- Hamilton, (1988). The development, age and present status of a rock glacier in the Posets Massif, Spanish Pyrenees. *Pirineos*, 131, 43-56.
- Hawking, F.J. (1985). Equilibrium line altitude and paleoenvironment in the Merchants Bay area, Baffin Island, N.W.T, Canada. *Journal of Glaciology*, 31 (109), 205-213
- Hubschman, J. & Jalut, G. (1987). Quaternary glaciation in the French Pyrénées. En *Quaternary glaciations in the North Hemisphere, Quaternary Science Reviews*, 5, 397-402.
- Kuhle, M. (1988). Topography as a fundamental element of glacial systems. *Geojournal*, 17-A, 545-568
- Kuhle, M. (1992). Topographical effects on equilibrium line altitude on glaciers. *Geojournal*, 27 (4), 383-391.
- Mallada, L. (1878). *Descripción física y geológica de la provincia de Huesca*. Mem. Com. Mapa Geol. España, t.XV. Madrid.
- Mardones, M. (1982). *Le Pleistocene superieur et L'Holocene du piémont de Lourdes: Le gisement de Biscaye (Hautes Pyrénées). Etude Palynologique, sedimentologique et geomorphologique*. Université Toulouse-Le Mirail. Toulouse, 106 pp.
- Martí Bono, C.E. & García Ruíz, J.M. (1993). La extensión del glaciario cuaternario en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. *Geographicalia*, 30, 271-282.
- Martínez de Pisón, E. (1989). Morfología glacial del valle de Benasque (Pirineo Aragonés). *Ería*, 1989, 51-64.
- Martínez de Pisón, E. (1990a). Morfoestructuras del Valle de Benasque. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 10, 121-147.
- Martínez de Pisón, E. (1990b). Unidades fisiográficas y morfológicas del valle de Benasque (Pirineo aragonés). *Estudios Geográficos*, 199-200, 559-575.
- Martínez de Pisón, E. & Arenillas, M. (1988). Los Glaciares actuales del Pirineo Español. En *La nieve en el Pirineo español*, M.O.P.U., Madrid, 29-98.

- Martínez de Pisón, E., Arenillas, M. & Martínez, I. (1992). El estado de los glaciares españoles en 1991. *Ería*, 28, 176-182.
- Martínez de Pisón, E., Navarro, P., Martínez, I., Cantarino, I., Pedrero, A. & Arenillas, M. (1995). Observaciones morfológicas sobre la evolución de los glaciares del Pirineo español entre 1982 y 1993. En: *La nieve en las Cordilleras españolas*. Programa ERHIN, M.O.P.T.M.A., Madrid, 253-281.
- Martínez de Pisón, E., Arenillas, M., Martínez, I., Serrano, E. & Navarro, J. (1998). Medidas de precipitación nival y de dinámica glaciar en el Pirineo español (1987-1997). En: *Procesos biofísicos actuales en medios fríos* (Gómez Ortiz et al. eds.). Universidad de Barcelona, Barcelona, 299-111.
- Meierding, T.C. (1982) Late Pleistocene glacial equilibrium line altitudes in the Colorado Front Range. A comparison of methods. *Quaternary Research*, 5 (1), 289-310.
- Montserrat, J. (1992). *Evolución glaciar y postglaciar del clima y la vegetación en la vertiente sur del Pirineo: estudio palinológico*. CSIC-IPE, Zaragoza.
- Nesje, A. (1992). Younger Dryas and Holocene glaciers fluctuations and equilibrium line altitude variations in the Jostedalbreen Region, western Norway. *Climate Dynamics*, 2, 221-227.
- Nicolás, P. (1981). Morfología del circo de Tucarroya. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 6, 1-2, 51-80.
- Nussbaum, F. (1949). Sur les traces des glaciers quaternaires dans la region de l'Aragón. *Pirineos*, 13-14, 497-518.
- Plandé, R. (1947). La nieve y los glaciares en el Pirineo. *Pirineos*, 3(5), 167-182
- Porter, S.C. (1975). Equilibrium lines altitudes of the late quaternary glaciers in the Southern Alps, New Zealand. *Quaternary Research*, 5 (1), 27-47.
- Porter, S.C. (2001). Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation. *Quaternary Science Reviews*, 20, 1067-1091.
- Schrader, F. (1936). Sur l'étendue des glaciers des Pyrenees (1894). En *Pyrenées*. Privat, Toulouse.
- Serrano, E. (1996). Líneas de equilibrio glaciar, glaciares rocosos y paleoambiente postglaciar en la alta montaña pirenaica (Macizo de Panticosa, Pirineo aragonés. En: *Dinámica y evolución de medios cuaternarios* (Perez, A., Martini, W; Chesworth, W., Martínez, A. eds.). Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 157-170.
- Serrano, E. (1998). *Geomorfología del Alto Gállego (Pirineo aragonés)*. Institución Fernando el Católico, Zaragoza.
- Serrano, E. & Martínez de Pisón, E. (1994). Geomorfología y evolución glaciar en el Pirineo aragonés oriental. En Martí, C.E., García, J.M. (eds.). *El glaciario surpirenaico. Nuevas aportaciones*. Geofoma ediciones, Logroño, 33-64.
- Serrano, E. & Agudo, C. (1998) Glaciares rocosos activos de los Pirineos. Implicaciones ambientales. En: *Procesos biofísicos actuales en medios fríos* (Gómez Ortiz et al. eds.). Universidad de Barcelona, Barcelona, 133-154.
- Serrano, E., Agudo, C. & Martínez de Pisón, E. (1999). Rock glaciers in the Pyrenees. *Permafrost and Periglacial Processes*, 10, 101-106.
- Serrano, E., Agudo, C., Delaloyé, R. & González Trueba, J.J. (2001). Permafrost distribution in the Posets massif, Central Pyrenees. *Norwegian Journal of Geography*, 55, 245-252.
- Vilaplana, J.M., Montserrat, J. & Schluchter, Ch. (1989). Recent progress in Quaternary research stratigraphy: The lake Llauset sequences in the spanish Pyrenees. En: *Quaternary types sections: imagination or reality?*. (Rose, J. y Schluchter, Ch. Eds.). Balkema, Rotterdam, 123-134.

Recibido 14 de febrero de 2002

Aceptado 17 de mayo 2002