

8340

GLACIARES PERMANENTES

AUTORES

Javier Chueca Cía y Asunción Julián Andrés



Esta ficha forma parte de la publicación **Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España**, promovida por la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino).

Dirección técnica del proyecto

Rafael Hidalgo.

Realización y producción



Coordinación general

Elena Bermejo Bermejo y Francisco Melado Morillo.

Coordinación técnica

Juan Carlos Simón Zarzoso.

Colaboradores

Presentación general: Roberto Matellanes Ferreras y Ramón Martínez Torres. Edición: Cristina Hidalgo Romero, Juan Párbole Montes, Sara Mora Vicente, Rut Sánchez de Dios, Juan García Montero, Patricia Vera Bravo, Antonio José Gil Martínez y Patricia Navarro Huercio. Asesores: Íñigo Vázquez-Dodero Estevan y Ricardo García Moral.

Diseño y maquetación

Diseño y confección de la maqueta: Marta Munguía.

Maquetación: Do-It, Soluciones Creativas.

Agradecimientos

A todos los participantes en la elaboración de las fichas por su esfuerzo, y especialmente a Antonio Camacho, Javier Gracia, Antonio Martínez Cortizas, Augusto Pérez Alberti y Fernando Valladares, por su especial dedicación y apoyo a la dirección y a la coordinación general y técnica del proyecto.

Las opiniones que se expresan en esta obra son responsabilidad de los autores y no necesariamente de la **Dirección General de Medio Natural y Política Forestal** (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino).

La coordinación general del grupo 8 ha sido encargada a la siguiente institución

Sociedad Española de Geomorfología



Autores: Javier Chueca Cía¹ y Asunción Julián Andrés¹.

¹Univ. de Zaragoza.

Colaboraciones específicas relacionadas con los grupos de especies:

Aves: Sociedad Española de Ornitología (SEO/BirdLife). Juan Carlos del Moral (coordinador-revisor), David Palomino, Blas Molina y Ana Bermejo (colaboradores-autores).

A efectos bibliográficos la obra completa debe citarse como sigue:

VV.AA., 2009. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: *Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino*.

A efectos bibliográficos esta ficha debe citarse como sigue:

CHUECA, J. & JULIÁN, A., 2009. 8340 Glaciares permanentes. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 52 p.

Primera edición, 2009.

Edita: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica.
Centro de Publicaciones.

NIPO: 770-09-093-X

ISBN: 978-84-491-0911-9

Depósito legal: M-22417-2009

1. PRESENTACIÓN GENERAL	7
1.1. Código y nombre	7
1.2. Descripción	7
1.3. Problemas de interpretación	7
1.4. Distribución geográfica	8
2. CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA	13
2.1. Factores biofísicos de control	13
2.2. Exigencias ecológicas	13
3. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN	15
3.1. Determinación y seguimiento de la superficie ocupada	15
3.1.1. Macizo de Infiernos	15
3.1.2. Macizo de Monte Perdido	17
3.1.3. Macizo de Posets	19
3.1.4. Macizo de la Maladeta	20
3.1.5. Evolución de la superficie ocupada	22
3.2. Evaluación de la estructura y función	23
3.2.1. Factores y variables	23
3.2.2. Protocolo para determinar el estado de conservación global de la estructura y función	24
3.2.3. Protocolo para establecer un sistema de vigilancia global del estado de conservación de la estructura y función	25
3.3. Evaluación de las perspectivas de futuro	25
4. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN	27
5. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	29
5.1. Bienes y servicios	29
5.2. Líneas prioritarias de investigación	29
6. BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA DE REFERENCIA	31
7. FOTOGRAFÍAS	33
Anexo 1: Información complementaria sobre especies	51



1. PRESENTACIÓN GENERAL

1.1. CÓDIGO Y NOMBRE

8340 Glaciares permanentes

1.2. DESCRIPCIÓN

Acumulaciones permanentes de hielo (glaciares y heleros de montaña), restringidas en España a los macizos más altos del Pirineo central aragonés: Infiernos, Monte Perdido, Posets y Maladeta. Se ubican a una considerable altitud (altitud media > 2.700 m), que favorece el desarrollo de bajas temperaturas y precipitaciones en forma de nieve. Su localización mayoritaria en circos orientados al norte ayuda igualmente a su conservación, al reducir los aportes de radiación solar.

Desde la década de los años 80 del pasado siglo han experimentado un marcado retroceso en superficie y volumen. La extensión superficial de los aparatos glaciares pirenaicos alcanza actualmente (agosto de 2006) 201,33 ha. El número de morfologías catalogables en este tipo de hábitat asciende a 16 (diez glaciares, cuatro formas transicionales de glaciar-helero y dos heleros).

Como propuesta para mejorar la definición y ajustarla al tipo de morfologías descritas, se incluye la siguiente: “1) Glaciares verdaderos”. Se suprimiría, por tanto, el apéndice “y rocosos” ya que, en realidad, el mismo hace referencia a una etapa evolutiva de los glaciares verdaderos en la que, ocasionalmente, éstos pueden verse cubiertos por un manto de derrubios.

1.3. PROBLEMAS DE INTERPRETACIÓN

Los únicos problemas de interpretación asociados a este tipo de hábitat se relacionan con la magnitud del glaciario pirenaico, menor si se compara con la que el fenómeno glaciar alcanza en otras cadenas montañosas del planeta. Su desarrollo en situaciones topoclimáticas críticas conlleva la presencia de dos morfologías típicas, glaciares y heleros, de los

Código y nombre del tipo de hábitat en el anexo 1 de la Directiva 92/43/CEE

8340 Glaciares permanentes

Definición del tipo de hábitat según el *Manual de interpretación de los hábitats de la Unión Europea (EUR25, abril 2003)*

Glaciares verdaderos y rocosos.

Relaciones con otras clasificaciones de hábitat

EUNIS Habitat Classification 200410

H4.2 Ice caps and true glaciers

EUNIS Habitat Classification 200410

H4.3 Rockglaciers and unvegetated ice-dominated moraines

Palaearctic Habitat Classification 1996

63.2 Rock glaciers

Palaearctic Habitat Classification 1996

63.3 True glaciers

que se aportan las definiciones usualmente utilizadas en la literatura (Chueca *et al.*, 1998).

Por **glaciar** se entienden los aparatos con hielo glaciar, bien diagenizado, con bandeados de estratificación y dinamismo visible traducido en el desarrollo de grietas de tracción (esta categoría sería asimilable a la 63.3 de la Clasificación de Hábitat del Paleártico: *glaciares verdaderos*); por **helero**, se entienden las morfologías glaciares muy degradadas y sin dinamismo, que aún conservan hielo glaciar abundante e incluso bandeados, pero que carecen de grietas de tracción y muestran un aspecto en general biselado (esta categoría sería asimilable a la 63.2 de la Clasificación de Hábitat del Paleártico: *glacierets*). En los inventarios de las últimas campañas glaciológicas (Chueca & Julián, 2006) se ha adoptado una categoría intermedia, de matiz, que señala la transición entre una y otra morfología, ligada a los procesos de degradación ya mencionados: los **glaciares-heleros**.

En cualquier caso, las tres morfologías mencionadas (glaciares, heleros y glaciares-heleros) son acumulaciones permanentes de hielo de origen glaciar, por lo que se encuadran sin problemas en la definición general del tipo de hábitat de interés comunitario 8340.

1.4. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

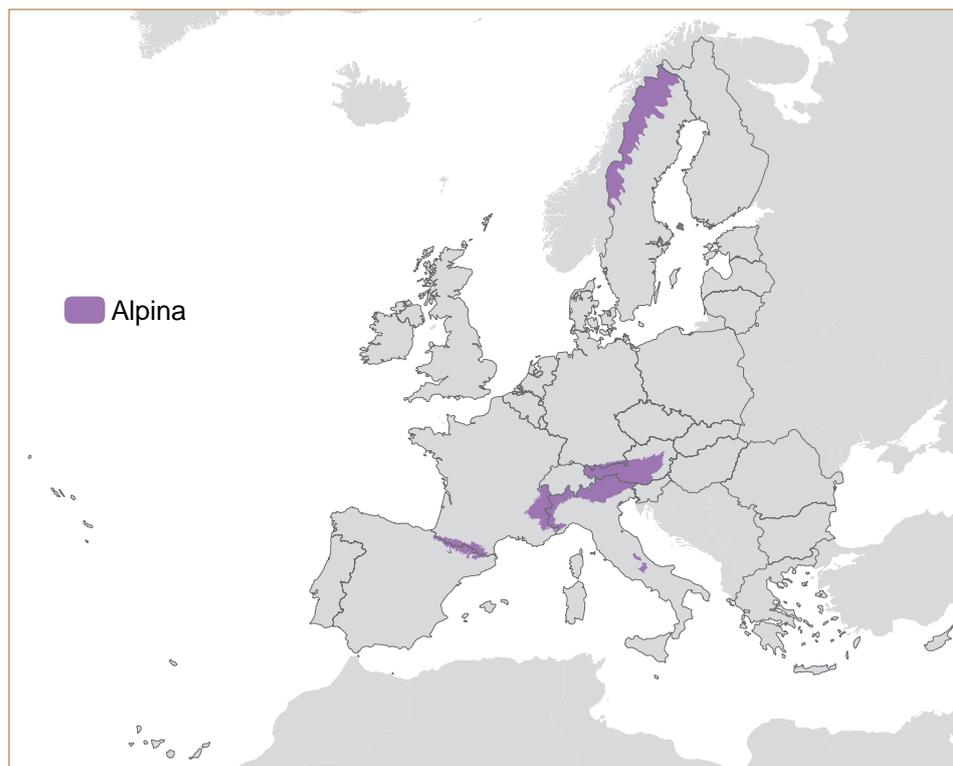


Figura 1.1
Mapa de distribución del tipo de hábitat 8340 por regiones biogeográficas en la Unión Europea.
 Datos de las listas de referencia de la Agencia Europea de Medio Ambiente.



Figura 1.2
Mapa de distribución estimada del tipo de hábitat 8340.
 Datos del *Atlas de los Hábitat de España*, marzo de 2005.

Región biogeográfica	Superficie ocupada por el hábitat (ha)	Superficie incluida en LIC	
		ha	%
Alpina	211,89	211,08	100
Atlántica	—	—	—
Macaronésica	—	—	—
Mediterránea	—	—	—
TOTAL	211,89	211,08	100

Tabla 1.2

Superficie ocupada por el tipo de hábitat 8340 por región biogeográfica, dentro de la red Natura 2000 y para todo el territorio nacional.
 Datos del *Atlas de los Hábitat de España*, marzo de 2005.

El tipo de hábitat analizado se localiza en la región biogeográfica Alpina de varios países miembros de la Unión Europea, dentro de las cadenas montañosas de los Pirineos (España y Francia), Alpes (Francia, Italia, Austria, Alemania) y Alpes Escandinavos (Suecia) (Suiza y Noruega, estados no-miembros, también incorporan este tipo de hábitat a sus territorios) (ver figura 1.1).

Las acumulaciones de hielo permanentes (glaciares y heleros) localizadas en España se restringen al Pi-

rineo central aragonés, dentro de la región biogeográfica Alpina.

Se localizan en la actualidad (agosto de 2006) en los macizos montañosos de Infiernos, Monte Perdido, Posets y Maladeta. A lo largo de las últimas décadas, la evolución regresiva asociada al proceso actual de cambio climático ha provocado la deglaciación total en los macizos de Balaitús, Vignemale, La Munia y Perdiguero (Chueca & Julián, 2006) (ver figura 1.3).

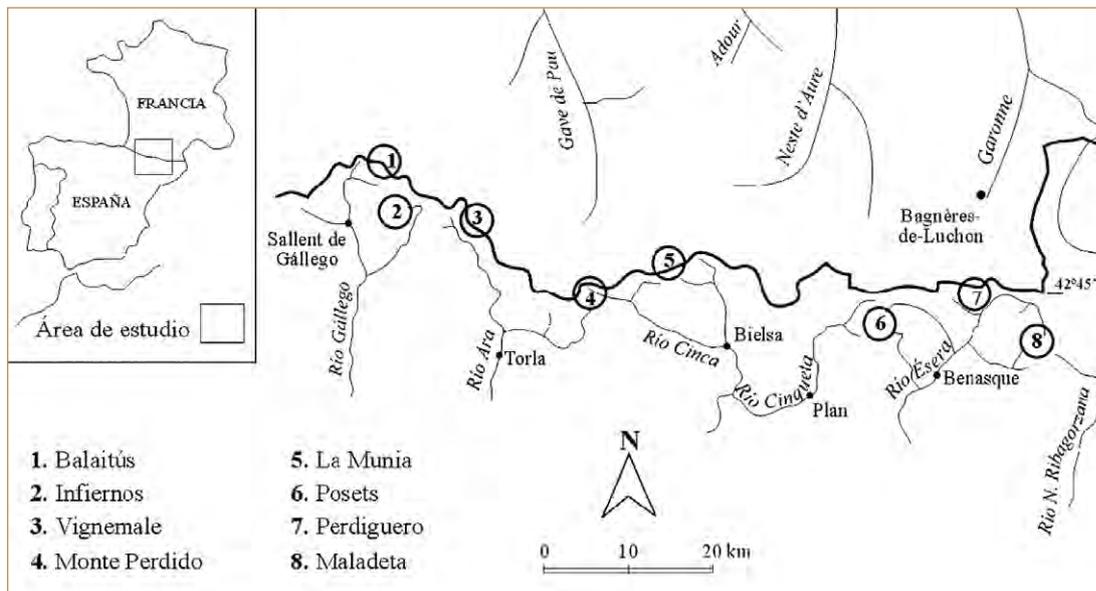
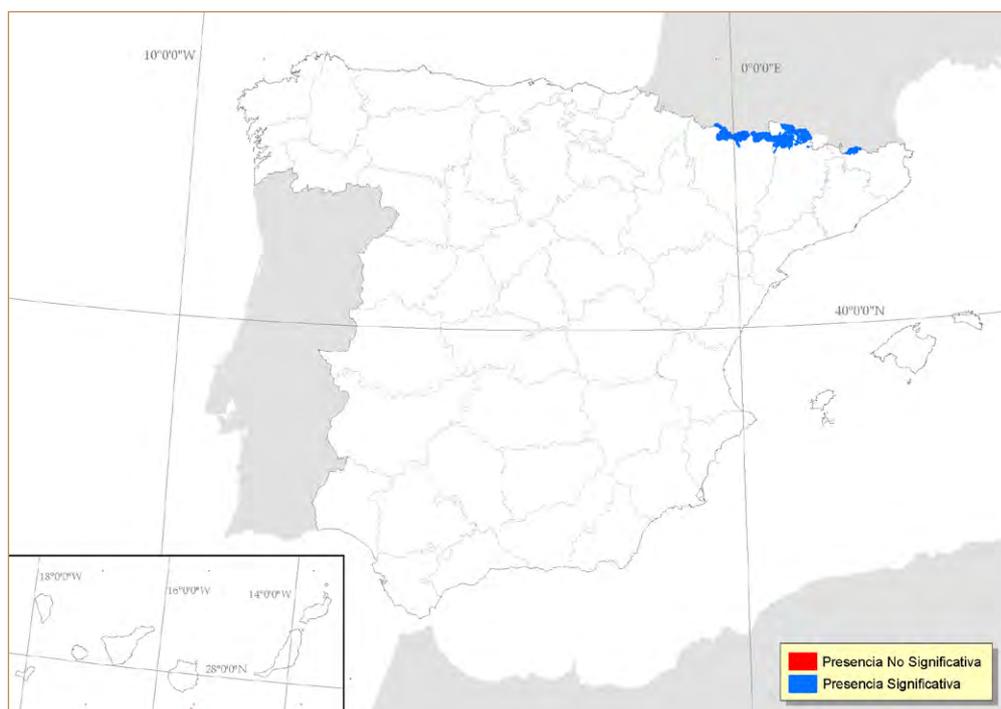


Figura 1.3

Localización de los macizos pirenaicos actualmente glaciados (Infiernos, Monte Perdido, Posets, Maladeta) y recientemente deglaciados (Balaitús, Vignemale, La Munia, Perdiguero).

Figura 1.4
Lugares de Interés Comunitario en que está presente el tipo de hábitat 8340.

Datos de los formularios normalizados de datos de la red Natura 2000, enero de 2006.



Región biogeográfica	Evaluación de LIC (número de LIC)				Superficie incluida en LIC (ha)
	A	B	C	In	
Alpina	6	3	—	—	1.788,14
Atlántica	—	—	—	—	—
Macaronésica	—	—	—	—	—
Mediterránea	—	—	—	—	—
TOTAL	6	3	0	0	1.788,14

A: excelente; B: bueno; C: significativo; In = no clasificado.

Datos provenientes de los formularios normalizados de datos de la red Natura 2000, enero de 2006.

Tabla 1.3

Número de LIC en los que está presente el tipo de hábitat 8340, y evaluación global de los mismos respecto al tipo de hábitat. La evaluación global tiene en cuenta los criterios de representatividad, superficie relativa y grado de conservación.

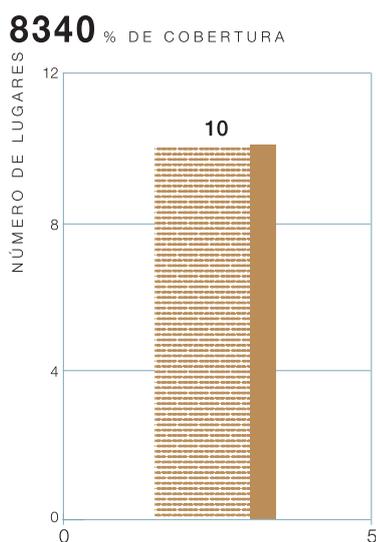


Figura 1.5

Frecuencia de cobertura del tipo de hábitat 8340 en LIC.
 La variable denominada *porcentaje de cobertura* expresa la superficie que ocupa un tipo de hábitat con respecto a la superficie total de un determinado LIC.

		ALP	ATL	MED	MAC
Aragón	Sup.	100%	—	—	—
	LIC	66,66%	—	—	—
Cataluña	Sup.	—	—	—	—
	LIC	33,33%	—	—	—

Sup.: porcentaje de la superficie ocupada por el tipo de hábitat de interés comunitario en cada comunidad autónoma respecto a la superficie total de su área de distribución a nivel nacional, por región biogeográfica.

LIC: porcentaje del número de LIC con presencia significativa del tipo de hábitat de interés comunitario en cada comunidad autónoma respecto al total de LIC propuestos por la comunidad en la región biogeográfica. Se considera presencia significativa cuando el grado de representatividad del tipo de hábitat natural en relación con el LIC es significativo, bueno o excelente, según los criterios de los formularios normalizados de datos de la red Natura 2000.

Datos del *Atlas de los Hábitat de España*, marzo de 2005, y de los formularios normalizados de datos de la red Natura 2000, enero de 2006.

Tabla 1.4

Distribución del tipo de hábitat 8340 en España por comunidades autónomas en cada región biogeográfica.



2. CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA

2.1. FACTORES BIOFÍSICOS DE CONTROL

En varias aportaciones se han analizado los factores que controlan el desarrollo y la distribución espacial de los glaciares pirenaicos, tanto a escala general (Chueca *et al.*, 2000, 2002, 2004a; Julián *et al.*, 2001), como de macizos (Chueca & Julián, 2004; Chueca *et al.*, 2003a, 2004b, 2005, 2007; López-Moreno *et al.*, 2006a, b). Se ha constatado la existencia de dos grandes grupos de factores de control, generales y locales.

1. Dentro de los factores generales se encuentra el comportamiento climático a nivel regional que, en las últimas décadas, y asociado al proceso actual de cambio climático, se ha caracterizado por el aumento de las temperaturas durante el período de ablación (fundamentalmente las temperaturas máximas, las que mayores repercusiones tienen en el balance de masa glaciar) y el descenso de las precipitaciones nivales durante el período de acumulación (Chueca *et al.*, 2003a, 2004b, 2007).
2. Dentro de los factores locales, se ha evidenciado la importancia creciente de los relacionados con la topografía: pendientes, concavidad/convexidad del terreno y radiación solar incidente. Este último factor es el que condiciona de una forma más estrecha la degradación glaciar en las fases finales de retroceso (Chueca & Julián, 2004; López-Moreno *et al.*, 2006a, b).

2.2. EXIGENCIAS ECOLÓGICAS

Exigencias ecológicas generales: factores climáticos

La evolución de los glaciares se encuentra íntimamente relacionada con las condiciones climáticas y meteorológicas que se producen en su entorno. La elevada sensibilidad que muestran respecto a dichas condiciones (sobre todo los de más reducido

tamaño, como los analizados aquí), explica que se consideren uno de los mejores indicadores proxy de la evolución del clima tanto a escala regional como global.

Las oscilaciones volumétricas que experimentan los glaciares a lo largo del tiempo son producto de la relación (balance de masa) existente entre la cantidad de nieve que se acumula sobre ellos y el volumen de hielo y nieve que desaparece mediante procesos de fusión o sublimación. Estos últimos se pueden cuantificar mediante el cálculo del balance de energía que sucede sobre las superficies nevadas o heladas, y que depende de la radiación neta, los flujos de calor sensible y latente, flujo de calor del suelo y el calor transmitido por la precipitación en forma de lluvia. La estimación de dichos parámetros requiere la disponibilidad de instrumentos de medición complejos, de difícil instalación y mantenimiento en zonas de montaña o elevadas latitudes. Por esta razón, la mayor parte de los estudios relacionan las fluctuaciones de los glaciares en el tiempo con la evolución de la precipitación y temperatura, pues:

- i) Ambos parámetros permiten sintetizar la mayor parte de los complejos fenómenos físicos que explican el balance de masa de una superficie helada; y
- ii) Son dos datos que se registran en numerosas localidades con la suficiente longitud como para analizar con fiabilidad su variabilidad y tendencia en el tiempo.

A la hora de conocer la relación entre las oscilaciones climáticas y la dinámica glaciar en la zona de estudio, resulta de especial interés considerar la evolución de las variables disponibles durante los periodos del año que mejor sintetizan el balance de masa de sus glaciares. Así, se debe considerar la *precipitación* acumulada durante el período en el que ésta se produce mayoritariamente en forma de nieve y los procesos de congelación dominan a los de fusión, y la *temperatura* promedio de los meses en los que domina la fusión. La determinación —para un

amplio tramo del Pirineo central— de los períodos en los que dominan estos procesos de fusión y congelación se ha llevado a cabo en algunos trabajos previos (Chueca *et al.*, 2004b, 2007), y se fundamenta en el cálculo de la altura a la que se encuentra la isoterma media mensual de 0 °C, en el entorno de las zonas glaciadas.

Atendiendo a esos criterios altitudinales y a la localización altitudinal media actual de cada aparato glaciar (que se expone detalladamente en posteriores apartados de este estudio), la evolución temporal de los períodos de acumulación y fusión de la nieve en los cuatro macizos glaciados españoles es similar, e incluye como período de acumulación el comprendido entre los meses de octubre y mayo y, como período de fusión, el que va de junio a septiembre.

Los resultados del análisis de la evolución de precipitación y temperatura en el entorno del macizo de la Maladeta (Chueca *et al.*, 2004b, 2007), extrapolables al resto de macizos actualmente glaciados en sus conclusiones generales, evidencian que, en las décadas de los años 1980 y 1990 se ha producido un marcado deterioro de las condiciones favorables al desarrollo (o a la mera conservación) glaciar. Así, la precipitación durante el período de acumulación se ha reducido de forma significativa, lo que se ha traducido en un descenso de la innivación sobre los aparatos glaciares. Y, paralelamente a esta menor acumulación de nieve, el incremento de las temperaturas durante el período de fusión (fundamentalmente el aumento de las temperaturas máximas) ha contribuido al desarrollo de repetidos balances de masa negativos en los aparatos glaciares.

Exigencias ecológicas locales: factores topográficos (radiación solar)

La *radiación solar* es determinante para numerosos procesos físicos y biológicos que se producen en nuestro planeta y, entre otros, condiciona las pautas de fusión en superficies glaciares y, consiguientemente, el balance de masa glaciar. A escala regional y local, especialmente en áreas montañosas, la topografía es, sin duda, el factor fundamental en la distribución de la radiación solar.

Como se ha apuntado en distintos trabajos previos (Chueca & Julián, 2004; López-Moreno *et al.*, 2006a, b), la radiación solar es el elemento que marca de una forma más estrecha la degradación glaciar en fases finales de retroceso como las observables en el contexto actual pirenaico. La radiación solar controla de forma directa las pérdidas de volumen por unidad de superficie registradas en los aparatos glaciares y el incremento en altitud derivado de su degradación: a mayor cantidad de radiación solar, mayores son las pérdidas de volumen por unidad de superficie observadas y mayor el incremento altitudinal medio de cada glaciar. De hecho, prácticamente todos los aparatos glaciares pirenaicos emplazados en orientaciones de solana han ido desaparecido a lo largo de las últimas dos décadas, transformados en simples neveros estacionales (Chueca *et al.*, 2004a).

Especies características y diagnósticas

En el anexo 1 de la presente ficha se incluye un listado de las especies incluidas en el anexo I de la Directiva de Aves y otro con las especies características y diagnósticas (79/409/CEE) aportado por la Sociedad Española de Ornitología (SEO/BirdLife).



3. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN

3.1. DETERMINACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA SUPERFICIE OCUPADA

En el presente apartado se muestran los datos de extensión superficial (y otros parámetros asociados) de los glaciares y heleros localizados en los macizos de Infiernos, Monte Perdido, Posets y Maladeta, los únicos que hoy permanecen glaciados. Los datos proceden de uno de los trabajos, recientemente publicado, de los autores del presente informe (Chueca & Julián, 2006), en el que contaban con:

1. Observaciones sobre el terreno (toma de fotografías) efectuadas en las campañas glaciológicas de 2005 y 2006;
2. Fotografías aéreas oblicuas procedentes de los vuelos de reconocimiento efectuados al final del verano de esos mismos años (VR05 y VR06); y
3. Ortofotografías de detalle, obtenidas en agosto de 2006, correspondientes al Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) y procedentes del fondo documental del Sistema de Información Territorial de Aragón (SITAR) (PNOA06).

Todos los datos se manejaron en el contexto de un Sistema de Información Geográfica (SIG), conjuntamente con los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) correspondientes a cada sector, de cara a efectuar las distintas tareas de medición. Los valores actuales de extensión superficial se compararon con los procedentes del análisis de las fotografías aéreas de 1981 (vuelo Pirineos-Sur), permitiendo constatar la acelerada degradación registrada en los glaciares pirenaicos durante el período reciente, similar o incluso mayor en algunos casos en magnitud a la calculada para la fase inmediatamente posterior al último máximo de la Pequeña Edad del Hielo (PEH), hacia 1860-1900 (Chueca *et al.*, 2003a, 2005).

Desde el comienzo de la década de 1980, cuando se inició el último período de recesión glaciaria acelerada (similar al detectado a escala global: Haeberli *et al.*, 2005), la extensión de hielo en el Pirineo español se

ha reducido notablemente, sumando en la actualidad (agosto de 2006) las superficies ocupadas por glaciares y heleros 201,33 ha. A esas pérdidas en superficie debe sumarse la marcada degradación en espesor y volumen que han experimentado todos los aparatos a lo largo de estos 25 años (sólo cuantificada con precisión en el caso del macizo de la Maladeta; Chueca *et al.*, 2004b, 2007). La mayor parte de los glaciares y heleros más pequeños son ahora láminas de hielo de escasísimo espesor en las que los procesos de ablación ya no se traducen en el adelgazamiento del aparato, sino en la pérdida de superficie (que implica, a su vez, una elevación en su altitud media). Y a este proceso de pérdida de superficie se empieza a sumar —conforme las masas de hielo reducen su presencia a los sectores más próximos a las paredes de las cajas glaciares— el del cubrimiento del hielo por derrubios producto de desprendimientos rocosos y afloramiento de material englacial, un proceso que afecta ya a una parte significativa de los glaciares y heleros aún funcionales (y que es perfectamente observable, así mismo, en muchos de los aparatos glaciares ya descatalogados).

En definitiva, esta dinámica regresiva ha propiciado el paso de muchos aparatos considerados en principio como glaciares en un sentido estricto a la categoría de glaciares-heleros, heleros o, incluso, a su extinción. A continuación, se examinará pormenorizadamente el estado de conservación de las distintas morfologías glaciares localizadas en cada uno de los cuatro macizos montañosos hoy en día glaciados: Infiernos, Monte Perdido, Posets y Maladeta.

3.1.1. Macizo de Infiernos

El macizo de Infiernos, situado entre los valles de Pondiellos y Caldarés (Panticosa; cuenca del río Gállego), dispone sus crestas cimerales en el contacto entre los materiales pelíticos y calcáreos devónicos y los granitos del batolito de Panticosa-Cauterets (Infiernos NO, 3.073 m; Infiernos Central, 3.082 m; Infiernos SE, 3.076 m) (ver figura 3.1).

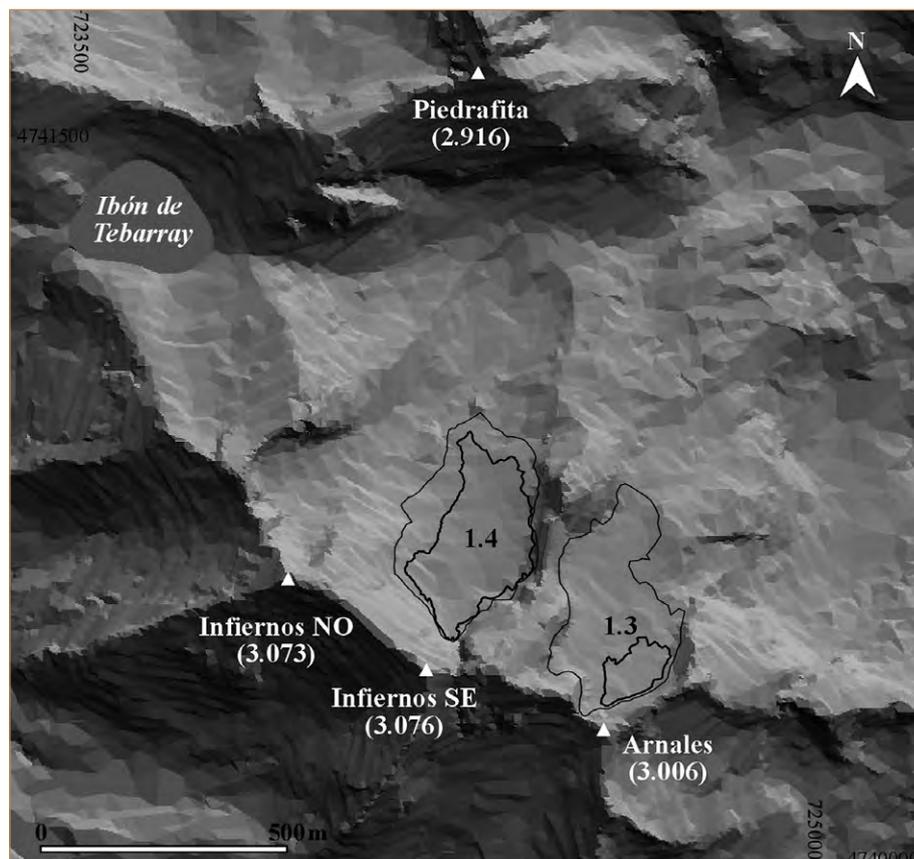


Figura 3.1

Localización de los aparatos glaciares actuales (2006) en el macizo de Infiernos.

1.3) Helero Oriental de Infiernos; 1.4) Glaciar Central de Infiernos; se incluyen como referencia los perímetros glaciares en 1981.

El macizo encierra en la actualidad en su núcleo principal, por encima de los 2.700 m de altura, dos pequeños aparatos glaciares con una favorable orientación al NE (ver tabla 3.1; fotografías 1-6). El glaciar Central de Infiernos es el mayor y el más activo, con presencia de algunas grietas de tracción bien dibujadas localizadas en sus tramos proximal y medio. En el extremo este del macizo se emplaza el helero Oriental de Infiernos, que ha experimentado un rapidísimo retroceso en los últimos años; tras fragmentarse en dos cuerpos, actualmente sólo se conserva una masa de hielo de cierta entidad en el extremo más oriental de la caja glaciar. Con respecto al último inventario (Chueca *et al.*, 2002), la

degradación del pequeño helero de Punta Zarra, localizado en el circo de Piedrafita, ha supuesto su descatalogación.

La evolución regresiva de los dos aparatos desde 1981 ha sido bastante marcada, sobre todo en el caso del de menor tamaño: i) el glaciar Central de Infiernos ocupaba una extensión de 9,06 ha (100%), que se ha visto reducida a 5,83 ha (64,3% de su extensión inicial); el desplazamiento en la altitud media¹ (DAM) del glaciar ha sido de +12 m; ii) el helero Oriental de Infiernos pasó de 7,84 ha (100%) a 1,13 ha (14,4% de su extensión inicial), además de cambiar su status de glaciar a helero; su DAM es de +42 m.

¹ Se eligió la altitud media (Chueca & Julián, 2006), calculada a partir del promedio del valor altitudinal de todas las celdas clasificadas como superficie glaciar, por su representatividad a la hora de evaluar la degradación glaciar: en aparatos tan pequeños como los analizados, con morfologías irregulares alejadas de las típicas lenguas de glaciares de más desarrollo, tiene más valor que cuantificar las pérdidas en longitud en uno o varios ejes longitudinales o que apuntar únicamente las alturas máximas y mínimas de presencia de hielo.

N.º ref.	Aparato	Categoría	Ext. 1981 (ha)	Ext. 2006 (ha)	Orien.	Alt. Media 1981	Alt. Media 2006
1.3	Oriental Infiernos	Helero	7,84	1,13	NO	2.839	2.881
1.4	Central Infiernos	Glaciar	9,06	5,83	N	2.821	2.833

Tabla 3.1

Características de los aparatos glaciares del macizo de Infiernos.

La extensión actual total del hielo en el macizo, 6,96 ha, supone el 27,6% de la existente en 1981 (25,2 ha; se han añadido las 8,3 ha correspondientes entonces a los ya descatalogados aparatos Occidental de Infiernos y Punta Zarra), lo que lo sitúa, atendiendo a la magnitud porcentual de estas pérdidas recientes, en primer lugar entre los cuatro macizos analizados en este informe. La tasa anual de pérdida de superficie para el macizo es de 0,72 ha a⁻¹, y su DAM, de +27 m. Se mantiene en la categoría de macizos con auténticos glaciares de extensión reducida (Chueca *et al.*, 2002).

3.1.2. Macizo de Monte Perdido

El macizo de Monte Perdido está construido a partir de los materiales predominantemente calcáreos mesozoicos que constituyen las denominadas Sierras Interiores surpirenaicas (Monte Perdido, 3.348 m; Marboré, 3.252 m; Cilindro, 3.325 m; Pico Aníscolo o Soum de Ramond, 3.254 m); estos materiales, y la particular disposición estructural del macizo, han favorecido la existencia de amplios rellanos escalonados que sirven para acoger los restos glaciares que configuran este núcleo. Situado en la cabecera de los ríos Arzas (valle de Ordesa) y Cinca (valle de Pineta), dentro de la cuenca del Cinca, este macizo encierra en la cara norte del Monte Perdido uno de los complejos glaciares pirenaicos mejor conservados, tanto por sus notables dimensiones, como por su especial morfología y disposición en graderío (ver figura 3.2).

En este conjunto principal, bajo la muralla NE de la alineación Marboré-Monte Perdido y por encima de los 2.600 m de altura, se ubican los glaciares Inferior y Superior de Monte Perdido y el aparato, recientemente fragmentado en tres cuerpos, de Marboré (glaciares-helero Occidental, Central y Oriental de Marboré) (ver tabla 3.2; fotografías 7-13). Con respecto al último inventario (Chueca *et al.*, 2002), ha sido precisamente este último aparato el que ha experimentado los cambios más notables, al desgajarse en dos el glaciar-helero Occidental. El glaciar Inferior de Monte Perdido es el mejor conservado y el que muestra los rasgos más dinámicos, con grietas de tracción longitudinales y transversales dispuestas a lo largo de toda su superficie; destaca la aparición de un pequeño islote-escarpe rocoso en su tramo medio central, claro síntoma de la pérdida de espesor que está afectando a todas las masas de hielo pirenaicas. El glaciar Superior va perdiendo entidad, al disminuir claramente su potencia, pero aún muestra grietas de tracción notables en su sector más oriental. Los tres aparatos de Marboré tienen el aspecto biselado típico de los heleros aunque, en los tres casos, todavía se aprecian grietas que permiten clasificarlos en la categoría transicional de glaciar-helero; el proceso de cubrimiento por mantos de derrubios es muy evidente en estos tres aparatos (ligado a su emplazamiento al pie del cresterío Marboré-Cilindro, de fortísimas pendientes y labrado en litologías propensas a la fragmentación), y parece que acabará por cubrir pronto gran parte del hielo que aún se conserva.

N.º ref.	Aparato	Categoría	Ext. 1981 (ha)	Ext. 2006 (ha)	Orien.	Alt. Media 1981	Alt. Media 2006
1.5	Marboré	Glaciar	43,13	—	NE	2.797	—
1.5a	Occ. Marboré	Glac.-Hel.	—	3,76	NE	—	2.905
1.5c	Central Marboré	Glac.-Hel.	—	5,39	NE	—	2.794
1.5b	Or. Marboré	Glac.-Hel.	—	2,50	NE	—	2.716
1.6	Sup. Mte. Perdido	Glaciar	8,32	4,81	NE	3.094	3.116
1.7	Inf. Mte. Perdido	Glaciar	40,06	33,71	NE	2.881	2.886

Tabla 3.2

Características de los aparatos glaciares del macizo de Monte Perdido.

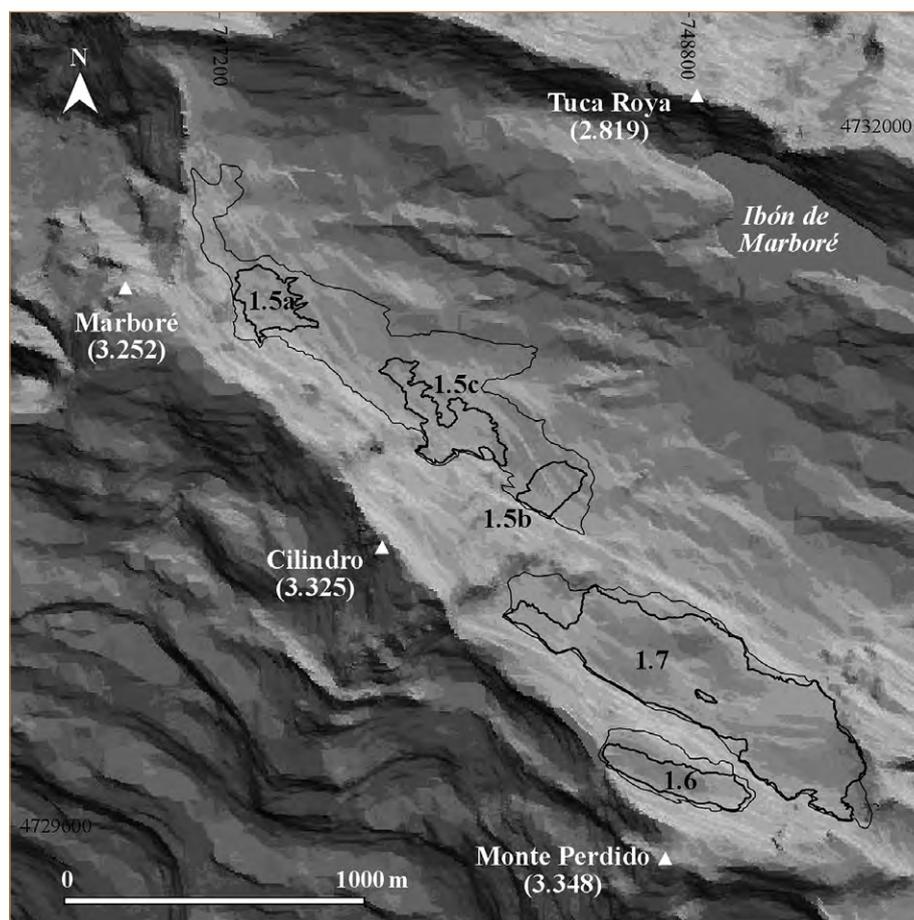


Figura 3.2

Localización de los aparatos glaciares actuales (2006) en el macizo de Monte Perdido.

1.5a) Glaciar-helero Occidental de Marboré; 1.5b) Glaciar-helero Oriental de Marboré; 1.5c) Glaciar-helero Central de Marboré; 1.6) Glaciar Superior de Monte Perdido; 1.6) Glaciar Inferior de Monte Perdido; se incluyen como referencia los perímetros glaciares en 1981.

Desde 1981, la evolución regresiva ha sido importante en el caso de Marboré y algo menos marcada en el de los aparatos de Monte Perdido, sobre todo en el de mayor tamaño: i) el glaciar Superior de Monte Perdido ocupaba una extensión de 8,32 ha (100%), que se ha visto reducida a 4,81 ha (57,8% de su extensión inicial); el DAM del glaciar ha sido de +22 m; ii) el glaciar Inferior de Monte Perdido ha pasado de 40,06 ha (100%) a 33,71 ha (84,1% de su extensión inicial); su DAM es de +5 m; iii) los glaciares-helero Occidental, Central y Oriental de Marboré constituían un único glaciar en 1981, con una extensión de 43,13 ha (100%) que se ha reducido a 11,65 ha (la suma de los tres fragmentos actuales: Occidental de Marboré, 3,76 ha; Central de Marboré, 5,39 ha; Oriental de Marboré, 2,50 ha) (27,0% de su extensión inicial); su DAM es de

+8 m (en este caso, este parámetro se ha calculado promediando los valores altitudinales actuales de los tres glaciares-helero y comparando ese dato con el valor altitudinal del glaciar en 1981).

La extensión actual total del hielo en el macizo, 50,17 ha, supone el 44,3% de la existente en 1981 (113,1 ha; se han añadido las 21,6 ha correspondientes entonces a los ya descatalogados aparatos del Taillón, Añisclo NE y Añisclo SO), situándose en tercer lugar entre los cuatro macizos analizados en este trabajo en el porcentaje de pérdida de superficie. La tasa anual de pérdida de superficie para el macizo es de 2,51 ha a⁻¹, y su DAM, de +11,6 m. Sigue encuadrado en la categoría de macizos con auténticos glaciares de extensión media (Chueca *et al.*, 2002).

3.1.3. Macizo de Posets

El macizo de Posets (Posets, 3.369 m; Posets N, 3.325 m; Pico de Los Gemelos, 3.176 m; Espadas, 3.332 m), presenta en su sector más occidental estructuras intensamente plegadas de edad básicamente devónica (pizarras, calizas y cuarcitas metamórficas) que, hacia el Este, entran en contacto con los materiales granodioríticos de Eriste. La cumbre del Posets domina los valles de los ríos Cinqueta de Añes Cruces (cuenca del río Cinca), Estós y Aigüeta de Eriste (cuenca del río Ésera).

El núcleo glaciar actual del macizo se dispone por encima de los 2.800 m de altura, alrededor del cresterío Posets-Posets N-Pico de Los Gemelos (ver figura 3.3). Lo componen el glaciar de Llardana y el de La Paúl, y el helero de Posets N (ver tabla 3.3; fotografías 14-20). Con respecto al último inventario (Chueca *et al.*, 2002), el pequeño helero de Posets S ha sido descatalogado, al aparecer ya completamente

cubierto por derrubios. Todos los aparatos muestran una evidente pérdida de espesor y un progresivo recubrimiento por crioclastos (de producción abundante a partir de las litologías que arman el macizo), muy marcado en el caso del helero de Posets N. El glaciar más dinámico es el de Llardana, que aún exhibe grietas de tracción longitudinales de buen tamaño en su tramo central medio; el glaciar de La Paúl, por el contrario, se acerca cada vez más al status de simple helero, ya que las grietas prácticamente han desaparecido de su biselada superficie. El helero de Posets N, en una negativa orientación meridional, parece abocado a desaparecer cubierto por derrubios tal y como ha ocurrido con su vecino meridional.

Comparando la situación actual con la de 1981, esta evolución regresiva se observa y cuantifica claramente: i) el glaciar de Llardana pasa de 16,43 ha (100%) a 9,14 ha (55,6% de su extensión inicial); su DAM es de +27 m; ii) el glaciar de La Paúl ocupaba una extensión de 10,95 ha (100%), que se ha

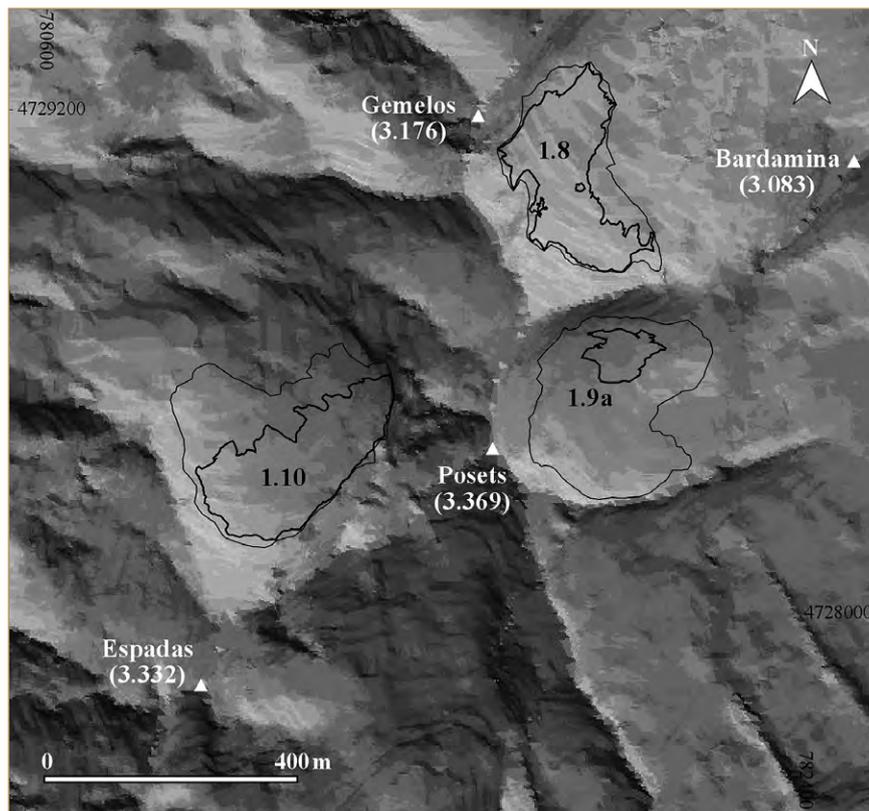


Figura 3.3

Localización de los aparatos glaciares actuales (2006) en el macizo de Posets.

1.8) Glaciar de La Paúl; 1.9a) Helero de Posets N; 1.10) Glaciar de Llardana; se incluyen como referencia los perímetros glaciares en 1981.

N.º ref.	Aparato	Categoría	Ext. 1981 (ha)	Ext. 2006 (ha)	Orien.	Alt. Media 1981	Alt. Media 2006
1.8	La Paúl	Glaciar	10,95	7,88	NE	3.004	3.006
1.10	Llardana	Glaciar	16,43	9,14	NO	2.974	3.001
1.9a	Posets N	Helero	13,70	1,49	SE	3.125	3.101

Tabla 3.3

Características de los aparatos glaciares del macizo de Posets.

visto reducida a 7,88 ha (71,9% de su extensión inicial); su DAM es de +2 m; iii) el helero de Posets N (el aparato tenía status glaciar en 1981, y estaba formado por la unión de los dos cuerpos que luego se fragmentaron: Posets N y Posets S), ha sufrido una notabilísima degradación, pasando de 13,70 ha (100%) en 1981, a las actuales 1,49 ha (10,8% de su extensión inicial); su DAM es negativo (-24 m) (aunque este dato es poco significativo, al incluirse en los cálculos de 1981 el tramo meridional del glaciar que luego ha desaparecido y, adicionalmente, al verse cubierta en la actualidad por derrubios la parte más elevada del propio helero de Posets N, lo que hace que disminuya su altitud media).

La extensión actual total del hielo en el macizo, 18,51 ha, supone el 31,5% de la existente en 1981 (58,68 ha; se han añadido las 17,6 ha correspondientes entonces a los ya descatalogados aparatos de Llardaneta y Occidental y Oriental del Forau de la Neu), situándose, atendiendo a la magnitud porcentual de estas pérdidas recientes, en segundo lugar entre los cuatro macizos analizados en este trabajo. La tasa anual de pérdida de superficie para el macizo es de 1,6 ha a⁻¹, y su DAM, de +14,5 m (excluyendo del promedio al helero de Posets N). Desde el último inventario, pasa a encuadrarse en la categoría de macizos con auténticos glaciares de extensión reducida (Chueca *et al.*, 2002).

3.1.4. Macizo de la Maladeta

El complejo glaciar mejor conservado y de mayor extensión de los Pirineos se localiza en el valle del río Ésera o de Benasque (marginalmente incluye el valle de Salenques, que vierte a la cuenca de la Noguera Ribagorzana), dentro del macizo de la Maladeta. El núcleo del macizo está construido en los materiales cristalinos de la Maladeta, cuerpo ígneo alargado en dirección E-O compuesto por masas homogéneas de granodiorita que, en la zona de crestas, suelen convertirse en granitos, más resistentes a la erosión. La dureza y masividad de estos materiales confieren al

macizo su particular morfología, con elevaciones generalizadas por encima de los tres mil metros (Aneto, 3.404 m; Pico Maldito, 3.350 m; Maladeta, 3.308 m; Alba, 3.118 m; Tempestades, 3.278 m; Pico Russell, 3.205 m) y fuertes energías de relieve entre los cresteríos cimeros y los fondos de los valles secundarios (Cregüeña, Barrancs, Coronas, etc.), muchas veces labrados a partir de la densa red de fracturación que cruza el macizo. La disposición morfoestructural de la zona (NO-SE), ha determinado, como en el caso de Infiernos o Monte Perdido, una favorable orientación al NE para la mayoría de los aparatos glaciares hoy catalogados en el sector; tan sólo el glaciar-helero de Coronas se orienta al SO, en unas difíciles condiciones de conservación.

En el macizo se localizan en la actualidad, por encima de los 2.800 m de altura, los glaciares Occidental y Oriental de la Maladeta, el glaciar del Aneto, el glaciar de Barrancs, el glaciar Occidental de Tempestades y el pequeño glaciar-helero de Coronas (figura 3.4, tabla 3.4 y fotografías 21-34). Estas categorías se mantienen desde el último inventario específico realizado para la zona, en el que se analizaron las pérdidas de volumen y superficie glaciar durante el período 1981/1999-2005 (Chueca *et al.*, 2004b, 2007).

El glaciar Occidental de la Maladeta muestra un aspecto cada vez más degradado, tendente a transformarse en un helero estático próximamente (tan sólo pueden apreciarse ya grietas en su margen oriental). El glaciar Oriental, por el contrario, aún exhibe un apreciable dinamismo, con desarrollo de grietas de tracción longitudinales y transversales de anchura y profundidad métricas en sus tramos proximal y medio (aunque la pérdida de espesor en su lóbulo central es muy evidente). La presencia de una cubierta de derrubios se está haciendo visible sobre bastantes zonas del glaciar Occidental y, más puntualmente, asociada con frecuencia a salideros de clastos y a desprendimientos rocosos desde la cresta de los Portillones, en el perímetro distal y el extremo este del aparato Oriental.

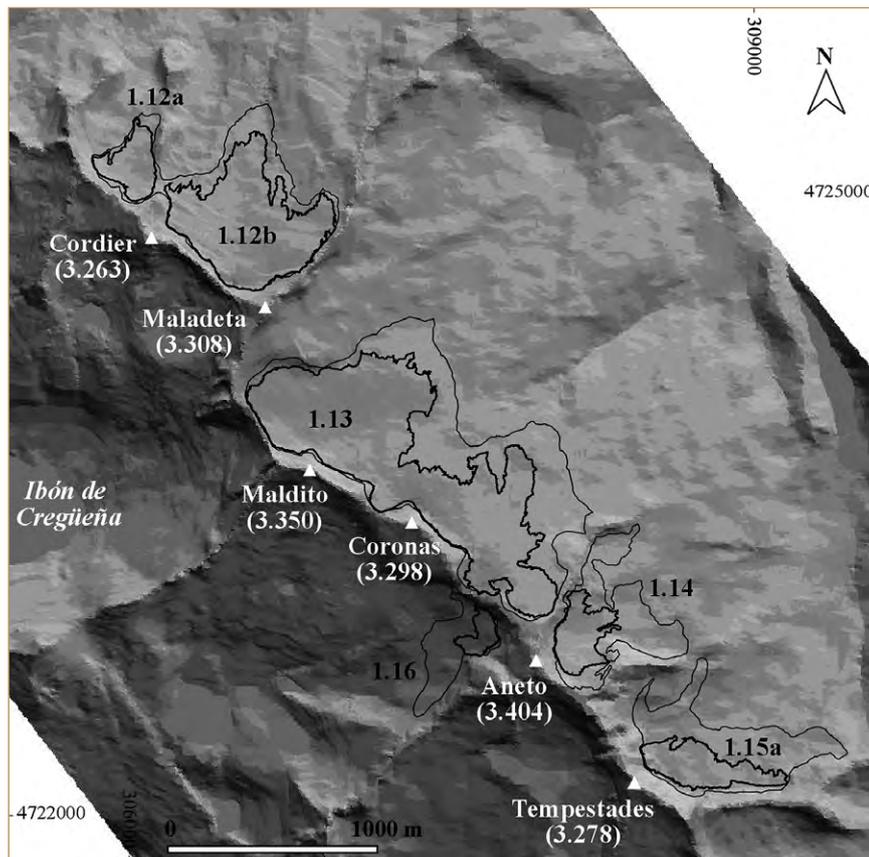


Figura 3.4

Localización de los aparatos glaciares actuales (2006) en el macizo de la Maladeta.

1.12a) Glaciar Occidental de la Maladeta; 1.12b) Glaciar Oriental de la Maladeta; 1.13) Glaciar del Aneto; 1.14) Glaciar de Barrancs; 1.15a) Glaciar Occidental de Tempestades; 1.16) Glaciar-helero de Coronas; se incluyen como referencia los perímetros glaciares en 1981.

N.º ref.	Aparato	Categoría	Ext. 1981 (ha)	Ext. 2006 (ha)	Orien.	Alt. Media 1981	Alt. Media 2006
1.12	Maladeta	Glaciar	48,90	—	N	3.051	—
1.12a	Occ. Maladeta	Glaciar	—	6,22	N	—	3.060
1.12b	Or. Maladeta	Glaciar	—	31,51	N	—	3.078
1.13	Aneto	Glaciar	106,77	69,10	NE	3.101	3.139
1.14	Barrancs	Glaciar	22,49	7,12	NE	3.080	3.166
1.15	Tempestades	Glaciar	28,79	—	NE	2.928	—
1.15a	Occ. Tempestades	Glaciar	—	9,30	N	—	2.970
1.16	Coronas	Glac.-Hel.	10,57	2,49	SO	3.081	3.168

Tabla 3.4

Características de los aparatos glaciares del macizo de la Maladeta.

El glaciar del Aneto todavía presenta un aspecto dinámico en algunos tramos (zona proximal), pero su deterioro reciente ha sido importantísimo: la separación de sus dos lóbulos principales y el aislamiento del sec-

tor más elevado y oriental (bajo la Punta Oliveras) podría producirse en pocos años. En las pautas espaciales de retroceso se aprecia muy claramente, conforme el glaciar va perdiendo espesor, la importante in-

fluencia ejercida por las líneas de fracturación preferente presentes en el circo: en algunos tramos el glaciar retrocede en superficie y se fragmenta siguiendo estrictamente esas retículas, probablemente debido a procesos de sobreacumulación o circulación de agua de fusión de forma subglaciar a lo largo de esas líneas, que actúan como pequeños escalones topográficos (este hecho es muy evidente en el lóbulo oriental, el que está degradándose de forma más acentuada).

El glaciar de Barrancs mantiene algunas grietas transversales en su parte proximal, de muy escasa profundidad y asociadas a las elevadas pendientes de ese tramo de la caja glaciar, pero ha experimentado una fuerte pérdida de espesor en los últimos años que lo aproximan cada vez más al status de helero. Puede destacarse el paulatino desarrollo de un manto de derrubios que cubre la parte más distal y central del aparato.

El dinamismo del glaciar Occidental de Tempestades en la actualidad es muy bajo, aunque todavía son observables en él grietas de tracción longitudinales y transversales (sobre todo en la parte más occidental del aparato). Una cubierta de derrubios relativamente potente empieza a observarse ya en distintos sectores del glaciar (de hecho, y por ello, en clasificaciones previas hemos llegado a hablar de la división de este cuerpo occidental en dos subaparatos, occidental y central, aunque esa división no se ha contemplado en los últimos trabajos: Chueca *et al.*, 2004b, 2007).

Por último, el pequeño glaciar-helero de Coronas mantiene una dinámica prácticamente nula, aunque aún presenta en superficie algunas grietas de tracción de profundidad y longitud muy reducidas. También en este caso se aprecia la presencia de mantos de derrubios relativamente potentes, asociados a la caída de bloques desde la cercana caja glaciar y a la extrusión de material englaciar, localizados en la zona distal del aparato, fundamentalmente en su extremo más meridional.

Desde 1981, la evolución de la extensión superficial ha sido claramente regresiva en todos los aparatos y, en algunos, particularmente dramática: i) los glaciares Occidental y Oriental de la Maladeta formaban un único glaciar en 1981, con una extensión de 48,90 ha (100%) que se ha reducido a 37,73 ha (la suma de los dos fragmentos actuales: Occidental de la Maladeta, 6,22 ha; Oriental de la

Maladeta, 31,51 ha) (77,1% de su extensión inicial); su DAM es de +18 m (en este caso, este parámetro se ha calculado promediando los valores altitudinales actuales de los dos glaciares y comparando ese dato con el valor altitudinal del glaciar en 1981); ii) el glaciar del Aneto ocupaba una extensión de 106,77 ha (100%), que se ha visto reducida a 69,10 ha (64,7% de su extensión inicial); el DAM registrado ha sido de +38 m; iii) el glaciar de Barrancs pasó de 22,49 ha (100%) a 7,12 ha (31,6% de su extensión inicial); su DAM es de +86 m; iv) el glaciar Occidental de Tempestades ha pasado de 28,79 ha (100%) a 9,30 ha (32,3% de su extensión inicial); su DAM es de +42 m; v) el glaciar-helero de Coronas ha visto reducida su extensión desde las 10,57 ha (100%) en 1981 hasta las actuales 2,49 ha (23,5% de su extensión inicial); el DAM registrado ha sido de +87 m.

La extensión actual total del hielo en el macizo, 125,74 ha, supone el 52,2% de la existente en 1981 (240,62 ha; se han añadido las 23,1 ha correspondientes entonces a los ya descatalogados aparatos de Alba, Occidental y Oriental de Salenques, Cregüña Occidental y Oriental y Llosás), situándose en cuarto lugar entre los cuatro macizos analizados en este trabajo en el porcentaje de pérdida de superficie. La tasa anual de pérdida de superficie para el macizo es de 4,59 ha a⁻¹, y su DAM, de +54,2 m. Sigue encuadrado en la categoría de macizos con auténticos glaciares de gran extensión (Chueca *et al.*, 2002).

3.1.5. Evolución de la superficie ocupada

La valoración de la evolución de la superficie ocupada por el tipo de hábitat analizado se ha realizado atendiendo a los criterios recogidos en la tabla 3.5. Como escenario temporal de partida (o área favorable de referencia) se ha adoptado la superficie de cada aparato glaciar al finalizar la última etapa de estabilización glaciar prolongada post-Pequeña Edad del Hielo. Esta etapa, definida en varios trabajos previos (Chueca *et al.*, 2003a, 2005, 2007), se extendió desde comienzos de los años cincuenta hasta comienzos de los años 80 del pasado siglo. Por tanto, la fecha de referencia adoptada se corresponde con el año 1981, fecha, además, para la que —como se ha ido apuntando— cuenta con un vuelo aéreo (vuelo Pirineos Sur) que ha permitido una cartografía de detalle de las superficies glaciares.

PARÁMETRO	ESTADO DE CONSERVACIÓN		
	FAVORABLE	DESFAVORABLE –INADECUADO–	DESFAVORABLE –MALO–
Área de distribución	Estable o en aumento y no menor que el área favorable de referencia.	Cualquier otra combinación.	Reducción sustancial: pérdida superior a un 1% anual o más de un 10% por debajo del área favorable de referencia.

Tabla 3.5

Criterios adoptados para determinar el estado de conservación del tipo de hábitat con respecto a su estructura y función.

El estado de conservación por aparatos y macizos, atendiendo a esos criterios y a los datos expuestos en los apartados previos, se desglosa de la siguiente forma: i) macizo de Infiernos: desfavorable (malo) en todos sus aparatos y en su conjunto; ii) macizo de Monte Perdido: desfavorable (malo) en todos sus aparatos y en su conjunto; iii) macizo de Posets: desfavorable (malo) en todos sus aparatos y en su conjunto; y iv) macizo de la Maladeta: desfavorable (malo) en todos sus aparatos y en su conjunto. A escala global, el estado de conservación del tipo de hábitat analizado es desfavorable (malo).

3.2. EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIÓN

3.2.1. Factores y variables

La variable principal que debería utilizarse para determinar el estado de conservación en el que se encuentran la estructura y la función del tipo de hábitat analizado es la evolución de su extensión superficial (EES) que, en el caso de los glaciares, lleva aparejadas como variables secundarias el desplazamiento altitudinal medio (DAM) de cada aparato, sus modificaciones en espesor (ME) y grado de dinamismo (GD) y la evolución de la extensión superficial de cubiertas de derrubios (EESCD). En la selección de las variables se ha tenido en cuenta un principio de aplicabilidad, es decir, buscar un equilibrio entre la complejidad de la medición, la eficacia en el diagnóstico del estado de conservación y el coste (en recursos humanos y económicos) de su aplicación.

a) Tipo de variable/índice

Las variables EES, DAM, ME y EESCD se corresponden (ver más adelante el apartado 3.2.2.) con características estructurales del hábitat ana-

lizado. La variable GD, con características funcionales.

b) Aplicabilidad (grado de relevancia)

Según el principio de aplicabilidad comentado anteriormente, la variable EES se catalogaría como *obligatoria*. Las variables DAM, ME, GD y EESCD, como *recomendadas*.

c) Propuesta de métrica

El cálculo a utilizar para obtener el valor de las distintas variables sería el siguiente: i) EES: medición de la extensión superficial de cada aparato glaciar y comparación con los datos de la fecha de referencia adoptada (1981); ii) DAM: medición del desplazamiento altitudinal medio de cada aparato glaciar y comparación con los datos de la fecha de referencia adoptada (1981); iii) ME: medición de las modificaciones en espesor de cada aparato glaciar y comparación con Modelos Digitales de Elevaciones de referencia; iv) GD: medición de la extensión ocupada por las grietas de tracción en cada aparato glaciar y comparación con los datos de la fecha de referencia adoptada (1981); EESCD: medición de la extensión superficial de las cubiertas de derrubios sobre cada aparato glaciar y comparación con los datos de la fecha de referencia adoptada (1981).

d) Procedimiento de medición

El procedimiento a seguir para evaluar el estado de conservación global de la estructura y función del hábitat analizado pasa por la medición de la variable catalogada como obligatoria (EES) en intervalos temporales significativos. Estos intervalos no deberían superar los cinco años, de cara a adaptarse a los estándares de trabajo del proyecto GLIMS (*Global Land Ice Measurements*

from Space) y del *World Glacier Monitoring Service* aunque, idealmente, deberían realizarse cada año. La extensión de cada aparato glaciar debería ser cuantificada con precisión suficiente y comparada con la de la fecha de referencia (1981). Como método de medición recomendado se plantean, en primer lugar, los vuelos aéreos (obtención de ortofotogramas), aunque éstos pueden ser sustituidos y/o apoyados por la delimitación de perímetros y superficies sobre el terreno mediante técnicas GPS o fotogrametría terrestre.

La medición de las variables catalogadas como recomendadas (DAM, ME, GD y EESCD) podría incorporarse adicionalmente al protocolo en cualquier momento. En algunos casos (DAM, GD, EESCD) estos parámetros son fácilmente derivables del análisis de los ortofotogramas utilizados para la medición de la EES; la estimación de las ME es más costosa en tiempo y recursos, ya que implica la obtención de Modelos Digitales de Elevaciones detallados derivados de los correspondientes vuelos aéreos y su posterior comparación, o bien el empleo de técnicas geofísicas (Chueca *et al.*, 2003b, 2004b, 2007).

3.2.2. Protocolo para determinar el estado de conservación global de la estructura y función

Los términos estructura y función hacen referencia a aspectos relacionados con la ecología de los hábi-

tat analizados (relevancia del estado de conservación de las especies típicas con respecto al estado de la estructura y de la función). Como se acaba de ver en el apartado anterior, en el caso de los glaciares (donde los aspectos ecológicos no han sido hasta la fecha estudiados en profundidad y tienen una trascendencia menor), se han considerado ambos conceptos como referidos a los rasgos geomorfológicos típicos de los aparatos glaciares. La estructura, en este caso, haría referencia a la presencia o no de hielo glaciar bien diagenizado y a la evolución de la extensión superficial experimentada por esas masas de hielo (EES); rasgos estructurales adicionales serían el desplazamiento altitudinal medio (DAM), sus modificaciones en espesor (ME) y la evolución de la extensión superficial de cubiertas de derrubios (EESCD). Como función, se entiende la mayor o menor capacidad de transporte de hielo por parte del glaciar, capacidad que va asociada a su grado de dinamismo (GD) y se traduce en el desarrollo de grietas de tracción.

Siguiendo estos criterios (que se recogen en la tabla 3.6), todos los aparatos glaciares incluidos en el tipo de hábitat estudiado presentan carencias estructurales graves (reducción de extensión sustancial, con pérdida superior a un 1% anual o más de un 10% por debajo del área favorable de referencia; DAM positivos; pérdidas de espesor; extensión superficial de <cubiertas de derrubios en aumento) aunque, unos cuantos, mantienen una función aceptable, ya que su dinamismo es todavía apreciable (extensión ocupada por grietas de tracción > 25% de su superficie).

PARÁMETRO	ESTADO DE CONSERVACIÓN		
	FAVORABLE	DESFAVORABLE -INADECUADO-	DESFAVORABLE -MALO-
Estructura y funciones específicas	Estructura y funciones en buenas condiciones y sin deterioro significativo	Cualquier otra combinación	Más de un 25% del área es desfavorable respecto de su estructura y sus funciones específicas

Tabla 3.6

Criterios adoptados para determinar el estado de conservación del tipo de hábitat con respecto a su estructura y función.

El estado de conservación de los glaciares españoles atendiendo a estos rasgos estructurales y funcionales sería el siguiente: i) macizo de Infiernos: desfavorable (malo) en todos sus aparatos y en su conjunto;

ii) macizo de Monte Perdido: desfavorable (inadecuado) en los glaciares Superior e Inferior de Monte Perdido; desfavorable (malo) en los glaciares-helero Occidental, Central y Oriental de Marboré; desfa-

vorable (inadecuado), en su conjunto; iii) macizo de Posets: desfavorable (inadecuado) en el glaciar de Llardana; desfavorable (malo) en el glaciar de La Paúl y el helero de Posets N; desfavorable (malo), en su conjunto; y iv) macizo de la Maladeta: desfavorable (inadecuado) en los glaciares Oriental de la Maladeta, Aneto y Occidental de Tempestades; desfavorable (malo) en los glaciares Occidental de la Maladeta y Barrancs y en el glaciar-helero de Coronas; desfavorable (inadecuado) en su conjunto.

3.2.3. Protocolo para establecer un sistema de vigilancia global del estado de conservación de la estructura y función

El tipo de hábitat analizado en el presente informe ya cuenta en la actualidad con un sistema de vigilancia global de su estado de conservación que sigue los criterios expuestos en el apartado 3.2.1. Este sistema de vigilancia y control se organiza a través del proyecto de investigación *Estudio de la dinámica de los glaciares del Pirineo aragonés*, que financia el Gobierno de Aragón desde hace una década, tras la declaración de los glaciares aragoneses como Espacios Naturales Protegidos con la categoría de Monumentos Naturales (Monumentos Naturales de los Glaciares Pirenaicos; v. Ley 6/1998, de 19 de mayo, de Espacios Naturales Protegidos de Aragón) (Chueca, 2000).

En cualquier caso, resultaría interesante la incorporación a las distintas redes de muestreo o de segui-

miento que están operativas actualmente en el territorio nacional. Entre ellas, particularmente, a la Red Temática Globimed, la Red Española de Observaciones Temporales de Ecosistemas (REDOTE) o la Red Oficial de Estaciones de Aforo para las aguas superficiales.

3.3. EVALUACIÓN DE LAS PERSPECTIVAS DE FUTURO

Tras examinar los apartados previos, se hace evidente la fragilidad que caracteriza al tipo de hábitat analizado. La drástica reducción en su extensión superficial a lo largo de las últimas décadas, asociada al proceso actual de cambio climático (la principal amenaza a su conservación), implica unas perspectivas de futuro muy negativas.

Atendiendo a la tipología y criterios recogidos en la tabla 3.7, el desglose de las perspectivas de futuro del tipo de hábitat estudiado (respecto a área de distribución y superficie abarcada) sería similar: i) macizo de Infiernos: desfavorable (malo) en todos sus aparatos y en su conjunto; ii) macizo de Monte Perdido: desfavorable (malo) en todos sus aparatos y en su conjunto; iii) macizo de Posets: desfavorable (malo) en todos sus aparatos y en su conjunto; y iv) macizo de la Maladeta: desfavorable (malo) en todos sus aparatos y en su conjunto. A escala global, la perspectiva de futuro del tipo de hábitat analizado es desfavorable (malo).

PARÁMETRO	ESTADO DE CONSERVACIÓN		
	FAVORABLE	DESFAVORABLE -INADECUADO-	DESFAVORABLE -MALO-
Perspectivas de futuro (respecto a área de distribución y superficie abarcada)	Las perspectivas del hábitat son excelentes/buenas; sin repercusiones importantes de las amenazas previstas; viabilidad a largo plazo (unos 20 años) asegurada	Cualquier otra combinación	Las perspectivas del hábitat son malas, repercusiones serias de las amenazas previstas; no se asegura su viabilidad a largo plazo

Tabla 3.7

Criterios adoptados para la caracterización de las perspectivas de futuro.



4. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN

El tipo de hábitat analizado experimenta en las últimas décadas una marcada evolución regresiva asociada a la evolución climática. Las únicas medidas recomendables de cara a reducir (en escasa medida) su degradación serían evitar el paso repetido de

montañeros y esquiadores sobre sus superficies, sobre todo cuando la capa de nieve es más escasa, al terminar cada año la etapa de ablación (tan sólo el glaciar del Aneto estaría sujeto a estas recomendaciones, al ser el resto transitados mínimamente).



5. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

5.1. BIENES Y SERVICIOS

Los glaciares son morfologías que dotan de personalidad propia a los ecosistemas de montaña, ayudando a caracterizar paisajes encuadrados en la denominada *alta montaña*. Su papel singular se acrecienta en el caso español, al ser los aparatos glaciares pirenaicos los más meridionales de toda Europa.

Esta ubicación crítica (en términos tanto latitudinales como altitudinales), convierte a los restos glaciares pirenaicos en indicadores *proxy* muy útiles y fiables de los procesos de cambio climático detectados en la actualidad a escala global. Su pequeño tamaño hace que su reacción ante las modificaciones climáticas-ambientales sea casi inmediata, con tiempos de respuesta mínimos que no son comparables con los que exhiben aparatos de mayores dimensiones localizados en otras cadenas montañosas europeas (Alpes, Alpes escandinavos).

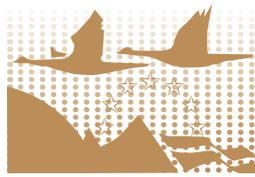
5.2. LÍNEAS PRIORITARIAS DE INVESTIGACIÓN

Las líneas prioritarias de investigación que deberían potenciarse guardan relación con los procesos de

cambio climático que acabamos de mencionar. En este sentido, se debería:

- i) Proseguir con las tareas de observación de las pautas de degradación glaciaria en los cuatro macizos actualmente glaciados (Infiernos, Monte Perdido, Posets y Maladeta), incrementando los trabajos de análisis de pérdidas superficiales y de espesor a partir de técnicas de investigación ya contrastadas: técnicas GPS, fotogrametría terrestre, análisis comparativo de vuelos aéreos y Modelos Digitales de Elevaciones, estudios geofísicos para estimación de espesores (georadar, sísmica de reflexión).
- ii) Adicionalmente, deberían favorecerse los estudios centrados en la caracterización ecológica de los espacios recientemente deglaciados, que en el caso pirenaico alcanzan una gran extensión y son fácilmente datables en sus etapas evolutivas post-Pequeña Edad del Hielo.

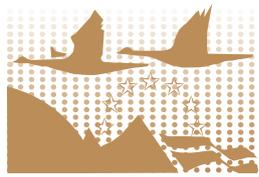
Estas informaciones aportarían datos de gran interés sobre la incidencia de las modificaciones climáticas actuales en tipos de hábitat extremadamente sensibles por su fragilidad.



6. BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA DE REFERENCIA

- CHUECA, J., 2000. Aplicación del enfoque geocológico en la definición de zonas de protección en espacios naturales protegidos: el caso de los Monumentos Naturales de los Glaciares Pirenaicos. En Valle, B. (coord.) *Geografía y Espacios Protegidos*. Madrid: Asociación de Geógrafos Españoles-FENPA. pp 103-112.
- CHUECA, J. & JULIÁN, A., 2004. Relationship between solar radiation and the development and morphology of small cirque glaciers (Maladeta mountain massif, Central Pyrenees, Spain). *Geografiska Annaler* 86A (1): 81-89.
- CHUECA, J. & JULIÁN, A., 2006. La degradación reciente de los glaciares del Pirineo español: datos de pérdida de superficie durante el período de observación 1981/2005-2006. *Boletín Glaciológico Aragonés* 7: 9-182.
- CHUECA, J., PEÑA, J. L., LAMPRE, F., GARCÍA-RUIZ, J. M. & MARTÍ, C., 1998. *Los glaciares del Pirineo aragonés: estudio de su evolución y extensión actual*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. 104 p.
- CHUECA, J., PEÑA, J. L., JULIÁN, A. & BLANCHARD, E., 2000. Dinámica de los glaciares del Pirineo Aragonés: resultados de la campaña glaciológica del año 1998. *Boletín Glaciológico Aragonés* 1: 13-41.
- CHUECA, J., JULIÁN, A. & PEÑA, J. L., 2002. Comparación de la situación de los glaciares del Pirineo español entre el final de la Pequeña Edad del Hielo y la actualidad. *Boletín Glaciológico Aragonés* 3: 13-41.
- CHUECA, J., JULIÁN, A. & LÓPEZ-MORENO, J. I., 2003a. Variations of Glaciar Coronas, Pyrenees, Spain, during the 20th century. *Journal of Glaciology* 49 (166): 449-455.
- CHUECA, J., LÓPEZ-MORENO, J. I. & JULIÁN, A., 2003b. Determinación de espesores en el glaciar-helero de Coronas (Macizo de la Maladeta: Pirineo central español) mediante el empleo de geo-radar. *Boletín Glaciológico Aragonés* 4: 111-124.
- CHUECA, J., JULIÁN, A. & RENÉ, P., 2004a. Estado de los glaciares en la cordillera pirenaica (vertientes española y francesa) a finales del siglo XX. En: Benito, G. & Díez Herrero, A. (eds.). *Contribuciones recientes sobre geomorfología. Actas de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología*. Madrid: SEG-CSIC. pp 91-102.
- CHUECA, J., JULIÁN, A., LÓPEZ-MORENO, J. I., PEÑA, J. L. & CAMINS, J., 2004b. Análisis de la evolución reciente de los glaciares del macizo de la Maladeta (Pirineo Central español): cuantificación de pérdidas de superficie y volumen. *Boletín Glaciológico Aragonés* 5: 9-164.
- CHUECA, J., JULIÁN, A., SAZ, M. A., CREUS, J. & LÓPEZ-MORENO, J. I., 2005. Responses to climatic changes since the Little Ice Age on Maladeta Glacier (Central Pyrenees). *Geomorphology* 68: 167-182.
- CHUECA, J., JULIÁN, A. & LÓPEZ-MORENO, J. I., 2007. Recent evolution (1981-2005) of the Maladeta glaciers, Pyrenees, Spain: extent and volume losses and their relation with climatic and topographic factors. *Journal of Glaciology* 53 (183): 547-557.
- HAEBERLI, W., ZEMP, M., FRAUENFELDER, R., HOELZLE, M. & KÄÄB, A. (eds.), 2005. *Fluctuations of glaciers 1995-2000*. Volume III. Zurich: IUGG (CCS)-UNEP-UNESCO, World Glacier Monitoring Service.
- JULIÁN, A., CHUECA, J., PEÑA, J. L., LÓPEZ-MORENO, J. I. & LAPEÑA, A., 2001. Dinámica de los glaciares del Pirineo aragonés: resultados de la campaña glaciológica del año 1999. *Boletín Glaciológico Aragonés* 2: 13-36.
- LÓPEZ-MORENO, J. I., NOGUÉS, D., CHUECA, J. & JULIÁN, A., 2006a. Glacier development and topographic context. *Earth Surface Processes and Landforms* 31 (12): 1585-1594.
- LÓPEZ-MORENO, J. I., NOGUÉS, D., CHUECA, J. & JULIÁN, A., 2006b. Change of topographic control on the extent of cirque glaciers since the Little Ice Age. *Geophysical Research Letters* 33: L24505.

- CANUT, J., GARCÍA, D. & MARCO, X., 1987. Distribución y residencia de la perdiz nival, *Lagopus mutus* en el Pirineo ibérico. *Acta Biologica Montana* 7: 51-57.
- CANUT, J., GARCÍA, D., PARADILLA, X. & LORENTE, L., 2003. Lagópodo alpino, *Lagopus mutus*. En: Martí, R. & Del Moral, J. C. (eds.) *Atlas de las Aves Reproductoras de España*. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, SEO/BirdLife. pp 208-209.
- CANUT, J., GARCÍA, D., PARADILLA, X. & LORENTE, L., 2004. Lagópodo alpino, *Lagopus mutus*. En: Madroño, A., González, C. & Atienza, J. C. (eds.) *Libro Rojo de las Aves de España*. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, SEO/BirdLife. pp 173-175.
- FERNÁNDEZ, Á. & GONZÁLEZ, F., 2003. Gorrión alpino, *Montifringilla nivalis*. En: Martí, R. & Del Moral, J. C. (eds.) *Atlas de las Aves Reproductoras de España*. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, SEO/BirdLife. pp 568-569.
- HERRERO, Á., 2003. Treparriscos, *Trichodroma muraria*. En: Martí, R. & Del Moral, J. C. (eds.) *Atlas de las Aves Reproductoras de España*. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, SEO/BirdLife. pp 520-521.
- MARTÍ, R., 2003. Acentor alpino, *Prunella collaris*. En: Martí, R. & Del Moral, J. C. (eds.) *Atlas de las Aves Reproductoras de España*. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, SEO/BirdLife. pp 412-413.
- SÁNCHEZ-ALONSO, C., 2003. Chova piquigualda, *Pyrhoconax graculus*. En: Martí, R. & Del Moral, J. C. (eds.) *Atlas de las Aves Reproductoras de España*. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, SEO/BirdLife. pp 544-545.
- TELLERÍA, J. L., ASENSIO, B. & DÍAZ, M., 1999. *Aves ibéricas. II. Paseriformes*. Madrid: J. M. Reyero Editor.



7. FOTOGRAFÍAS

7.1. MACIZO DE INFIERNOS



Fotografía 1

Panorámica del helero Oriental de Infiernos (izq.) y el glaciar Central de Infiernos (dcha.).

Autor: VR05; J. Latron.



Fotografía 2

Detalle del glaciar Central de Infiernos.

Autor: VR05; J. Latron.



Fotografía 3

Glaciar central de Infiernos.

Autor: J. Chueca, 07-08-06.



Fotografía 4

Glaciar central de Infiernos: bandeados de estratificación.

Autor: J. Chueca, 07-08-06.



Fotografía 5

Glaciar central de Infiernos.

Blanchard, 06-08-06.



Fotografía 6

Detalle del helero oriental de Infiernos.

E. Blanchard, 06-08-06.

7.2. MACIZO DE MONTE PERDIDO



Fotografía 7

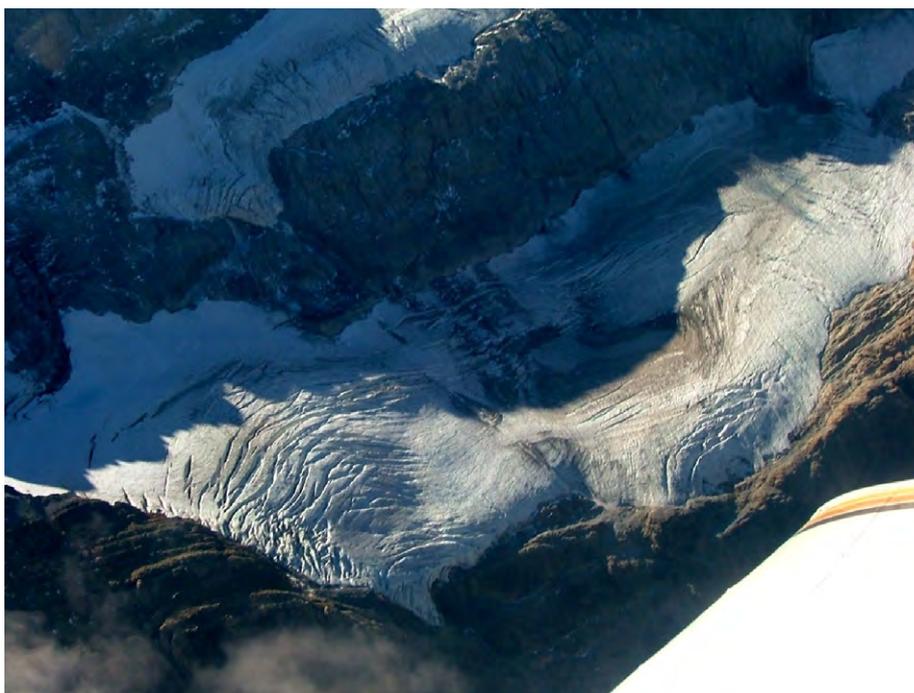
Detalle del sector central del glaciar Inferior de Monte Perdido (PNOA06).



Fotografía 8

Panorámica de los glaciares Superior e Inferior de Monte Perdido (y vista parcial de los glaciares-helero Oriental y Central de Marboré).

VR05; J. I. López-Moreno.



Fotografía 9

Vista parcial de los glaciares Superior e Inferior de Monte Perdido.

VR05; J. I. López-Moreno.



Fotografía 10

Glaciares Superior e Inferior de Monte Perdido.

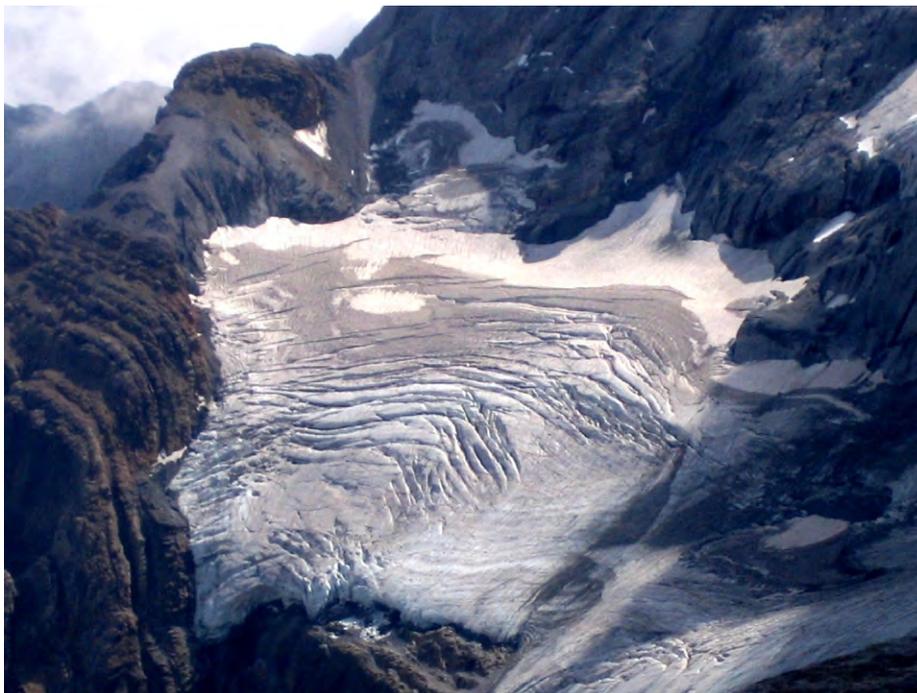
E. Blanchard, 09-09-06.



Fotografía 11

Glaciar-helero central de Marboré.

E. Blanchard, 09-09-06.



Fotografía 12

Detalle del glaciar inferior de Monte Perdido.

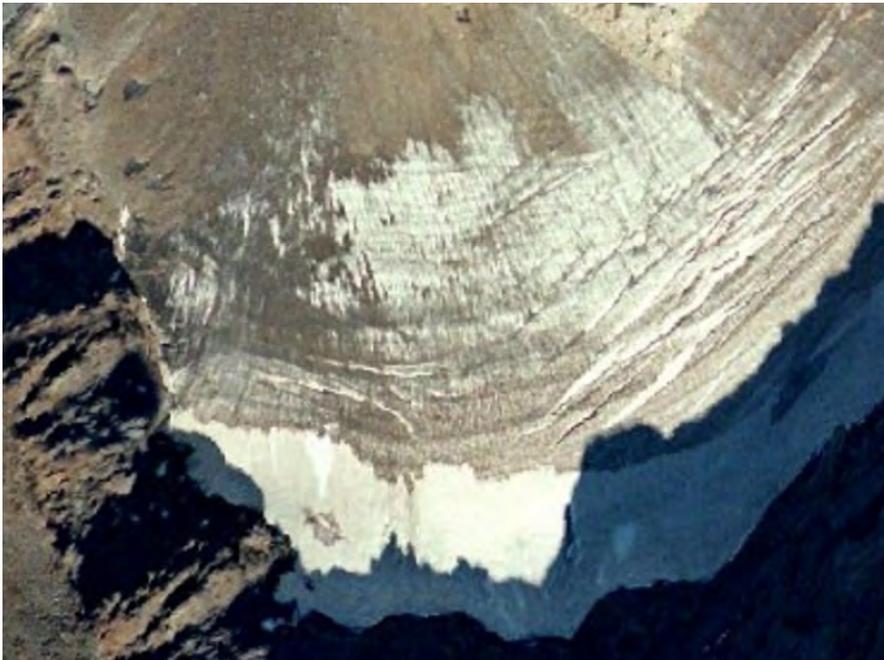
E. Blanchard, 09-09-06.



Fotografía 13

Detalle del glaciar-helero Central de Marboré y su cubrimiento de derrubios: lago de fusión.
E. Blanchard, 09-09-06.

7.3. MACIZO DE POSETS



Fotografía 14

Detalle del sector meridional del glaciar de Llardana (PNOA06).



Fotografía 15

Detalle del glaciar de Llardana.

VR05; J. Latron.



Fotografía 16

Panorámica parcial del glaciar de La Paúl.

VR05; J. Latron.



Fotografía 17

Helero N de Posets.

J. I. López-Moreno, 01-10-05.



Fotografía 18

Glaciar de La Paúl.

J. I. López-Moreno, 01-10-05.



Fotografía 19

Helero N de Posets y glaciar rocoso activo de Posets.

J. Camins, 11-08-06.



Fotografía 20

Glaciar de Llardana.

J. Camins, 11-08-06.

7.4. MACIZO DE LA MALADETA



Fotografía 21

Detalle del sector occidental del glaciar Oriental de la Maladeta (PNOA06).



Fotografía 22

Lóbulo oriental del glaciar del Aneto (PNOA06).



Fotografía 23

Glaciar-helero de Coronas (PNOA06).



Fotografía 24

Panorámica del glaciar del Aneto (izq.) y del glaciar-helero de Coronas (dcha.).

VR05; J. Latron.



Fotografía 25

Glaciar oriental de la Maladeta.

VR05; J. Latron.



Fotografía 26

Detalle del lóbulo central del glaciar Oriental de la Maladeta.

E. Blanchard, 14-08-06.



Fotografía 27

Detalle del lóbulo central del glaciar Oriental de la Maladeta: lago de fusión.
E. Blanchard, 14-08-06.



Fotografía 28

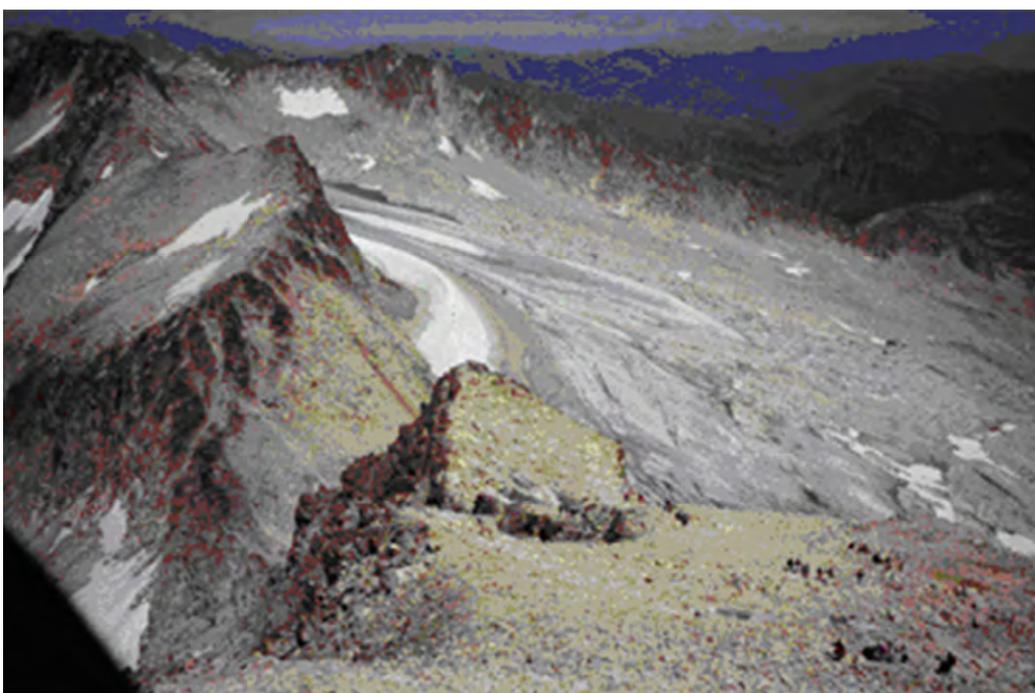
Glaciar occidental de Tempestades.
E. Blanchard, 11-09-06.



Fotografía 29

Glaciar occidental de la Maladeta.

J. Camins, 05-08-05.



Fotografía 30

Vista parcial del glaciar del Aneto.

J. Camins, 12-08-05.



Fotografía 31

Panorámica de los glaciares del Aneto (izq.), Oriental de la Maladeta (centro) y Occidental de la Maladeta (dcha.).

J. Camins, 05-08-06.



Fotografía 32

Detalle del extremo oriental del glaciar del Aneto, bajo la Punta Oliveras.

J. Camins, 12-08-05.



Fotografía 33

Detalle del glaciar de Barrancs.

J. Camins, 12-08-05.



Fotografía 34

Detalle del extremo oriental del glaciar Oriental de la Maladeta.

J. Camins, 14-08-06.

ANEXO 1 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA SOBRE ESPECIES

ESPECIES DEL ANEXO I DE LA DIRECTIVA AVES

En la tabla A1.1 se citan especies incluidas en el anexo I de la Directiva de Aves (79/409/CEE) que, según las aportaciones de la Sociedad Española de

Ornitología (SEO/BirdLife), se encuentran común o localmente presentes en el tipo de hábitat de interés comunitario 8340 Glaciares permanentes.

Taxón	Anexos Directiva	Afinidad* hábitat	Afinidad* subtipo	Comentarios
AVES				
<i>Lagopus mutus pyrenaicus</i>	Anexo I Directiva de Aves	Preferencial	No se aplica	

Referencias bibliográficas: Canut *et al.*, 1987, 2003, 2004.

* **Afinidad:** Obligatoria: taxón que se encuentra prácticamente en el 100% de sus localizaciones en el tipo de hábitat considerado; Especialista: taxón que se encuentra en más del 75% de sus localizaciones en el tipo de hábitat considerado; Preferencial: taxón que se encuentra en más del 50% de sus localizaciones en el tipo de hábitat considerado; No preferencial: taxón que se encuentra en menos del 50% de sus localizaciones en el tipo de hábitat considerado.

NOTA: si alguna de las referencias citadas no se encuentra entre la bibliografía de este anexo es porque se ha incluido anteriormente en la bibliografía general de la ficha.

Tabla A1.1

Taxones incluidos en el anexo I de la Directiva de Aves (79/409/CEE) que se encuentran común o localmente presentes en el tipo de hábitat 8340.

ESPECIES CARACTERÍSTICAS Y DIAGNÓSTICAS

En la tabla A1.2 se ofrece un listado con las especies que, según las aportaciones de la Sociedad Española de Ornitología (SEO/BirdLife), pueden considerarse como características y/o diagnósticas del tipo

de hábitat de interés comunitario 8340. En ella se encuentran caracterizados los diferentes taxones en función de su presencia y abundancia en este tipo de hábitat.

Tabla A1.2

Taxones que, según las aportaciones de la Sociedad Española de Ornitología (SEO/BirdLife), pueden considerarse como característicos y/o diagnósticos del tipo de hábitat de interés comunitario 8340.

* **Presencia:** Habitual: taxón característico, en el sentido de que suele encontrarse habitualmente en el tipo de hábitat; Diagnóstico: entendido como diferencial del tipo/subtipo de hábitat frente a otros; Exclusivo: taxón que sólo vive en ese tipo/subtipo de hábitat.

NOTA: si alguna de las referencias citadas no se encuentra entre la bibliografía de este anexo es porque se ha incluido anteriormente en la bibliografía general de la ficha.

Taxón	Subtipo	Especificaciones regionales	Presencia*	Abundancia	Ciclo vital/presencia estacional/Biología	Comentarios
AVES						
<i>Lagopus mutus</i> ¹	No se aplica	—	Diagnóstica	Escasa	Sedentaria	
<i>Prunella collaris</i> ²	No se aplica	—	Habitual	Escasa	Reproductora	

Sigue ►

► Continuación Tabla A1.2

Taxón	Subtipo	Especificaciones regionales	Presencia*	Abundancia	Ciclo vital/presencia estacional/Biología	Comentarios
AVES						
<i>Pyrrhonorax graculus</i> ³	No se aplica	—	Habitual	Moderada	Sedentaria reproductora, con movimientos altitudinales en invierno	
<i>Montifringilla nivalis</i> ⁴	No se aplica	—	Habitual	Moderada	Sedentario	
<i>Trichodroma muraria</i> ⁵	No se aplica	—	Habitual	Escasa	Reproductor	

¹ Canut *et al.*, 1987, 2003, 2004.

² Tellería *et al.*, 1999, Martí 2003.

³ Tellería *et al.*, 1999, Sánchez-Alonso 2003.

⁴ Tellería *et al.*, 1999, Fernández & González 2003.

⁵ Tellería *et al.*, 1999; Herrero 2003.