

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ACTUALIZACIÓN DE LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO DE TIPO GLACIAR DEL GEOPARQUE DE SOBRARBE

Autor: Adrián Raso del Prim

Director: José Luis Peña Monné

Máster Universitario en
Ordenación Territorial y Medioambiental

14 de Noviembre de 2013



Universidad
Zaragoza

Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio



RESUMEN

La idea del geoturismo surge dentro del denominado turismo sostenible como medio para potenciar el patrimonio geológico de regiones determinadas, siendo también una oportunidad económica para ciertas áreas rurales deprimidas. Para ayudar a su mejor conservación natural y difusión de valores educativos y ambientales, se han fundado en algunas de esas regiones nuevas entidades conocidas como geoparques, que a su vez se agruparon en la Red Europea y Global de Geoparques, que actúa bajo el auspicio de la UNESCO. Uno de ellos es el Geoparque de Sobrarbe, cuyos límites coinciden con los de dicha comarca. Éste cuenta con un inventario de lugares de interés geológico (LIG) entre los que se incluyen los glaciares más meridionales del continente europeo. Estos glaciares se encuentran en retroceso desde el final de la Pequeña Edad de Hielo (PEH), con una regresión todavía más drástica en las últimas décadas. Por ello, la información sobre estas áreas ha de ser actualizada con mayor frecuencia que la de otras. En este informe se describe el estado actual de los LIG correspondientes a masas de hielo del Geoparque.

Palabras Clave: Geodiversidad, Lugares de Interés Geológico, glacialismo, Pirineos, Geoparque de Sobrarbe.

ABSTRACT

The idea of geotourism arises from the denominated sustainable tourism as a way to promote the geological heritage of particular regions, being also an economic opportunity to some depressed rural zones. To help to their better natural conservation and the dissemination of the educational and environmental values, new entities known as geoparks have been founded and grouped in the European and Global Geoparks Network, which acts under the auspices of UNESCO. One of them is the Geopark of Sobrarbe, which boundaries coincide with those of the named "comarca". It contents an inventory of geological interest places, which includes the most southern glaciers of the European continent. These glaciers have been losing surface since the end of the Little Ice Age (LIA), with a drastic regression in the last decades. Because of that, the information for these areas has to be modernized more frequently than others. In this report, it is described the current state of the places of geologic significance corresponding to ice masses of the Geopark.

Key Words: Geodiversity, Places of Geologic Significance, glacialism, Pyrenees, Sobrarbe Geopark.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1. Conceptos de Patrimonio Geológico y Geodiversidad.....	1
1.2. Red Europea de Geoparques	2
1.3. Comarca de Sobrarbe.....	3
1.4. Contexto geológico de Sobrarbe	4
1.5. Glaciares pirenaicos protegidos.....	5
2. Objetivos del trabajo	6
3. Metodología.....	7
4. Desarrollo Analítico.....	10
4.1. Evolución de los glaciares.....	10
4.2. Glaciación en el contexto pirenaico.....	11
4.3. Descripción de los LIGs de tipo glaciar.....	13
4.3.1. Glaciar y Morrenas de Monte Perdido	13
4.3.2. Glaciar de Robiñera.....	16
4.3.3. Glaciares de Llardana y de la vertiente occidental del Macizo de Posets (Llardana).....	18
4.3.4. Glaciares y heleros del Macizo de Viñemal (Pico Central y Clot de la Hount).....	21
4.3.5. Análisis de los resultados.....	23
4.4. Áreas óptimas para la mejor conservación glaciar.....	28
4.5. Otros Lugares de Interés Geológico de origen glaciar	29
5. Conclusiones	30
6. Referencias bibliográficas	32

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONCEPTOS DE PATRIMONIO GEOLÓGICO Y GEODIVERSIDAD

El **patrimonio geológico** se define, según la *Ley 42/2007* del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad como: *“el conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar: a) el origen y evolución de la Tierra, b) los procesos que la han modelado, c) los climas y paisajes del pasado y presente y d) el origen y evolución de la vida”*. Ligado a este concepto, surge también el de **geodiversidad** se empezó a utilizar a finales de siglo XX (década de 1990) para describir la variedad existente entre materiales de naturaleza abiótica y puede aplicarse a distintas escalas tanto global como local. Pese a ser un concepto relativamente reciente, otros términos como los de patrimonio y conservación geológica o geomorfológica ya se usaban con anterioridad, aunque se les diese menor importancia que a la biodiversidad, en la que se centraba la conservación de la naturaleza hasta entonces. En un principio, pudo verse por ciertos sectores de las Ciencias de la Tierra como algo contradictorio, debido a que la mayoría de profesionales de la geología tenían una trayectoria basada en la extracción de recursos minerales, actividad que causa un gran impacto visual y ambiental. Una vez se asumió el concepto, la discusión se centró en cómo debería de valorarse la geodiversidad, basándose en cuatro aspectos fundamentales aunque en ocasiones abstractos que fueron: intrínseco, económico, cultural y educacional (Gray, 2004).

El patrimonio geológico incluye los lugares que más y mejor información proporcionan sobre la evolución y funcionamiento de nuestro Planeta. La protección del patrimonio geológico abarca una serie de actividades que van desde la delimitación de espacios singulares de una región, documentación y seguimiento de los mismos, difusión, concienciación y creación de normativas que regulen la actividad en ellos. Así surge otro nuevo término, el de **geoconservación**, que además de dedicarse a la protección del espacio en sí, también intenta asegurar la continuidad de los procesos naturales (Gray, 2004). Por ello, se centra la mayoría de las veces en limitar las amenazas de origen antropológico, aunque existen algunas naturales como procesos erosivos que también suponen riesgo para acelerar la desaparición de lugares con un valor significativo por su geología o geomorfología. La **geoconservación** trata en las últimas décadas de integrarse dentro de la conservación medioambiental. La nueva figura que surge para encargarse de esta labor pasó a llamarse **“Geoparque”**. Sin embargo estas entidades no tienen la capacidad tan influyente a la hora de legislar, planificar o gestionar en cuanto a protección, campos en los que deben apoyarse en ocasiones en otro tipo de entidades como Parques o Monumentos Naturales. En este sentido, recientemente se aprobó una resolución propuesta por la Sociedad Geológica de España (SGE) y el Instituto Geológico y Minero de España por la que el patrimonio geológico formará parte de la agenda de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).

1.2. RED EUROPEA DE GEOPARQUES

La idea de una iniciativa centrada en la conservación y protección de espacios con importante riqueza geológica comenzó a forjarse durante el 30º Congreso Internacional de Geología en Beijing en 1996. Posteriormente, representantes de cuatro territorios europeos distintos empezaron un proceso de cooperación internacional basado en el desarrollo sostenible y la conservación natural, con el apoyo de la iniciativa LEADER II de la Unión Europea. Estos territorios, con distintas características geológicas y geomorfológicas, eran: Reserva Geológica de Haute-Provence (Francia), Petrified Forest of Lesvos (Grecia), Geoparque Gerolstein/Vulkaneifel (Alemania) y el Parque Cultural del Maestrazgo (España). De esta colaboración nace también el concepto de “**geoturismo**”, como turismo sostenible. Desde los inicios, se tuvo conciencia de la importancia que tendría en ese proceso la participación de las poblaciones locales en apoyo a la comunidad científica (Zouros y McKeever, 2008).

En los siguientes años se establece la Red Europea de Geoparques (junio del año 2000) uniendo los valores científicos de la conservación con los del desarrollo económico del territorio protegido. Los cuatro miembros fundadores deciden abrir la Red a otros espacios europeos que cumplan unos requisitos exigidos para la admisión de acuerdo con tres cuestiones fundamentales: a) conservación: preservando el patrimonio geológico, b) educación: educar a los visitantes sobre temas relacionados con los paisajes geológicos y el medio ambiente, así como el apoyo a la investigación en ciencias de la Tierra y c) geoturismo: asegurando un desarrollo sostenible del territorio. Según esto, un Geoparque queda definido como un territorio con límites bien definidos y con una superficie suficientemente amplia para servir al desarrollo económico local, conteniendo un importante patrimonio geológico-paleontológico por importancia, rareza o belleza, pudiendo ir acompañado de unos valores arqueológicos, ecológicos, culturales o históricos (Eder, y Patzak, 2004). De este modo modo la Red Europea de Geoparques crece rápidamente llegando a los 58 territorios protegidos en la actualidad (Fig 1). Desde 2004, los Geoparques de la Red Europea forman también parte de la Red Global de Geoparques, estando ambas entidades bajo el auspicio de la UNESCO. España, con ocho, es el segundo país con más geoparques miembros de la red, sólo superado por Italia, con nueve. Dos de estos miembros se encuentran en territorio aragonés: el Geoparque de Sobrarbe y el Parque Cultural del Maestrazgo. Puede resultar llamativa la escasez de geoparques en países en los que se conoce también un importante patrimonio geológico, lo que se debe en algunos casos a que son áreas que ya disponen de otros recursos y no precisan de ese aumento en la promoción que supone la identificación de una zona con un geoparque.

El **Geoparque de Sobrarbe** comienza a funcionar dentro de la Red Europea de Geoparques en el año 2006, pasando su primera revalidación en el 2009 y manteniéndose recientemente dentro de dicha red tras una segunda en agosto de 2013 en la que se han mostrado las mejoras relacionadas con una mejor identificación de los lugares de interés geológico, facilitando el conocimiento y acceso a la información de los visitantes, como por ejemplo la añadidura de nuevos itinerarios de distinto tipo que los recorren o la renovación y mejor ubicación de paneles informativos enfocados al público general, además de la programación de actividades sobre el patrimonio natural de la comarca durante el año y la relación con las entidades colaboradoras. La periodicidad de estas revalidaciones, que tienen lugar cada cuatro

años, supone que cada geoparque se comprometa a una protección de la naturaleza en su territorio de modo constante, ya que se examinan aspectos como infraestructuras y servicios, acciones de difusión, educación e investigación realizadas, además de evaluar el grado en el que esta estrategia sirve para el desarrollo sostenible. El Patronato del Geoparque está formado por un Consejo Rector del Patronato y una Comisión Científica Asesora, cuyo centro se encuentra en la Plaza del Castillo de Aínsa, Torre Nordeste, donde se dispone también de un centro de visitantes en el que se expone un resumen de las características del Geoparque.

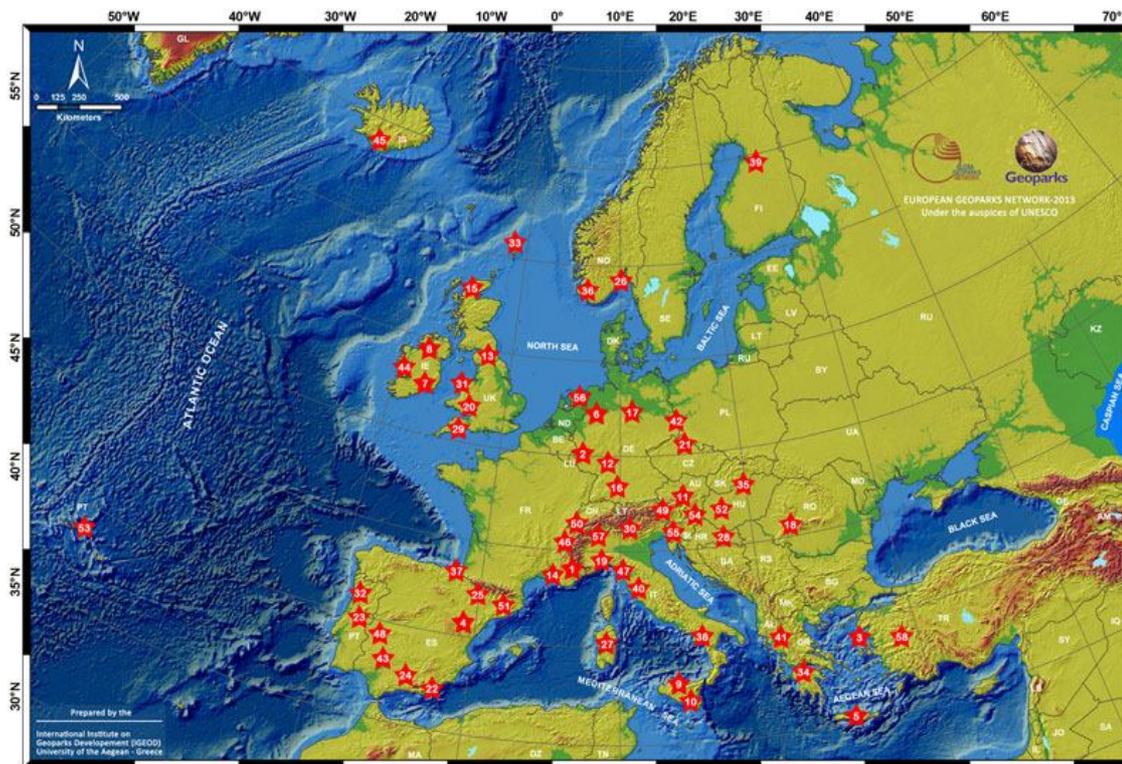


Figura 1. Distribución geográfica de los 58 parques miembros de la Red Europea y Global de Geoparques. Imagen extraída de la web oficial <http://www.europeangeoparks.org>

1.3. COMARCA DE SOBRARBE

El Geoparque de Sobrarbe coincide en dimensiones con la comarca del mismo nombre, superficie en la que se reparten hasta 101 LIGs (Lugares de Interés Geológico). Debido al importante patrimonio geológico que se concentra en esta comarca, la superficie ocupada por los LIGs, que sumando sus áreas alcanzan 3192,3 Ha, lo que equivale al 14,5% del geoparque. Algunos de estos lugares se encuentran en lugares que no son accesibles para la totalidad de los visitantes, problema que resulta menor al compatibilizarse el geoturismo con el turismo activo o de montaña del que goza la comarca. Por otro lado, hay muchos otros en zonas de mayor accesibilidad desde las poblaciones y rutas diseñadas para su disfrutar del gran potencial de ese patrimonio tanto para la divulgación como por su naturaleza geológica.

La Comarca se sitúa al noreste de la provincia de Huesca, siendo por tanto fronteriza con Francia. Formada por 19 municipios (Abizanda, Aínsa-Sobrarbe, Bârcabo, Bielsa, Boltaña,

Broto, Fanlo, Fiscal, La Fueva, Gistaín, Labuerda, Laspuña, Palo, Plan, Puértolas, El Pueyo de Araguás, San Juan de Plan, Tella-Sin y Torla), donde viven 6.854 habitantes. Tras una primera mitad de siglo XX con economía basada en actividades ganaderas, agrícolas y del aprovechamiento de bosques, presentando cierta autarquía por el difícil acceso y comunicación con muchas zonas de la comarca. A pesar de seguir existiendo esta base, se han desarrollado en las últimas décadas otras actividades económicas relacionadas con el turismo fundamentalmente. Por lo tanto la evolución del empleo se ha dirigido claramente al sector servicios, aprovechando la cercanía al Pirineo. Por otro lado, se observa en este tiempo el decrecimiento de la economía agraria y la industria (CEDESOR, 2010).

Uno de los requisitos que debe cumplir un geoparque para formar parte de la Red Europea y Global, es la capacidad de integrarse en mayor o menor medida en el tejido económico de una zona rural, en este caso la comarca, con el objetivo de ser un apoyo a la actividad empresarial en la zona, dentro de los términos de desarrollo sostenible, a la vez que sirve como revitalizador económico. En este contexto puede ubicarse la instauración del geoparque, que además de poder incluir sus actividades dentro de ese nuevo turismo sostenible, consta de una larga lista de entidades colaboradoras, con hasta 126 empresas que pueden consultarse a través de la web oficial del geoparque, con la idea apoyarse mutuamente. Esto se materializa en la participación de empresas locales en actividades sobre patrimonio geológico y ambiental por un lado, y en la promoción de las empresas comarcales por parte del geoparque, mediante la exposición de productos, dando información en sus centros o Dicha promoción y difusión se recoge en un convenio que han de cumplir ambas partes. Se trata de empresas dedicadas a distintos campos como alojamientos de todo tipo, restaurantes, empresas agroalimentarias, de artesanía o de deportes de aventura. De todas ellas, llama la atención el claro predominio de las dedicadas a la vivienda de turismo rural, junto a los hoteles, hostales y pensiones, lo que evidencia el claro motor económico que supone el turismo en el Pirineo. Por otra parte destaca positivamente la localización dispersa de dichas empresas en los municipios de Sobrarbe, una evidencia de que la implicación con el proyecto mediante participación ciudadana no se centra sólo en los municipios con mayores poblaciones.

1.4. CONTEXTO GEOLÓGICO DE SOBRARBE

El contexto geológico descrito a continuación hace que la comarca goce de un patrimonio geológico excepcional cuyo interés cubre diversos campos de las Ciencias de la Tierra, predominando los que destacan por sus singularidades geomorfológicas o estratigráficas, aunque también puntos cuyo interés se debe a estructuras tectónicas, yacimientos paleontológicos, características de su mineralogía o hidrogeología. También cuenta con varios museos y centros de interpretación.

Es una zona de naturaleza montañosa, cuyo relieve y altitud se hace mayor al norte de la misma, mientras que las zonas llanas corresponden en su mayoría a depresiones fluviales. En cuanto a su geología (Fig 2), de este modo se diferencia al N la Zona Axial en la que se localizan los macizos de materiales paleozoicos con mayor altitud debido a su levantamiento y resistencia a la erosión. Al sur de la misma, se encuentran las Sierras Interiores, en las que predomina una barrera de rocas calizas, presentando todavía una altitud importante. En esta zona la tectónica está

representada por mantos de corrimiento como Monte Perdido, Gavarnie y Cotiella, que desplazan la cobertera secundaria varios km al S. Estas zonas quedan comunicadas con las unidades más al S por extensas colinas de Flysch, formadas por la alternancia de areniscas y margas que dan lugar a relieves poco abruptos. Siguiendo al S, las depresión media Pirenaica formada por un sinclinatorio de rocas detríticas. Por último en las Sierras Exteriores encontramos en la mayoría de afloramientos calizas cretácicas y eocenas con intercalaciones de otros materiales.

Las características de estas unidades se ven reflejadas en un patrimonio geológico con gran variedad en las que pueden observarse formas glaciares y periglaciares, como las ubicadas en los macizos de Monte Perdido, Viñemal, Posets o La Munia. En este sentido existen en los macizos de la zona axial algunos glaciares, heleros y neveros, que han perdido superficie en las últimas décadas. Otros rasgos de origen glaciar son los ibones, valles en forma de U, los depósitos morrénicos, canchales o pedrizas. En cuanto a la red fluvial, la comarca está drenada por el río Cinca (cuyo curso se ve modificado por los pantanos de El Grado y Mediano), que nace en el macizo de las Tres Sorores y los afluentes Ara y Ésera. Se trata de una red de régimen nival o pluvionival con máximos en primavera y mínimos en los meses invernales por la retención de nieve en las zonas altas, jerarquizada en torno al Cinca, que modela el relieve hacia la zona Sur de Sobrarbe.

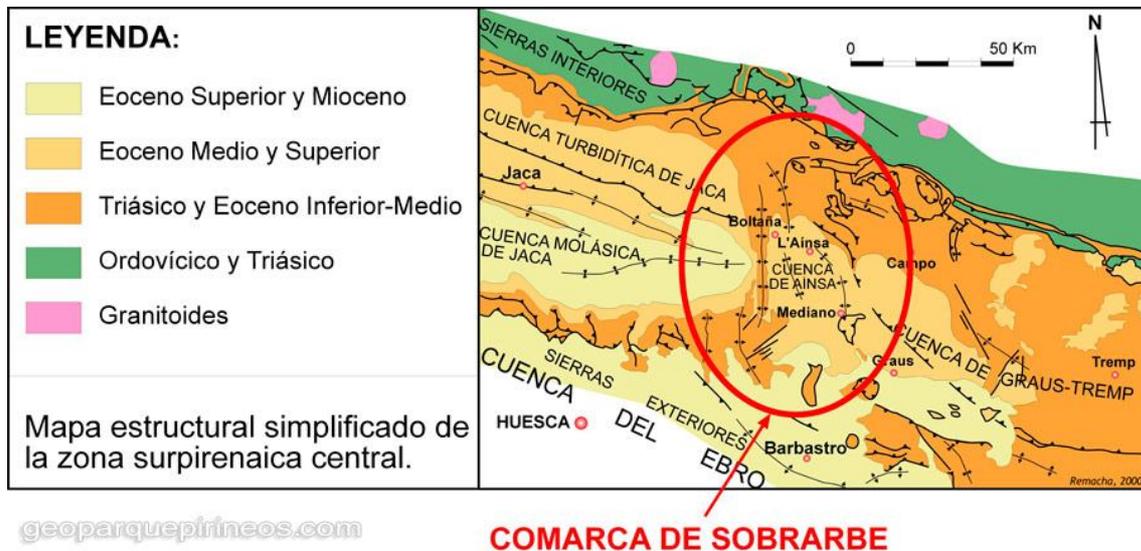


Figura 2. Mapa estructura simplificado de la zona surpirenaica central que forma parte de la información disponible en la web oficial del Geoparque.

1.5. GLACIARES PIRENAICOS PROTEGIDOS

Los glaciares pirenaicos son ecosistemas excepcionales en nuestras latitudes y de gran vulnerabilidad a los cambios climáticos, poseyendo gran valor paisajístico, ecológico, científico y cultural. En los Pirineos, existen varias figuras en torno a la conservación natural en distintos territorios, quedando englobado en alguno de ellos la presencia de glaciares. El primer conjunto glaciar protegido fue el de Tres Sorores en 1982 por incluirse en el espacio del **Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido**, quedando el resto fuera de cualquier figura de protección hasta ser incluidos en 1986 en las Reservas Integrales de Interés Científico. Finalmente se concretó en 1990 la declaración de los glaciares pirenaicos como Monumentos Naturales, con una superficie protegida de 399Ha, que se ha visto ampliada a 3190,4Ha desde 2007 (Lampre, 2009). A ésta

habría que sumarle además una zona periférica de protección de 12.897Ha. El **Monumento Natural de los Glaciares Pirenaicos (MNGP)** forma parte a su vez de la lista de Espacios Naturales Protegidos, y alberga los siguientes ocho macizos entre los que encontramos el de Monte Perdido, también incluido en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido:

1. Macizo de Balaitús (Sallent de Gállego)
2. Picos del Infierno (Panticosa y Sallent de Gállego)
3. Vachimala o Comachibosa (Torla)
4. Macizo de La Munia (Bielsa)
5. Macizo de Posets (San Juan de Plan, Benasque y Sahún)
6. Pico Perdiguero (Benasque)
7. Picos de Maladeta y Aneto (Benasque y Montanuy)
8. Macizo de Monte Perdido (Bielsa y Fanlo)

Para la gestión de estos territorios, el MNGP cuenta con un Plan de Protección, aprobado dentro del *Decreto 271/2002* por el que se establecen una serie de objetivos principales basados en la protección de la integridad del paisaje, el fomento de la investigación científica, la promoción de actividades educativas relacionadas con espacios de tipo glaciar y el favorecimiento de actividades de interés cultural. Estos objetivos se ven plasmados en un plan de actuación.

En primer lugar se delimitan los espacios protegidos, a las que se añade una zona periférica de protección con el fin de evitar impactos ecológicos o paisajísticos en el entorno o que puedan afectar al área protegida. La delimitación se basa en la vulnerabilidad del terreno y su interés cultural o natural. En cuanto a la normativa dentro de las zonas con protección, se fijan ciertas reglas de cumplimiento obligatorio, prohibiendo cualquier actividad empresarial o de otro tipo que pueda ocasionar la destrucción de los elementos naturales, alterando aspectos tanto geomorfológicos, faunísticos como florísticos de manera irreversible. Esto limita acciones como la construcción de infraestructuras, el tránsito con vehículos a motor, el vuelo a poca altura y por supuesto el abandono de residuos. En algunos casos, existen excepciones si se realizan dentro de una científica. Sí se permite por otro lado, la práctica de deportes de aventura. Se desarrollaron además una serie de programas de investigación, educación ambiental, publicaciones y señalización. Estos programas tratan de conseguir un seguimiento continuo del estado de los glaciares y heleros dentro del MNGP y de la difusión del patrimonio natural a través de publicaciones relacionadas con temas glaciológicos o paisajísticos, listados de rutas y miradores o material de apoyo educativo. Por último, también existe un apartado de restauración ambiental.

Otro de los espacios de la Red Natural de Aragón que contiene glaciares es el **Parque Natural Posets-Maladeta** con el glaciar del Aneto en el macizo de Maladeta o el de Llardana en el de Posets.

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

El principal objetivo de este trabajo es pues la actualización de esta parte del inventario de los lugares de interés geológicos (LIGs) correspondientes a glaciares, heleros y neveros, cuyas dimensiones han ido disminuyendo drásticamente en las últimas décadas.

Un geoparque, para ser considerado como tal, debe de tener un patrimonio geológico importante y singular, que se hace visible en el territorio a través de los llamados LIGs, cuya

conservación puede depender de diversos factores. Esa variación del estado en que se encuentran puede modificar también la relevancia y características de cada LIG, como es el caso que concierne a este trabajo. Esta actualización ha de ajustarse por otro lado a la intención por parte del Geoparque del Sobrarbe de que el nuevo inventario resulte útil en cuanto a aspectos pedagógicos, y coherente con la importancia de cada lugar respecto al patrimonio geológico. Por otro lado, el trabajo sirve como introducción al funcionamiento de los geoparques y el posible beneficio que puede conseguir una comunidad mediante su patrimonio natural.

Se utiliza el concepto **Lugar de Interés Geológico** en lugar de Punto de Interés Geológico, porque además de poder abarcar áreas más amplias, es la figura que se recoge en la *Ley 42/2007* de Patrimonio Natural y Biodiversidad y en el Proyecto de Decreto del Inventario de Aragón para la realización de un inventario de lugares de interés geológico. En la actualidad la consideración de un punto o lugar como de interés geológico se sigue basando en el interés científico, cultural o educativo, apreciándose también otros como la estética, singularidad o representatividad dentro de la geología del entorno.

Todos los LIGs formarán parte de una base de datos en la que se recogerán los siguientes aspectos fundamentales: denominación, ubicación, características geológicas, valoración, estado de conservación y recomendaciones de gestión, además de anexos con información complementaria como figuras explicativas o fotografías, por ello es importante que se actualice con cierta frecuencia la información sobre su estado o grado de conservación. En esa lista, a cada LIG se le otorga un código compuesto por dos letras referidas al municipio en el que se encuentran y otra parte numérica.

Actualmente, tras la realización del último inventario, el Geoparque de Sobrarbe cuenta con 101 LIGs, de los cuáles 30 podrían agruparse en una misma tipología por tratarse de formas o depósitos geomorfológicos, y más concretamente por ser de origen glaciar o periglaciar, ocupando una superficie de 13.587 has., lo que equivale al 43% de la superficie del total de LIGs. Sin embargo, no todos ellos serán objeto principal de este trabajo, ya que la mayoría de ellos, pese a mostrar rasgos geomorfológicos propios de la actividad del glaciario, ya no deben su interés a la presencia de masas de hielo, como puede ser el caso de depósitos de morrenas, circos o glaciares rocosos, por ejemplo: el valle de Ordesa, los depósitos glaciolacustres de La Larri (código BI06), Laguna colmatada de Planduiar (código BR01) o los glaciares rocosos de la Peña de las Once (código PL03), por citar alguno. Estos ejemplos, además, no requieren una actualización tan frecuente como glaciares y heleros, debido a que no se erosionan de modo tan rápido por causa agentes externos como el clima, lo que conlleva una conservación relativamente fácil de los mismos. Por otra parte, algunos de ellos son incluidos dentro del propio LIG del glaciar.

3. METODOLOGÍA

El análisis del estado de estos LIGs se ha realizado mediante la interpretación de ortofotos, la búsqueda de bibliografía sobre el tema y por último se ha tratado de fotografiar in situ esos lugares. Las imágenes de ortofotos del año 2012 son las más recientes y están disponibles gracias al servicio WMS y la cartoteca del portal SITAR (Sistema de Información Territorial de Aragón), pudiendo contar también como guía inicial con las correspondientes a

2009 en el espacio del Geoparque en L'Aínsa. Estas ortofotos han servido de base para la realización de la cartografía geomorfológica básica en la que se delimitan las formas presentes en los LIGs, realizada a través del programa informático ArcGIS 10.1 y que acompaña a la descripción actual de los glaciares o heleros tratados en este informe. De esta manera, es posible realizar una estimación muy aproximada del área que ocupa el hielo hoy en día mediante este servicio, aunque puede realizarse también con la herramienta para medir áreas del visor 2D del mismo portal, que presenta también la información fotográfica actualizada cuando se aplica el zoom sobre el punto de nuestro interés. Esta operación se repite para fotografías de 1997-2000 pertenecientes a la campaña SIG Oleícola y de 2012 para comprobar el retroceso sufrido durante los últimos 15 años. En el primer caso, dado la peor calidad de las imágenes, se ha tratado de aproximar a la superficie real mediante una estimación visual de las mismas, pero con la ayuda de los datos de ese periodo tomados de la bibliografía. Gracias a ello también se ha generado un archivo "*shapefile*" para ArcGIS 10.1 con una tabla de atributos en la que aparece actualizada la información relevante de los LIGs de tipo glaciar, calculando para cada aparato la superficie, en hectáreas y metros cuadrados, los límites inferior y superior, el punto medio de sus coordenadas, clasificándolo además en distintas categorías y según la zona en la que se incluyan. Se trata de imágenes pertenecientes al Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con una resolución de 50cm. La delimitación del hielo empleando este tipo de imágenes puede resultar complicada e inducir a algún error debido a que en ocasiones se encuentran parcial o totalmente cubiertas por nieve. Por otro lado, pueden compararse en la misma web las diferencias entre superficies con fotos antiguas en la cartoteca del SITAR, como las del Vuelo americano de 1956, aunque no han sido empleadas en la cartografía por no estar disponibles en el servicio anterior o en descarga. También aprovechando las posibilidades de software de Sistemas de Información Geográfica se pueden crear mapas ubicando cuáles son los lugares donde es posible la mejor conservación del hielo, mediante la combinación de factores importantes para ello como la orientación, altitud o radiación solar. Otro tipo de información empleada para la edición de los gráficos que acompañan al informe son obtenidas también en el apartado de descargas de SITAR, como los límites administrativos o la red hidrológica, y la web oficial del Instituto Geográfico Nacional (IGN), de la que se ha descargado el modelo digital del terreno a escala provincial MDT-200 HUESCA.

Las variaciones de superficie glaciar se pueden constatar además gracias a fotografías que antiguos montañeros han realizado desde finales del siglo XIX y en las que se ha apoyado en ocasiones la literatura científica para completar algunas descripciones y en las que se podía observar como en muchos casos como el hielo alcanzaba cotas más bajas, demostrando el importante retroceso sufrido. Junto a estas fotografías, las reconstrucciones de glaciares para la comparativa de áreas ocupadas por el hielo, se han tomado de las referencias bibliográficas dedicadas a ello. Existe una importante lista de artículos a la evolución del glaciario en el Pirineo, especialmente en el Boletín Glaciológico Aragonés, del que el Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza y el Gobierno de Aragón ha llegado a editar varios números a ese tema. Sin embargo, la cantidad de información que puede hallarse en esas publicaciones no es la misma para todos los macizos pirenaicos, encontrando que algunos de ellos han sido menos estudiados.

Las salidas de campo realizadas al entorno de los LIGs relacionados con la presencia de masas de hielo, se planean con la idea de corroborar la presencia o ausencia de grietas de tracción

en el mismo, y dar a cada una de ellas una de las siguientes categorías: glaciar, helero o nevero. Para ello se han tenido en cuenta las definiciones que han sido empleadas para la distinción y caracterización de cada masa concuerden con las de los catálogos de la Universidad de Zaragoza, es decir, se considera glaciar la masa bien diagenizada que presenta grietas de extensión y fusión consecuencia de su movimiento, que en ocasiones presenta bandas de estratificación. En este caso por la escasa superficie de la mayoría de ellos pueden no verse dichas bandas. Un helero es una forma regresiva del glaciar, que por su inactividad, carece de grietas de tracción. Por último, un nevero es una acumulación de nieve que puede fundirse antes del tiempo necesario para que ocurra la diagenización del hielo glaciar (Biarge et al, 2002). En ocasiones resulta difícil la distinción de alguno de estos tipos, especialmente si se realiza la observación en campo en un año en el que las precipitaciones nivales han sido elevadas y estos cuerpos se encuentran cubiertos de nieve gran parte del año. Por otro lado, para la visita de estos LIGs, ha sido necesario esperar a que el deshielo disminuyese la cantidad de nieve que las cubría para tratar de obtener mejores fotografías, ya que este año (2013) las precipitaciones nivales han sido considerablemente mayores a las de los años anteriores. Al tratarse de LIGs de difícil acceso, se han hecho pie. En conclusión, se va a estudiar la evolución glaciar a través de los cambios en superficie y estado del hielo, obviando las variaciones en los espesores.

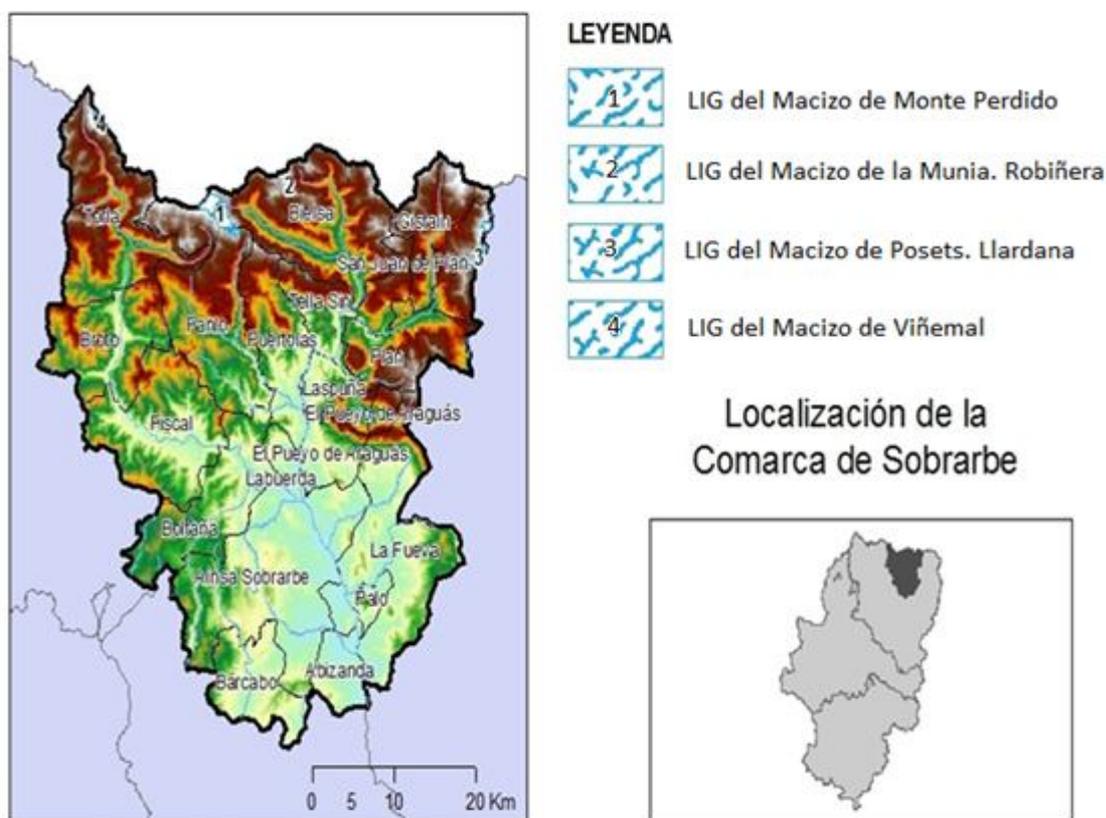


Figura 3. Localización de los cuatro LIGs de tipo glaciar del Geoparque de Sobrarbe.

A partir del listado de LIGs facilitado por el Geoparque de Sobrarbe se seleccionaron los siguientes de acuerdo con los objetivos del trabajo (Fig 3):

1. Glaciar y morrenas de Monte Perdido
2. Glaciar de Robiñera
3. Glaciar de Llardana y de la vertiente occidental del Macizo de Posets

4. Glaciares y heleros del Macizo de Vignemal

Estos nombres corresponden a inventarios anteriores, que pueden ser modificados según el estado de conservación actual.

4. DESARROLLO ANALÍTICO

4.1. EVOLUCIÓN DE LOS GLACIARES

Los glaciares tienen una evolución en la que los cambios son provocados por variaciones climáticas. Éstas tienen consecuencias muy diversas según en la zona a la que afecten, por lo que entran en juego otros factores regionales y topográficos (Winkler et al, 2009). En la actualidad los Pirineos son la única cordillera de la Península Ibérica en la que pueden encontrarse glaciares activos, si bien es cierto que su superficie ha disminuido drásticamente durante el siglo XX, especialmente en las últimas décadas, llegando a extinguirse o fragmentarse alguno de ellos (Lampre, 2009). El retroceso o avance del glaciar se debe fundamentalmente a la pérdida o ganancia de nieves y hielo en el mismo. Éste se calcula mediante el denominado balance de masas o balance neto entre la acumulación o ganancia y la ablación o pérdida. Dicho de otro modo, es la diferencia entre el balance invernal suele ser positivo salvo años anómalos, mientras que en época estival es negativo. Aunque existen otros medios secundarios como el transporte eólico de la nieve, el principal proceso de acumulación es la precipitación de la misma. Para que tenga lugar la formación del hielo, el balance tiene que ser positivo, es decir, las precipitaciones nivales han de superar el volumen de la fusión. Tras la precipitación, la nieve fresca sufre transformaciones continuas que aumentan su densidad como consecuencia de la pérdida de porosidad debido a la compactación de la nieve. Cuando la consolidación resultante produce una masa impermeable en la que el aire se presenta como burbujas y los granos se encuentran sellados, se ha producido el cambio de neviza a hielo. La velocidad de estos procesos y de la formación de glaciares varía de unos lugares a otros según diversos factores. Por otra parte el principal proceso de ablación es la fusión, controlada por la radiación solar, precipitaciones, temperatura, cantidad de detritos, etc. Cuando por el contrario, ésta supere a la acumulación, el balance será negativo. También puede darse el caso de un balance de masas igual a cero, lo que significaría que el glaciar se encuentra en equilibrio, ni avanzaría ni retrocedería (Gutiérrez, 2001).

En todos los glaciares se cumple la pauta marcada por una mayor acumulación en la zona superior, o de acumulación, y en la parte inferior predomina la ablación, zona de ablación, encontrándose separadas por una línea teórica llamada de equilibrio. El movimiento en los glaciares se debe al efecto gravitatorio, provocando una continua transferencia entre la zona superior e inferior, que es la causante de la presencia de grietas de tracción y deformaciones en la estructura del hielo. Esta estructura es similar a las que puedan encontrarse en formaciones rocosas, con la salvedad de que en este caso sólo les afecta la gravedad. De este modo puede apreciarse claramente la estratificación en los casos en los que el espesor de hielo es suficiente y formarse pliegues en el glaciar o foliación a causa del flujo glaciar. En zonas de gran pendiente se llegan a producir incluso fallas. Sin embargo, en este caso, debido al escaso espesor y la naturaleza de los heleros y glaciares, tan sólo llegarán a verse grietas de tracción en los glaciares.

Estas grietas se producen por esfuerzos de tensión y pueden ser marginales, transversas, de extensión o de extensión radial.

En cuanto a los casos que analiza este informe, se trata de una gran disminución en la superficie que sucede a la par que tiene lugar un importante retroceso a escala mundial, pero que se ve incrementada por ser los glaciares más al S de del continente europeo, y enfrentarse por lo tanto a climas más cálidos y por tanto menos propicios a la conservación del hielo que los presentes en otras latitudes. A lo largo del siglo XX, las temperaturas subieron 1°C en ciertos lugares del sur de Europa, con la respuesta negativa descrita anteriormente por parte de los glaciares (Grunewald y Scheitauer, 2010) resistiendo solo pequeñas porciones de los mismos. Ya en 1989, la superficie de hielo mundial se estimaba de 15.861.766 km², frente a los 44.373.436 de la extensión máxima glaciar en el Pleistoceno, lo que suponía una pérdida del 64,25%, gran pérdida teniendo en cuenta además que se incluían los casquetes de la Antártida y Groenlandia, que son los que menos fluctuaciones han sufrido (Gutiérrez, 2001) y en todo caso, no afecta a las conclusiones de este trabajo, ya que se analiza únicamente la evolución desde la Pequeña Edad de Hielo. Según los datos más recientes, no se conoce en la cadena Pirenaica ninguna fase de estabilización glaciar. Sin embargo, se ha demostrado que en algunos casos se encuentran todavía en una fase de crecimiento y avance del hielo, como en los glaciares de South Island en Nueva Zelanda o los de la Cordillera Darwin en Tierra del Fuego, e incluso en glaciares europeos como los situados del oeste de Noruega (Kaltenborn et al, 2010).

4.2.LA GLACIACIÓN EN EL CONTEXTO PIRENAICO

El clima en la cadena pirenaica presenta variaciones entre las distintas zonas de la cadena. En el Pirineo aragonés, la influencia de la proximidad a aguas marinas es menor, por lo que las principales variaciones se dan por las diferencias en la altitud, teniendo un clima más típico de montaña en la zona norte. Todo ello juega un papel fundamental en el modelado del relieve, influyendo en procesos erosivos. Esto ocurre también en el Pirineo, donde el paisaje predominante en las zonas de mayor altitud es el típico de regiones glaciares, con valles en U, circos o morrenas. Por lo tanto, éste sigue siendo uno de los factores principales en la evolución de los glaciares así como en el paisaje resultante de otro tipo de procesos erosivos en la actualidad, y es controlado a su vez por otros determinantes como la situación latitudinal o altitudinal. El aumento de la temperatura y escasez de precipitaciones han afectado por lo tanto a los glaciares pirenaicos junto a otros condicionantes como la topografía o las características locales del clima, directamente relacionadas con la distribución de precipitaciones, siendo la nieve más duradera en las zonas más altas, mucho más en áreas en torno a los 3000msnm que para datos recogidos a menor altitud (López-Moreno et al, 2009). Con las actuales temperaturas se dificulta que la nieve almacenada en los glaciares tenga una duración suficiente como para transformarse en hielo.

En la Península Ibérica, el último avance glaciar tuvo lugar durante el periodo conocido como la Pequeña Edad de Hielo (PEH), durante el que se registraron glaciares en las cadenas montañosas de Pirineos, Picos de Europa y Sierra Nevada, quedando hoy vestigios de los mismos solamente en la primera, considerándose heleros e incluso neveros en las otras dos, lo que también ocurre con gran parte de los que se formaron en Pirineos. En nuestro caso, durante las

fases finales de la PEH (Fig 4) las masas de hielo en la vertiente surpirenaica ocupaban una superficie 1205,2Ha, en el año 2000 éstas eran tan sólo de 355,5Ha, es decir el 29,4% (Biarge et al, 2002). Esta gran pérdida de masa glaciaria se relaciona claramente con el aumento térmico desde el último máximo de la PEH junto a la clara disminución de precipitaciones nivales, principal mecanismo de acumulación. Esto causa un balance neto claramente negativo entre acumulación y ablación. En apenas unas décadas se ha pasado de tener 16 glaciares y 22 heleros en el Pirineo Aragonés a tan sólo 13 glaciares y 10 heleros (Biarge et al, 2002), de entre los que se encuentran los cuatro cuerpos analizados en este trabajo.

Estos glaciares son pues testigos heredados de los que se originaron durante la PEH. Este periodo se caracterizó por variaciones de alta frecuencia y baja magnitud, que acompañaron a un recrudescimiento climático del siglo XIV a mediados del XIX. Durante la PEH, se estima que de modo general las líneas de equilibrio de los glaciares se situaban en torno a los 2650msnm, con temperaturas medias entre 0.7-0.9°C más bajas que las actuales. El máximo avance glaciario en los Pirineos tuvo lugar en el siglo XVIII, hecho que queda marcado por la presencia de las morrenas más voluminosas. Esto coincide también con el periodo más húmedo de la PEH (Morellón et al, 2012). A esto le siguió un retroceso interrumpido por el último avance glaciario, generando morrenas menores o retoques en las anteriores, y otras fases de decrecimiento moderado alternadas con fases estabilización glaciaria. De éstas últimas, la más tardía ha sido datada en algunos glaciares del Pirineo en el periodo 1957-1981 (Chueca et al, 2005). Finalmente, desde el fin de este avance el retroceso ha sido ininterrumpido y más rápido que en las fases anteriores. De los efectos ligados al frío que ocurrieron durante ese tiempo, el glaciario es el más representativo en zonas de alta montaña. Lo más común fue la formación de glaciares de circo con lenguas muy reducidas, cuyas lenguas en muy pocos casos desbordaron las altas cabeceras, aunque en otros alcanzaron longitudes de 2km (González et al, 2007). Coincidiendo con el final de la PEH, se tiene además constancia del estado de los glaciares gracias a los primeros testimonios de los pioneros del excursionismo en los Pirineos.

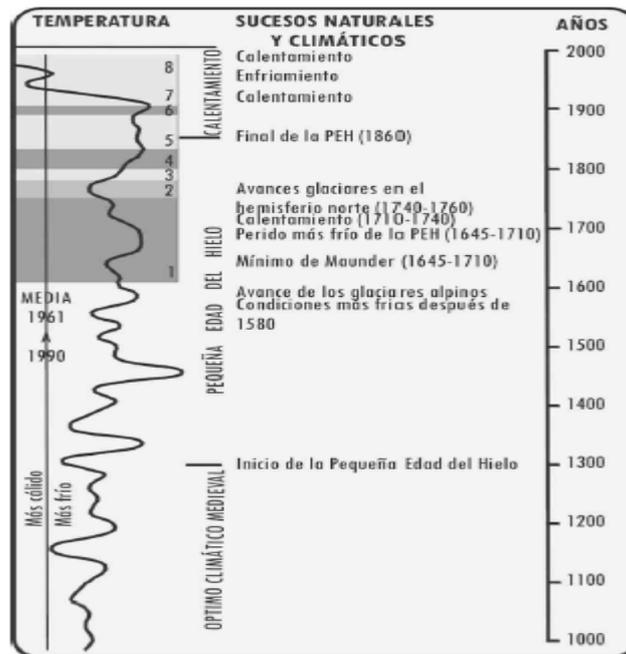


Figura 4. Evolución de acontecimientos climáticos durante la PEH. Las fases 1 a 8 (izqda.) corresponden a la PEH en los Pirineos (González et al, 2007).

4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS LIGs DE TIPO GLACIAR

4.3.1. GLACIAR Y MORRENAS DE MONTE PERDIDO

Es el LIG con código BI11, localizado en el municipio de Bielsa. El complejo glaciar correspondiente a este LIG se encuentra en la cara N del Macizo de Monte Perdido, en las cabeceras de los ríos Arazas y Cinca. Se trata de una cresta de 11km de longitud y dirección W-E, a lo largo de la cual se localizan las cumbres de Gabietou (3033m), Casco (3006m), Tour (3012m), Marboré (3253m), el Cilindro (3327m) y el Monte Perdido (3352m). Dividido en sus partes superior e inferior, debe su disposición en graderío a la estructura del Macizo de Monte Perdido en amplios rellanos escalonados que recogen los restos de glaciario (Chueca y Julián, 2006). Se encuentran en el macizo hasta 15 circos glaciares con orientación preferente al norte, que fueron ocupados por glaciares durante la PEH (González et al, 2007). El Glaciar de Monte Perdido es el de mayor extensión dentro del geoparque, además de ser claramente el de mayor espesor, lo que se debe en parte a que su orientación NNE favorece la conservación de la masa de hielo.

Sin embargo, también ha sufrido una disminución considerable de su masa. De hecho se estima que en el total del macizo, la superficie glaciar alcanzaba los 289,3Ha a principios del siglo XIX y que corresponden a la última etapa de la PEH, según las medidas tomadas a partir de la disposición de morrenas (Biarge et al, 2002) pero pasó a las 107Ha en 1982. La información recogida en varias de las campañas algo más recientes hablan de una superficie de 38Ha repartida tan solo en los glaciares superior (Fig 7) e inferior de Monte Perdido en 2007 (Arenillas et al, 2008) y de 36,2 en 2008 (Lampre, 2009). Se puede observar en fotografías de principios de siglo XX como ambos glaciares llegaban a estar comunicados por una cascada de serac (Fig 5) desde el superior ya que se acumulaban espesores mucho mayores. Actualmente consta del glaciar superior con 5,3Ha, el inferior con 25,2 y el helero de Marboré con 5,0Ha.



Figura 5. Foto de glaciar de Monte Perdido en 1910 en la que se observa una cascada de sérac que une los actuales aparatos superior e inferior (Biarge et al, 2002).



Figura 6. Glaciar de Marboré en 1933 antes de pasar a considerarse helero (Biarge et al, 2002).



Figura 7. Fotografía del estado actual del glaciar superior de Monte Perdido, en verano de 2013.



Figura 8. Fotografía actual de los glaciares superior e inferior de Monte Perdido, en la que se observa además parte de los depósitos morrénicos.

El LIG engloba tanto los glaciares superior e inferior de Monte Perdido como el helero de Marboré, además de los depósitos morrénicos (Fig 8) más significativos de la PEH, siendo el único de los cuatro cuyos límites no coinciden con los del área protegida del MNGP (Fig 9). La presencia de un cordón de morrenas bien formadas junto a morrenas menores formadas en pies de escarpes, representan la acción de distintos episodios glaciares durante la PEH, llegando a alcanzar algunas de ellas los 2450m (González et al, 2007). En la actualidad, el glaciar de Monte Perdido se considera segundo en extensión del Pirineo, por detrás de la de Aneto-Maladeta (Arenillas et al, 2008). El Glaciar de Monte Perdido todavía contiene grietas de tracción

transversales y marginales de escala métrica y que todavía mantienen cierta profundidad, consecuencia de su movimiento, factor que ya no se aprecia en el helero de Marboré (Fig 6).

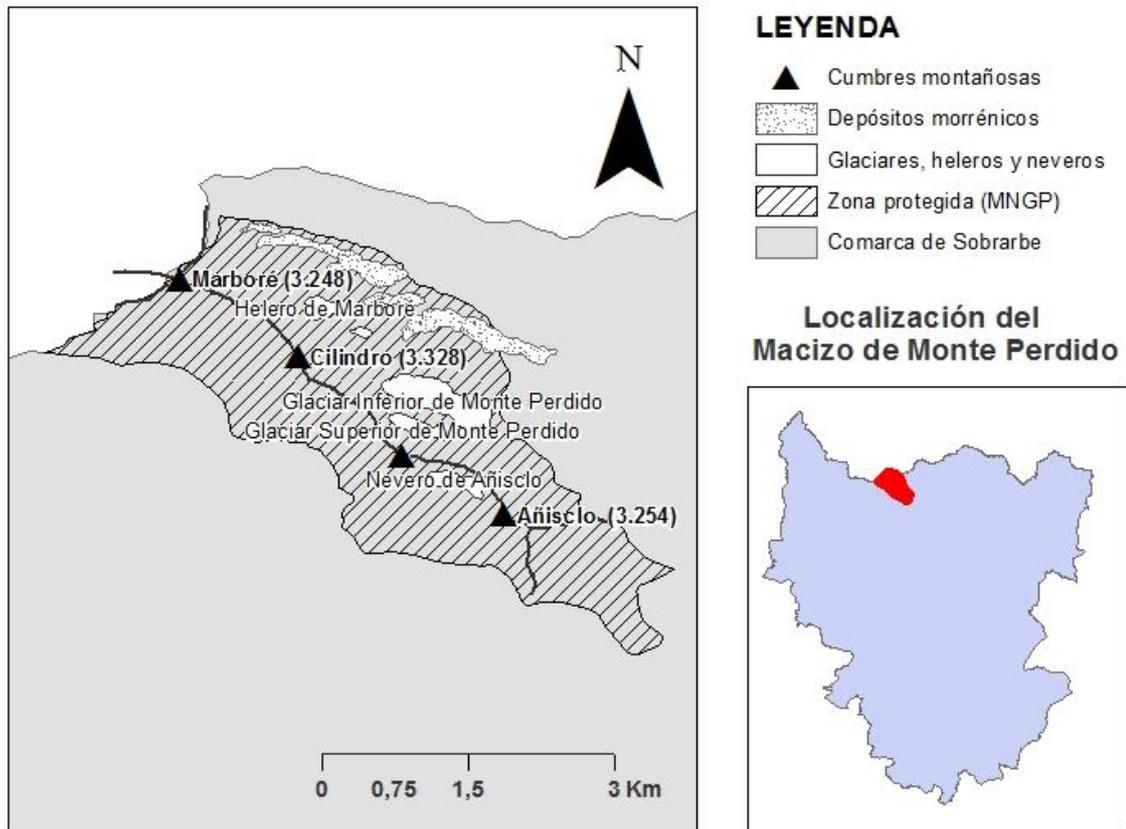


Figura 9. Localización del Macizo de Monte Perdido en la comarca de Sobrarbe y tipología de sus aparatos glaciares.

4.3.2. GLACIAR DE ROBIÑERA

Es el LIG con código BI13, localizado en el municipio de Bielsa. La cumbre Robiñera, con una altitud de 3003 msnm, se encuentra en el complejo del Macizo de la Munia y próxima al pico del mismo nombre con 3134msnm y entre los circos de La Larri y Barrosa. Bajo la cumbre del mismo nombre se encontraba el glaciar de Robiñera (Fig 10), con orientación NE, hoy en completa extinción, que forma parte además del Monumento Natural de los Glaciares Pirenaicos. De hecho, los límites coinciden con esta zona protegida. En torno a las crestas formadas por los picos de Robiñera, La Munia o Barroude se localizan siete circos glaciares de la PEH, que aunque se consideran glaciares extintos (Fig 11), llegan a acumular nieve durante el año, conservándose mejor en los que tienen orientación N.

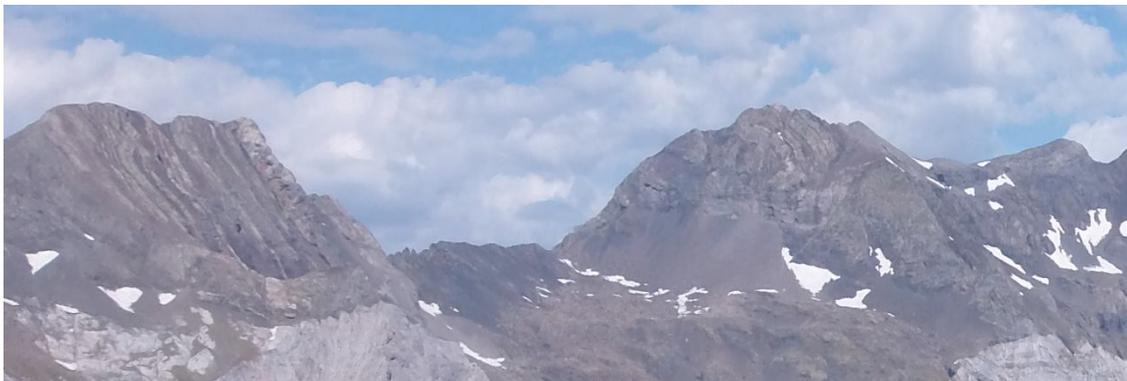


Figura 10. Fotografía del verano de 2013, en la que se observan los neveros entre los picos de Robiñera y La Munia.

En este caso, la pérdida de gran parte de la masa de hielo que lo formaba y la ausencia de las grietas de tracción propias de una masa de hielo con movilidad, hacen que no se considere un glaciar. Según los datos del programa ERHIN, la superficie glaciar en el Macizo de la Munia era de 12Ha en 1982, quedando solamente 8Ha en 1993, continuando una rápida regresión (perdiendo más de 200m de longitud) hasta considerarse extinto desde 2002 (Arenillas et al, 2008) y por tanto pasaría a la categoría de nevero. Aunque en otras superficie del helero se estima en 1,2Ha en el año 2008 (Lampre, 2009), en este caso se le llamaría helero, pero dado que no se vio el hielo con claridad en excursiones recientes en 2013 a la zona podría quedar en la categoría de nevero, atribuyéndole un estado de extinción total (Fig 12).

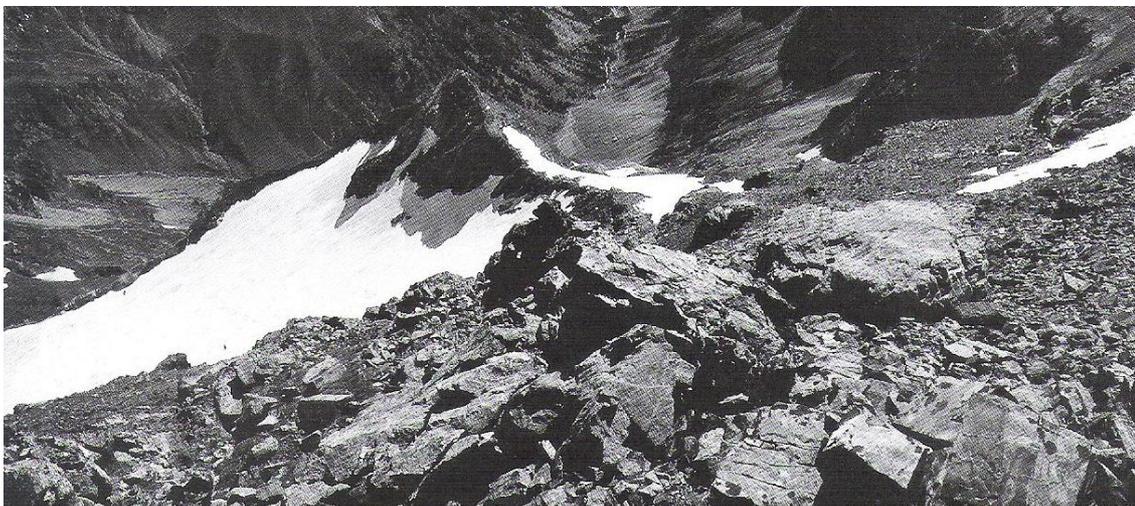


Figura 11. Aspecto antiguo de la parte superior Helero Robiñera desde el pico, tomada en 1979 (Biarge et al, 2002).

En el macizo se considera también la presencia del glaciar de La Munia de 4,5Ha (González et al, 2007), pero al estar en la vertiente francesa no forma parte del Geoparque.

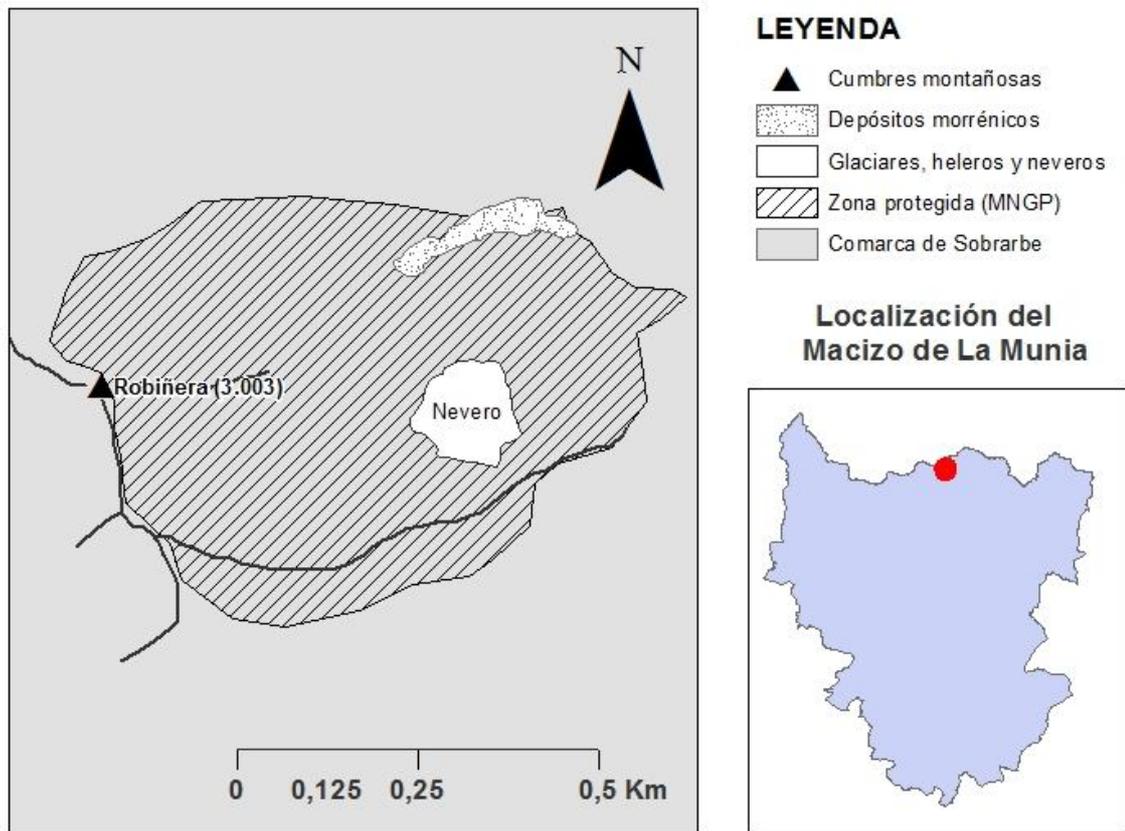


Figura 12. Localización del Macizo de La Munia en la comarca de Sobrarbe y tipología de sus aparatos glaciares.

4.3.3. GLACIARES DE LLARDANA Y DE LA VERTIENTE OCCIDENTAL DEL MACIZO DE POSETS (LLARDANA)

Es el LIG con código SJ01, localizado en el municipio de San Juan de Plan. Tomando el nombre de su cumbre más alta, el Posets (3375msnm) divide aguas entre las cuencas de los ríos Cinca y Ésera, además de ser limítrofe entre las comarcas de Sobrarbe y Ribagorza. El Macizo de Posets cuenta todavía con tres masas de hielo consideradas glaciares: Glaciar de Posets, Glaciar de La Paúl y Glaciar de Llardana, aunque sólo este último se encuentra en la vertiente occidental del mismo, y por tanto en la Comarca de Sobrarbe y dentro del Geoparque. Con una orientación NO, ha sufrido un gran retroceso como el resto de glaciares de la zona, pero a pesar de esa disminución en superficie todavía se observan grietas de transversales y marginales en el hielo, que son el son una muestra de la actividad del mismo, lo que quiere decir que el glaciar todavía tiene la actividad. Aunque dichas grietas también menores y cubiertas en muchos casos por rocas o en ocasiones por la nieve (Fig 15). El glaciar se encuentra a los pies de una alta pared vertical de más de 200m y tiene fuerte pendiente en su zona superior. Estas características hacen que la zona de glaciar que resiste quede en la base de la pared, resultando una morfología de aspecto linguoide (Fig 14) (Serrano et al, 2002). En esta vertiente del Macizo de Posets pueden observarse también varios neveros de escasa extensión.



Figura 13. Estado del Glaciar de Llardana en 1982 en la que se observa el límite inferior llega a menores altitudes (Biarge et al, 2002).



Figura 14. Estado actual del Glaciar de Llardana 2013 y depósitos morrénicos del mismo.

La superficie glaciar en 2007 se consideraba de 9Ha, datos que muestran la gran regresión, especialmente durante el siglo XX, ya que contaba con 52 en 1894 y pasó a 24Ha en 1982 (Arenillas et al, 2008). Las últimas referencias le otorgaban un área de 8,8Ha (Lampre, 2009), aunque son incluso menor en la actualidad debido al continuo retroceso, con 7,7Ha de hielo. En cuanto a los sedimentos generados, se observa en el glaciar de Llardana un complejo morrénico con una morrena laterofrontal externa y otra interna que comienza en el glaciar, a altitudes de 2800-3000m (Fig 16). Estos arcos se encuentran bien conservados, especialmente la morrena interna (Serrano et al, 2002).



Figura 15. Pequeñas grietas de tracción en el Glaciar de Llardana, de escasa profundidad, cubiertas algunas por nieve o detritos. Tomada en verano de 2013.



Figura 16. Morrenas junto al Glaciar de Llardana con restos de la precipitación nival del año 2013.

En la vertiente oriental, ya perteneciente a la comarca de la Ribagorza, se encuentran los glaciares de Posets y La Paúl o el de Los Gemelos, catalogado como glaciar rocoso. Todos ellos forman parte del Parque Natural Posets-Maladeta junto a otros cuatro glaciares del macizo granítico de Maladeta, también en continuo retroceso, entre los que se encuentra el de mayor extensión del Parque.

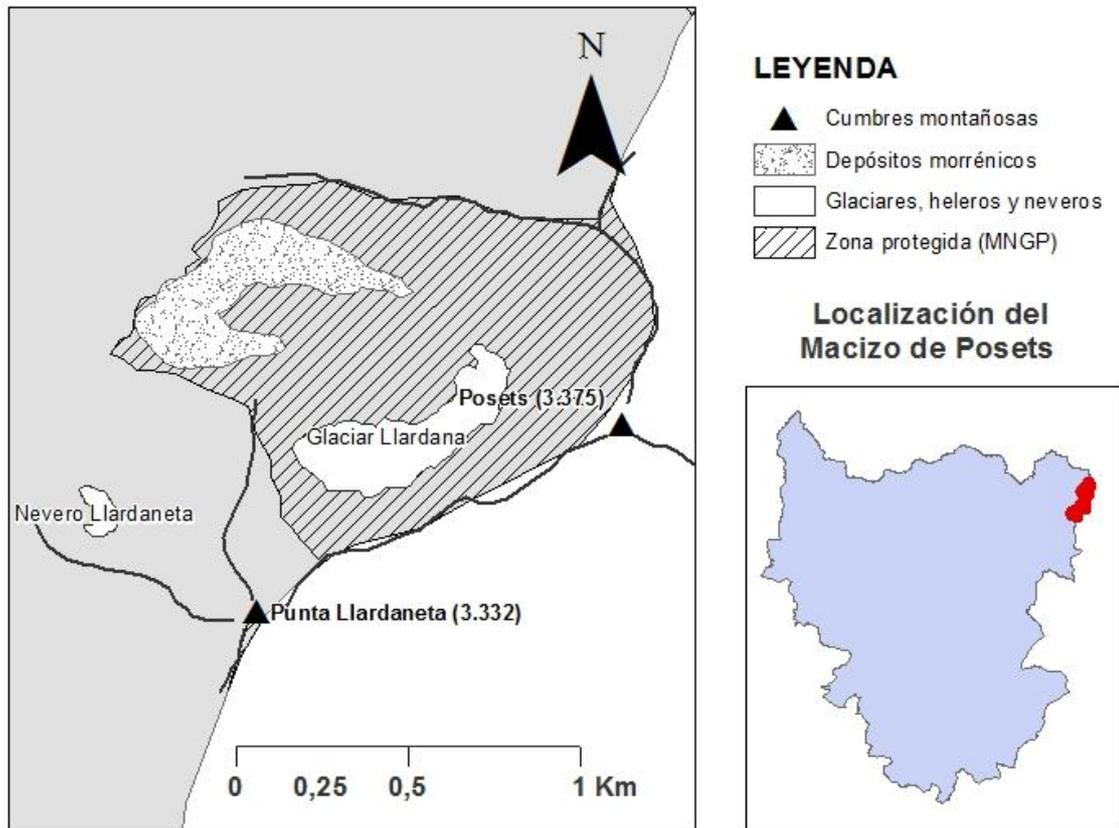


Figura 17. Localización del Macizo de Posets en la comarca de Sobrarbe y tipología de sus aparatos glaciares más relevantes.

4.3.4. GLACIARES Y HELEROS DEL MACIZO DE VIÑEMAL (PICO CENTRAL Y CLOT DE LA HOUNT)

Es el LIG con código TO01, localizado en el municipio de Torla. El macizo, también llamado Comachibosa en Aragón, debe su nombre al pico más alto de la vertiente francesa, el Viñemal de 3299msnm. Se encuentra en la cabecera del río Ara, formando una compleja estructura de pliegues anticlinares y sinclinales que afecta a litologías calcáreas. Tanto la vertiente francesa como la aragonesa están incluidas en figuras de protección ambiental, la primera en el Parque Nacional de los Pirineos y la segunda en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Las cumbres del macizo en el geoparque bajo las que han existido o existen un aparato glaciar son el pico de Monferrat (3219msnm), Pico Central (3.235 msnm) y el Pic du Clot de la Hount (3.289msnm). Este LIG incluye un dos neveros y un helero, considerados por algunos autores próximos a su extinción (Lampre, 2009), pero a los que se considera de interés por estar incluidos dentro de los Monumentos Naturales de los Glaciares Pirenaicos (Fig 20). Además de la escasa masa de hielo que resiste, el LIG incluye las morrenas y depósitos glaciares. En la vertiente norte, en Francia y por tanto fuera del geoparque, sí se pueden ver todavía grandes masas consideradas glaciares como el de Oulettes de Gaube, el Petit Vignemale y el glaciar d'Ossoue. En la vertiente española sólo se atribuye la categoría de helero al de Clot de la Hount, que pese a su orientación favorable NO, mantiene tan sólo una superficie de 1Ha, frente a las 8Ha según datos de 1982. Este cuerpo también es conocido como Forau dera Fuen. Por otro lado, los glaciares hoy extintos de Tapóu-Monferrat y el del Pico Central, sumaban una superficie de 12Ha según los estudios del mismo año, con orientaciones S y O respectivamente (Arenillas et al, 2008). A estos dos últimos se les da la categoría de neveros en la actualidad, estado al que podría estar próximo también el de Clot de la Hount.



Figura 18. A la izquierda Glaciar del Clot de la Hount en 1950 (Biarge et al, 2002).



Figura 19. Restos en los neveros de Montserrat-Tapòu en 2008 (Lampre, 2009).

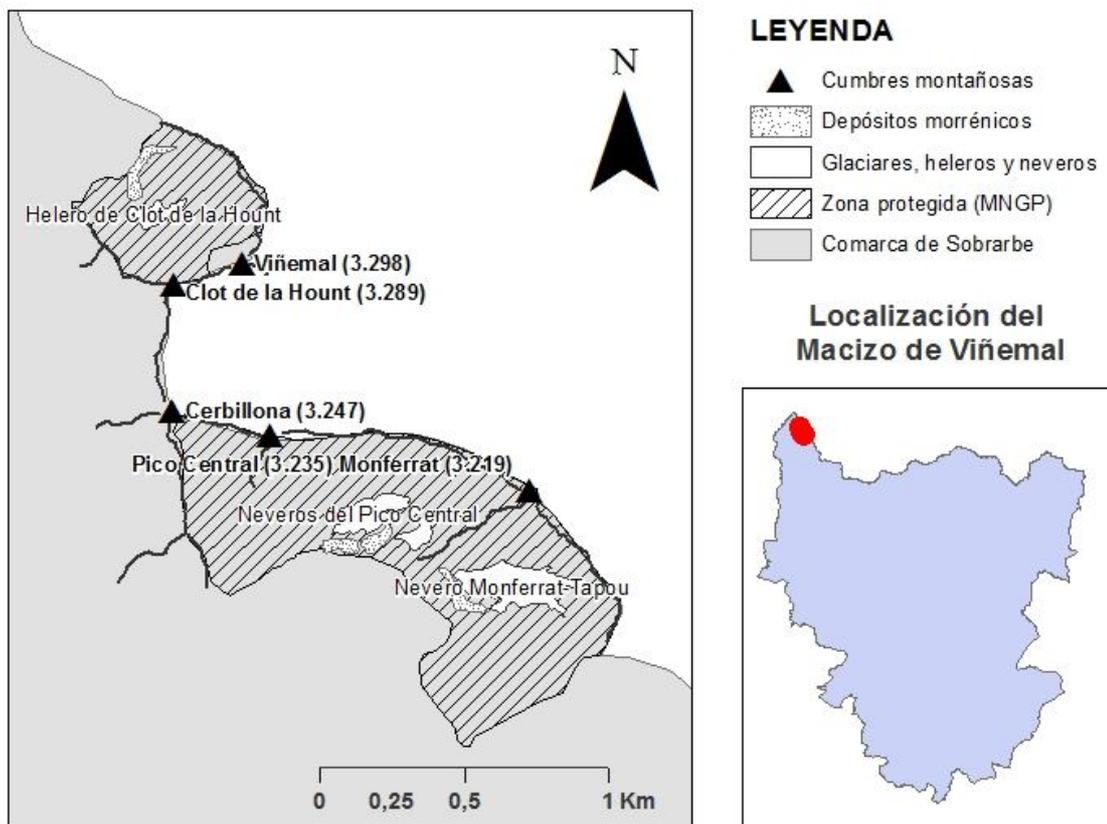


Figura 20. Localización del Macizo de Viñemal en la comarca de Sobrarbe y tipología de sus aparatos glaciares.

4.3.5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS:

El análisis de estos resultados en conjunto vuelve a mostrar la regresión ya descrita en cada uno de los glaciares (Figuras 21, 22, 23 y 24). Para ello se han tomado como ejemplo algunas tablas disponibles en bibliografía anterior a las que se han añadido los nuevos datos recogidos referentes a 2012 y 2013. En primer lugar se evidencia que el Macizo de Monte Perdido sigue siendo el que cuenta con más cantidad de aparatos, con tres individualizados, que son además los que suman un área mayor, conteniendo además dos de los tres cuerpos con categoría de glaciar. A éste le sigue el de Llardana, en Posets. Por último entre el Macizo de La Munia y el de Viñemal suman sólo 1Ha, correspondiente al helero de Clot de la Hount.

Mediante una comparación entre la evolución de cada uno de ellos, podrían valorarse factores para tratar de justificar por qué en dos de ellos sigue conservándose el hielo en movimiento (Monte Perdido y Llardana) y no en los otros dos macizos, llegando incluso a las extinciones de Robiñera, Pico Central y Montserrat-Tapòu (Tablas 1 y 2). En principio las diferencias más relevantes entre estos dos grupos son la orientación y la morfología de los circos favorables del primero. De este modo, resistirán a la extinción con menor dificultad los que tengan condiciones favorables como orientación de los circos glaciares al N, mayor altitud, o menor exposición a radiación solar, y por tanto menores tasas de fusión, por encontrarse casi siempre en zona de umbría bajo las crestas y cumbres más altas. Esto concuerda con los resultados ya que los únicos LIGs que todavía pueden considerarse glaciares, el de Monte

Perdido y Llardana, tienen orientación NNE y NO respectivamente, mientras que la predominante en los que han pasado a categoría de helero o incluso nevero es S. También es cierto que el extinto glaciar de Robiñera también tenía orientación NE, lo que demuestra que no es la orientación el único agente responsable de esta evolución. Sin embargo, la altitud puede ser similar en todos ellos situando los aparatos glaciares en una estrecha franja de la que se encuentra el menor de los límites inferiores a 2730msnm y el mayor de los superiores a 3190msnm, con ubicaciones dispersas coincidiendo con los picos más altos dentro de la comarca que marca los límites del geoparque.

Tabla 1. Resumen de los resultados obtenidos. Las categorías G: Glaciar, H: Helero, N:Nevero, hacen referencia al estado actual, con datos del programa EHRIN (Arenillas et al, 2008) el catálogo de la Universidad de Zaragoza (Biarge et al, 2002), de Monumentos Naturales de los Glaciares Pirenaicos (Lampre, 2009) y ortofotos del SITAR.

NOMBRE	MACIZO	CUENCA	SUPERFICIE	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR	TIPO
INFERIOR DE MONTE PERDIDO	Monte Perdido	Cinca	24,24	2780	3070	G
SUPERIOR DE MONTE PERDIDO	Monte Perdido	Cinca	5,38	3040	3190	G
MARBORÉ	Monte Perdido	Cinca	5,37	2730	2900	H
ROBIÑERA	La Munia	Cinca	0	-	-	N
LLARDANA	Posets	Cinca	8,10	3020	3180	G
CLOT DE LA HOUNT	Viñemal	Cinca	0,72	2970	3050	H
PICO CENTRAL	Viñemal	Cinca	0	-	-	N
MONTFERRAT -TAPÓU	Viñemal	Cinca	0	-	-	N

Tomando como medidas de la PEH las del catálogo de la Universidad de Zaragoza, recogidos en el número extraordinario del Boletín Glaciológico dedicado a la evolución de glaciares (Biarge et al, 2002) y como único dato para los años 1980-1982 las de “El Gran Libro de los ibones y glaciares del Pirineo aragonés” (Lampre, 2009), se muestra que el helero del Pico Central de Viñemal ha desarrollado un aumento en 2,8Ha, lo que parece improbable, más teniendo en cuenta la regresión drástica que sufre en las últimas décadas. Se ha decidido mantener el anterior dato de esta superficie aún a riesgo de que pueda llevar a resultados erróneos (Tabla 2). De cualquier modo, lo que sí está claro es su extinción, que aparece en la bibliografía desde el año 2000. Por otro lado, dadas algunas diferencias por la combinación de distintas fuentes especialmente en el caso del glaciar de Robiñera se han realizado los cálculos según las distintas publicaciones a cerca de la degradación o extinción total del mismo.

Tabla 2. Evolución de la superficie glaciar en hectáreas en el Geoparque de Sobrarbe, según los datos empleados en el informe, tomando como 100% la superficie estimada para la PEH y calculando la pérdida con la superficie actual estimada a través de ortofotos de 2012 del SITAR. Información extraída de tablas del programa EHRIN (Arenillas et al, 2008), el catálogo de la Universidad de Zaragoza (Biarge et al, 2002) y de Monumentos Naturales de los Glaciares Pirenaicos (Lampre, 2009).

NOMBRE	PEH (1820-1830)	1980-1982	1992	2000	2006-2007	2012	PÉRDIDA EN % DE SUPERFICIE INDIVIDUALIZADA (2012)
INFERIOR DE MONTE PERDIDO	238,9	40,0	38,7	35,1	28,0	24,24	
SUPERIOR DE MONTE PERDIDO		10,0	8,9	8,1	6,9	5,38	
MARBORÉ		35	22,4	19,9	6,0	5,37	
TOTAL	238,9	85,0	70,0	63,1	38,0	34,99	85,35
ROBIÑERA	14,5	12,0	6,9	4,8	3,0-0	0	100
TOTAL	14,5	12,0	6,9	4,8	3,0-0	0	100
LLARDANA	49,1	24,0	21,9	18,9	9,0	8,10	83,50
TOTAL	49,1	24,0	21,9	18,9	9,0	8,10	83,50
CLOT DE LA HOUNT	14,8	8,0	2,9	1,8	1,0	0,72	95,13
PICO CENTRAL	11,2	11,2	5,2	0	0	0	100
MONTFERRAT-TAPOU	14,9	12,0	4,3	0	0	0	100
TOTAL	40,9	31,2	12,4	1,8	1,0	0,72	98,24
TOTAL DE SUPERFICIE GLACIAR DEL GEOPARQUE	343,4	152,2	111,2	88,6	53,9 Ó 50,9	43,81	
PÉRDIDA EN % EN TODO EL GEOPARQUE	0%	55,68%	67,62%	74,20%	84,30%	87,24%	

Disponiendo de la información recopilada sobre la superficie que llegaron a ocupar estos glaciares y la actual, puede evaluarse la dinámica que han seguido éstos desde el último máximo glaciar con los porcentajes de superficie de hielo desaparecida. Con este cálculo, para el que se incluyen las superficies de glaciares y heleros indistintamente, dejando a un lado la redundancia a cerca de las mejores o peores condiciones para la conservación, pueden compararse las velocidades de regresión para cada caso. En primer lugar puede considerarse que la evolución es similar en toda la cadena montañosa, aunque la pérdida para las medidas tomadas en 2006 son algo mayores en este caso, con 84,3 frente al 77,9 del total del Pirineo (Lampre et al, 2009). Supone que en la actualidad hay en el geoparque 299,2Ha menos de glaciar menos de las que hubo durante su máximo avance. Esta ligera diferencia puede deberse a que fuera de los límites administrativos del geoparque, subsisten otros glaciares como los de la vertiente oriental del Posets, los del Macizo Infierno, los de Balaitús y especialmente los de Maladeta-Aneto, que son los que mejor se han conservado, aún experimentando un gran retroceso. Las primeras medidas registradas para seguir la evolución reciente, correspondiente a 1980-1982, implican una pérdida del 55,68% del área helada dentro de los límites del geoparque. Desde el fin de la PEH (1830), la velocidad media de la regresión sería de 1,65Ha/año, teniendo solamente en cuenta a estos cuatro macizos, que incluyen los aparatos existentes hoy en día o que han resistido a la extinción hasta épocas recientes. Si esta disminución se produjera a un ritmo constante, podría calcularse de modo simple cuál debería ser la superficie actual. Por medio de esa operación, la reducción de superficie desde el periodo 1982-2012 debería haber sido del 12,1%, mientras que analizando

cuerpo por cuerpo en cada macizo, resulta mucho mayor, con una aminoración del 31,56%, hasta alcanzar el 87,24% actual. Hay que valorar que ese 64,91% se obtiene tras un periodo de 150 años en el que ha tenido lugar una importante subida de las temperaturas tras la PEH, con su final marcado a mediados del siglo XIX (fases 5 a 8 de calentamiento en Fig4), en torno al año 1860 (Arenillas et al, 2008) y el segundo valor se obtiene tan sólo 30 años después, también en esta fase de calentamiento. No obstante, sigue siendo llamativo al ser un porcentaje tan elevado. Si se vuelve a calcular una posible tasa teniendo en cuenta las superficies de 1820-1830 hasta las más recientes, la extinción del 100% de estos aparatos tendría lugar alrededor de los 220 años después de las mediciones más antiguas (1820-1830).

Realizando la operación para cada macizo por separado, para que resulten algo más exactas, los últimos en extinguirse serían los de Monte Perdido, en torno a 2044-2054. Este supuesto fin de la presencia de estos glaciares, se adelantaría incluso a las previsiones del IPCC de 2007 (Intergovernmental Panel on Climate Change) para 2055 que señalan un posible aumento de las temperaturas de entre 2,1 y 3,2°C según el grado de emisiones de gases invernadero. Este incremento haría que el gradiente térmico en los Pirineos fuese superior a 0,5°C/100m, lo que elevaría los límites inferiores de los glaciares a cotas entre 3120 y 3420 en el mejor de los casos (aumento de 2,1°C) o 3340 y 3640m en las peores condiciones (aumento de 3,2°C) (Lampre, 2009). Teniendo en cuenta que los límites inferiores señalados anteriormente oscilan entre 2730 y 3040 y los superiores entre 2900 y 3190 (Tabla 1), si se cumplen las condiciones previstas acabarían con los glaciares y heleros tanto en el Sobrarbe como del resto de macizos pirenaicos. Aunque según últimos informes, las previsiones de cambio no parecen ser tan drásticas.

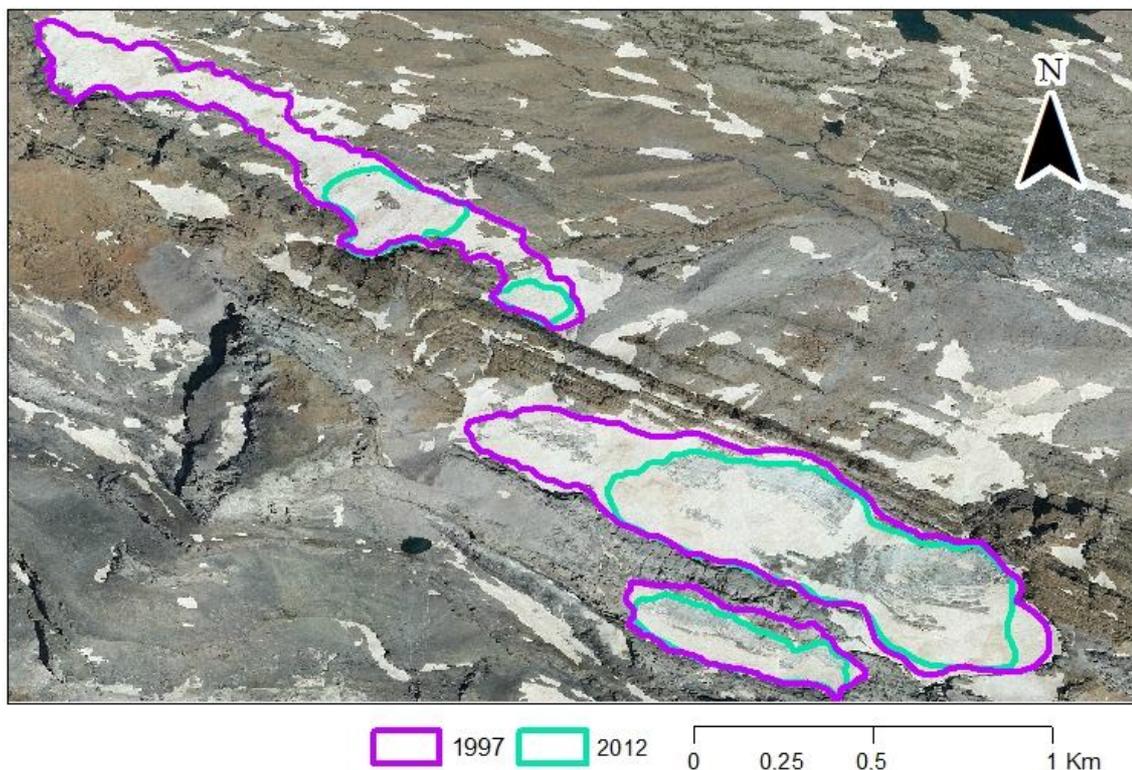


Figura 21. Superficies ocupadas por el hielo en 1997 y 2012 sobre ortofotografía de 2012 del servicio WMS de SITAR. Sector Monte Perdido.

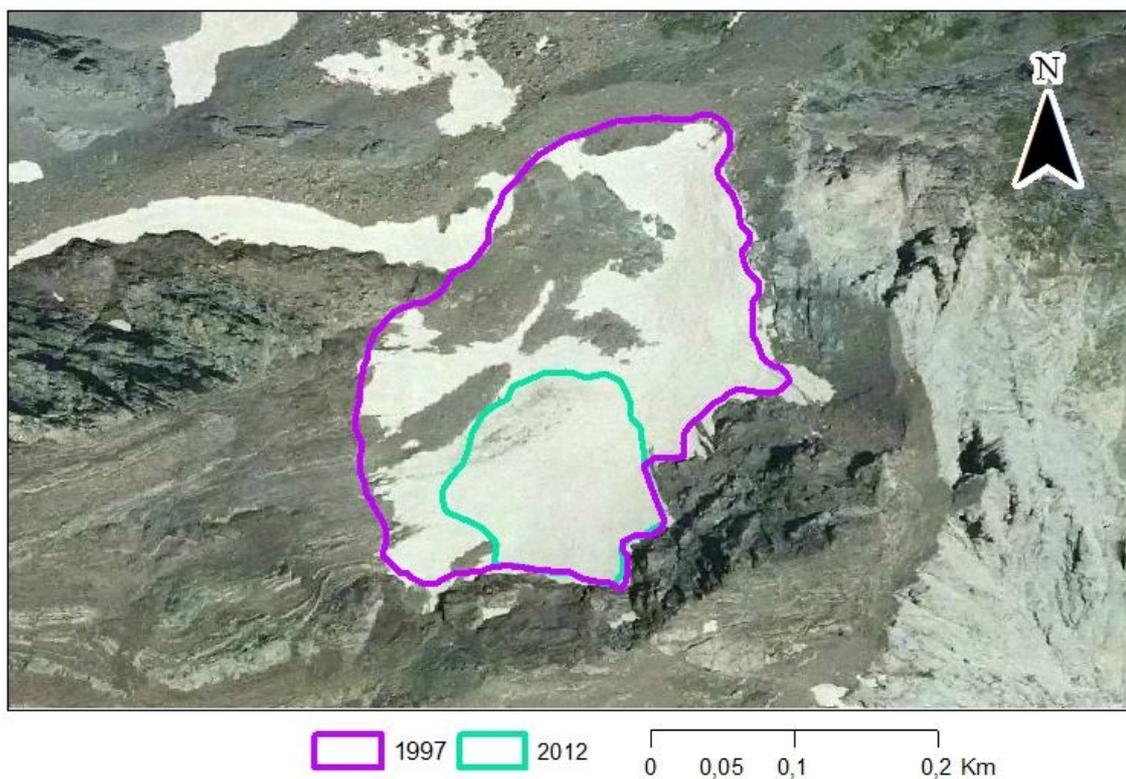


Figura 22. Superficies ocupadas por el hielo en 1997 y 2012 sobre ortofotografía de 2012 del servicio WMS de SITAR. Sector Robiñera

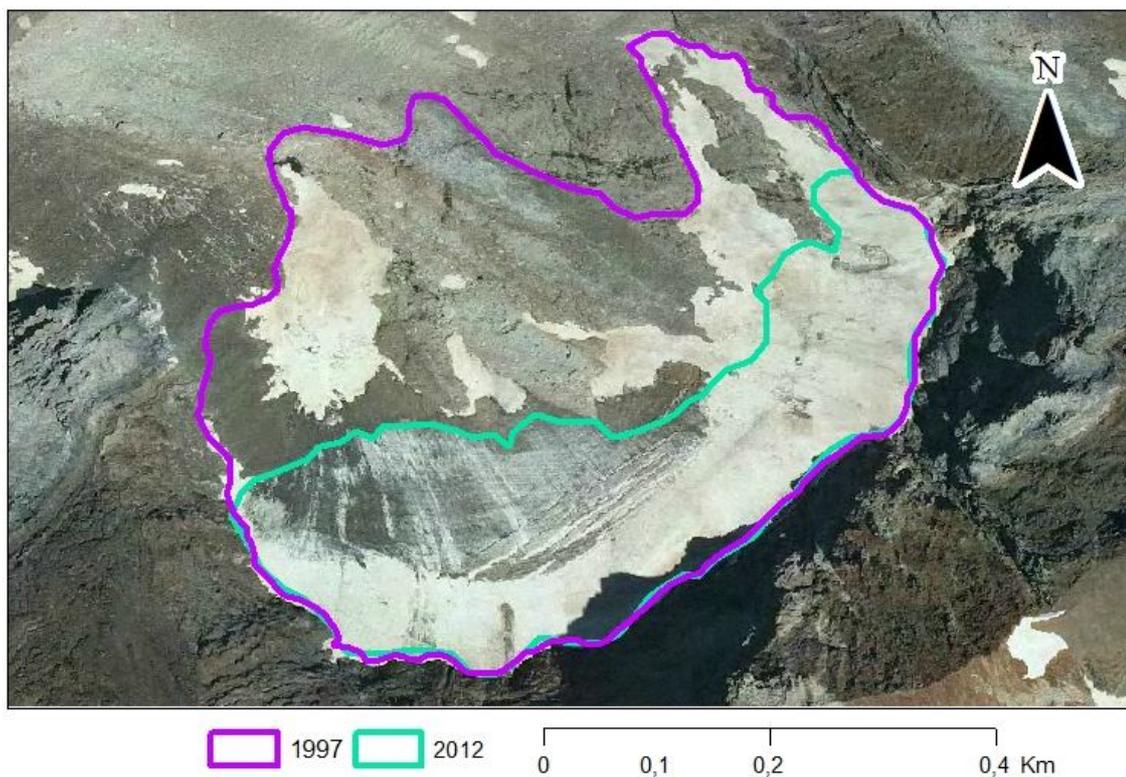


Figura 23. Superficies ocupadas por el hielo en 1997 y 2012 sobre ortofotografía de 2012 del servicio WMS de SITAR. Sector Llardana

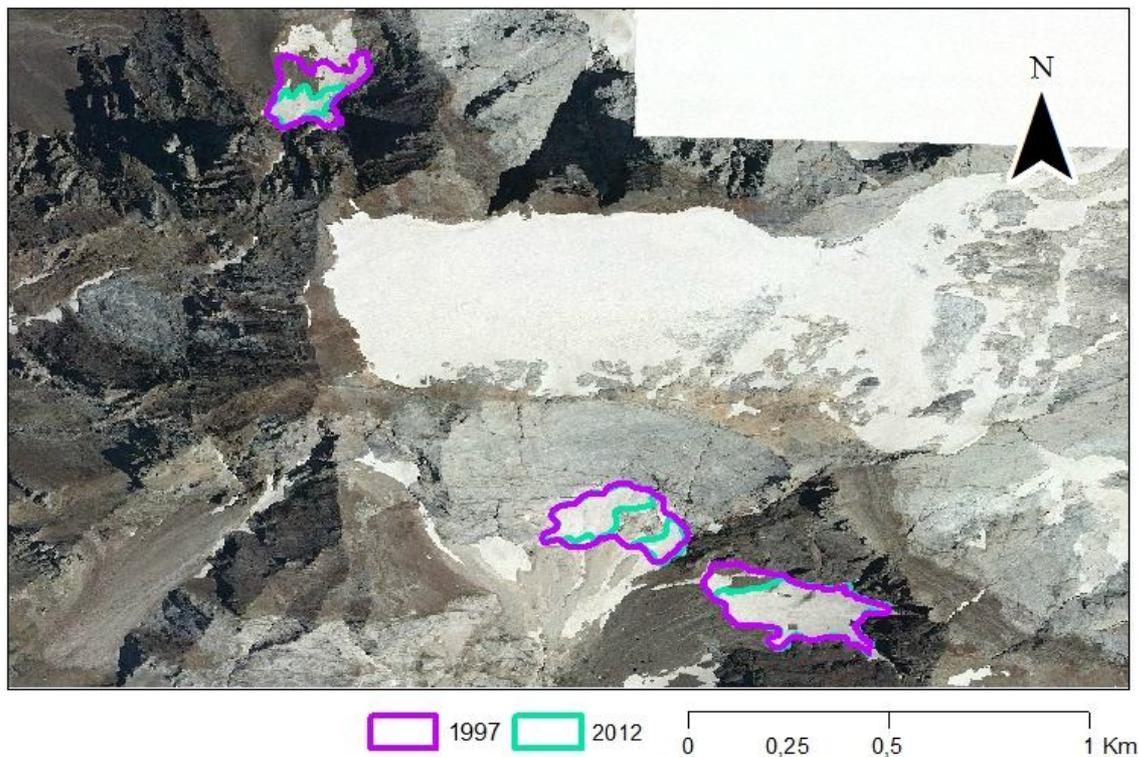


Figura 24. Superficies ocupadas por el hielo en 1997 y 2012 sobre ortofotografía de 2012 del servicio WMS de SITAR. Sector Viñemal.

4.4. ÁREAS ÓPTIMAS PARA LA MEJOR CONSERVACIÓN GLACIAR

La conservación mayor o menor de la masa glaciar se debe a múltiples factores. Teniendo en cuenta el clima actual desfavorable para esta cuestión, que presenta escasas precipitaciones nivales, los lugares idóneos para que se mantenga una masa de hielo permanente serán aquellos cuyas características permitan mantenerlo. Para averiguarlo, puede calcularse la mejor ubicación de esos lugares, combinando esos factores con la edición de mapas de ArcGIS 10.1. En la realización de este tipo de mapas surge como primera duda viene a cerca de cuál de los factores es el más importante y cómo cuantificar el grado de importancia de todos ellos, es decir, cuál ejerce un control más directo sobre el estado del hielo y la probabilidad de que se mantenga una capa.

En este caso se han empleado los mapas de orientaciones, altitudes y radiación solar, separando en intervalos y otorgando distinto valor a cada uno, dando como buenos los campos que tengan una orientación favorable, es decir preferiblemente al N, ser puntos de gran altitud y en medida de lo posible afectados de menor manera por la radiación solar, condiciones que se cumplen en las glacières y heleros que persisten en los Pirineos. Se puede relacionar este resultado también con la evolución de los glacières (Tabla 2), observando una menor pérdida en los que presentan cualidades favorables. Se observa también como esos lugares idóneos se presentan en una franja muy estrecha, lo que explica la escasez de glacières y heleros en la zona, pudiendo además surgir errores que atribuyan como lugar idóneo un lugar en el que no hay presencia de glacières. En la práctica esto casi no ha sucedido, ya que se han utilizado como requisitos características observadas en los casos anteriores. El mejor ejemplo para ello es el

resultado en el sector de Monte Perdido, donde claramente las superficies heladas se ajustan a esas pequeñas “áreas óptimas”. En primer lugar se extrae la porción que nos interesa del MDT200-HUESCA-H30, es decir, la comarca y a partir de él se realizan los tres mapas mencionados anteriormente. La herramienta para calcular áreas con distinta afección de radiación solar de ArcGIS 10.1 permite seleccionar periodos de tiempo de varios días a todo el año, además de elegir qué año se quiere analizar. Dicho de otro modo, seleccionando todo el año 2013 tendremos unas condiciones que se acerquen lo más posible a las actuales. Este factor se considera importante ya que se ha demostrado que en la PEH coincidieron valores de baja actividad solar con el clima frío y húmedo (Morellón, 2012). Además, este factor está controlado en parte por la topografía, que controla los contrastes entre solana y umbría, y el efecto albedo, al influye la cubierta de nieve y hielo, reflejando dicha radiación. Esto puede dar lugar a zonas que tendrían una alta radiación pero debido a encontrarse en una zona escarpada permiten que el hielo persista. En este caso se reclasifica, dando como óptimos los valores más bajos. En cuanto a la altitud se ha reclasificado el modelo digital del terreno para contar sólo con las zonas a más de 2700msnm, ya que como ha quedado demostrado en anteriores apartados son las idóneas, y las orientaciones de NE a NO, descartando el resto. Por lo tanto, se tomarán como las mejores áreas para la conservación de glaciares y heleros las que cumplan estos tres requisitos (Fig 25).

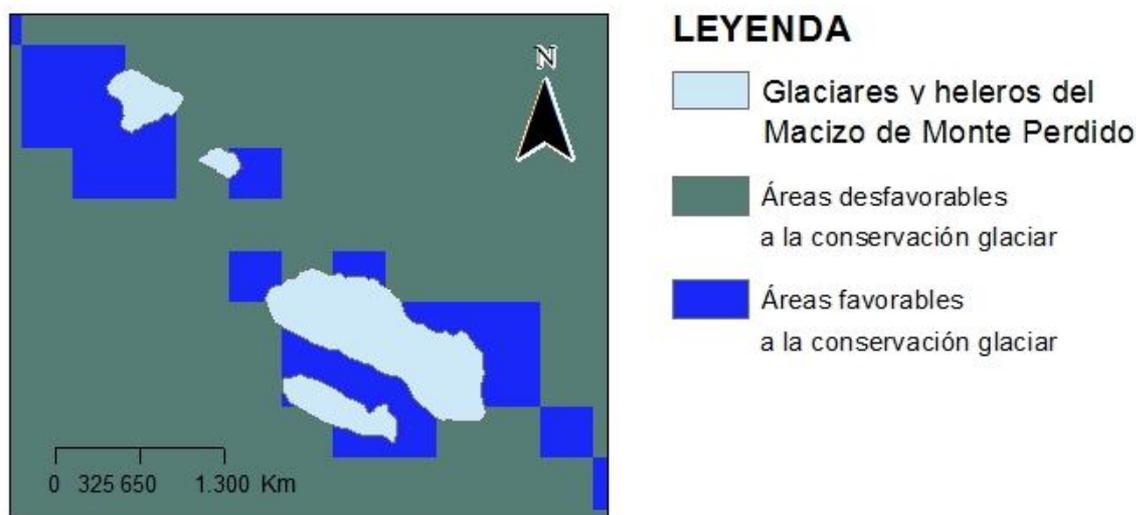


Figura 25. Aparatos glaciares del Macizo de Monte Perdido en relación al cálculo de zonas óptimas para la conservación del hielo a partir de mapas de orientación, radiación solar y altitud.

4.5. OTROS LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO DE ORIGEN GLACIAR

Por último, cabe destacar que la dinámica glaciár no sólo produce singularidades geomorfológicas en las masas de hielo que subsisten, sino que otras estructuras geomorfológicas como los circos, morrenas, ibones, depósitos glaciolacustres y otro tipo de derrubios pueden ser considerados como LIG. Los glaciares son capaces de transportar a grandes distancias una cantidad ingente de sedimento con total diversidad de tamaños. La procedencia de estos detritos puede ser también variada. El modelado más importante de la sedimentación glaciár son las morrenas, clasificadas según su situación en morrenas terminales, laterales o centrales. Las morrenas laterales enlazan en ocasiones con las terminales dando lugar a arcos morrénicos.

Según la posición y dimensiones de estos cordones pueden llegar a retener aguas de deshielo generando lagos de obturación (Gutiérrez, 2001). El deshielo también ocasiona la sedimentación como depósitos glaciolacustres. Otra consecuencia de la cobertura de hielo, también en gran parte de Europa en el Pleistoceno, y el deshielo del mismo, es la formación los ibones o lagos pirenaicos. La erosión generada por el avance glaciar produce unos valles típicos con morfologías en U o arquetas en el perfil transversal y con alternancia de cubetas y umbrales en el perfil longitudinal. Estas cubetas se comportan como vaguadas encontrándose cubiertas de agua de la fusión, de forma temporal o permanente. Los ibones pueden permanecer helados largas temporadas en invierno y primavera (Lampre, 2009). Por último, también existen en la cordillera pirenaica glaciares rocosos, cuya distribución está controlada por las condiciones litológicas y morfológicas. Tienen dimensiones reducidas y suelen ubicarse en circos deshelados. Su origen se marca en un periodo de deglaciación, con típicos procesos de retroceso glaciar en medios de montaña templados. Pueden encontrarse en franjas de menor altitud, entre los 2100 y 2900 msnm (Serrano y Agudo, 2004). El resto de LIG de origen glaciar o periglacial, pero sin presencia de hielo son, junto a su municipio, los siguientes:

1. Derrubios estratificados del Barranco de la Selva (Bárcabo)
2. Depósitos glaciolacustres de La Larri (Bielsa)
3. Depósitos lacustres de La Estiva (Bielsa)
4. Derrubios de La Estiva (Bielsa)
5. Cabecera del Valle de Pineta (Bielsa)
6. Circo y Valle de Barrosa (Bielsa)
7. Circo e ibón de El Cau (Bielsa)
8. Circo o Plana de Marboré (Bielsa)
9. Laguna Colmatada de Planduviar (Broto)
10. Brecha de Rolando (Fanlo)
11. Circo de Cotatuero (Fanlo)
12. Derrubios del Barranco de Góriz, Ciudad de Piedra (Fanlo)
13. Circo y Basa de La Mora, Ibón de Plan (Plan)
14. Glaciares Rocosos de la Peña de las Once (Plan)
15. Turbera de la Basa de L'Avet (San Juan de Plan)
16. Conos de deyección activos de Peña de Sin (Tella-Sin)
17. Valle glaciar de Otal (Torla)
18. Valle de Ordesa (Torla)
19. Depósitos glaciolacustres de Linás de Broto, Viú y Fragen (Torla)
20. Morrenas y depósitos glaciolacustres de Santa Ana (Torla)
21. Valle glaciar de As Ferreras y salto de Otal (Torla)

5. CONCLUSIONES

Tras interpretar estos resultados, algunos de los nombres de los LIGs podrían cambiar, ya que en todos ellos aparece el término glaciar y solamente los de Monte Perdido y Llardana pueden denominarse como tal. Por otro lado, dentro de estas áreas de interés también se incluyen otro tipo de características geomorfológicas como la presencia de depósitos de los arcos morrénicos, que dan información sobre el avance glaciar en otras épocas de las que se carece de

fotografías u otra información. Además dentro de un mismo LIG existen en ocasiones masas de hielo de diferente categoría. Una posible solución sería usar un nombre conciso y actualizado para cada LIG y ya en la explicación que acompaña a cada uno en el inventario adjuntar toda esta información. De modo que tendrían estos nombres:

1. Glaciar y morrenas de Monte Perdido
2. Nevero de Robiñera
3. Glaciar de Llardana y de la vertiente occidental del Macizo de Posets
4. Heleros y Neveros del Macizo de Viñemal

El listado de LIGs de origen glaciar o periglacial se mantendría, aunque es aconsejable revisar el estado de conservación de todo el inventario con cierta periodicidad para conocer el verdadero estado del patrimonio geológico, no presentan cambios tan relevantes como los cuatro anteriores.

Los glaciares son espacios naturales que responden con fragilidad a un sistema climático con cambios rápidos. Su formación se ubica en el tiempo con un máximo avance entre el siglo XVIII y mediados del siglo XIX, para pasar posteriormente a un continuo retroceso con avances menores en el siguen perdiendo superficie y llegando muchos de ellos a la desaparición, pasando a considerarse heleros o neveros. Se obtiene también como resultado la elevación de los límites inferiores del hielo, siguiendo una tendencia a que solo se mantengan los cuerpos de mayor altitud (Biarge et al, 2002). Todos los resultados indican por lo tanto, que las masas de hielo que todavía persisten a pesar del clima desfavorable deben esta menor degradación a diversos factores como su orientación, localización geográfica, altitud, relación a la tasa de exposición solar y topografía y morfología del circo, que controlarán la redistribución de nieves de modo secundario (González et al, 2007).

En cuanto a la conservación del medio natural, existen varias figuras relacionadas con esta labor en el territorio además del Geoparque de Sobrarbe, como son el Monumento Natural de los Glaciares Pirenaicos, Parque Natural de Ordesa y Monte Perdido, Parque Natural Posets-Maladeta. Sin embargo, con respecto a los glaciares, resulta complicado pensar en medidas que frenen el retroceso ya que la principal causa es el clima desfavorable para la acumulación de nieve en los circos a lo largo del invierno durante los últimos años, siendo más importante la ablación durante el periodo estival. Además, por tratarse de lugares de remotos y con ausencia de recursos que motiven una degradación causada por la explotación de la zona, no se cree que la escasa actividad antrópica, principalmente excursiones en las que sea necesario el uso de piolets, paso por el hielo, etc, pueda haber incrementado la velocidad de retroceso, pese a tratarse de zonas atractivas para la práctica de este deporte. De hecho, la inclusión de zonas remotas como LIGs está relacionada con el acceso a ellas, que se debe a su vez en la mayoría de casos al montañismo y la presencia de numerosas rutas de senderos que llegan a ellos. También es posible disfrutar de sus valores estéticos desde miradores en otros puntos altos del entorno.

Por estos motivos, las actuaciones de diversas entidades como el Patronato del Monumento Natural de los Glaciares Pirenaicos o el propio Geoparque de Sobrarbe, suelen ir encaminadas a la promoción de la investigación y la divulgación a cerca del entorno y características de los glaciares, mediante la concesión de becas para el estudio en algunos casos o la concienciación ambiental de la población gracias a la realización de exposiciones, seminarios o

cursillos dirigidas al público general, tanto población local como foránea, siendo también un potencial visitante los grupos de estudiantes por el carácter educativo que también poseen los geoparques. Algunos ejemplos de estas actividades de difusión han sido el IV Seminario del Geoparque de Sobrarbe, cuya temática era “Glaciares: hielo, relieve y clima”, inclusión de temática glaciar dentro de las paradas geológicas dentro del ciclo de “Otoño Geológico”.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARENILLAS, M., COBOS, G., NAVARRO, J. (2008): “*Datos sobre la nieve y los glaciares en las cordilleras españolas. EL PROGRAMA ERHIN, 1984-2008*”. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

BIARGE, F., CHUECA, J. & JULIÁN, A. (2002): Los glaciares pirenaicos aragoneses. Evolución. Fotografías 1880-1999. *Boletín Glaciológico Aragonés*, Núm. Extr.: 323 pp.

CEDESOR (Centro para el Desarrollo de Sobrarbe y Ribagorza), (2010): “Diagnóstico territorial sobre el empleo, la formación y la dinamización empresarial. Comarca de Sobrarbe”.

CHUECA, J., JULIÁN, A., SAZ, M.A., CREUS, J., LÓPEZ, J.I. (2005): “Responses to climatic changes since the Little Ice Age on Maladeta Glacier (Central Pyrenees)”. *Geomorphology* 68, pp. 167-182

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. pp. 9-181.

EDER, W. Y PATZAK, M. (2004): “Geoparks-geological attractions: A tool for public education, recreation and sustainable economic development”. *Episodes* 27/3, pp 162-164.

GONZÁLEZ TRUEBA, J.J., MARTÍN MORENO, R. Y SERRANO, E. (2007): “El glaciario de la Pequeña Edad de Hielo en las Montañas Ibéricas. Síntesis y estado actual de conocimiento”. *Rev. C&G*, 21 (1-2), pp 57-86

GRAY, M. (2004): “*Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*”. John Wiley & Sons Ltd.

GRUNEWALD, K Y SCHEITAUER, J. (2010): “Europe’s southernmost glaciers: response and adaptation to climate change”. *Journal of Glaciology*, Vol. 56, No. 195, pp 129-141

GUTIÉRREZ ELORZA, M. (2001): “*Geomorfología Climática*”. Ediciones Omega. “Segunda Parte. Geomorfología de las Zonas Glaciares”.

KALTENBORN, B.P., NELLEMAN, C., VISTNESS, I.I. (2010): “*High mountain glaciers and climate changes. Challenges to human livelihoods and adaptation*”. United Nations Environment Programme

LAMPRE, F. (2009): “*El gran libro de los ibones y glaciares del Pirineo Aragonés*”. Editorial Prames, pp 20-78

LÓPEZ-MORENO, J.I., GOYETTE, S. Y BENISTON, M. (2009): "Impact of climate change on snowpack in the Pyrenees: Horizontal spatial variability and vertical gradients". *Journal of Hydrology* 374 (2009) 384–396

MORELLÓN, M., PÉREZ, A., CORELLA, J.P., BUNGTEN, U., CATALÁN, J., GONZÁLEZ, P., LÓPEZ, J.A., MORENO, A., PLA, S., SAZ, M.A., SCUSSOLINI, P., SERRANO, E., STEINHILBER, S., STEFANOVA, V., VEGAS, T. Y BALERO, B. (2012): "A multi-proxy perspective on millenium long climate variability in the Southern Pyrenees". *Climate of the Past*. European Geoscience Union. Copernicus Publications.

SERRANO, E. Y AGUDO, C. (2004): "Glaciares rocosos y deglaciación en la alta montaña de los Pirineos aragoneses (España)". *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.)*, 99 (1-4), 2004, 159-172.

SERRANO, E., AGUDO, C. Y GONZÁLEZ TRUEBA, J. J. (2002). "La deglaciación de la alta montaña. Morfología, evolución y fases morfogenéticas glaciares en el macizo del Posets (Pirineo aragonés)". *Rev. C. & G.*, 16 (1-4), pp 111-126.

WINKLER, S., CHINN, T., GÄRTNER ROER, I., NUSSBAUMER, S., ZEMP, M. Y ZUMBÜHL, H. (2009): An introduction to mountain glaciers as climate indicators with spatial and temporal diversity. *Erdkunde*, Vol 64. Nº 2, pp 97-118.

ZOUROS, N. Y McKEEVER, P. (2008): "European Geoparks: Tools for Earth Heritage protection and sustainable local development". En Zouros, N. (Ed) (2008): *European Geopark, Lesvos, Grecia*, pp 15-30.

- **LEGISLACIÓN CONSULTADA:**

Decreto 271/2002, de 23 de julio, que modifica y amplía la superficie protegida de los Monumentos Naturales de los Glaciares Pirenaicos, se establecen las zonas periféricas de protección y se aprueba su Plan de Protección (BOA nº 94, de 9 de agosto de 2002)

Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

- **SITIOS WEB CONSULTADOS:**

<http://www.geoparquepireneos.com/> Página oficial del Geoparque de Sobrarbe

<http://www.europeangeoparks.org/> Página oficial de la Red Europea de Geoparques

<http://sitar.aragon.es> Página oficial del Sistema de Información Territorial de Aragón. Gobierno de Aragón

<http://www.igme.es> Página del Instituto Geológico y Minero de España

<http://www.ign.es> Página oficial del Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento. Gobierno de España.

<http://www.rednaturaldearagon.com> Página oficial de la Red Natural de Aragón, Gobierno de Aragón