

GUILLERMO COBOS CAMPOS*  [HTTPS://ORCID.ORG/0000-0003-2810-9879](https://ORCID.ORG/0000-0003-2810-9879)

EDUARDO MARTÍNEZ DE PISÓN STAMPA**

* Universitat Politècnica de València. ** Universidad Autónoma de Madrid

El seguimiento del proceso de extinción de los glaciares del Pirineo español por el Programa ERHIN (1982-2025)

RESUMEN

Desde 1973 se inició por nuestra parte el reconocimiento sistemático de los glaciares pirenaicos activos en la vertiente española. Aquellos investigadores crearían, primero, el Instituto Español de Glaciología (1978) y, más tarde, el Programa de Estudio de los Recursos Hídricos y Nivales de la Innovación en la alta montaña (1982). A partir de entonces, este programa realizó el seguimiento de tales glaciares, aplicando con continuidad los métodos necesarios, en conexión con instituciones internacionales. Se escogió como lugar piloto de investigación el glaciar de La Maladeta. Este seguimiento ha permitido obtener datos concretos sobre el retroceso continuado de los hielos pirenaicos, observar la extinción de varios de sus aparatos y constatar el sensible deterioro actual de los últimos de ellos.

RÉSUMÉ

Le suivi du processus de disparition des glaciers dans les Pyrénées espagnoles par le Programme ERHIN (1982-2025).— Depuis 1973, nous avons commencé à étudier systématiquement les glaciers actifs des Pyrénées sur le versant espagnol. Ces chercheurs créeront d'abord l'Institut Espagnol de Glaciologie (1978) et, plus tard, le Programme d'Étude des Ressources en Eau et en Neige des Chutes de Neige en Haute Montagne (1982). Depuis lors, ce programme a surveillé ces glaciers, en appliquant continuellement les méthodes nécessaires en collaboration avec des institutions internationales.

Le glacier de Maladeta a été choisi comme site pilote pour la recherche. Cette suivi nous a permis d'obtenir des données concrètes sur le recul continu de la glace pyrénéenne, d'observer l'extinction de plusieurs des glaciers et de confirmer la détérioration significative actuelle des derniers.

ABSTRACT

Monitoring the process of glacier extinction in the Spanish Pyrenees by the ERHIN Program (1982-2025).— Since 1973, we have been systematically studying active Pyrenean glaciers in the Spanish side. Those researchers would first establish the Spanish Institute of Glaciology (1978) and later the Program for the Study of Water and Snow Resources in High Mountain Snowfall (1982). From then on, this Program has monitored these glaciers, continuously applying the necessary methods in collaboration with international institutions. The Maladeta Glacier was chosen as a pilot research site. This monitoring has provided concrete data on the continued retreat of Pyrenean ice, and has allowed to observe the extinction of several glaciers and confirm the current deterioration of the remaining ones.

PALABRAS CLAVE/MOTS CLÉ/KEYWORDS

Glaciares, Pirineos, Programa ERHIN.
Glaciers, Pyrénées, Programme ERHIN.
Glaciers, Pyrenees, ERHIN Program.

I. INTRODUCCIÓN

La Asamblea General de las Naciones Unidas decidió que 2025 fuera considerado Año Internacional de la Conservación de los Glaciares. Para sumarnos a tal celebración, este artículo tiene por finalidad recoger sintéticamente la información procedente del seguimiento de los glaciares del Pirineo español desde 1982 (Alonso y Martínez de Pisón, 1983; Martínez de Pisón y Arenillas, 1988; Martínez de Pisón, 2007; Arenillas et al., 1991, 1992 y 2000), llevada a cabo por el Programa ERHIN

(Estudio de los Recursos Hídricos procedentes de la Innovación en la alta montaña). En estas observaciones se manifiestan con claridad los pasos en la evolución negativa reciente de tales glaciares y su actual tendencia a su extinción (Arenillas et al., 2008; Programa ERHIN, 1992, 1994, 1995, 1997, 2025). Sin duda, otras investigaciones (Gómez, 1981; Izaguirre et al., 2024; Lampre, 1994; López Moreno, 2016, 2019; Martín, 2004; Martínez, 2023) contienen información convergente, pero aquí nos limitamos a exponer de modo sucinto estos trabajos en los que participamos directamente, de particular

interés por su prolongado período y homogeneidad, pues abarcan medio siglo desde sus primeros inicios de toma de datos, y por su limitada difusión reciente, solo destinada a medios técnicos. Por otro lado, tal proceso negativo en los hielos mundiales (Zemp et al., 2015) parece quedar fuera del posible control directo de geomorfólogos y glaciólogos (Lastrada et al., 2021; Ferrer et al., 2004), por lo que, aunque estas páginas sean un homenaje a los paisajes helados que desaparecen y una breve contribución más a su conocimiento, es evidente que carecen de capacidad para ayudar a su deseable, pero por ahora inabordable, conservación (Rico, 2019).

Al comenzar nuestros estudios sistemáticos de los glaciares españoles activos, en los años setenta del siglo pasado (Martínez de Pisón et al. 1983), primero mediante el INEGLA (Instituto Español de Glaciología) y luego, en los ochenta, en el Programa ERHIN (Martínez de Pisón et al. 1988), observamos ya la reducción notable de las cifras de superficie y de número de aparatos estimadas por Franz Schrader (Schrader, 1936) un siglo antes en el Pirineo. Este geógrafo pirineísta estimó en 1779 ha la superficie cubierta por hielo en la parte española de la cordillera en 1894 y nosotros los cuantificamos únicamente en 608 ha en el año 1980 (Mora et al., 2006; Arenillas et al., 2003).

Los años siguientes observamos un continuo retroceso, con extinción incluso de algunos aparatos. Los existentes presentaban cinco tipos de formas fundamentales: 1, aparatos anichados cóncavos, con afloramientos del lecho rocoso; 2, aparatos laminares; 3, aparatos colgados lenticulares; 4, aparatos con lengua incipiente; y 5, heleros cubiertos (Programa ERHIN, 1992-1997; Arenillas et al., 2008).

II. DATOS EXTRAÍDOS DE LOS TEXTOS PIRINEÍSTAS

Para conocer con mayor detalle la evolución de nuestros glaciares pirenaicos durante esa etapa recopilamos en su momento los testimonios de los pirineístas, escritos y gráficos, y los de los estudios glaciológicos pioneros, así como datos de nuestra experiencia propia directa desde los años cincuenta del siglo pasado.

De forma resumida, señalemos aquí que las observaciones geográficas interesantes comienzan a finales del siglo XVIII. Son los relatos de ascensiones de Ramond de Carbonnières (Carbonnières, 1927, 1978) entre 1787 y 1802 los que inician la difusión del reconocimiento directo de algunos glaciares pirenaicos contrastándolos con los de los Alpes. Asomado, por ejemplo, a una grieta glaciar reconoce la diferencia entre hielo y nieve persistentes, encontrando allí la misma materia que previamente ha visto en los grandes aparatos de las montañas alpinas. Sus numerosas referencias a los glaciares pirenaicos, a los que otorga la denominación local de “sernelhes”, son inevitables en sus diferentes recorridos porque la alta montaña que conoció estaba aún en el auge de la Pequeña Edad del Hielo, no solo dominada por el recubrimiento de nieve sino también con hielos más numerosos y extensos, alojados en las áreas cumbreñas. Su examen del glaciar de La Maladeta inicia, así, sus observaciones, aunque es el soberbio aparato de Monte Perdido el que reclama principalmente su atención, por su especial interés en ascender a este pico y por el notable derrame de sus hielos por la escalonada y empinada cara norte de este macizo, donde sus séracs forman lo que denomina torres, columnas y pórticos. Además, anota con frecuencia los caracteres fisiográficos de los aparatos que describe: localización, extensión, altitud, pendiente, orientación, alimentación nival, formas internas (rellanos, domos, cascadas), capas de hielo, cavidades y grietas. Sin embargo, no realiza un recuento general de los aparatos pirenaicos, imposible empeño en sus circunstancias.

Basándose en los variados testimonios locales de los pirineístas y geólogos franceses del siglo XIX (Russell, Trutat, etc.), Lucas Mallada (Mallada, 1878) constató en 1878 la presencia de heleros en el Pirineo español, en el Pico del Infierno y en los macizos de Monte Perdido, del Posets y del Aneto, además de los de la vertiente francesa, como en el caso del Balaïtús. Este interés particular por el lado español de la cordillera abre, por tanto, con rigor aunque con datos indirectos, la aportación a la geografía glaciar pirenaica desde nuestra propia literatura científica.

Algo después, en 1893, P. Camena d'Almeida (Camena d'Almeida, 1969), discípulo de P. Vidal de

la Blache, hacia una síntesis del conocimiento geográfico de la cordillera, mostrada como un proceso de descubrimiento, con nueva recopilación de datos, entre ellos, sobre los glaciares antiguos y contemporáneos. Así, indicaba que Palassou ya había mencionado en 1784 la presencia de bloques erráticos en Cauterets, a quien siguieron Charpentier en 1823, Fargeaud desde 1839 y M. Angelot en 1840 con el estudio de formas heredadas de la última gran glaciaciación (morrenas, estrías, etc.), más Colomb y Martins en 1867. No obstante, en el mapa de Roussel de 1720 se indicaba ya la existencia imprecisa de “glaciares perpetuos” en la alta montaña pirenaica. Y en 1789 otros autores franceses también los mencionan. En 1817, Reboul hacía referencia a los hielos del Aneto. El mismo Camena razona la limitada y elevada presencia de los glaciares pirenaicos activos en función de las características climáticas desfavorables de la cadena (latitud, temperaturas, relieve, altitud), citando los trabajos de Penck publicados en 1883, con precisiones sobre su extensión en el lado francés en el Pleistoceno, y los de Trutat y Degrange-Touzin en 1882 en el aparato activo de La Maladeta, anotando ya un notable retroceso de un sector de su frente. Ese retroceso fue constatado por Vallot en el Gabieta en 1885, entre otros lugares, como en el Vignemale. Por tanto, escribía Camena: “Parece que este fenómeno de retroceso es general en los Pirineos” y similar al de los Alpes. También en 1885 el ingeniero Michelier manifestaba que, cuando se observó una rápida desaparición de nevados y una ablación de los glaciares, fue a partir de 1864. El cronista Beraldí adelantaba la fecha inicial del retroceso a 1856. El naturalista y alpinista Tchihatcheff anotaba en 1842 que ya reculaba el frente de hielo del Aneto. El geógrafo Schrader, preciso y fiable, que había comenzado sus personales recorridos pirenaicos en 1866, señaló que fue desde 1874 cuando había observado un visible retroceso. En cualquier caso, el fin de la Pequeña Edad del Hielo no pasó desapercibido en el Pirineo.

Pero es la aportación de Franz Schrader en 1894 la que armó sistemáticamente —con las limitaciones de esas fechas— el conocimiento global del glaciario activo pirenaico (Schrader, 1936). Ya desde los años setenta del siglo XIX Schrader ha-

bía estudiado los glaciares del Pirineo, con especial interés por los situados en el lado español. Publicó Schrader su trabajo mayor en este campo atendiendo a los preceptos marcados por la ciencia y coincidiendo con la creación en Zúrich y en el mismo año, 1894, de la Comisión Internacional de los Glaciares, cuyo fin era coordinar los conocimientos glaciológicos del momento. Forel, al frente de dicha comisión, había escrito a Schrader ya en 1887 para que el Club Alpino Francés prestara atención a las variaciones glaciares en las montañas. Schrader centró inicialmente la ubicación principal de los glaciares pirenaicos en los macizos del Balaitús, del Viñemal, Monte Perdido, Infierno, la Munia, Gavarnie, Néouvielle, Gourgs Blancs, Oô, Posets y Aneto. Además, en sus mapas y croquis aparecen los del Taillón y Gabieta. Esta clasificación y los cálculos de extensión de los diversos aparatos que dedujo finalmente Schrader han sido los puntos de partida y de contraste desde los que partimos para establecer en 1988 nuestra primera tabla de localización y superficies en el Pirineo español, que afectaba a los macizos de Balaitús, Infierno, Viñemal, Taillón, Perdido, Munia, Posets, Perdiguero y Aneto, que completamos y actualizamos según el seguimiento constante, desde poco después y hasta 2023, de todos los aparatos, pues este retroceso, con algún vaivén menor, prosiguió activo hasta 1949, continuando con menos intensidad hasta 1983, acelerándose entonces y, sobre todo, con incremento desde 1994. La cifra global calculada por Schrader de recubrimiento glacial en el Pirineo español era, como antes indicamos, de 1779 ha.

Otros autores contemporáneos de Schrader o inmediatamente posteriores a él aportaron datos menos conexos o completos, pero interesantes, sobre esta materia. Por ejemplo, Trutat de 1873 a 1876, Roland Bonaparte desde 1890, Belloc en 1904 y, sobre todo, Ludovic Gaurier (Gaurier, 1921) desde 1900, con una obra de especial interés sobre sus exploraciones hidrográficas y toma de datos glaciológicos publicada en 1921. Entre sus aportaciones, podemos citar las concernientes al Viñemal, Balaitús, Gavarnie, circos franceses inmediatos y Néouvielle, con un total de más de treinta glaciares observados. Diversos autores, a los que remitimos en la bibliografía,

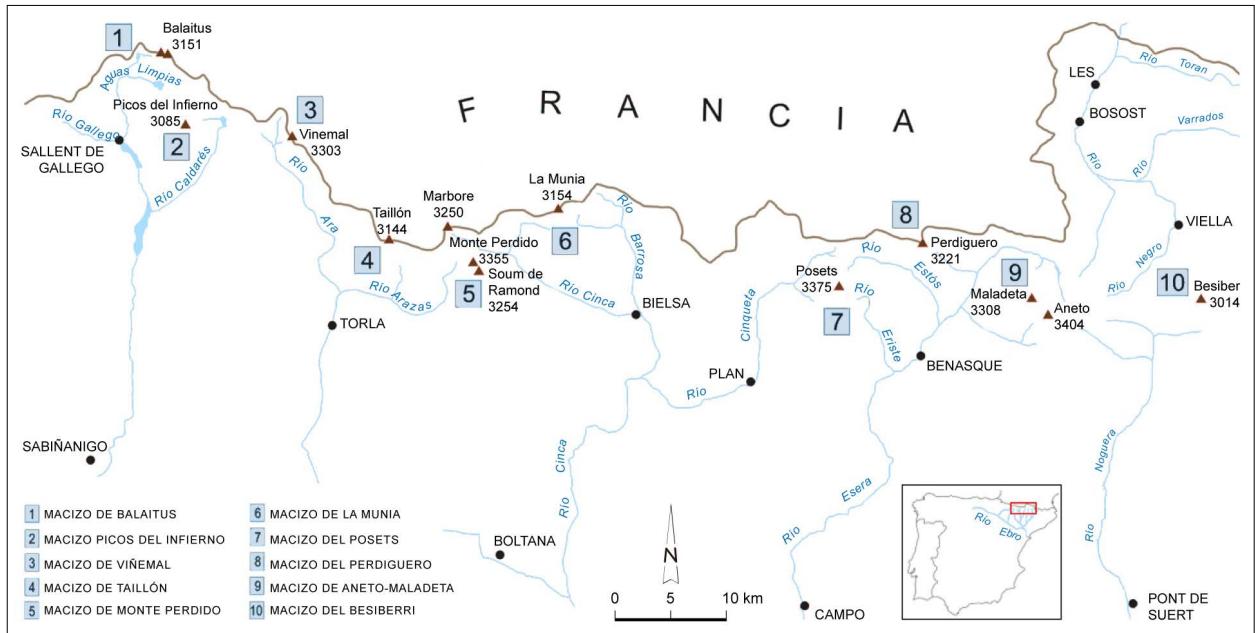


FIG. 1. Emplazamiento de los macizos glaciares estudiados por el INEGLA e inicialmente por el Programa ERHIN.

grafía (Chueca, 2008; García-Ruiz et al., 2024); Izaguirre et al., 2021; López Moreno, 2016; Martín, 2004; Moreno et al., 2021; Nicolás, 1981; Rico, 2019; Serrano 1998, et al., 1991, 2002; Serrat et al., 1980; Vidaller et al., 2021; entre otros), han ido realizando sus investigaciones especializadas en fechas posteriores, dándose recientemente una mayor concentración de interés en los temas glaciológicos.

III. LAS PRIMERAS OBSERVACIONES DEL PROGRAMA

En suma, al finalizar el siglo XX se constataba, así, una reducción del hielo superior al 80% respecto a la calculada al terminar el XIX. Al llegar al año 2000 habíamos pasado a 300 ha y solo se comprobaba la existencia de 19 núcleos de hielo activos en nuestra vertiente. De ellos, no todos podían considerarse glaciares, sino estadios residuales de retroceso de aparatos anteriores (o heleros) o aparatos rocosos activos sin asomos de hielo. De este modo, únicamente 10 aparatos de los clasificados eran glaciares reales, pues 3 eran rocosos, 4 heleros y 2 heleros residuales. En 2005, dos más habían pa-

sado también a heleros. La tendencia observada era, pues, de claro retroceso. Y así prosiguió.

Como hemos indicado, en el año 1988 tratamos la evolución y los caracteres morfológicos y glaciológicos de los conjuntos glaciares mayores clasificados entonces por nosotros (Martínez de Pisón, 1989, 2002, 2003), Aneto, Monte Perdido y Posets, así como los de los macizos del Infierno y del Balaitús y los de los glaciares menores de Taillón, Robiñera, Viñemal y Literola. Más tarde añadimos a la lista los pequeños núcleos de hielo de Remuñe y La Tallada. Mostramos igualmente abundantes imágenes, croquis y gráficos de ambos aspectos, es decir, sus elementos geográficos y sus cambios en el tiempo. Al mismo tiempo se establecieron fichas con datos cuantitativos de los aparatos descritos y cartografiados. Era el resultado de una investigación esencialmente geográfica, indispensable, y el comienzo de otra glaciológica que llega a hoy mediante supervisiones *in situ* de todos los glaciares en los meses de septiembre-octubre en distintos años y el análisis específico del glaciar de La Maladeta de modo constante (Fig. 1).

De este modo, los trabajos emprendidos por nosotros en el terreno desde 1973 y, desde 1978, por

el INEGLA concretaron, con un equipo de investigadores y con un programa explícito, los necesarios estudios de geomorfología glaciar pirenaica. Hoy, la situación crítica a la que han llegado nuestros glaciares pirenaicos hace oportuno recobrar los datos básicos que, a partir de esos trabajos, trazan el proceso natural de deterioro de los hielos del Pirineo, sin duda inducido por circunstancias climáticas generales y adversas, que se manifiestan en todos los glaciares del globo, agravados aquí por el ingrediente de la marginalidad de nuestros reductos de hielo de montaña.

Los trabajos del INEGLA comenzaron a partir de su fundación y mantuvieron una intensa campaña de identificación geomorfológica en el terreno entre 1981 y 1983, observaciones que se reflejaron en varias publicaciones, de las cuales es muestra principal el capítulo titulado “Los glaciares actuales del Pirineo español”, incluido en el libro de varios autores *La nieve en el Pirineo español*, editado en 1988 y reimpreso en 1990 (Martínez de Pisón y Arenillas, 1988).

Este escrito fue indicativo de la asociación desde 1984 de aquellas investigaciones al análisis de la influencia de la fusión nival en la generación de recursos hídricos y al Programa ERHIN. Para la correcta identificación de los glaciares en la vertiente pirenaica española se realizaron los trabajos de campo necesarios, el análisis de las fotografías aéreas y de la bibliografía existente entonces, teniendo muy en cuenta para concretar su evolución los testimonios directos de los pirineístas clásicos, algunos, como los ya citados Schrader, Trutat o Gaurier, glaciólogos en su momento, y otros con relatos descriptivos de sus exploraciones en altitud. El apoyo inicial fundamental lo proporcionó, en todo caso, como vemos diciendo, el estudio geomorfológico.

Datos expresivos de aquella primera revisión global fueron los de la existencia comprobada en el lado español de la cordillera de 29 aparatos bien definidos (pronto se aumentarían a 31), una estimación de la superficie completa del hielo en 562,50 ha y un volumen aproximado de 104,86 hm³. Los conjuntos glaciares más extensos eran, como es sabido, el de las Tres Sorores, con 107,50 ha, y el del Aneto con 309 ha. Sin embargo, por su proliferación de

circos, también sumamos selectivamente el macizo del Posets, con 51 ha, a esos dos conjuntos mayores. La descripción una por una de las masas glaciares allí tratadas, del Balaitús, a occidente, al Aneto, a oriente, remite hoy a un testimonio histórico sobre nuestros glaciares cuyo interés ha crecido por la tendencia actual a su extinción generalizada.

De este modo, constatado el estado real de dichos glaciares desde la Pequeña Edad del Hielo, se comprobó que iniciaron sus pérdidas de hielo aproximadamente desde 1860. No obstante, nuestros trabajos posteriores, añadiendo, como hemos señalado, nuevas observaciones, completaron aquel primer ensayo, mostrando periódicamente los cambios geográficos y glaciológicos experimentados por los distintos aparatos glaciares. Este seguimiento se editó entre 1992 y 1995 en forma de anuario del Programa ERHIN (Programa ERHIN, 1992, 1994, 1995, 1997) sobre la nieve en las cordilleras españolas, así como en revistas científicas, congresos y libros.

En el desglose local orográfico, es decir, por macizos, se observa con mejor detalle el proceso de retirada posterior a aquella puesta en orden de nuestro glaciarismo activo entre los años 1983 y 2000:

- A. En el macizo del Balaitús, de sus 55 ha de hielo en 1894 se había pasado a 0,5 ha en el año 2000, con pérdida rápida en el glaciar de la Brecha Latour entre 1980 y 1991, desmembrándose y con perfil cóncavo ya en 1994 y quedando reducido a helero en 1997. En 2002 solo quedaba en el circo una placa menor de hielo. Los restantes focos glaciares en el lado español de este macizo (en los sectores de Arriel y de Frondellas) desaparecieron tempranamente.
- B. En Punta Zarra se observó un retroceso marcado desde 1983. En el Infierno, inicialmente con tres aparatos glaciares en umbría, adosados a las traseras de sus circos, destacaba su aparato central, de fuertes pendientes y con el hielo cortado a bisel. Unidos estos hielos a los del glaciar rocoso de Argualas y a los de Punta Zarra, pasaron de 88 ha en 1894 a 44,7 ha en el año 2000. Finalmente, solo resistió el paso del tiempo el aparato central del Infierno.

- C. En las laderas altas del pico fronterizo del Viñemal, persistían tres pequeños aparatos colgados, uno más individualizado, el del Clot de la Hount, que ya aparecía retrocedido y adelgazado en 1980 respecto a su caja morfológica y a las imágenes y descripciones de los pirineístas clásicos. El conjunto de los glaciares de Tapou y de Monferrat presentaba ya en 1990 hielo laminar y en el 2000 solo placas residuales.
- D. En el macizo de Monte Perdido, el glaciar del Soum de Ramond, orientado al suroeste, estaba ya en 1999 anichado y fragmentado en placas disociadas, desapareciendo el año siguiente. El del Taillón español, también en mala orientación, se redujo en 1994 a un len-tejón de hielo y en 1999 presentaba pozos de fusión, cavidades en el hielo sobre el lecho y hundimientos que provocaron su inmediata desaparición. En Monte Perdido estricto comenzó el retroceso con su proceso de fragmentación en gradería, ya que inicialmente formaba un solo glaciar escalonado. Se pasó, así a 3 elementos disociados en sus peldaños, como aún mostraba en nuestras observaciones en 1973, y en la actualidad a solo los dos focos superiores (Fig. 2). El proceso posterior llevó al biselado y a su concavidad topográfica interna del aparato mayor, en el escalón que fue intermedio y más tarde inferior en los años noventa, tendencias que se acentuarían posteriormente. De este modo, disminuyó el aparato del Monte Perdido de 556 ha en 1894 a 44 ha en el año 2000.
- E. En el macizo del Posets, Schrader contó en 1894 con 216 ha de hielo en los círcos que rodean sus cumbres, que se redujeron en el año 2000 a 34,5 ha. El glaciar llamado del Posets, ya aparecía en 1994 acantonado en altitud. El de La Paúl, tenía ese mismo año su perfil biselado y aspecto laminar. El de Llardana, aparecía en forma de rampa, parcialmente cubierto por derrubios, ya retraído en 1994 y laminar en 1998.
- F. En el macizo del Aneto, el glaciario activo mostraba un collar de aparatos activos con

abundancia de hielo. La orientación del alto cordal orográfico, de noroeste a sureste, ocasiona dos vertientes muy contrastadas climáticamente por tener una de ellas orientación favorable, desde el punto de vista glaciológico, al noreste y otra desfavorable al suroeste. Esto ocasionó una primera fase de retroceso reciente e incluso extinciones de focos glaciares en la ladera suroeste. No obstante, ya en 1994 el glaciar del Aneto acusaba pérdidas con retroceso frontal, laminación y concavidad de su perfil y tendencia a escindirse en dos fragmentos (Fig. 3). El aparato de Tempestades experimentaba roturas y caídas de bloques con tendencia a un perfil en rampa entre 1993 y 1998. El de Barrancs en 1998 aparecía muy reducido en superficie y biselado. El de Alba se reducía drásticamente a placas en 1998. Del de Cregüeña quedaban también solo unas placas residuales en 1998. El de La Maladeta conservaba su porte glaciar, aunque claramente biselado en aquella fecha. El de Coronas mostraba muy fuerte deterioro y el de Llosás desapareció en 1993. En suma, se había pasado en el macizo de 692 ha de hielo en 1894 a 162,5 ha en 2000.

Retengamos un momento en ese proceso como expresión del panorama sobre el que se trabajaba. En 1991 recogimos, por ejemplo, en forma de tablas sintéticas el estado de los glaciares (Martínez de Pisón et al., 1992; Programa ERHIN, 1992). Así, en ese año se estableció el estado de nuestros glaciares en los macizos del Balaitús, Infierno, Viñemal, Taillón, Perdido, Munia, Posets, Perdiguero, Aneto y Besiberri. Los aparatos caracterizados, de hielo y rocosos, sobre la base total inicial, fueron 40, con algunas agrupaciones donde eran unificables y con reseña de los ya extintos (Frondellas, Brecha Latour, Balaitús SE, Infierno occidental, Infierno oriental, Argualas, Zarra, Clot de la Hount, Tapou, Monferrat, Taillón, Marboré-Cilindro, Monte Perdido superior, Monte Perdido inferior, Soum de Ramond SE, Soum de Ramond SW, Soum de Ramond S, Cilindro, Cima de Marboré, Robiñera, Llardana, La Paúl, Posets, Los Gemelos, Espadas, Literola, Remuñe, Alba, Malade-

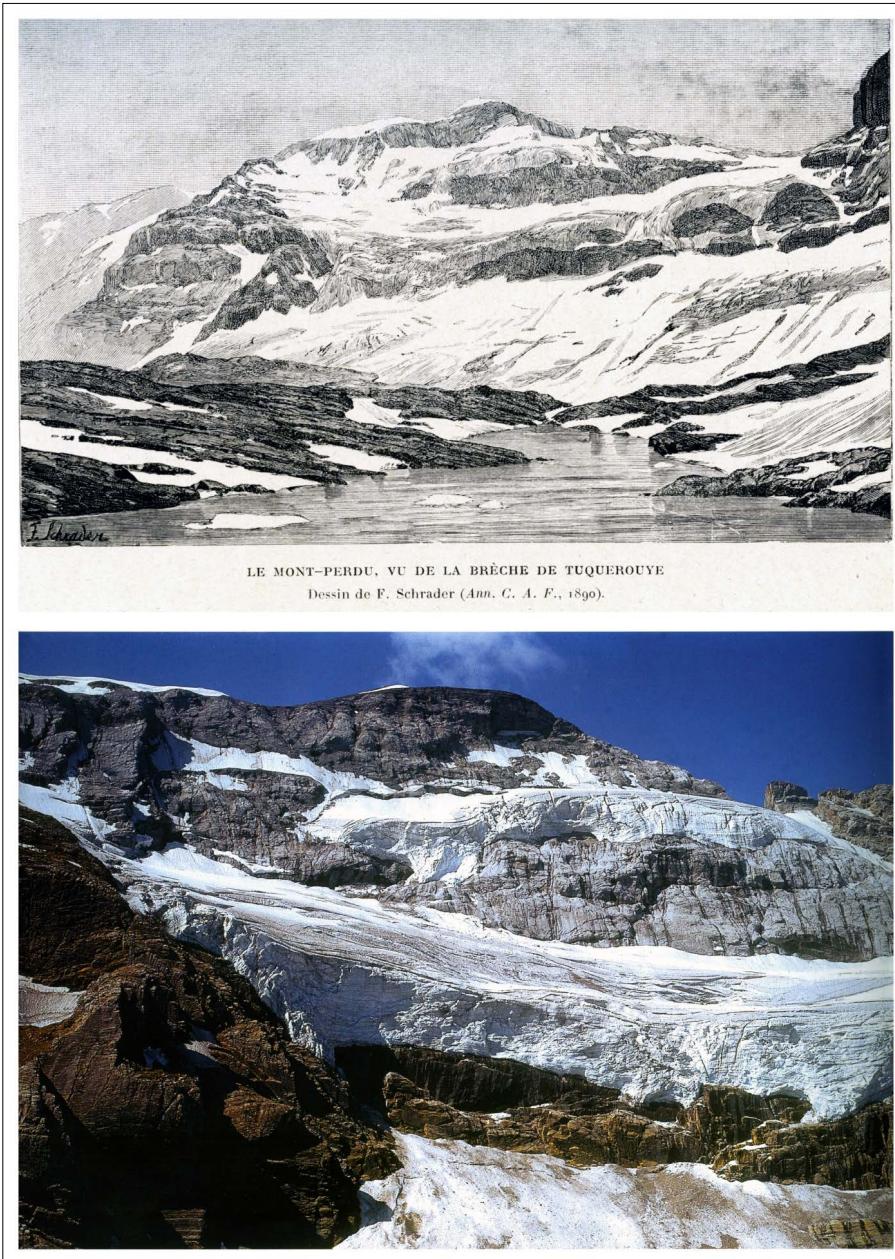


FIG. 2. Glaciar de Monte Perdido: arriba, dibujo de Schrader de 1890; abajo, fotografía tomada en el año 1973.

ta, Aneto, Barrancs, Tempestades, Salencas, Cregüeña N, Cregüeña S, Coronas, Llosás, Tallada y Beibirri). En este panorama sumamos una superficie total de 568 ha en 1991, tras las 1779 ha en 1894, según Schrader. De esas 568 ha, 302 correspondían al macizo del Aneto y 90 al de Monte Perdido.

En la publicación del Programa ERHIN relativa al año natural 1992-1993 se estableció además un sistema glaciomorfológico de fichas de clasificación

y seguimiento de los glaciares pirenaicos españoles con datos de detalle cuya aplicación permitía la síntesis de todos los glaciares observados con sus caracteres de fusión, recubrimiento, contorno, frente, biselado, grietas y afloramientos de lecho, en un solo cuadro, aparte de las descripciones locales apartado por apartado. Finalmente, se desglosaban los datos en una ficha para cada glaciar, acompañándolos de un croquis del aparato tratado.



FIG. 3. Glaciar del Aneto en 1994.

De este modo, en 1993 y 1994 se señalaban manifestaciones de adelgazamiento, biselado, retrocesos frontales, así como afloramientos de sectores del lecho rocoso que, en algunos casos, podían llegar a provocar el desmembramiento de la masa de hielo, recubrimientos parciales de clastos, formas superficiales e internas de fusión, algún retroceso frontal por aludes y, en ocasiones, incluso un proceso claro hacia la extinción.

Las observaciones de retroceso en 1995 ya advertían de una marcada fusión generalizada y, así, tras la descripción pormenorizada de todos los glaciares, se anotaba: “De no variar dicha tendencia regresiva, seremos testigos, en muy pocas décadas, de la total deglaciación del Pirineo”.

Desde 1991-1992, los anuarios de ERHIN incluyeron, además, capítulos dedicados a los trabajos de control específico del glaciar de La Maladeta, con su balance de masa, que señalaremos más adelante.

IV. ESTADO DE LOS GLACIARES DEL PIRINEO ESPAÑOL EN EL SIGLO XXI

Como cortes temporales expresivos de la evolución glaciar en nuestro siglo, resumimos aquí el

estado de los distintos aparatos en dos momentos. El primero de ellos corresponde a finales de octubre de 2011 (28-9-2011). En el macizo del Balaitús, los glaciares de nuestra vertiente, 2 orientales y otros 2 occidentales, presentaban 4 heleros residuales. En Punta Zarra aún se mantenía un helero residual. En el Pico del Infierno, el circo central contenía, con formas, superficie y volumen mayores a los actuales, un glaciar biselado, en retroceso, con marcados estratos de hielo, recubrimiento parcial de clastos y canalillos superficiales de deshielo, mientras, tanto el circo oriental como el occidental, mantenían sendos heleros residuales. En el macizo del Viñemal, solo el circo colgado del Clot de la Hount presentaba un helero residual.

En la cara norte de Monte Perdido, su sector inferior mantenía el glaciar aún sin fragmentar, aunque con superficie alabeada o en vaguada en el área de disyunción actual, con un asomo puntual de lecho rocoso abrupto y un afloramiento más amplio del lecho en su extremo occidental. Las formas glaciares eran evidentes. En el sector superior se manifestaba una tendencia al biselado, pero aún con formas glaciares y grietas de tracción. Y el circo del Soum de Ramond aún contenía un helero residual, resto ya menor del glaciar que se había alojado en

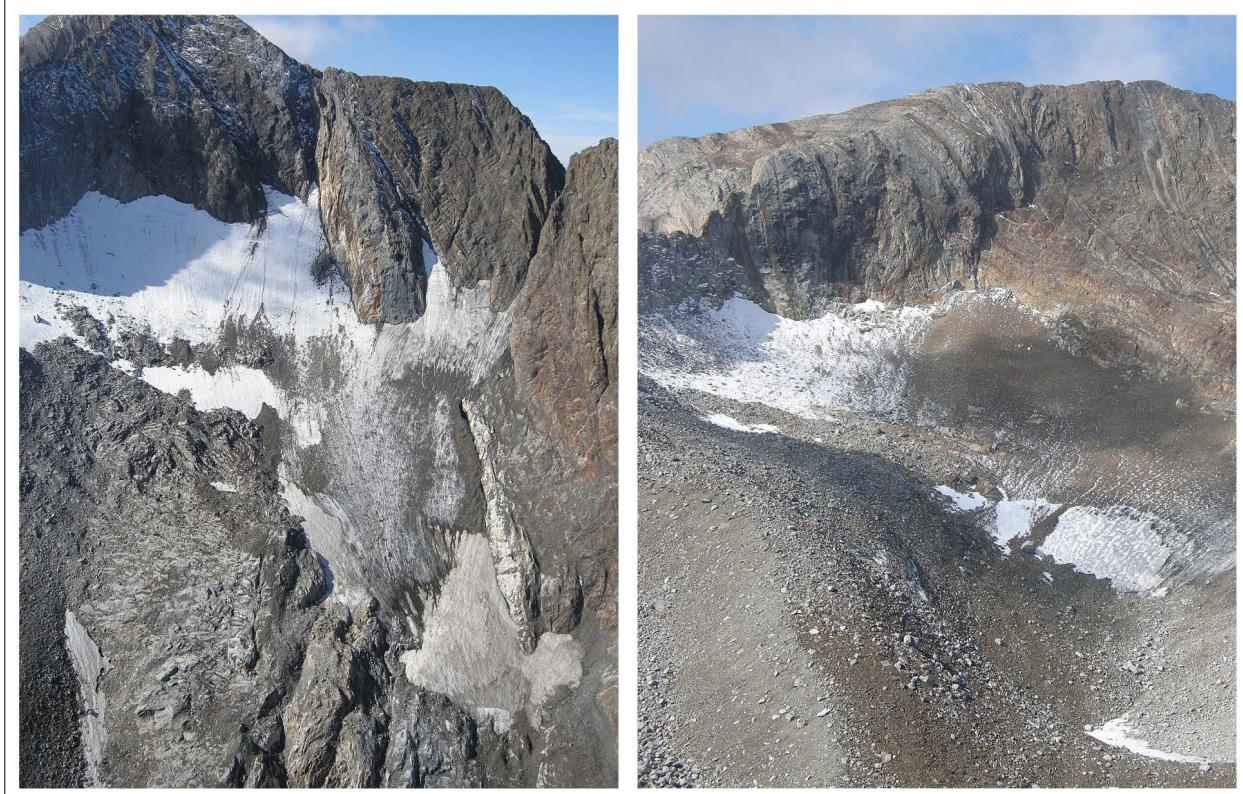


FIG. 4. Macizo de Posets, año 2011: glaciares de La Paúl (izquierda) y Posets (derecha).

este cuenco. También en Remuñe se alojaba todavía un helero residual. El macizo del Posets, orlado de círcos, presentaba en el sector de Llardana un glaciar residual; en La Paúl contenía todavía un glaciar, aunque biselado y, en el denominado de Posets, solo quedaba ya un helero residual (Fig. 4).

En los distintos aparatos del Macizo del Aneto se observaba lo siguiente: en el circo de Tempestades se mantenía un glaciar residual anichado en su fondo, con arco de hielo más amplio que el actual. En Barrancs se mantenía un glaciar residual, anichado y biselado. En Coronas solo quedaba un helero residual de fondo de circo. En el Aneto propiamente dicho había un glaciar único, todavía sin fragmentar, pero ya con tendencia marcada a su escisión en dos lóbulos entre los picos de Coronas y del Medio, con frente muy deteriorado en estado laminar y fragmentario. En el sector principal de La Maladeta, el glaciar se mostraba en retroceso y con su frente biselado, aunque conservando formas aún propiamente glaciares. En La Maladeta occidental, este fragmento

escindido podía considerarse, pese a su retroceso, como un cuerpo de glaciar residual (Fig. 5).

En cualquier caso, entendemos como unidad “glaciar” o “glaciar compuesto” todos aquellos fragmentos que están, por escisión reciente, en el mismo circo o en círcos colindantes pero unidos recientemente. Pero, en definitiva, como cuerpos de hielo independientes, sumaban 6 glaciares, 4 glaciares residuales y 12 heleros residuales.

V. ESTADO ACTUAL DE LOS GLACIARES

Como resultado de un recorrido completo de observación por los macizos glaciares españoles, realizado en el otoño de 2023, se constataron los siguientes datos:

El macizo del Balaitús (o Morós) en general aparecía totalmente carente de nieve. Los dos glaciares occidentales o de la vertiente de Arriel están extintos, cubiertos sus círcos por abundantes clastos. Los



FIG. 5. Macizo del Aneto, año 2011: en la parte superior, el glaciar del Aneto; en el centro, glaciares de Tempestades (izquierda) y de Barrancs (derecha); en la fila inferior, glaciares de Coronas (izquierda) y el cuerpo central de La Maladeta (derecha).

glaciares orientales o de la vertiente de la Esclusera se encuentran igualmente extintos, mostrando su antigua posición el lecho de roca viva y cubrimiento de clastos. Las morrenas de la PEH aparecen intactas (Fig. 6).

El helero de Punta Zarra también estaba extinto, aunque quedaban en su posición pequeñas placas de névé entre un recubrimiento generalizado de clastos. Del conjunto glaciar del Infierno (Quijada de Pondiellos), que constaba de tres aparatos colindan-

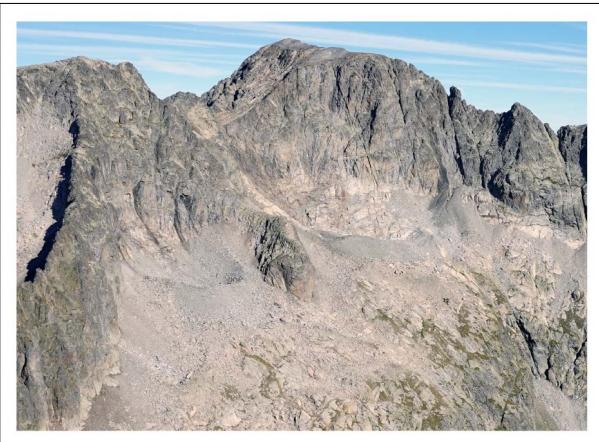


FIG. 6. Circos orientales del Balaitús, sin hielo, en 2023.

tes en su vertiente norte, solo permanecía el aparato central, pues el occidental y el oriental están extintos desde hace tiempo. El central aparecía anichado en el fondo alto de su circo, muy disminuido en superficie y presentando forma de placa de hielo biselada, adaptada a la fisura en umbría de esta ladera de la montaña, de modo que podía ser considerado como glaciar residual. En el sector español del Viñemal (Comachibosa, Viñamala o Vignemale), tanto el aparato del Clot de la Hount como los localizados en Tapou-Monferrat se encuentran extintos.

En el Monte Perdido (Tres Sorores tradicional, Tres Serols local), al haber desaparecido progresivamente desde hace decenios la parte inferior de su glaciar, alojado en la vertiente septentrional del pico, en el contacto con el Circo de Tucarroya (o de Marboré) y dentro del ámbito morréntico de la Pequeña Edad del Hielo, solo constan como elementos glaciares actuales el hielo suspendido en sus escalones rocosos, es decir, el antes intermedio y ahora inferior, y el superior. En realidad, se trata de un complejo glaciar compuesto, que formaba un solo cuerpo continuo y que se ha ido desagregando en elementos de disociación por retroceso del hielo y desaparición en su base. Se habla, pues, de un solo glaciar o aparato fragmentado en este sentido. El glaciar inferior actual está dividido a su vez en dos fragmentos: su sector oriental presenta aún cierto espesor y movilidad, con convexidad y agrietamiento, alimentación en altitud y tendencia a su ruptura, en las malas condiciones ambientales actuales, por

las grietas inferiores y el declive del lecho. Las grietas son principalmente de tracción y alguna de flujo. Ello conduce a pérdidas relativamente masivas del frente por caídas de hielo desde esos planos de fractura. Pese a ese estado, puede considerarse glaciar.

El sector occidental es de aspecto laminar, reducido notablemente de superficie, con concavidad en su forma y parcialmente cubierto por clastos. Este fragmento, en claro proceso de pérdida, es ahora un glaciar residual. Presenta al descubierto parte del antiguo lecho glaciar en roca viva, con significativa excavación de la repisa y su espaldar. Su interés es particularmente morfológico. El sector central rocoso es un ancho pasillo de roca viva, interpuesto ahora entre ambos fragmentos de hielo, que muestra el antiguo lecho, fuertemente escalonado según la estratificación. El glaciar superior hace tiempo que perdió el pedúnculo de hielo que le unía al inferior, de modo que ambos están desconectados. Reposa en su peldaño rocoso, colgado, como siempre, pero muy disminuido en tamaño, con forma laminar (no convexa como antaño) y presenta tendencia a dividirse en dos fragmentos. Otro antiguo glaciar de las Tres Sorores, próximo pero en la vertiente opuesta, en el Soum de Ramond, está totalmente extinto, como hemos señalado, desde hace tiempo.

En el macizo del Posets, el glaciar llamado de Posets está extinto. No queda rastro de hielo en su parte interna, dentro de su circo. La forma frontal del glaciar antiguo, en lóbulo de tipo rocoso desconectado, no parece mantener una dinámica inercial propia, por lo que puede considerarse una forma fósil. También hay en el macizo otro glaciar rocoso bien conocido en el circo de Los Gemelos que sí persiste en su carácter activo. El glaciar de La Paúl, que vierte hacia Estós, mostraba en 2023 un pequeño residuo laminar en su fondo de circo, bajo la pared de este, colgado en altitud que no pasa de ser un helero residual, al tiempo que los clastos de borde de circo se organizan en un nuevo aparato rocoso. El glaciar de Llardana, en la ladera occidental del pico, tradicionalmente cubierto en buena parte por clastos, era en nuestra última revisión un glaciar residual o incluso solo un helero. Tenía forma laminar, ubicado en la umbría y parcialmente recubierto de clastos, presentando biselado de sus



FIG. 7. Evolución de varios glaciares entre 2011 (izquierda) y 2023 (derecha): en la parte superior, Pico del Infierno, con sus tres circos convertidos en residuo glaciar; en el centro, el glaciar de Monte Perdido, ahora fragmentado; en la fila inferior, el glaciar de Llardana (Pico de Posets), que ha adquirido un aspecto más laminar.

estratos de hielo y puntos con salideros de clastos internos (Fig. 7).

En el macizo del Aneto, donde las observaciones han continuado en 2024, están extintos los antiguos glaciares de Salencas, Coronas, Llosás y Cregüeña, en la vertiente suroeste. En la nordeste quedan activos los glaciares tradicionales de Aneto, Maladeta,

Tempestades y Barrancs. En el circo de Tempestades se aloja, pegado a su pared de umbría, un glaciar residual de tamaño exiguo, anichado en el fondo del recuento. Posee grietas de tracción, clastos que lo cubren parcialmente y presenta una escisión. En el circo de Barrancs resiste solo un helero residual. Este aparato ha experimentado un fuerte retroceso,

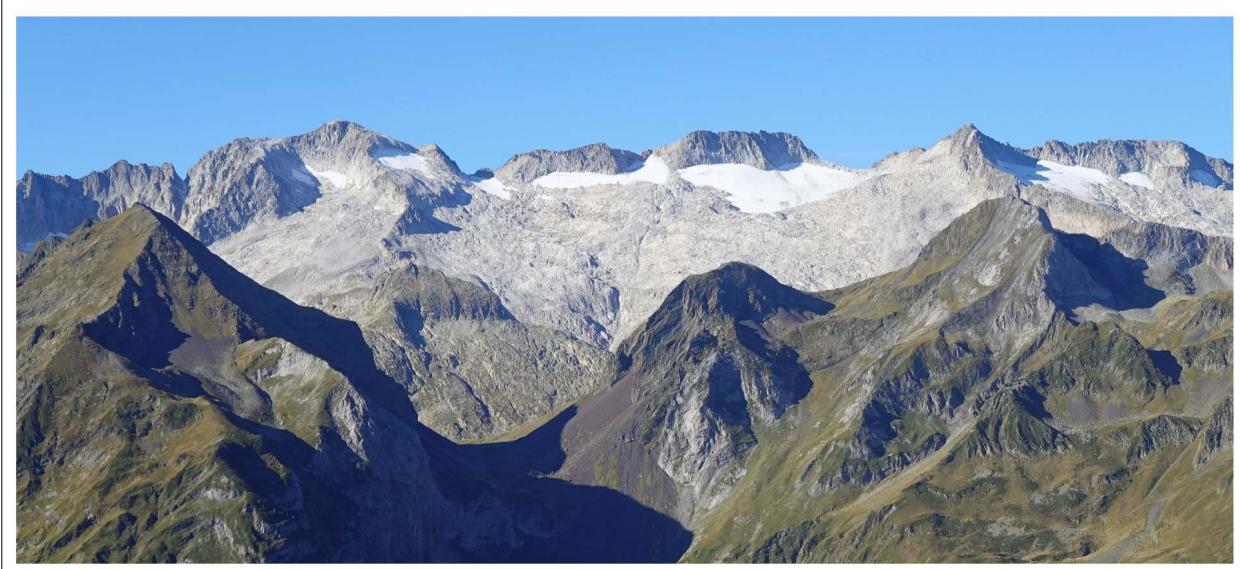


FIG. 8. Fragmentación del glaciar del Aneto en cuatro cuerpos de hielo en 2023.

pues llegó a tener una incipiente forma de lengua. Adosado ahora el escaso hielo persistente a la pared del circo, se muestra aquí lo que fue su lecho rocoso en rampa escalonada.

El glaciar del Aneto, propiamente dicho, ya no conforma un cuerpo único pues está dividido en cuatro fragmentos adosados a los relieves altos de su antiguo circo en forma de “van” o rampa abierta (Fig. 8). El fragmento inmediato a la cumbre es un helero residual de carácter laminar. El fragmento del Collado de Coronas es un helero laminar. El del Pico Coronas es igualmente un helero laminar adosado al pie de la pared del circo en forma de franja. El cuarto fragmento, del Pico del Medio, es el mejor conservado y puede considerarse glaciar residual. Retranqueado en el alto del circo, tiene forma laminar con un esbozo de lengua, grietas en su parte alta, biselado de sus estratos de hielo, salideros de clasitos internos y asomos incipientes de su lecho que indican su tendencia a una nueva fragmentación.

El glaciar de La Maladeta está muy disminuido en superficie y volumen, manifestando un proceso de retroceso acelerado (Fig. 9). Tiene forma de hoja acuminada y un frente bífido adaptado localmente a la fisuración del sustrato rocoso. Sus bordes son irregulares por adaptación también a la rugosidad del sustrato. Su superficie es laminar, con dos sectores,

el alto, adosado a la pared del circo, con grietas de tracción, y el bajo o lengua, biselado, parcialmente agrietado, con asomo lineal de rocas del lecho que indican tendencia a la fragmentación. Tiene huellas de escorrentía superficial y bloques rocosos sueltos esparcidos. Se le califica, no obstante, aún de glaciar con tendencia visible a glaciar residual. Hay además un helero residual a occidente, producido por una fragmentación anterior. En el circo colindante occidental quedan también pequeños residuos de helero debidos a procesos de fragmentación.

VI. EL GLACIAR DE LA MALADETA

En el macizo granítico del Aneto se encuentran diez circos glaciares, abiertos en las opuestas orientaciones de su amplia elipse domática. Seis de esos circos están orientados al nordeste, conservando tres de ellos en 2023 pequeños focos de hielo glaciar, aunque en claro retroceso. El más septentrional alberga el conocido como glaciar de La Maladeta (superficie: 134 488 m², cota máxima: 3193 m, cota mínima: 2963 m y cota media 3107 m), excavado bajo el pico del mismo nombre (3308 m de altitud). El lecho del circo desciende en la roca cristalina en forma de rampa, apreciándose bajo el frente glaciar



FIG. 9. Glaciar de La Maladeta en el macizo del Aneto: a la izquierda, cuerpo occidental escindido en 2011; a la derecha, el glaciar en 2023.

actual sus morrenas de la Pequeña Edad del Hielo. En 1991 el Programa ERHIN decidió llevar a cabo su seguimiento, que ha proseguido hasta la actualidad. Como resultado, tal periodo de obtención de datos refleja, en uno de sus más expresivos lugares, el proceso de deglaciación pirenaico de modo detallado (Cobos et al., 2024) (Fig. 10).

Sus descripciones se remontan a Ramond de Carbonnières, quien accedió al glaciar para su reconocimiento pionero en 1787, observándolo desde su pie. El pirineísta A. de Franqueville se refirió también a ese frente en 1842. Su llamativa rimaya fue constatada por A. Tonnellé en 1858 y por H. Russell en 1874. Fue también objeto de observaciones y medidas por E. Trutat entre 1873 y 1875, en 1894 por F. Schrader y en 1930 por Plandé. Su posición frente al Portillón de Benasque permitió que viajeros, dibujantes, pintores y fotógrafos dejaran sus testimonios del paisaje, de modo que, en conjunto, existen, desde aquellos momentos, suficientes imágenes del glaciar y su evolución desde finales de la PEH en el Pirineo (Martínez de Pisón, 2025).

En el Programa ERHIN se han llevado a cabo estudios con diferentes métodos glaciológicos convergentes. Para realizar los trabajos del balance de masa, en 1991 se instalaron en el glaciar de La Maladeta siete balizas de ablación, de modo que, desde 1992 se obtienen controles anuales de este aparato glaciar. El control topográfico de las balizas ha permitido seguir, además, el movimiento su-

perficial del hielo. Las medidas de acumulación se realizan con la ejecución de sondeos en la capa de nieve, con extracción continua de testigo y determinación de la densidad. La primera campaña geofísica (1992) representó el inicio de la determinación de espesores de hielo de forma precisa. La segunda campaña (1994) permitió el cartografiado del zócalo granítico que ocupaba la masa glaciar de La Maladeta mediante la técnica de *radio-echo sounding* (RES). En 2008 se diseñó una tercera campaña geofísica mediante georadar y registro continuo en forma de radargramas, tomando perfiles longitudinales y transversales de modo continuo. En 2017, el método de trabajo consistió en la toma de señales, también de forma continua, del georadar sobre la superficie del glaciar a lo largo de unos perfiles longitudinales y transversales.

Los estudios topográficos continuados desde 1994 permiten seguir la evolución en planta de la superficie y de la forma del glaciar. Desde que se emprendió el estudio sistemático del glaciar por el Programa ERHIN ha sido evidente su retroceso continuo, con un leve altibajo en 2007, poco significativo. Los trabajos topográficos muestran que, de 1994 a 2007, la superficie pasó de 42 ha a 29 ha, es decir, con ratio de pérdida de 1 ha/año. De 2009 a 2014 hubo un relativo mantenimiento, de 28 a 25 ha y ratio de pérdida de 0,6 ha/año. Entre 2015 y 2023 la pérdida se aceleró, pasando de 24 a 14 ha, con ratio de pérdida de 1,25 ha/año. Mientras en cotas

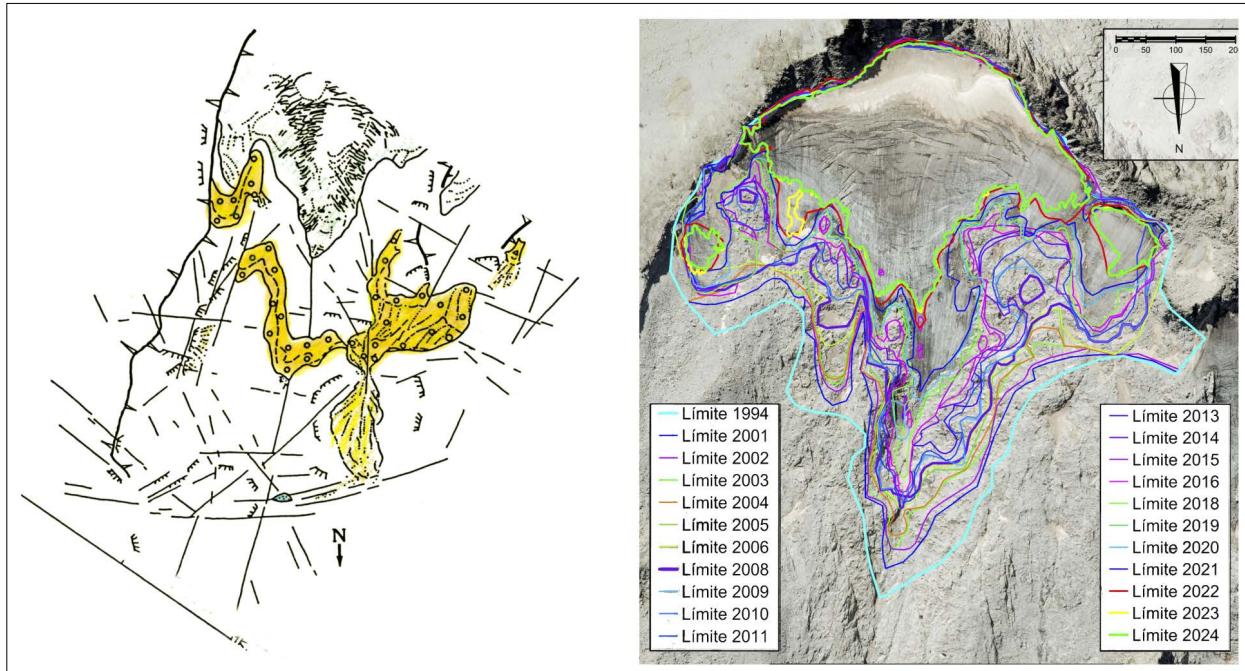


FIG. 10. Glaciar de La Maladeta: a la izquierda, esquema geomorfológico donde se observa la posición del frente glaciar en 1983 respecto a sus morrenas de la Pequeña Edad del Hielo; a la derecha, los diferentes límites del hielo entre 1994 y 2024 (ERHIN y CHE).

altas ha existido un lógico mantenimiento, aunque con pérdidas, en cotas medias el descenso ha sido más acusado y en cotas bajas se constata incluso la desaparición del hielo, en marcado retroceso desde 2002, de modo que en 1994 la terminación del hielo estaba en la franja de cota inferior de 2787,5 m, mientras en 2023 había ascendido a la de 2937,5 m.

Así también, desde 2021, las pérdidas en las cotas bajas siguen siendo muy fuertes, aún notables en cotas medias e incluso observables en las altas. La forma en planta mantiene una autosimilitud del contorno glaciar en la progresiva reducción del hielo, hecho que responde a la morfología del zócalo rocoso y, con ella, a los variados volúmenes de la masa glaciar. En una situación de pérdida constante en todo el periodo considerado (1991-2023), es visible una aceleración reciente de la pérdida de longitud entre 2019 y 2022. En la tónica general de lo observado, la pérdida de volumen es muy marcada, dadas las dimensiones pequeñas del glaciar. Esas pérdidas medias han sido fuertes en 2005-2006 y también desde 2018, con su máximo en 2022-2023. En concordancia con todo lo anterior, la evolución

de la línea de equilibrio muestra también una tendencia negativa, pues la ELA ha oscilado entre los 3000 m y por encima de la cota máxima del glaciar (3200 m), mostrando que el aparato está en grave desequilibrio.

Igualmente, las balizas han permitido determinar el movimiento superficial anual del hielo. La zona más rápida del glaciar presentaba en los primeros años un movimiento medio anual de aproximadamente 5 m. En los últimos años se venía observando la disminución del movimiento del glaciar y se comprobaba a simple vista al no haber tantas grietas como en los primeros años. Sin embargo, en los tres últimos años ha aparecido gran cantidad de grietas en la parte superior del glaciar, algunas de ellas de considerable anchura y profundidad y se comprueba a partir de los desplazamientos medidos en estas tres últimas campañas. Cabe señalar que una baliza, instalada en 1991 a 3162 m en la rimaya, tiene su posición actual a 3115 m y a una distancia horizontal de 99 m, lo que nos da un desplazamiento anual medio de 3 m. La dinámica general del hielo parte de un núcleo, localizado en su parte central eleva-

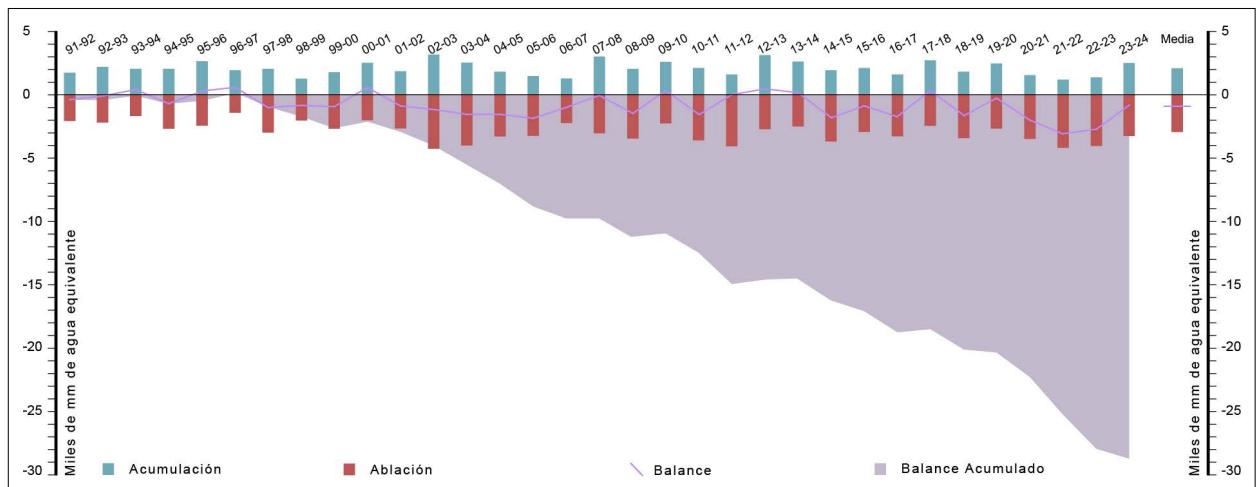


FIG. 11. Balance de masa del glaciar de La Maladeta, periodo 1992-2024 (ERHIN y CHE).

da, con desplazamientos entre 5 y 6 m, al que rodea una aureola que se alarga en la dirección del aparato, con movimiento entre 4 y 5 m hasta el inicio de la forma de lengua incipiente y las alas del área superior, donde esos desplazamientos se atenúan progresivamente. En cuanto al balance de masa, como antes se ha indicado, realizado desde el año 1992, viene constatándose la mayor importancia de la ablación frente a la acumulación, en relación lógica con la termometría y con el factor precipitaciones. Los datos de balance de masa disponibles indican una pérdida acumulada entre 1992 y 2024 de 28 000 mm de agua (Cobos et al., 2024), con una pérdida de hielo sobre el glaciar de 9 metros en los últimos tres años de esta serie (Fig. 11). Adicionalmente se han realizado modelizaciones numéricas de la evolución de la masa glaciar con el programa ASTER (Cobos et al., 2010, 2024; Cobos, 2004) que ha permitido cuantificar la tendencia negativa para la próxima década.

VII. CONCLUSIÓN

La comparación entre 2011 y 2023 de algunos de los glaciares mayores del pirineo español permite señalar que —sin contar los aparatos rocosos— en el glaciar del Infierno se apreciaba una pérdida de hielo en el flanco superior occidental, así como

adelgazamiento y laminación de la lengua. En el de Monte Perdido había pérdida de volumen y de superficie en el aparato superior, pero, sobre todo, una ausencia notable del hielo central en el inferior, asomando la roca del lecho en un ancho pasillo. En el macizo del Posets el glaciar de Llardana era el único que ofrece en 2023 un aspecto bastante similar al de 2011, aunque más laminar. En el del Aneto había una visible pérdida del hielo de los lóbulos y fragmentación del aparato, con permanencia del hielo solo en fondos altos del circo. El glaciar de La Maladeta presentaba una neta disyunción del hielo occidental, laminación general y acusado retroceso frontal.

En suma, solo quedaban dos aparatos que podían considerarse aún glaciares íntegros, aunque en proceso de pérdida visible. Eran, sin embargo, todavía glaciares, aunque en estado residual, otros seis aparatos. Así tendríamos 8 aparatos glaciares, en estado todos ellos de deterioro. A ellos se sumarían dos heleros y tres heleros residuales, es decir, 5 supervivencias de hielo que han perdido su carácter glaciar. En total, 13 manchas de hielo en claro retroceso con distintos grados de evolución en su retirada (8 glaciares y 5 heleros). Además, se contabilizan cuatro glaciares rocosos con débil o nula actividad (Argualas, Los Gemelos, La Paúl y Besiberri).

Como decíamos al inicio de este artículo, nos sumamos con este resumen al año internacional de

CUADRO I. *Hielos y glaciares activos en el Pirineo español (2024)*

Aparato	Estado	Clasificación
Infierro central	Anichado	Glaciar residual
Monte Perdido superior	Laminar	Glaciar residual
Monte Perdido inferior	Fragmentado	Dividido en 2 partes: oriental, glaciar, y occidental glaciar residual
Posets, La Paúl	Laminar	Helero residual
Posets, Llardana	Laminar	Glaciar residual
Aneto	Fragmentado	De cumbre: helero residual Collado Coronas: helero. Pico Coronas: helero Pico del Medio: glaciar residual
Barrancs	Laminar	Helero residual
Tempestades	Anichado	Glaciar residual
Maladeta	Retraído en su circo	Glaciar

dicado a los glaciares, aunque la propuesta de conservación en tal declaración sea hoy un imposible. En tal celebración, estimamos que el testimonio, legado por ERHIN, del proceso de retroceso y del camino hacia la extinción de los hielos surpirenáicos, por su constatación de formas geográficas que fueron efímeras y como muestra de un fenómeno físico generalizado, posee hoy un probado interés.

AGRADECIMIENTOS

Han sido numerosos los colaboradores científicos, montañeros y técnicos que participaron generosamente en las labores del INEGLA y del Programa ERHIN y siguen aportando sus cualidades en este último. Pese a nuestra voluntad de reconocimiento a todos ellos, no nos es posible citar aquí su amplia nómina. Queremos expresar, no obstante, cuánto es deudora la síntesis aquí comprimida de las aportaciones de estos compañeros en la montaña y en los centros de trabajo, de tantos amigos por los glaciares. Además, por su labor pionera y directiva durante años en los trabajos citados, es imprescindible agradecer las aportaciones, hoy en el recuerdo, de Miguel Arenillas, César Ferrer y Alfonso Pedrero, y, actualmente, de María Luisa Moreno. Del mismo modo, dejamos constancia del indispensable apoyo

dado a estas investigaciones por la Confederación Hidrográfica del Ebro y el Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, F. y Martínez de Pisón, E. (1983). Nota informativa acerca de los trabajos del Instituto Español de Glaciología. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 3, 287-289.
- Arenillas, M., Cantarino Martí, I., Martínez Costa, R., Martínez de Pisón, E., Pedrero, A. (1991). Los glaciares del Pirineo español. *Revista de Obras Públicas*, 138(3307), 9-19.
- Arenillas, M., Cantarino, I., Martínez, R., Martínez de Pisón, E. y Pedrero, A. (1992). I ghiacciai dei Pirenei Spagnoli. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 15(1-2), 21-30. <https://www.gfdq.glaciologia.it/index.php/GFDQ/article/view/722>
- Arenillas, M., Ferrer, C., Martínez de Pisón, E., Martínez, R., Navarro, J. y Yagüe, J. (2000). Surveillance générale des glaciers espagnols : leur état critique à la fin du XX^e siècle. *Société Hydrotechnique de France, Section de Glaciologie-Nivologie*, 1-4.
- Arenillas Parra, M., Cobos Campos, G., Ferrer Castillo, C., Navarro Caraballo, J. y Mora Alon-

- so-Muñoyerro, J. (2003). Evolución reciente de los aparatos glaciares del Pirineo español. *Ingeniería civil*, 131, 17-22.
- Arenillas Parra, M., Cobos Campos, G. y Navarro Caraballo, 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.
- Camena d'Almeida, P. (1969). *Les Pyrénées. Développement de la connaissance géographique de la chaîne*. Meridian.
- Carbonnières, R. de (1927). *Voyage dans les Pyrénées*. Lanchardet.
- Carbonnières, R. de (1978). *Voyages au Mont-Perdu*. Slatkine.
- Chueca, J., Julián, A. y López-Moreno, J. I. (2008). The retreat of the Pyrenean Glaciers (Spain) from the Little Ice Age: data consistency and spatial differences. *Terra Glacialis*, 11, 65-77.
- Cobos, G. (2004). *Cuantificación de las reservas hídricas en forma de nieve y previsión en tiempo real de los caudales fluyentes de la fusión. Aplicación al Pirineo español: cuenca alta del río Aragón* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València].
- Cobos, G., Francés, M. y Arenillas, M. (2010). The ERHIN Programme. Hydrological-Nival Modelling for the Management of Water Resources in the Ebro Basin. *La Houille Blanche*, 3, 58-64.
- Cobos, G. et al. (2024). *Determinación del balance anual de masa y movimiento del hielo en el glaciar de La Maladeta. Año hidrológico 2023-2024*. Confederación Hidrográfica del Ebro y Spesa.
- Cobos, G. y Collado, J. A. (2024). *Modelo hidrológico de simulación y previsión aplicado a cuencas donde el fenómeno nival es relevante. Manual de usuario*. http://www.spesa.es/paginas/basededatos/ASTER_Manual_Usuario.pdf
- Ferrer Castillo, J., Mora Alonso-Muñoyerro, J., Arenillas Parra, M. y Cobos Campos, G. (2004). Hydrological peculiarities of mountain basins. The case of the Spanish Pyrenees. En Morell, M., Todorovik, O., Dimitrov, D., Selenica, A. y Spirkovski, Z. (eds.), *International conference on water observation and information system for decision support (BALWOIS)* (pp. 71-72). República de Macedonia.
- García-Ruiz, J. M., Arnáez, J., Lasanta, T., Nadal-Romero, E. y López-Moreno, J. I. (2024). *Mountain Environments: Changes and Impacts*. Springer.
- Gaurier, L. (1921). *Études glaciaires dans les Pyrénées françaises et espagnoles de 1900 a 1909*. Garet-Haristoy.
- Gómez Ortiz, A. et al. (1981). Catàleg de les glaceres de la Península Ibèrica. *Muntanya*, 435-440 y 498-503.
- Izaguirre, E., Revuelto, J., Vidaller, I., Deschamps-Berger, C., Rojas-Heredia, F., Rico, I., Alonso-González, E., Gascoin, S., Serrano, E. y López-Moreno, J. I. (2024). Pyrenees glaciers are disappearing fast: state of the glaciers after the extreme mass losses in 2022 and 2023. *Regional Environmental Change*, 24, 172.
- Lampre, F. (1994). La línea de equilibrio glaciar y los suelos helados en el Macizo de La Maladeta (Pirineo aragonés): evolución desde la Pequeña Edad del Hielo y situación actual. En Martí, Bono, C. E. y García Ruiz, J. M. (eds.), *El glaciarismo surpirenaico: nuevas aportaciones* (pp. 125-142). Geoforma Ediciones.
- Lastrada, E., Cobos, G., Garzón-Roca, J. y Torrijo, F. J. (2021). Seasonal Variability of Snow Density in the Spanish Pyrenees. *Water*, 13(11), 1598. <https://doi.org/10.3390/w13111598>
- Lastrada, E., Garzón-Roca, J., Cobos, G. y Torrijo, F. J. (2021). A Decrease in the Regulatory Effect of Snow-Related Phenomena in Spanish Mountain Areas Due to Climate Change. *Water*, 13(11), 1550. <https://doi.org/10.3390/w13111550>
- López-Moreno, J. I., Revuelto, J., Rico, I., Chueca-Cía, J., Julián, A., Serreta, A., Serrano, E., Vicente-Serrano, S. M., Azorín-Molina, C., Alonso-González, E., & García-Ruiz, J. M. (2016). Thinning of the Monte Perdido Glacier in the Spanish Pyrenees since 1981. *The Cryosphere*, 10(2), 681-694. <https://doi.org/10.5194/tc-10-681-2016>
- López-Moreno, J. I. (2019). Ground-based remote-sensing techniques for diagnosis of the current state and recent evolution of the Monte Perdido Glacier, Spanish Pyrenees. *Journal of Glaciology*,

- logy, 65(249), 85-100. <https://doi.org/10.1017/jog.2018.96>
- Mallada, L. (1878). *Descripción física y geológica de la provincia de Huesca*. Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España.
- Martín Moreno, R. (2004). Comparación de dos glaciares: Longyearbreen (Spitsbergen) y Monte Perdido (Pirineos). Características y evolución desde la Pequeña Edad del Hielo. *Ería*, 63, 5-22. <https://reunido.uniovi.es/index.php/RCG/article/view/1471>
- Martínez, A. (2023). Monitorización de glaciares y glaciares rocosos pirenaicos: más de una década aplicando técnicas geomáticas en La Paúl y Maladeta [Tesis doctoral, Universidad de Valladolid]. Repositorio documental de la Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/62668>
- Martínez de Pisón, E. (1989). Morfología glaciar del valle de Benasque (Pirineo aragonés). *Ería*, 18, 51-64. <https://reunido.uniovi.es/index.php/RCG/article/view/1006>
- Martínez de Pisón, E. (2002). *El Alto Pirineo*. Biblioteca Aragonesa de Cultura.
- Martínez de Pisón, E. (2003). Comentario a una fotografía del glaciar de Monte Perdido del primer cuarto del siglo XX encontrada en los archivos de Peñalara. *Peñalara*, 506, 211-217.
- Martínez de Pisón, E. (2007). Los glaciares españoles. En Martínez de Pisón, E. y Álvaro, S. (eds.), *El libro de los hielos* (pp. 253-305). Desnivel.
- Martínez de Pisón, E. (2025). Imagen de La Maladeta. En Martínez de Pisón, E. y N. Ortega (coords.), *Paisaje y excursionismo* (pp. 47-82). Instituto del Paisaje de la Fundación Duques de Soria.
- Martínez de Pisón, E., Alonso, F. y Nicolás, P. (1983). *Los glaciares españoles actuales*. INEGLA.
- Martínez de Pisón, E. y Arenillas, M. (1988). Los glaciares actuales del Pirineo español. En *Programa ERHIN (1988): la nieve en el Pirineo español* (pp. 29-98). MOPU.
- Martínez de Pisón, E., Arenillas Parra, M. y Martínez Costa, R. (1992). El estado de los glaciares españoles en 1991. *Ería*, 28, 176-182. <https://reunido.uniovi.es/index.php/RCG/article/view/1117>
- Mora, J., Arenillas, M., Cobos, G., y Navarro, J. (2006). Evolution récente des glaciers des Pyrénées espagnoles. *La Houille Blanche*, 92(3), 65-70. La Houille Blanche. https://ecodes.org/images/que-hacemos/01.Cambio_Climatico/Adaptacion/Nieve/informes/Infierno_Houille_Blanche_2020.pdf
- Moreno, A., Bartolomé, M., López-Moreno, J. I., Pey, J., Corella, J. P., García-Orellana, J., Sancho, C., Leunda, M., Gil-Romera, G., González-Sampériz, P., Pérez-Mejías, C., Navarro, F., Otero-García, J., Lapazaran, J., Alonso-González, E., Cid, C., López-Martínez, J., Oliva-Urcia, B., Henrique Faria, S., Sierra, M. J., Millán, R., Querol, X., Alastuey, A. y García-Ruiz, J. M. (2021). The case of a southern European glacier which survived Roman and medieval warm periods but is disappearing under recent warming. *The Cryosphere*, 15, 1157-1172. <https://doi.org/10.5194/tc-15-1157-2021>
- Nicolás, P. (1981). Morfología del circo de Tuca-rroya. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 7, 51-80.
- Programa ERHIN (1992). *La nieve en las cordilleras españolas, años 1986/1987 - 1989/1990*. MOPT.
- Programa ERHIN (1992). *La nieve en las cordilleras españolas, año 1990/1991*. MOPT.
- Programa ERHIN (1994). *La nieve en las cordilleras españolas, año 1991/1992*. MOPT.
- Programa ERHIN (1995). *La nieve en las cordilleras españolas, año 1992/1993*. MOPTMA.
- Programa ERHIN (1997). *La nieve en las cordilleras españolas, año 1993/1994*. MMA.
- Programa ERHIN (1997). *La nieve en las cordilleras españolas, año 1994/1995*. MMA.
- Programa ERHIN (2025). Dirección General del Agua. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/ERHIN/>
- Rico Lozano, I. (2019). *Los glaciares de los Pirineos: Estudio glaciológico y dinámica actual en el contexto del cambio global* [Tesis doctoral, Universidad del País Vasco]. Archivo Digital Docencia e Investigación de la Universidad del País Vasco. <https://addi.ehu.es/handle/10810/33085>

- Schrader, F. (1936). *Pyrénées*. Toulouse, Privat.
- Serrano, E. (1998). *Geomorfología del Alto Gállego. Pirineo aragonés*. Institución Fernando el Católico.
- Serrano Cañadas, E., Agudo Garrido, C. y González Trueba, J. J. (2002). La deglaciación de la alta montaña. Morfología, evolución y fases morfogenéticas glaciares en el macizo de Posets (Pirineo Aragonés). *Cuaternario y Geomorfología*, 16(1-4), 111-126. <http://hdl.handle.net/10902/2681>
- Serrano Cañadas, E., Martínez de Pisón, E., Martínez, R., Cantarino, I. y Navarro, J. (1991). El glaciar noroccidental del Besiberri (Pirineo de Lérida). *Pirineos*, 137, 95-109. <https://doi.org/10.3989/pirineos.1991.v137.197>
- Serrat, D. (coord.) et al. (1980). Catálogo de los glaciares de la Península Ibérica. *Notas de Geografía Física*, 5, 35-55.
- Vidaller, I., Revuelto, J., Izaguirre, E., Rojas-Heredia, F., Alonso-González, E., Gascoin, S., René, P., Berthier, E., Rico, I., Moreno, A., Serrano, E., Serreta, A. y López-Moreno, J. I. (2021). Toward an ice-free mountain range: demise of Pyrenean glaciers during 2011-2020. *Geophysical Research Letters*, 48(18). <https://doi.org/10.1029/2021GL094339>
- Zemp, M., Frey, H., Gärtner-Roer, I., Nussbaumer, S. U., Hoelzle, M., Paul, F., Haeberli, W., Denzinger, F., Ahlström, A. P., Anderson, B., Bajracharya, S., Baroni, C., Braun, L. N., Cáceres, B. E., Casassa, G., Cobos, G., Dávila, L. R., Delgado Granados, H., Demuth, M. N., Espizua, L., Fischer, A., Fujita, K., Gadek, B., Ghazanfar, A., Hagen, J. O., Holmlund, P., Karimi, N., Li, Z., Pelto, M., Pitte, P., Popovnina, V. V., Portocarrero, C. A., Prinz, R. y Sangewar, C. V. (2015). Historically unprecedent global glacier declines in the early 21st century. *Journal of Glaciology*, 61(228), 745-762. <https://doi.org/10.3189/2015JoG15J017>