



datos sobre la nieve y los glaciares en las cordilleras españolas
el programa ERHIN (1984-2008)

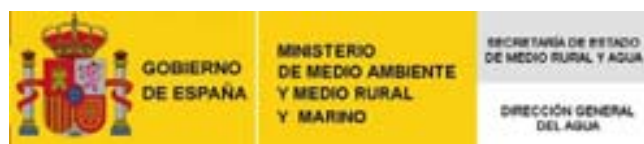
datos sobre la nieve y los glaciares
en las cordilleras españolas

el programa ERHIN (1984-2008)



DATOS SOBRE LA NIEVE Y LOS GLACIARES EN LAS CORDILLERAS ESPAÑOLAS

EL PROGRAMA ERHIN (1984-2008)



2008

DATOS SOBRE LA NIEVE Y LOS GLACIARES EN LAS CORDILLERAS ESPAÑOLAS
EL PROGRAMA ERHIN (1984-2008)

Coordinación y dirección:

Teodoro Estrela Monreal y Miguel Francés Mahamud

Textos y gráficos:

Miguel Arenillas Parra, Guillermo Cobos Campos y José Navarro Caraballo

Colaboradores:

José Agustín Collado Tramoyeres y Alfonso Pedrero Muñoz

Empresa consultora: INGENIERÍA 75, S.A.

Maquetación: Yolanda Muñoz Martín

I.S.B.N.: 978-84-8320-418-4

NIPO: 310-07-110-6

DATOS SOBRE LA NIEVE Y LOS GLACIARES EN LAS CORDILLERAS ESPAÑOLAS

EL PROGRAMA ERHIN (1984-2008)

AUTORES

MIGUEL ARENILLAS PARRA
GUILLERMO COBOS CAMPOS
JOSÉ NAVARRO CARABALLO

COORDINACIÓN

TEODORO ESTRELA MONREAL
MIGUEL FRANCÉS MAHAMUD



2008

ÍNDICE

PRESENTACIÓN _____	7
PRÓLOGO _____	9
EL PROGRAMA ERHIN _____	11
EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. EL MODELO ASTER ____	23
METODOLOGÍA _____	23
MODELO GEOESTADÍSTICO _____	25
EL MODELO ASTER _____	27
GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN _____	42
CALIBRACIÓN DEL SISTEMA _____	42
COMENTARIO FINAL _____	44
LA NIEVE EN LAS CORDILLERAS DE ESPAÑA _____	47
ÁREAS DE ESTUDIO Y DATOS DE PARTIDA _____	47
BALANCE DE 20 AÑOS DE INVESTIGACIÓN _____	54
LOS GLACIARES ESPAÑOLES EVOLUCIÓN RECIENTE Y SITUACIÓN ACTUAL _____	93
INTRODUCCIÓN _____	93
SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN _____	94
COMENTARIO FINAL _____	104
CARACTERIZACIÓN POR MACIZOS _____	106
OBSERVACIONES GLACIOLÓGICAS _____	169
INTRODUCCIÓN _____	169
DETERMINACIÓN DEL BALANCE ANUAL DE MASA Y MOVIMIENTO SUPERFICIAL DEL HIELO EN EL GLACIAR DE LA MALADETA _____	170
ESTUDIOS GEOFÍSICOS DESARROLLADOS EN GLACIARES BLANCOS Y ROCOSOS DEL PIRINEO ESPAÑOL _____	176
ESTUDIO DE LOS APARATOS GLACIARES MEDIANTE TELEDETECCIÓN ____	190
ANEXOS	
ANEXO I. RESUMEN DE ACTIVIDADES _____	203
ANEXO II. CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DE LOS DISTINTOS APARATOS GLACIARES DEL PIRINEO ESPAÑOL _____	231

PRESENTACIÓN

Desde hace décadas el ser humano comenzó una incesante lucha por conservar el medio ambiente, y dentro de este objetivo se encuadra sobre todo la protección, control y buen uso de las reservas hídricas que se encuentran en el planeta. Estas reservas no sólo se presentan en forma de agua en los ríos, mares o lagos, sino que también se pueden encontrar en forma de nieve y hielo en las cordilleras montañosas y en las zonas polares.

Posiblemente sea difícil encontrar una única causa del cambio climático en el que se encuentra inmerso el planeta Tierra, aunque muchos de estos motivos estén causados directa o indirectamente por el hombre. De ahí la decisión del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino de orientar los estudios y trabajos principalmente la conservación generacional de tales superficies y al aprovechamiento racional de las reservas de agua para su uso sostenible.

Debido a esta idea, se considera de gran interés el estudio de las superficies nevadas especialmente en los sistemas montañosos, ya que no sólo forman una reserva hídrica beneficiosa para el ecosistema de la zona, sino que además en época de fusión gran parte del agua almacenada en forma de nieve fluye hacia los ríos que a su vez son las arterias que abastecen de agua y dan vida a todo su entorno.

En esta misma línea, es de suma importancia el seguimiento y análisis de la evolución de los glaciares, que sin suponer una importante reserva de recursos hídricos en nuestro país, alcanzan una gran relevancia como elementos medioambientales singulares que nos brindan la oportunidad de conocer la historia geológica más reciente y son fieles indicadores de los cambios climatológicos que se están produciendo.

Debido a esta idea proteccionista de los recursos hídricos con la que el Ministerio está muy sensibilizado, en España se puso en marcha el programa ERHIN (Estudios de Recursos Hídricos Procedentes de la Innivación) hace ya más de 20 años.

PRESENTACIÓN

En la actualidad, desde la Dirección General del Agua se viene potenciando e impulsando una línea de trabajo, de la que es reflejo este libro, con el principal objetivo medioambiental de conocer, proteger y gestionar los recursos hídricos almacenados en forma de nieve y hielo glaciar.

Desde estas líneas quiero agradecer al Personal del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino y de las Confederaciones Hidrográficas, y a todos aquellos que de alguna forma han estado involucrados, ya que por su esfuerzo han hecho posible que conozcamos mejor la evolución de los recursos hídricos procedentes de la fusión nival y de los glaciares en nuestras cordilleras.

Marta Moren Abat
Directora General del Agua
Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino

PRÓLOGO

En la época actual, donde la sociedad demanda un desarrollo sostenible unido a un tratamiento respetuoso con el medio ambiente, en materia de agua es primordial conocer los recursos hídricos disponibles cualitativa y cuantitativamente.

Dentro del conjunto de los recursos hídricos se encuentran los derivados de la fusión nival. El control de estos recursos cada día cobra mayor importancia y se emplean cada vez más esfuerzos en aras de poder determinar la cuantificación del equivalente de agua en forma de nieve así como la aportación de agua a los ríos procedente de su fusión y también la previsión de estas dos variables. Hay que tener en cuenta que poder cuantificar dichos recursos no sólo es importante a la hora de la gestión ordinaria que cada uno de los Organismos de Cuenca realiza, también adquiere gran relevancia para poder gestionar los fenómenos hidrológicos extremos, tanto sequías como avenidas, con el fin de intentar paliar los daños que producen.

En el caso de los glaciares, el interés que despiertan en nuestras latitudes, más que en cuanto a la evaluación de los recursos hídricos que suponen -despreciables en el cómputo total- se debe a su significado medioambiental, tanto como elementos singulares en vías de extinción como a su importante valor como indicadores medioambientales.

La Dirección General del Agua y los Organismos de cuenca, en particular la Confederación Hidrográfica del Ebro, conscientes de la importancia de un mejor conocimiento de estos procesos en nuestro país y del valor que puede aportar a escala internacional para una adecuada comprensión global del fenómeno, inició el programa ERHIN (Evaluación de los Recursos Hídricos procedentes de la Innivación) que se ha venido potenciando y desarrollando desde 1984. A ello han contribuido los equipos de expertos coordinados por Alfonso Pedrero González, Jesús Yagüe Córdoba, César Ferrer Castillo, Justo Mora Alonso-Muñoyerro y en la actualidad Miguel Francés Mahamud. Con ello, este Programa ha podido alcanzar el objetivo principal de facilitar permanentemente a todos los usuarios interesados el estado, y predicción de

la evolución, de las diferentes componentes hidrológicas relacionadas con la precipitación en forma de nieve, así como la evolución de los glaciares de Pirineo español. En este objetivo tan amplio también se incluyen la actualización constante de las técnicas de control y de cálculo, con el fin de facilitar los trabajos de medición necesarios y mejorar en lo posible la fiabilidad de las predicciones.

De forma muy especial queremos recordar en esta Presentación a Alfonso Pedrero González, ingeniero durante muchos años de la, actualmente, Dirección General del Agua, quien desde sus comienzos impulsó el programa ERHIN y a cuyo entusiasmo y entrega se deben en gran medida sus logros actuales.

Por otra parte, los espacios donde se producen estos fenómenos contienen un gran valor paisajístico y en las dos áreas estudiadas, nivología y glaciología, generan unos indicadores ambientales fundamentales para evaluar y analizar el cambio climático. En el análisis efectuado dentro de esta publicación se pone de manifiesto esta tendencia, si bien hay que tener en cuenta que el periodo estudiado es corto y las consideraciones no son concluyentes.

Esta publicación supone un compendio de datos y de estudios efectuados con los que el lector podrá analizar su evolución sobre la nieve y los glaciares en las cordilleras españolas en un período de unos 150 años y con especial intensidad desde que se inició el programa ERHIN, en los años 80.

*Teodoro Estrela Monreal
Subdirector General de Planificación y Uso Sostenible del Agua
Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino*

EL PROGRAMA ERHIN

En 1981 la Dirección General de Obras Hidráulicas (DGOH), actual Dirección General del Agua (DGA), a través del Instituto Español de Glaciología (INEGLA), inició un estudio sobre los glaciares activos del Pirineo español con el fin de conocer la situación e importancia de los distintos glaciares existentes.

El estudio, que se desarrolló entre 1981 y 1983, permitió fijar con precisión la ubicación y dimensiones de los diferentes glaciares, que fueron caracterizados y cartografiados con un detalle suficientemente preciso para la época.

Al mismo tiempo se efectuaron una serie de medidas en los glaciares más extensos (Aneto, Maladeta y Monte Perdido) y se cubicaron los caudales líquidos derivados de ellos en periodos de estiaje.

Todos estos trabajos generaron una base sólida de conocimiento que ha servido al desarrollo del glaciario actual del Pirineo español, lo que finalmente ha conducido a la interpretación geomorfológica y glaciológica de los distintos glaciares. Además, estos primeros estudios también permitieron constatar la baja incidencia de las aguas derivadas de la fusión del hielo glaciar en el conjunto del sistema hídrico de la cuenca del Ebro y por ende en el resto de las cuencas. La comprobación de este hecho sirvió para dar toda su importancia a la influencia de la precipitación nival en los hidrogramas de los ríos españoles del Pirineo Central, circunstancia que, aunque era bien conocida previamente, no había sido hasta la fecha cuantificada con precisión suficiente.



Presa de Colomérs en el valle de Arán.

Paralelamente, el entonces Ministerio de de Obras Públicas y Urbanismo había iniciado en 1983 el estudio y desarrollo de la implantación del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) para conocer en tiempo real las variables hidrológicas e hidráulicas de las cuencas hidrográficas, necesarias para alcanzar dos importantes objetivos: la gestión de los recursos hídricos y la previsión de avenidas.

Al comenzar los estudios relativos a la cuenca del Ebro, y en función de los resultados de los trabajos sobre el glaciario pirenaico al que antes se ha hecho mención, el MOPU a través de la DGOH consideró necesario incluir un análisis de alta precisión sobre la influencia real de la precipitación nival que permitiese establecer unas previsiones adecuadas sobre los volúmenes y, a ser posible, su secuencia de presentación de las aguas originadas por las fusión nival, con objeto de optimizar el empleo de los embalses de cabecera de los ríos pirenaicos y conseguir la mejor regulación posible de sus sectores más altos.

Para abordar el estudio de las variables nivales, en otoño de 1984 la DGOH estableció un Convenio de Colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia, a través de su Cátedra de Geología aplicada a las Obras Públicas. Con motivo de estos primeros estudios la DGOH puso en marcha el Programa ERHIN contando, además, con la colaboración de la Confederación Hidrográfica del Ebro, las empresas hidroeléctricas con concesiones en el Pirineo (ENHER, FECSA, HECSA, EIASA, ERZ, IBERDUERO e HIDROELÉCTRICA DEL SEGRE), el entonces Instituto Nacional de Meteorología (INM) y ATUDEM, que con su infraestructura de estaciones de esquí fue de gran ayuda para los desplazamientos de los equipos de montañeros y esquiadores.



Trabajos de campo desarrollados durante la primera etapa de investigación. Año 1986.

Una vez establecidas las bases del estudio, se desarrollaron dos etapas de trabajo.

La primera se desarrolló entre otoño de 1984 y el verano de 1986 y se fijaron los siguientes objetivos:

- 1) Definir los criterios para implantar los puntos de control.
- 2) Iniciar la implantación de esas redes en unas cuencas piloto.
- 3) Realizar la primera toma de datos.
- 4) Obtener unas primeras conclusiones a través del trabajo realizado.



Primera etapa del Programa ERHIN

Los resultados de esta primera etapa sirvieron para comprobar la viabilidad del método y de ahí nació la colaboración con ASINEL, el INM y ATUDEM.



Instalación de primeras pértigas en el Pirineo

La segunda etapa consistió en completar la metodología desarrollada y comenzar la implantación del análisis fenomenológico y de la teledetección. Para ello se establecieron los siguientes objetivos de carácter general:

- 1) Concluir la implantación de las redes de puntos de control.
- 2) Continuar la toma de datos de campo.
- 3) Desarrollar de forma coordinada la investigación en el Pirineo hasta la definición de uno o varios modelos de aplicación general.
- 4) Integrar los resultados en el SAIH.
- 5) Deducir consecuencias prácticas para ampliar la investigación a otras cordilleras españolas.



Actividades principales durante la segunda etapa del Programa ERHIN

Todas estas ideas iniciales de las cuales partió el programa ERHIN generaron un conjunto de actividades que dieron lugar a una tercera etapa, la actual, y en la que la Dirección General del Agua es la encargada de gestionar y dirigir todos los trabajos incluidos en este ámbito.

El programa ERHIN desarrolla las siguientes actividades a grandes rasgos:

- 1) Organización y gestión de la información.
- 2) Estructuración de la red de control.
- 3) Desarrollo y aplicación de técnicas de teledetección.
- 4) Mediciones nivales y aplicación de modelos hidrológicos.
- 5) Control y estudio de los glaciares.



Actividades principales durante la segunda etapa del Programa ERHIN



Primeras mediciones invernales realizadas en el Pirineo

Esta última etapa ha significado la continuación de los estudios elaborados en las precedentes, pero sobre todo se ha orientado a reflejar los posibles cambios que se pueden producir en las condiciones nivales de nuestro país con el paso de los años, a la elaboración de un registro anual sobre el estado de la nieve en las cordilleras españolas y a la generación de

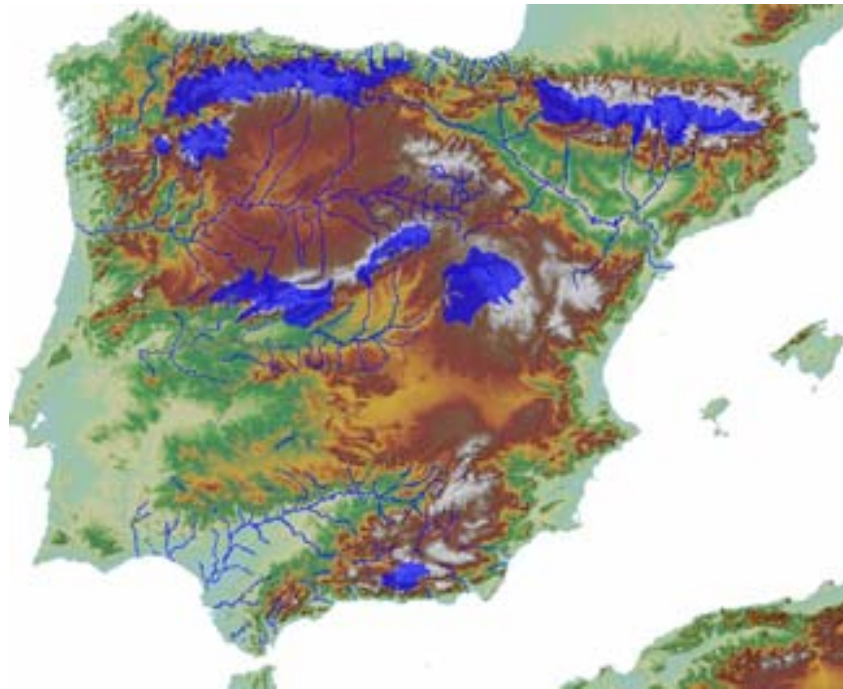
información en tiempo casi-real de la evolución de la cubierta nival y los caudales fluyentes procedentes de su fusión para conseguir una gestión óptima de los recursos disponibles. Ello conllevó la implantación progresiva de la red de medición nival compuesta por pértigas y a la que se están incorporando progresivamente telenivómetros.

Sistema	Administración hidráulica	Área nival controlada (km ²)	Total área nival controlada por sistema (km ²)
CANTÁBRICO	CH Duero	5.030,4	15.703,5
	CH Ebro	681,5	
	CH Norte	9.991,6	
PIRINEO	CH Ebro	10.559,7	10.990,2
	Agencia Catalana del Agua (ACA)	430,5	
SIERRA NEVADA	CH Guadalquivir	428,7	1.660,0
	Cuenca Mediterránea Andaluza (CMA)	1.231,3	
SISTEMA CENTRAL	CH DUERO	1.851,7	16.791,3
	CH TAJO	14.939,6	
TOTAL		45.144,9	45.144,9

Área nival controlada en los diferentes sistemas

Sistema	Administración hidráulica	Pértigas		Telenivómetros		Observaciones
		Nº	Año Implant.	Nº	Año implant.	
CANTÁBRICO	CH Duero	55	1989-1990			16 propuesta instalación telenivómetros
	CH Norte	66	1989-1990			17 propuesta instalación telenivómetros
	CH Ebro	6	1989-1990	1	2007	
PIRINEO	CH Ebro	110	1986-1987	8	2007	3 propuesta instalación telenivómetros (2008)
	Agencia Catalana del Agua (ACA)	3	1986-1987	-	-	
SIERRA NEVADA	CH Guadalquivir	11	1990	-	-	1 propuesta instalación telenivómetro
	Cuenca Mediterránea Andaluza (CMA)	13	1990	-	-	
SISTEMA CENTRAL	CH Duero	-	-	-	-	8 prop. instal. pértigas 2 prop. instal. telenivóm.
	CH Tajo	-	-	4	2000	31 propuesta instalación pértigas
TOTAL		264		13		

Red de pértigas y telenivómetros en los diferentes Sistemas



Área del territorio español (en azul) donde se estudian los recursos hídricos procedentes de la acumulación nival. Programa ERHIN



Telenivómetros en la subcuenca del Ribagorzana (Ebro) y Lozoya (Tajo)

Definida e implantada la red de medición, especialmente a partir del año 1998, los trabajos se centraron en la realización de mediciones en todas las cordilleras, en la medición y seguimiento de los glaciares del Pirineo español, en el desarrollo y posterior aplicación de un modelo hidrológico, el denominado modelo ASTER, que tratase de forma adecuada el fenómeno de la

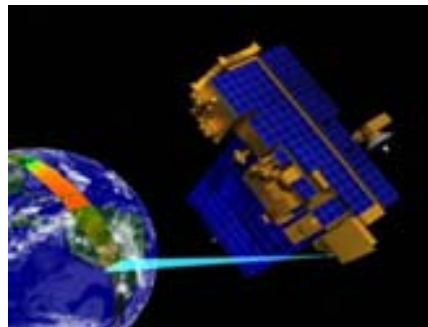
innivación como un elemento más del ciclo hidrológico y en la aplicación de diversas técnicas de teledetección, a partir de imágenes de satélites Aqua-Terra y NOAA, para complementar los resultados obtenidos con las mediciones y el modelo ASTER.



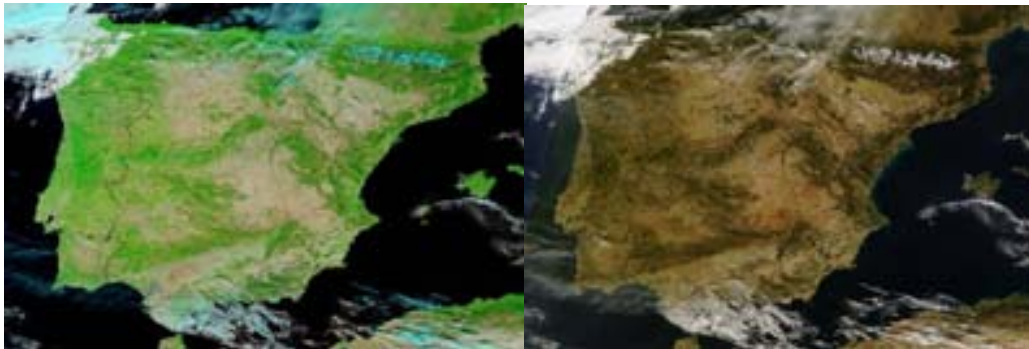
Campaña de medición de pértigas en el Pirineo en el mes de abril de 2007



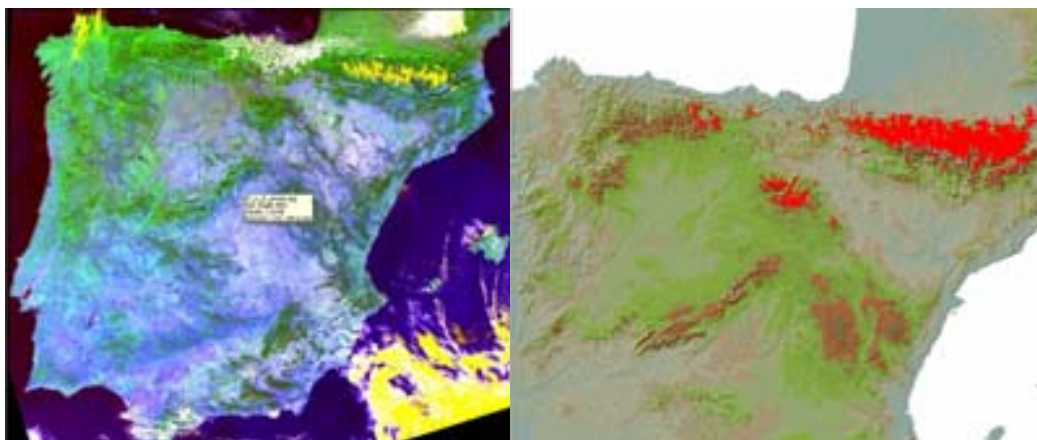
Campaña de medición de campo en las zonas de Pisuerga (Duero) y Ara (Pirineo) durante el año 2005



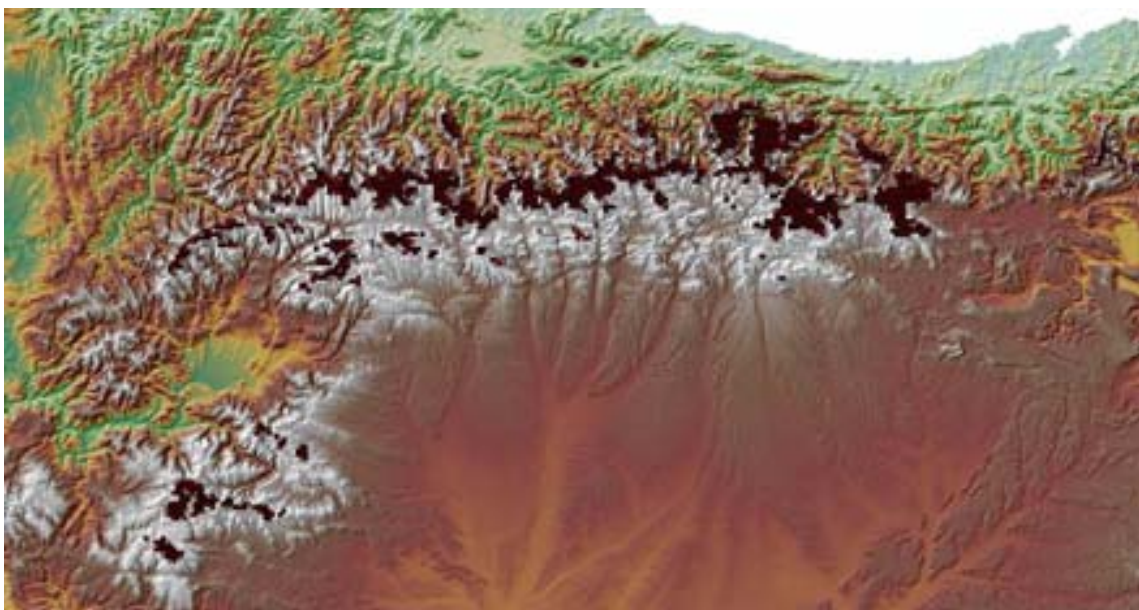
Izquierda: Red de satélites NOAA. Derecha: Satélites Aqua-Terra



Izquierda: Imagen multiespectral del satélite Aqua para el día 18-11-2007. Derecha: Imagen dentro del espectro visible para ese mismo día



Izquierda: Imagen NOAA del día 1-11-2007. Derecha: Detalle de la información nival (en rojo) obtenida para el Pirineo para ese mismo día una vez tratada la imagen



Cobertura SIG correspondiente a la distribución de nieve en la Cordillera Cantábrica para el día 28-11-2007. En escala rojo-negro se representa la cobertura nival

En lo que respecta a los glaciares, durante todo este período se han desarrollado numerosos trabajos encaminados a la definición y caracterización de los aparatos glaciares, así como al estudio de su evolución.

Se han realizado numerosas visitas de campo con toma de imágenes panorámicas, se han aplicado técnicas de teledetección de alta resolución para la delimitación de las superficies y, en el caso de los glaciares de mayor entidad, el seguimiento ha sido mucho más exhaustivo, aplicándose técnicas geofísicas, que han permitido definir el contacto entre la masa de hielo y el sustrato rocoso, y metodologías específicas para cuantificar el balance de masa y su evolución a lo largo de los años.

Simultáneamente a estos trabajos, se han realizado numerosas publicaciones con el objeto de reflejar las evoluciones alcanzadas en el conocimiento del fenómeno nival y publicar los resultados obtenidos.



Portada libro “La nieve en el Pirineo español”

En 1988 el entonces Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU) publicó un primer libro, titulado “**La nieve en el Pirineo Español**”, que incluía el desarrollo de los trabajos iniciales y las primeras conclusiones de las investigaciones. Desde aquella fecha se procedió a la publicación sistemática de los anuarios nivales, bajo la denominación “**La nieve en las cordilleras españolas**”.



Portadas de los anuarios desde el año 1989 hasta el 2005

EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. EL MODELO ASTER

Las condiciones meteorológicas de las áreas montañosas españolas, así como sus características geográficas y geomorfológicas, hacen que el fenómeno nival se presente con cierta importancia durante períodos muy concretos del año hidrológico (entre diciembre y mayo), con una gran variabilidad espacio-temporal, según las zonas.

La incorporación a la red fluvial de estos recursos hídricos se produce de dos modos fundamentales:

- ≡ En determinadas cuencas la precipitación nival alcanza valores significativos durante el invierno, que conducen a espesores de nieve persistentes y a la fusión de esta nieve en primavera, que se va incorporando paulatinamente a los embalses a modo de escorrentía (situación ordinaria de regulación). Es la situación propia de casi todas las áreas montañosas españolas y la característica más significativa del Pirineo y Sierra Nevada.
- ≡ En algunos casos (situaciones climatológicas muy concretas con aumento rápido de la temperatura, combinado con lluvias), puede producirse una fusión importante de la nieve en períodos cortos de tiempo, dando lugar a elevados caudales en los cauces fluviales (avenidas).

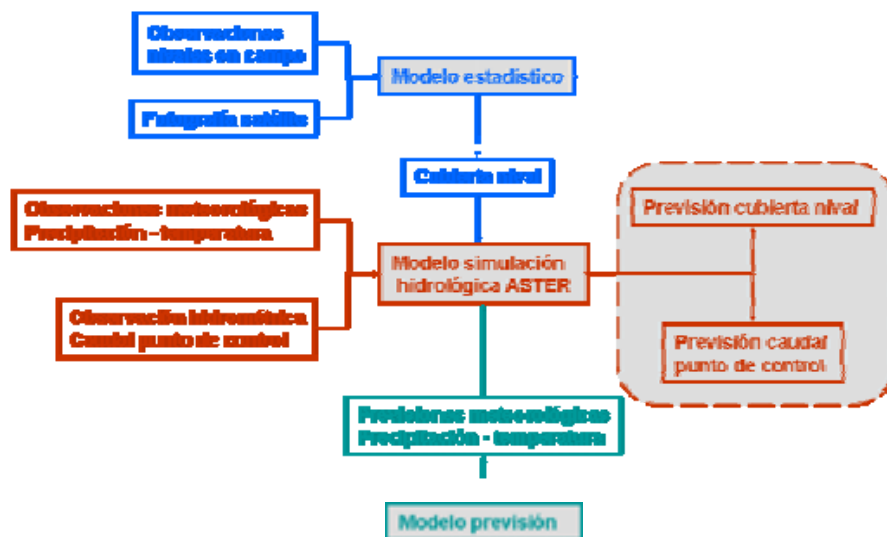
Estas circunstancias han motivado el desarrollo de una metodología específica para la evaluación de este fenómeno en los dos escenarios señalados y cuyo resultado final ha sido el modelo ASTER.

METODOLOGÍA

La metodología desarrollada ha conducido a un modelo único de gestión del sistema que tiene como objetivo principal la compatibilización de los datos nivales obtenidos del análisis de las mediciones directas y la imagen

satélite con los resultados nivales calculados por un modelo hidrológico de simulación a partir de datos meteorológicos. Además se ha desarrollado un procedimiento de cálculo (aplicable en tiempo real) que, partiendo de unas previsiones meteorológicas, proporciona los resultados más probables de la evolución del manto nival y de las aportaciones provenientes de su fusión. Como es lógico, estos resultados son los que facilitan la gestión de los embalses, tanto en situación ordinaria, como en circunstancias extraordinarias.

En esencia, esta metodología se basa en dos modelos conceptuales diferentes. El primero es el modelo de simulación hidrológica (precipitación-escorrentía) y el segundo un modelo geoestadístico que permite la cuantificación del manto nival para una fecha en la que se disponen de observaciones nivales (mediciones de campo e imagen satélite). Estos dos modelos están sustentados sobre un mismo soporte de trabajo dando lugar al modelo conjunto.



Esquema detallado de la metodología aplicada para la cuantificación de los recursos hídricos procedentes de la innivación

Para la simulación hidrológica se ha seleccionado el modelo distribuido de simulación continua denominado ASTER, desarrollado específicamente para su aplicación en cuencas con relieves abruptos, y con cambios meteorológicos muy marcados en el tiempo y en el espacio. Como principales ventajas del modelo debe destacarse la posibilidad de poder seleccionar las resoluciones espaciales y temporales para la simulación en función de las necesidades del usuario, el tratamiento desagregado que hace de las variables precipitación y temperatura y el análisis específico del fenómeno nival.

El modelo geoestadístico desarrollado para el tratamiento de la información nival se soporta sobre un Sistema de Información Geográfica (SIG) y permite realizar un tratamiento de la información puntual (pértigas y telenivómetros) y areal (imagen satélite) mediante la aplicación de la siguiente expresión:

$$CEA_i = F(x, y, f(\text{cota}), T, t)$$

Donde:

- ≡ CEA_i - Columna equivalente de agua para un punto $i(x, y, z)$ de la cuenca estudiada
- ≡ F - Función de interpolación seleccionada
- ≡ $f(\text{cota})$ - Ley de innivación que tiene en cuenta de forma determinista la variabilidad del volumen de agua en forma de nieve con respecto a la cota
- ≡ T - Procedencia del dato
- ≡ t - Instante temporal

Diseñado este modelo conjunto, la simple inclusión de una hipótesis meteorológica (precipitación y temperatura), permite realizar previsiones de la evolución de la cubierta nival y los caudales circulantes por el punto de control.

MODELO GEOESTADÍSTICO

Esta metodología permite determinar el volumen de agua equivalente en forma de nieve para una cuenca y un instante dado a partir de la información nival proporcionada por medidas puntuales de espesor y densidad (pértigas y telenivómetros) y medidas areales (teledetección).

Para cada unidad elemental de la retícula del modelo distribuido que representa hidrológicamente la cuenca el volumen de agua equivalente se puede calcular como:

$$VAFN_i = CEA_i * S_i$$

Donde:

$VAFN_i$ - Volumen de agua en forma de nieve para la celda i

CEA_i - Columna equivalente de agua en forma de nieve para la celda i

S_i - Superficie de la celda i .

Pudiendo obtener el volumen de agua en forma de nieve almacenado en la totalidad de la cuenca como un simple sumatorio.

$$VAFN = \sum_{i=1}^n VAFN_i$$

Donde:

$VAFN$ - Volumen de agua en forma de nieve para la cuenca

n - número de elementos en que se ha discretizado la cuenca

Este planteamiento implica asumir un valor medio de columna equivalente de agua en cada retícula, el cual se aplica a la totalidad de la superficie de la misma para obtener el volumen de agua almacenado en forma de nieve.

● Delimitación del área innivada a partir de imagen satélite

Partiendo de la imagen satélite y realizado el correspondiente análisis se obtiene una matriz, en la que para cada retícula elemental del mallado en el que se ha distribuido la cuenca, se calcula el porcentaje de superficie innivada.

Lógicamente, el porcentaje de superficie cubierta por la nieve comienza siendo relativamente bajo en los límites del área innivada, aumentando rápidamente con la cota.

Esto permite definir el límite entre la superficie cubierta de nieve y aquella que no lo está, así como obtener la cota media de comienzo de nieve para la cuenca.

● Ajuste de la ley de innivación

Delimitada superficialmente la cubierta nival, previo al cálculo de su cuantificación espacial se estudia su desarrollo altitudinal.

En este momento se debe adoptar la ley de innivación que mejor se ajusta a la distribución para la fecha en que se ha realizado la medición de campo. La ley adoptada dependerá principalmente del número de datos observados (cuanto menor sea este número deberá asumirse una ley con menor número de parámetros a ajustar), así como de las condiciones geomorfológicas y las climatológicas de la cuenca.

El ajuste de esta ley de innivación debe efectuarse a partir de las observaciones puntuales para las pértigas obtenidas en la campaña de campo (valores de columna equivalente de agua) y de la distribución espacial de cotas de inicio de nieve proporcionadas por la fotografía satélite.

● Cálculo de la columna de agua equivalente para cada punto de la superficie innivada

Definida el área innivada y determinada la ley de innivación, se realiza el cálculo de la CEA para cada uno de los elementos que componen la retícula en que se ha discretizado la cuenca. El procedimiento adoptado implica la necesidad de utilizar el SIG como sistema de soporte para los cálculos.

EL MODELO ASTER

Tiene su origen en el programa ERHIN y parte de la idea de desarrollar un modelo hidrológico de simulación continua que trate de forma específica el fenómeno nival, se adapte a las características de los sistemas montañosos españoles y fuera aplicable a la gestión de los embalses emplazados en las cuencas de cabecera.

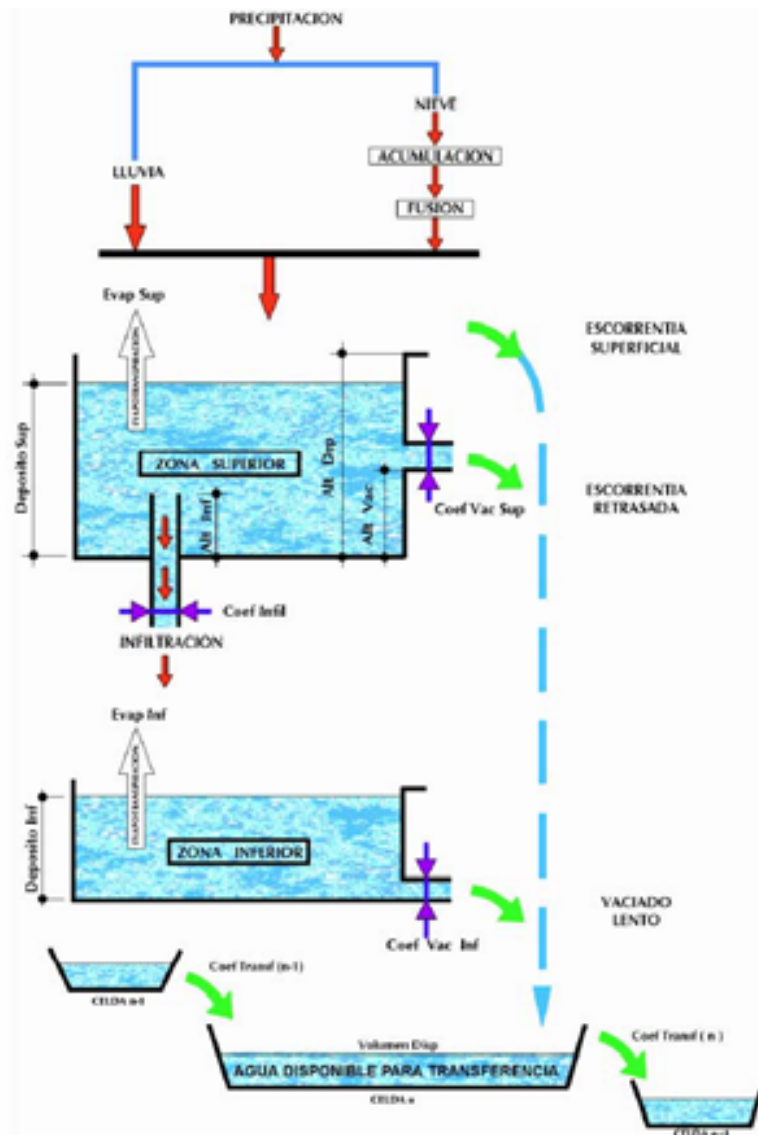
Del análisis de los modelos hidrológicos existentes con tratamiento específico del fenómeno nival, se escogió la metodología planteada en el modelo SNOW-17 del National Weather Service, que se incluye dentro del modelo NWSRFS.



Esquema detallado de la estructura del modelo ASTER

Esta metodología se implementó sobre un modelo distribuido, en el que se permite la discretización del área de estudio, para su adaptación a la orografía existente en la Península, así como para permitir la simulación de las características climáticas. Finalmente se denominó ASTER al modelo hidrológico resultante.

Para la modelación del flujo de agua líquida en el terreno se plantea un balance hidrológico típico en cada una de las celdas del modelo distribuido, aplicando posteriormente la condición de continuidad entre celdas contiguas según la dirección de flujo y considerando la laminación.



Principales variables hidrológicas del modelo ASTER

Cualitativamente, se simula el comportamiento precipitación-escorrentía a partir de un sistema distribuido (unidades de terreno con propiedades fisiográficas homogéneas) donde cada elemento se representa mediante un sistema multidepósito (tres depósitos conectados) que permite simular el flujo del agua.

Desde sus inicios se han ido incorporando nuevos módulos al programa original, con el objetivo de mejorar su calidad y aplicabilidad, y permitir la incorporación de información nivométrica con diversos orígenes. Concretamente, la generación del modelo distribuido está soportada en un entorno SIG (Sistema de Información Geográfica) que permite el tratamiento georreferenciado de la información fisiográfica disponible.

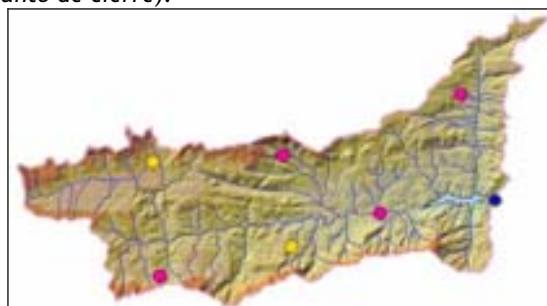


Generación del modelo distribuido a partir del MDT con el modelo ASTER. Cuenca del río Ara

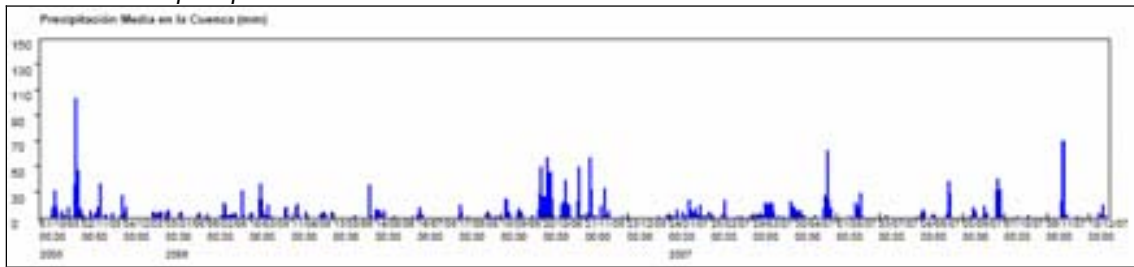
El modelo es aplicado tanto en escenarios de simulación, donde son conocidas, al menos, las variables temperatura y precipitación hasta el instante de cálculo, y en situación de previsión, donde incorporando un escenario meteorológico probable, se puede cuantificar la evolución futura probable de los caudales fluyentes y la nieve acumulada en la cuenca. Estas posibilidades hacen que el modelo sea clave para la gestión óptima de los recursos hídricos, tanto en avenida como en situación ordinaria.

Para el primer caso, en escenarios de simulación, se presentan a modo de ejemplo los resultados obtenidos de la simulación ($\Delta t = 1$ día) para el período 10/2005 - 12/2007 con el Modelo Aster de la cuenca del río Alberche vertiente al embalse de El Burguillo (cuenca hidrográfica del Tajo). La cuenca tiene una superficie de 1.053 km² y una cota media de 1.350 m.

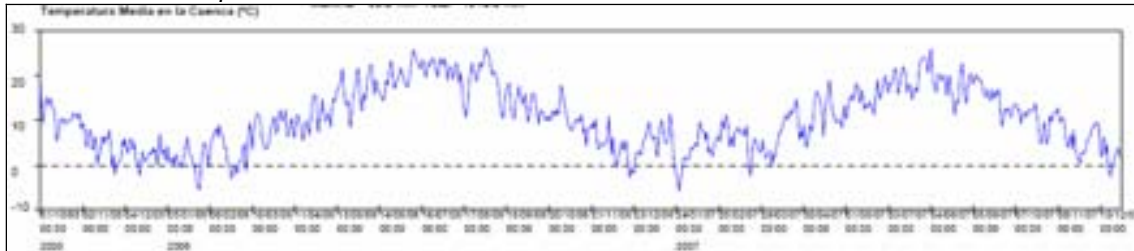
Estaciones meteorológicas utilizadas (amarillas y fucsias) y estación de aforos (color azul) en el embalse de El Burguillo (punto de cierre).



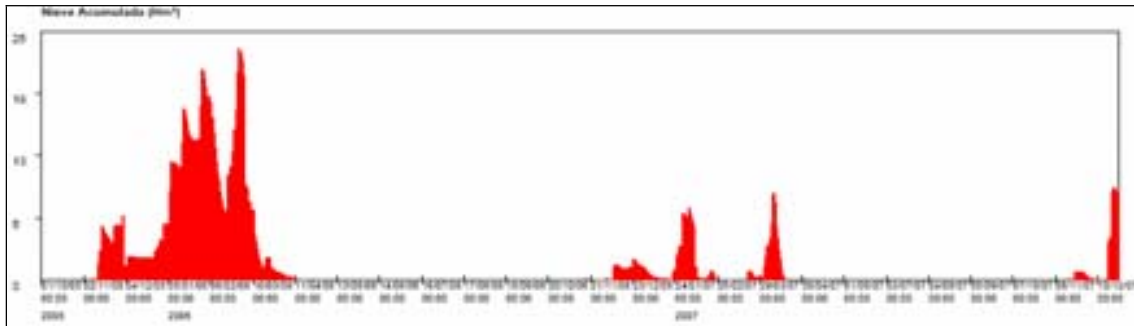
Evolución de la precipitación media en la cuenca



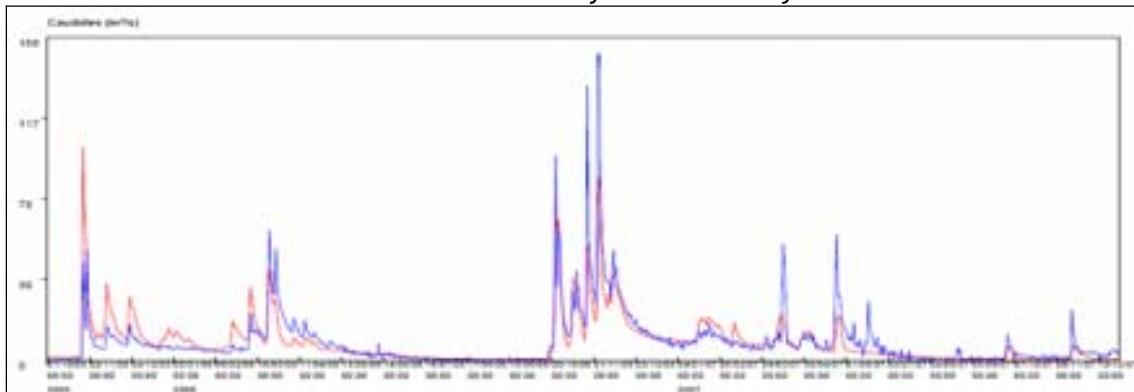
Evolución de la temperatura media en la cuenca



Evolución de las reservas nivales acumuladas en la cuenca en hm³.



Evolución de los caudales en m³/s observados en azul y calculados en rojo

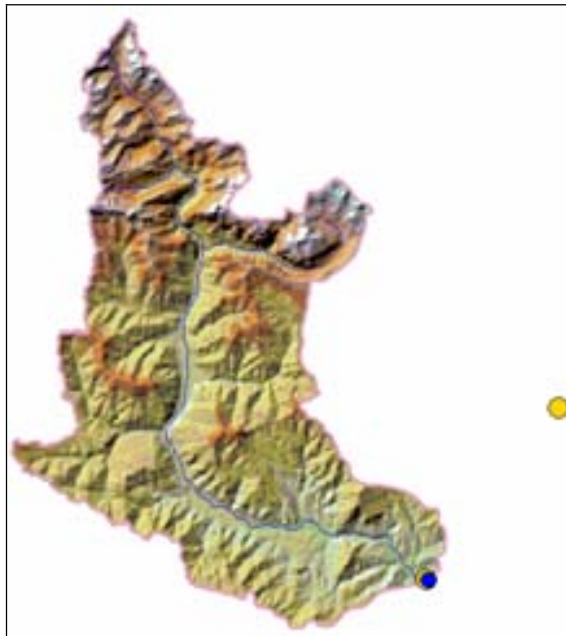


Resultados obtenidos de la simulación de la cuenca del río Alberche vertiente al embalse de El Burguillo con el modelo ASTER.

Para el segundo supuesto, se muestran los resultados de la aplicación del modelo en el modo previsión para la cuenca del río Ara (Pirineo) hasta la estación de aforos ubicada en Boltaña. La cuenca tiene una superficie de 595 km² y una cota media de 1.470 m. El objetivo es la cuantificación de la evolución probable de las variables hidrológicas más significativas, entre las que se encuentran la precipitación estimada en la cuenca, temperatura media, nieve precipitada en la cuenca, aumento o disminución de las reservas hídricas en forma de nieve acumulada y los caudales circulantes en el punto de cierre.

La previsión se presenta bajo la forma de dos colecciones de resultados, una denominada previsión “*más probable*” en la que se considera como hipótesis de precipitación y temperatura aquella con mayor probabilidad de ocurrencia, y otra denominada “*más desfavorable*” en la que se adopta como valores para la temperatura y la precipitación aquella combinación que ocasionará los mayores caudales (con posibles daños por inundación) en la cuenca dentro de los escenarios probables.

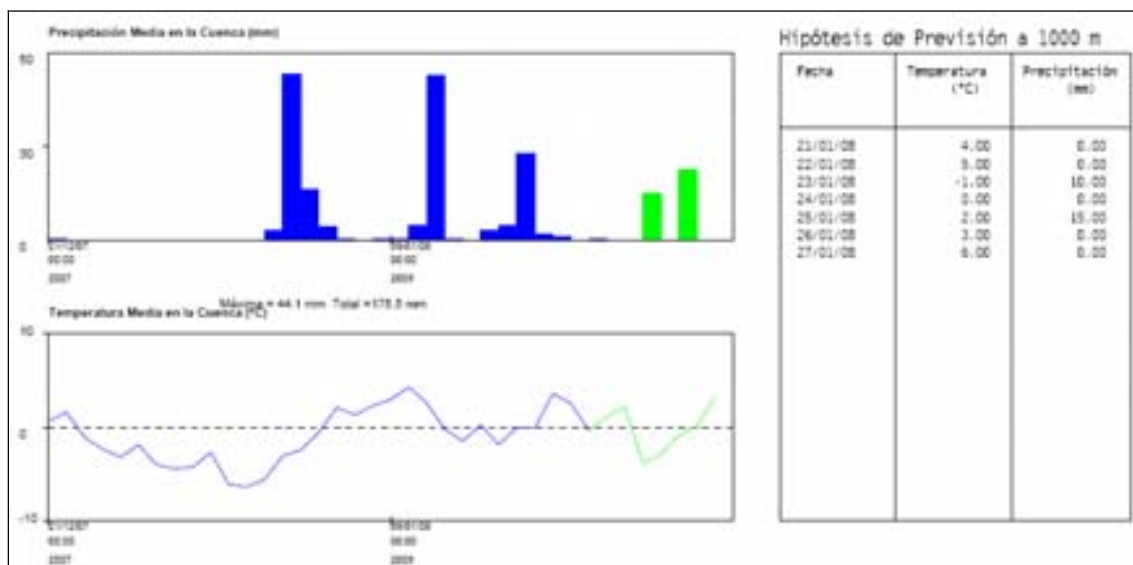
En ambos casos se han utilizado datos con resolución temporal diaria y un periodo de previsión de 7 días posteriores al último dato observado. En la figura se recogen las estaciones meteorológicas utilizadas (amarillo) y la estación de aforos (azul) de la población de Boltaña (punto de cierre).



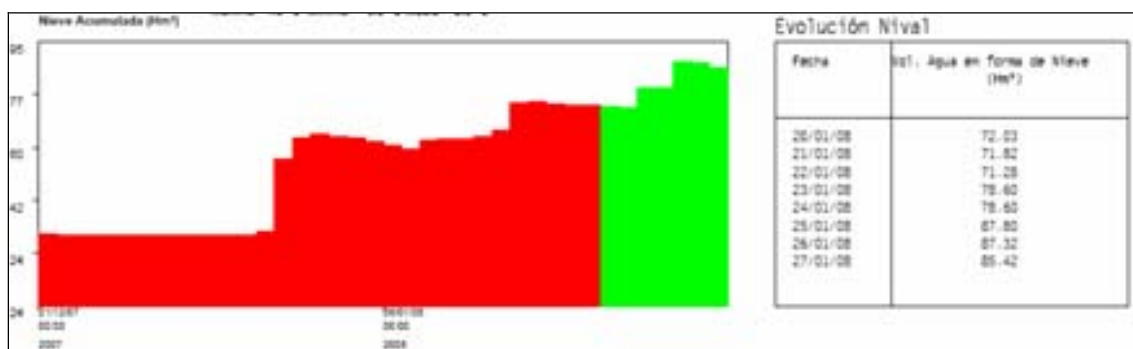
● Previsión más probable

En este ejemplo, los datos de previsión han sido obtenidos a partir de la información del INM. La tabla muestra la hipótesis de previsión introducida por el usuario. Las barras y línea verdes muestran las evoluciones de la precipitación y temperatura estimadas en la cuenca por el modelo, para el periodo de previsión.

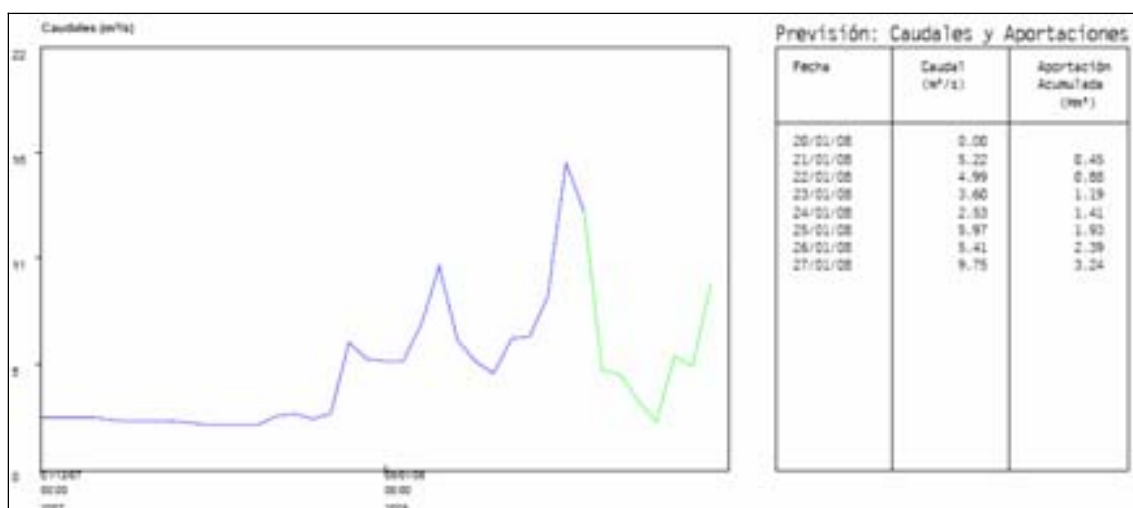
EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. EL MODELO ASTER



Evolución nival calculada por el modelo para los instantes anteriores a la previsión (en rojo) y para el periodo de previsión (en verde)



Evolución de los caudales y aportaciones en el punto de cierre. Simulación en azul y periodo de previsión en verde

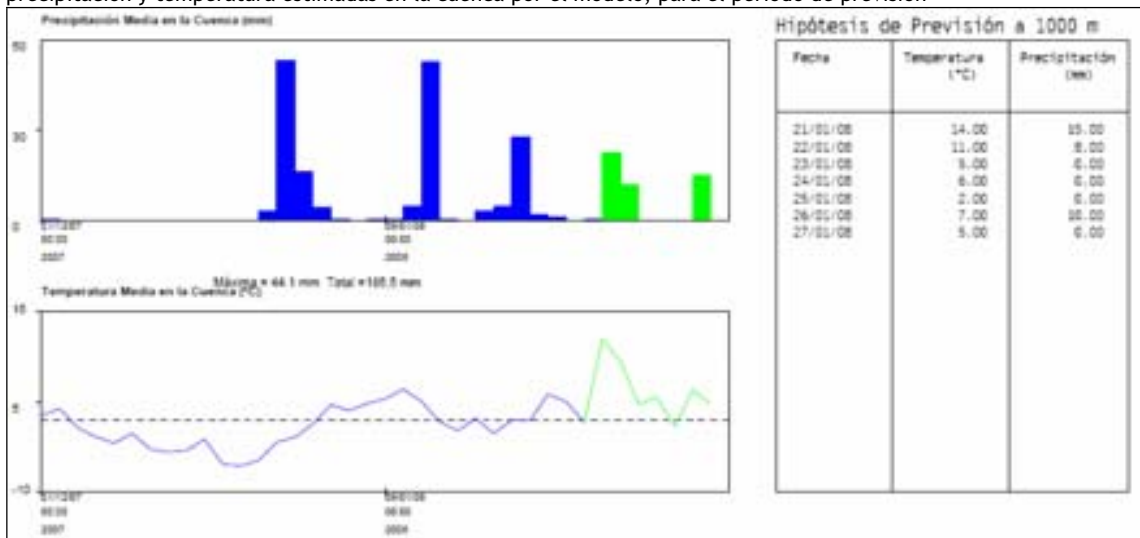


Resultados obtenidos de la previsión más probable con el modelo ASTER para la cuenca del río Ara (*Pirineo*)

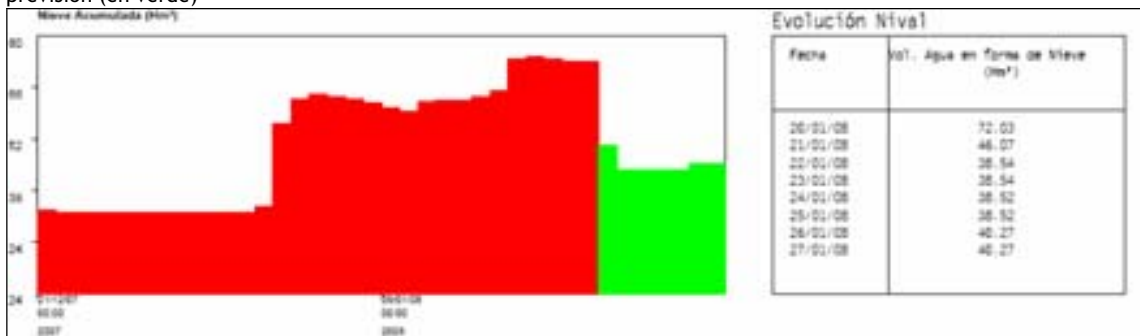
● Previsión más desfavorable

En este caso, se han considerado unas condiciones meteorológicas adversas. Durante los dos primeros días de la previsión, se estima un fuerte aumento de temperatura y precipitaciones, lo que debe acarrear, dada las fechas en las que se produce, una importante fusión de la nieve acumulada en la cuenca.

Hipótesis de previsión introducida por el usuario. Las barras y línea verdes muestran las evoluciones de la precipitación y temperatura estimadas en la cuenca por el modelo, para el periodo de previsión

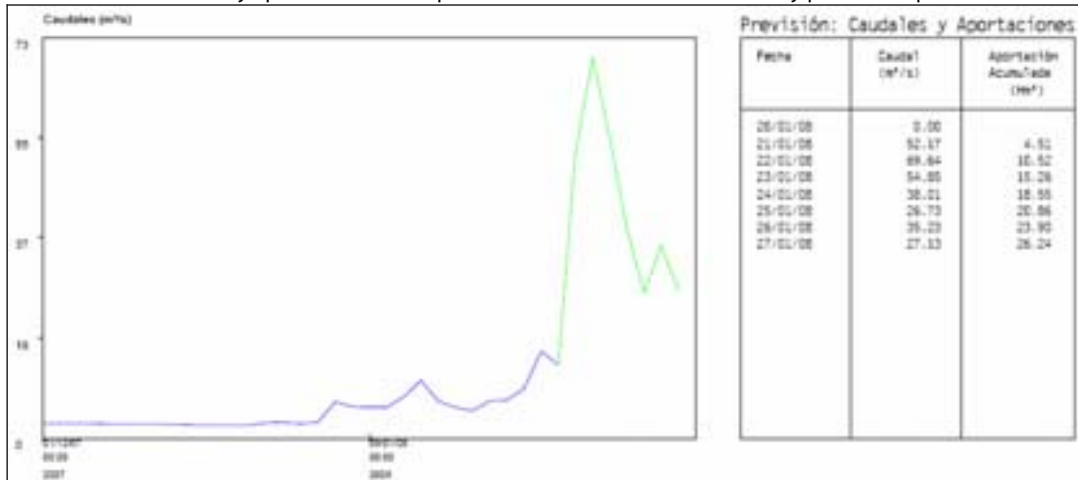


Evolución nival calculada por el modelo para los instantes anteriores a la previsión (en rojo) y para el periodo de previsión (en verde)



EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. EL MODELO ASTER

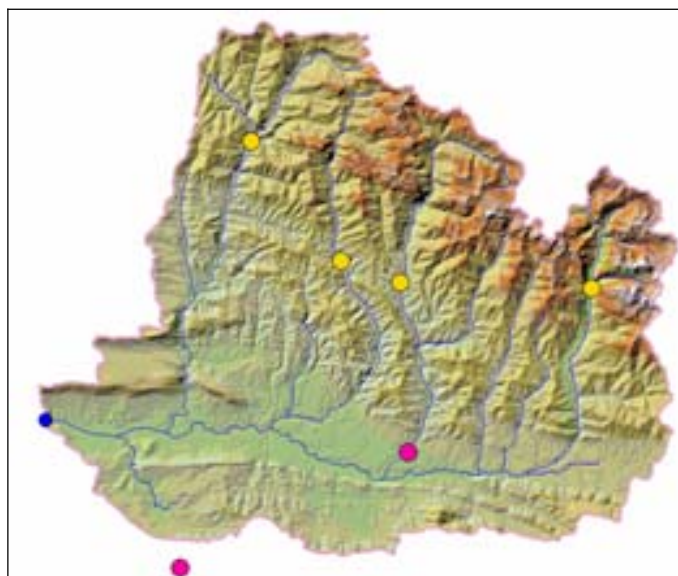
Evolución de los caudales y aportaciones en el punto de cierre. Simulación en azul y periodo de previsión en verde.



Resultados obtenidos de la previsión más desfavorable con el modelo ASTER para la cuenca del río Ara (Pirineo)

El Modelo ASTER permite ser aplicado con diferentes resoluciones espaciales y temporales lo que le confiere la posibilidad de ser aplicado tanto para el análisis de recursos como para la previsión de caudales máximos. En el primero de los casos suele ser suficiente con utilizar resoluciones temporales diarias, mientras que en el segundo de los casos esta resolución puede aumentar a valores minutales para poder cuantificar con mayor precisión los valores extremos. En este caso la resolución espacial también será de un mayor detalle.

Seguidamente se incluyen una serie de ejemplos con diferente resolución temporal para la cuenca del río Aragón vertiente al embalse de Yesa con una superficie de 2.133 km² y una cota media de 1.085 m.



Cuenca del río Aragón con las estaciones meteorológicas utilizadas por el modelo Aster (amarillas y fucsias) y estación de aforos (color azul) y la estación de aforos en el embalse de Yesa

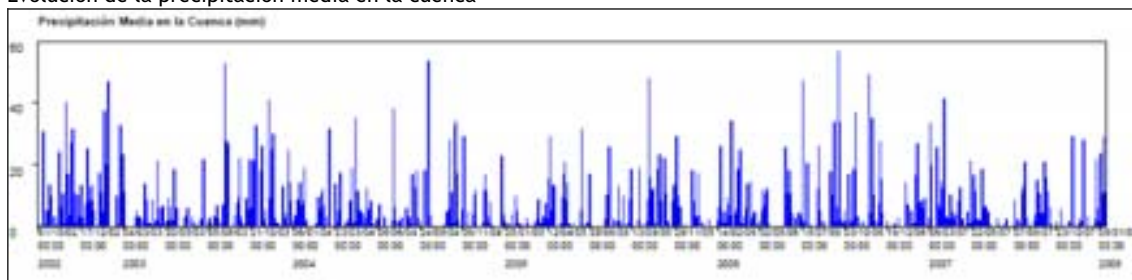
La cuenca del río Aragón es la cuenca más occidental modelizada dentro del ámbito geográfico del Pirineo español. Debido a su ubicación geográfica, recibe los frentes húmedos del Atlántico antes que el resto de las cuencas pirenaicas, por lo que su pluviometría media anual es de las más elevadas del Pirineo. Si a esto se añade la elevada cota que presenta gran parte de la misma, resulta que el régimen nival es elevado.

Todas las estaciones hidrometeorológicas utilizadas están conectadas al SAIH del Ebro, por lo que se dispone de datos en tiempo real con una resolución quinceminutal. A partir de estos datos de entrada, se adjuntan los resultados obtenidos para $\Delta t = 1$ día, $\Delta t = 3$ horas y $\Delta t = 15$ minutos.

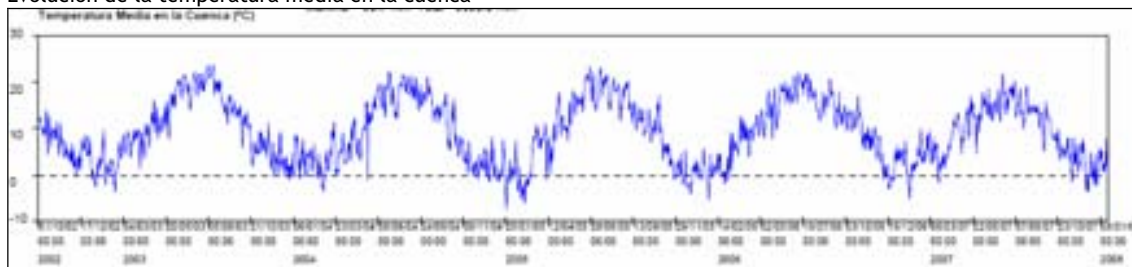
● Resultados a escala temporal diaria

Periodo de simulación: 1/10/2002 - 1/1/2008.

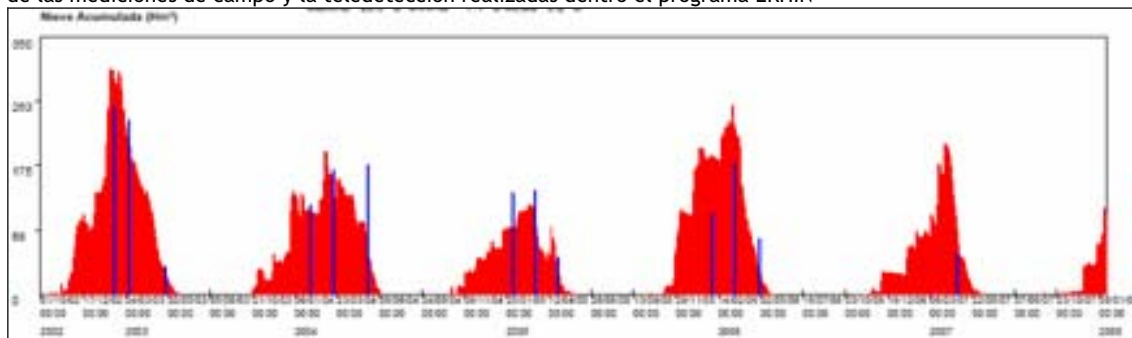
Evolución de la precipitación media en la cuenca



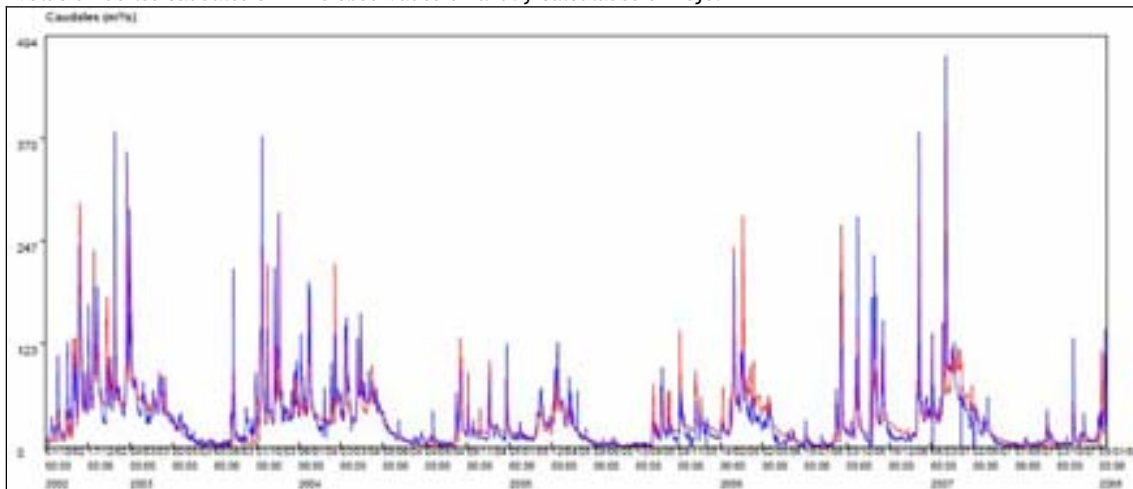
Evolución de la temperatura media en la cuenca



Evolución de las reservas nivales acumuladas en la cuenca en hm^3 . Las barras azules indican el valor obtenido a partir de las mediciones de campo y la teledetección realizadas dentro el programa ERHIN



Evolución de los caudales en m³/s observados en azul y calculados en rojo.

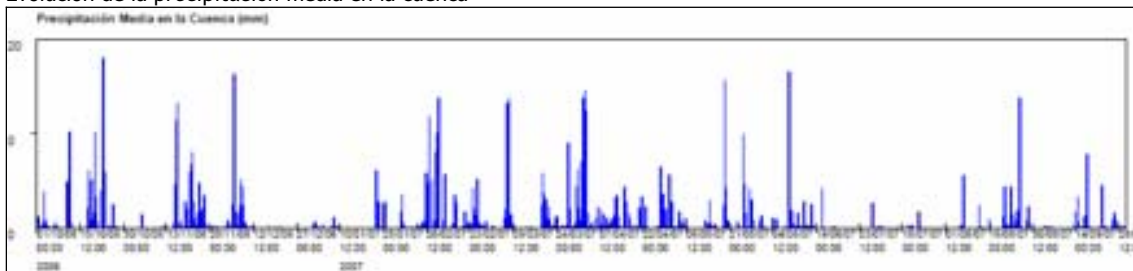


Resultados obtenidos de la simulación de la cuenca del río Aragón vertiente al embalse de Yesa con el modelo ASTER. $\Delta t = 1$ día

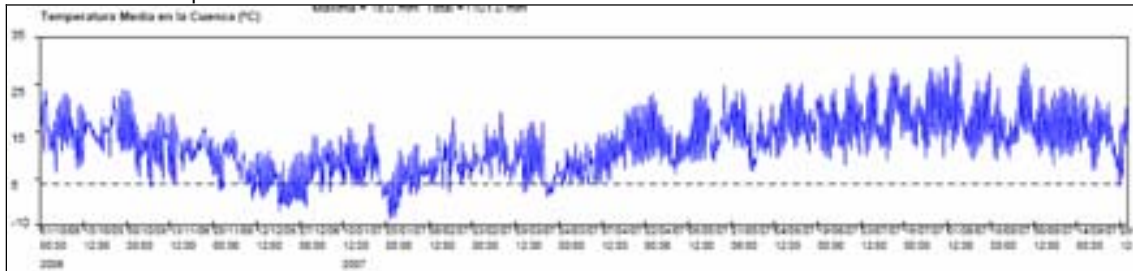
● Resultados a escala temporal de 3 horas

Periodo de simulación: 1/10/2006 - 1/10/2007.

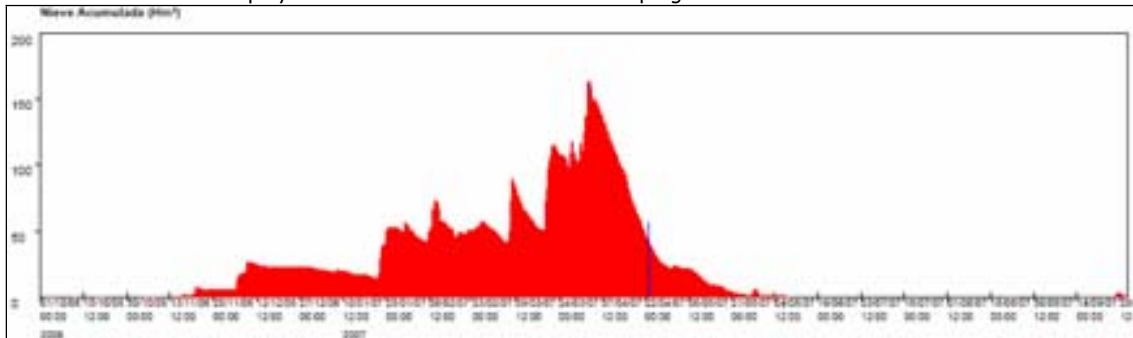
Evolución de la precipitación media en la cuenca



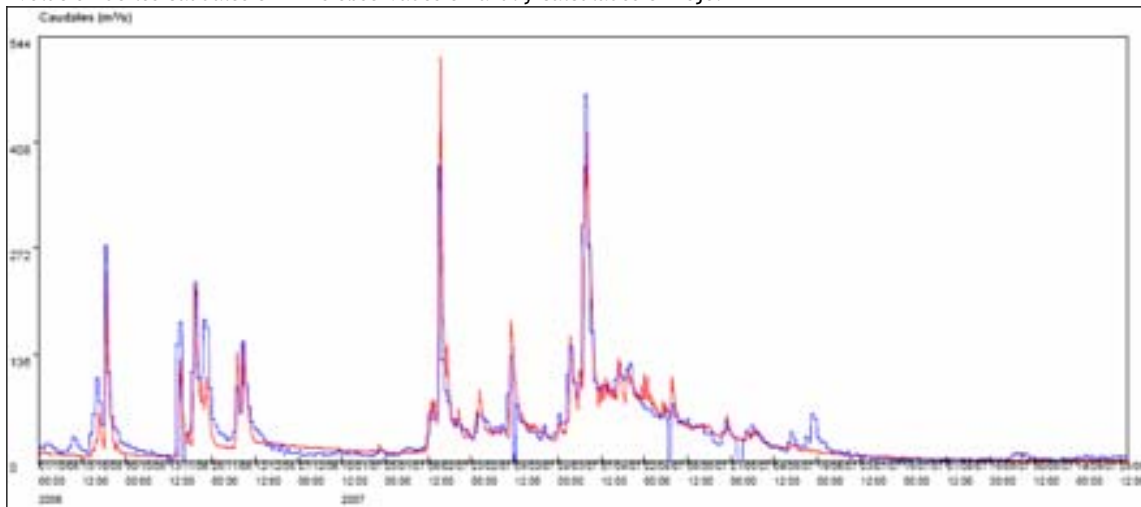
Evolución de la temperatura media en la cuenca



Evolución de las reservas nivales acumuladas en la cuenca en hm³. Las barras azules indican el valor obtenido a partir de las mediciones de campo y la teledetección realizadas dentro el programa ERHIN.



Evolución de los caudales en m^3/s observados en azul y calculados en rojo.

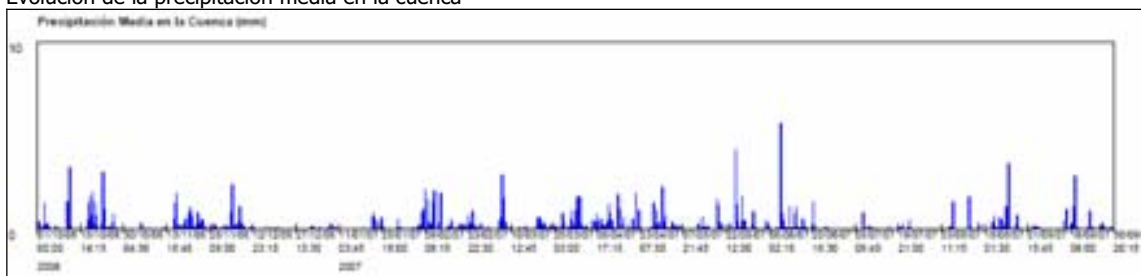


Resultados obtenidos de la simulación de la cuenca del río Aragón vertiente al embalse de Yesa con el modelo ASTER. $\Delta t = 3$ horas

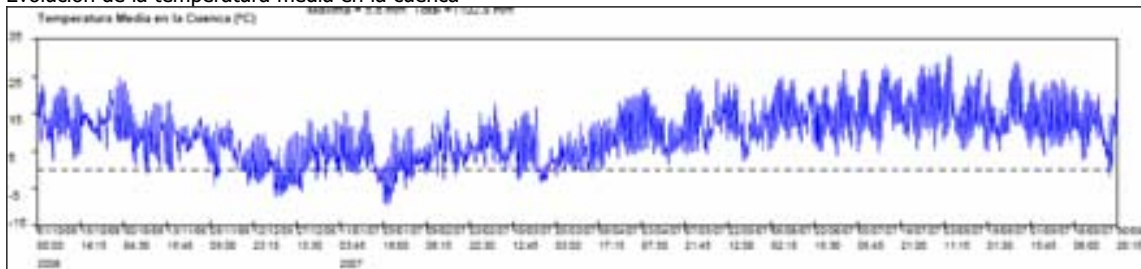
● Resultados a escala temporal quinceminutal

Periodo de simulación: 1/10/2006 - 1/10/2007

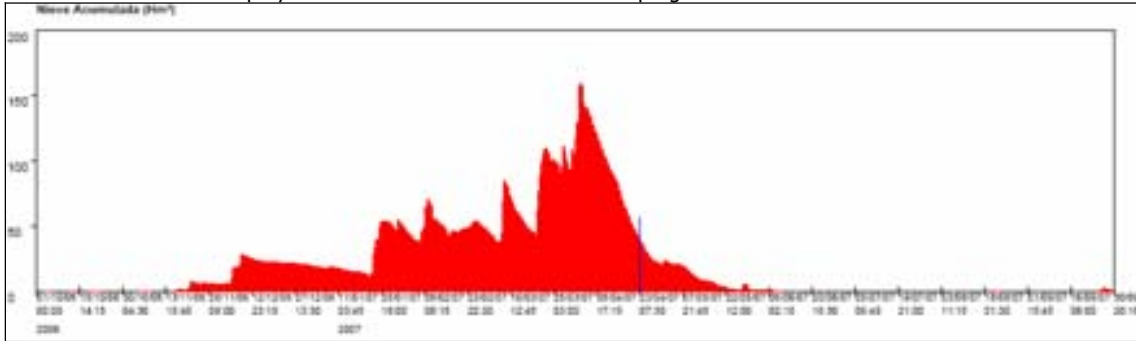
Evolución de la precipitación media en la cuenca



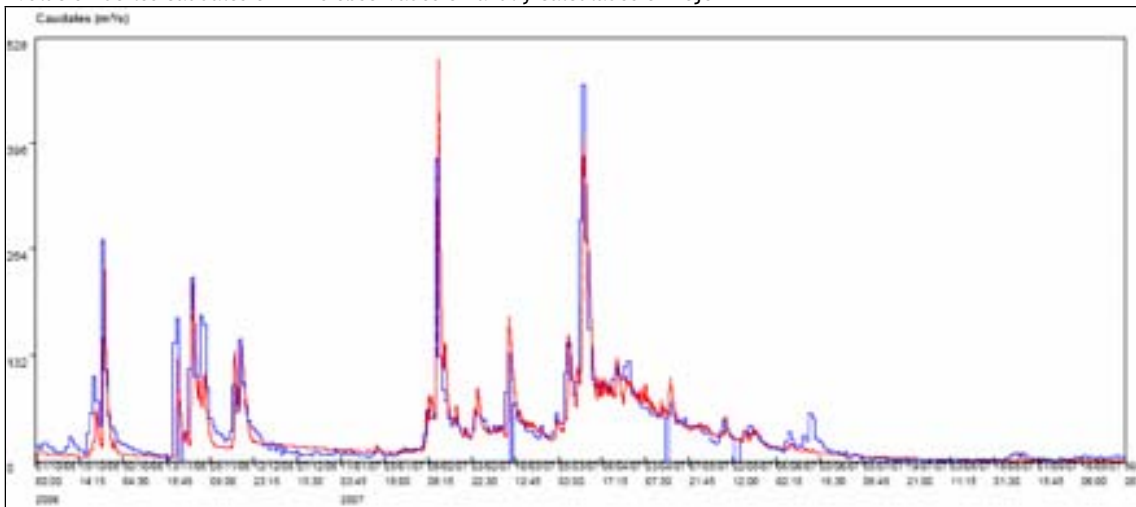
Evolución de la temperatura media en la cuenca



Evolución de las reservas nivales acumuladas en la cuenca en hm³. Las barras azules indican el valor obtenido a partir de las mediciones de campo y la teledetección realizadas dentro el programa ERHIN



Evolución de los caudales en m³/s observados en azul y calculados en rojo



Resultados obtenidos de la simulación de la cuenca del río Aragón vertiente al embalse de Yesa con el modelo ASTER. $\Delta t = 15$ minutos

Otra faceta a destacar del modelo Aster es que su diseño permite una fácil conexión con el SAIH y la incorporación de las previsiones meteorológicas del INM, por lo que puede aplicarse en tiempo real, siendo ésta la línea actual que en el MMA se le está dando. En este contexto, el modelo permite disponer de resultados conjuntos para un grupo de cuencas que pueden ir asociadas a un mismo sistema montañoso o incluso a una misma confederación hidrográfica. Esta opción facilita el análisis e interpretación del estado hidrológico de la cuenca. En las figuras siguientes se muestran resultados obtenidos para las confederaciones hidrográficas del Ebro y del Tajo.

● Pirineo. Cuenca hidrográfica del Ebro

Las cuencas modelizadas con Aster en la zona del Pirineo español abarcan una extensión de 9.307,3 km² y presentan una cota media de 1.407 m. Comprende toda la zona pirenaica hasta los primeros embalses de regulación.

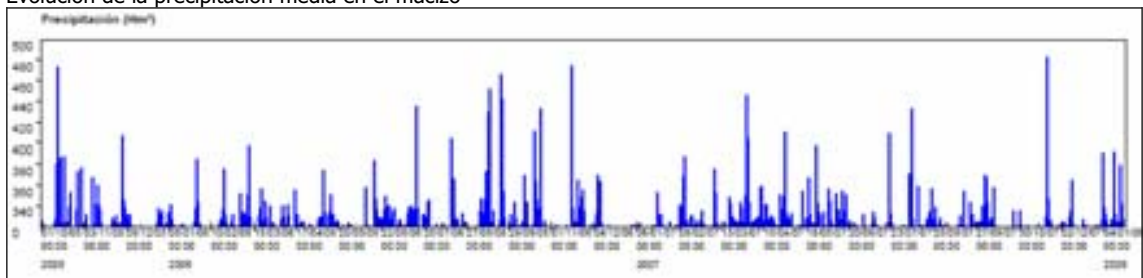


Cuencas modelizadas con Aster en el Pirineo español (azul oscuro) y su ubicación geográfica en el conjunto de España

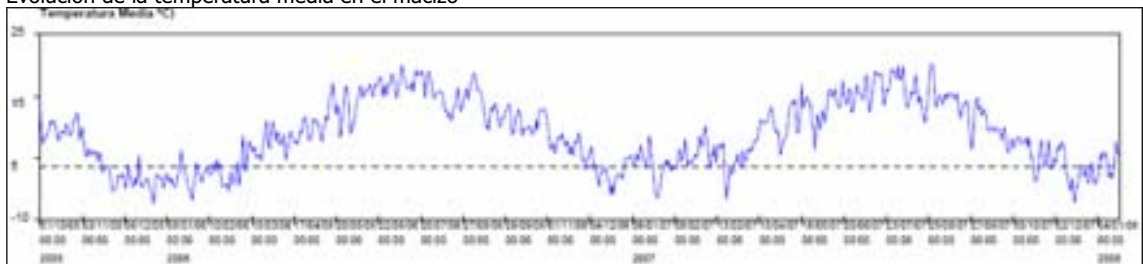
● Resultados a escala temporal diaria. Pirineo.

Periodo de simulación: 1/10/2005 - 1/1/2008.

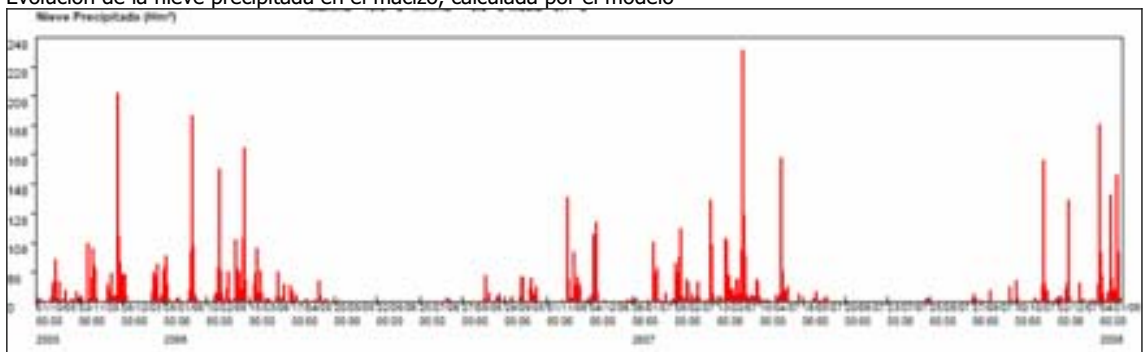
Evolución de la precipitación media en el macizo



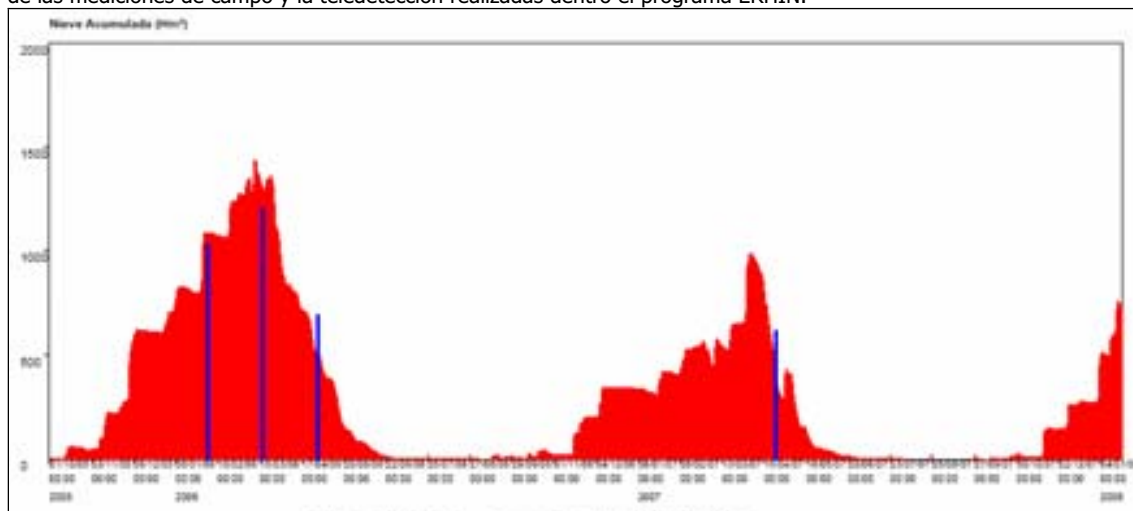
Evolución de la temperatura media en el macizo



Evolución de la nieve precipitada en el macizo, calculada por el modelo



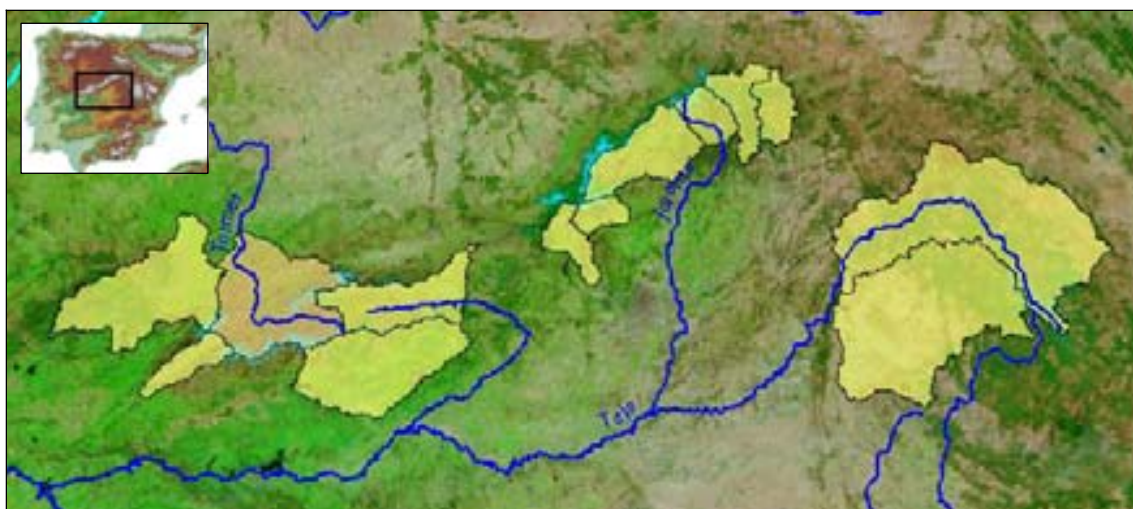
Evolución de las reservas nivales acumuladas en el macizo en hm^3 . Las barras azules indican el valor obtenido a partir de las mediciones de campo y la teledetección realizadas dentro el programa ERHIN.



Resultados obtenidos de la simulación para la cuencas modelizadas en el Pirineo con el programa ASTER

● Sistema Central. Cuenca hidrográfica del Tajo

Las cuencas modelizadas con Aster en la zona del Sistema Central, ocupan una extensión de $14.939,5 \text{ km}^2$ (no incluye la cabecera del río Tormes vertiente al Duero) y presentan una cota media de 1.102 m. Abarca toda la cuenca alta del río Tajo y sus afluentes más importantes de cabecera.

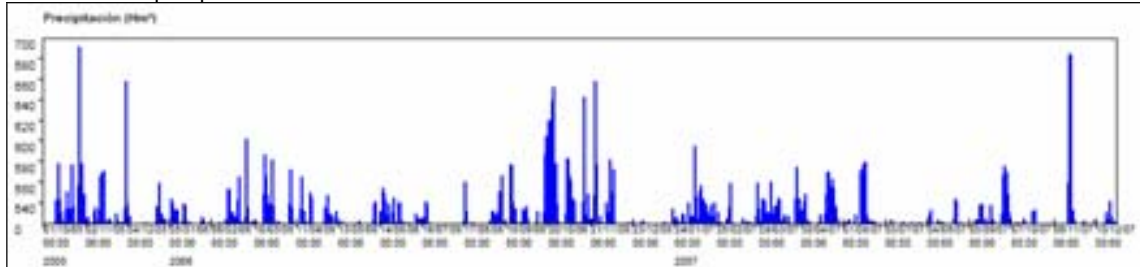


Cuencas modelizadas con Aster en el Sistema Central (en amarillo claro) y su ubicación geográfica en el conjunto de España

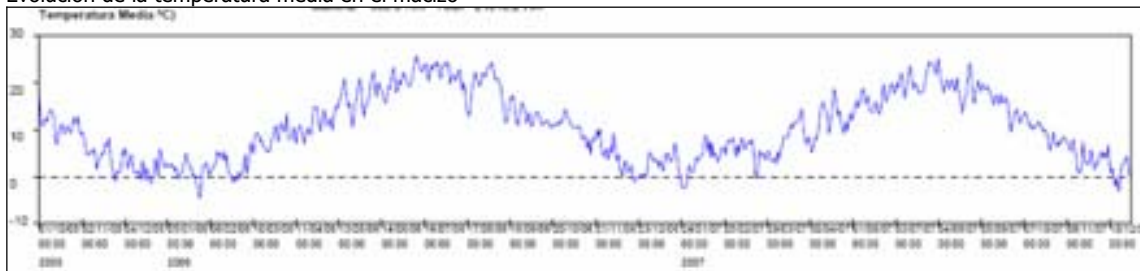
● Resultados a escala temporal diaria. Sistema Central

Periodo de simulación: 1/10/2005 - 1/1/2008.

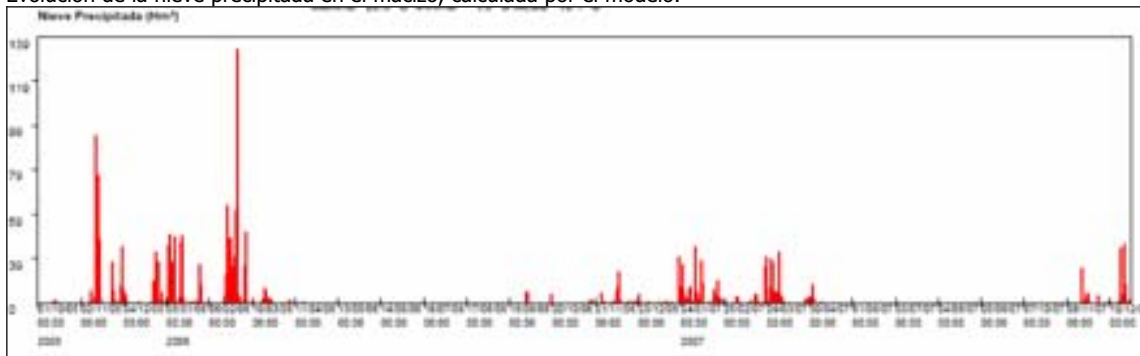
Evolución de la precipitación media en el macizo



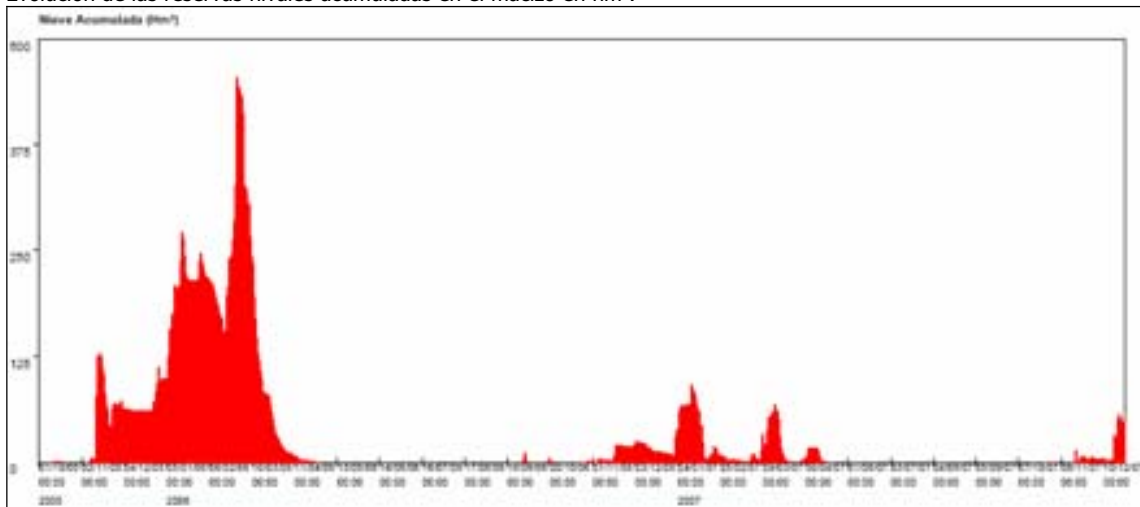
Evolución de la temperatura media en el macizo



Evolución de la nieve precipitada en el macizo, calculada por el modelo.



Evolución de las reservas nivales acumuladas en el macizo en hm³.



Resultados obtenidos de la simulación para la cuencas modelizadas en el Sistema Central vertiente al Tajo con el programa ASTER.

Además de las presentadas en los ejemplos mostrados, el modelo ASTER se ha venido utilizando en diversas cuencas pirenaicas, cantábricas, del Sistema Central y de Sierra Nevada, obteniéndose buenos resultados.

GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

Dado que existen diversos orígenes de información para el modelo integrado que se plantea, como son el modelo digital del terreno (MDT), el propio modelo hidrológico distribuido, las estaciones hidro-meteorológicas, la fotografía satélite y las pértigas o telenivómetros de medida de nieve en campo, ha sido necesario desarrollar un sistema preciso, pero sencillo, para su organización y gestión. Para ello, se ha adoptado un Sistema de Información Geográfica (ver figura adjunta), que se ha desarrollado sobre Arc Map.



Esquema del sistema de gestión de la información

El SIG permite un tratamiento ágil y efectivo especialmente en el caso de la cubierta nival, íntimamente relacionada con la morfología del terreno, donde se puede disponer de información puntual (medidas de campo) y areal (imagen satélite).

CALIBRACIÓN DEL SISTEMA

El modelo planteado hace necesario el desarrollo de una metodología para el tratamiento conjunto de la información proporcionada por el modelo geoestadístico y el modelo hidrológico, todo ello dirigido a optimizar los resultados alcanzados en la simulación de la cubierta nival y los caudales derivados de la fusión.

El modelo hidrológico proporciona una información continua del estado de la cubierta nival y los caudales circulantes en el punto de control, mientras que el modelo geoestadístico permite calcular el estado de la cubierta nival

para el día en que se dispone de los datos observados en la campaña nival y la correspondiente imagen satélite. Por otro lado, la estación (un embalse normalmente) emplazada en el punto de control permite conocer los caudales circulantes por dicho punto. Esto implica que se dispone para la calibración de información del manto nival y de los caudales fluyentes.

Para la calibración del modelo se ha diseñado una metodología de optimización de los parámetros que rigen el comportamiento del modelo hidrológico a partir de los resultados del modelo geoestadístico y los caudales observados en el punto de control.

En primer lugar, se propone un ajuste del modelo atendiendo al estudio comparativo entre la distribución espacial del manto nival (espesor y densidad, o su equivalente en columna de agua líquida) calculada por el modelo y la obtenida a partir de las mediciones de campo y la imagen satélite. Esta optimización se debe realizar considerando la distribución espacio-temporal de la cubierta nival, que para cada cuenca vendrá condicionada por la resolución espacial escogida para del modelo distribuido. Como función objetivo (criterio de optimización) en este caso se ha adoptado la minimización del error cuadrático entre los resultados proporcionados por el modelo hidrológico y el geoestadístico, extendido a todo el modelo distribuido, tal y como queda representado en la siguiente expresión.

$$F.\text{Objetivo} = \min \sum_{a=1}^f \left(\sum_{i=1}^n \left(\text{VAFN}_i^{\text{M.Simulación}} - \text{VAFN}_i^{\text{M.Geoestadístico}} \right)^2 \right)_a$$

Donde:

- ≡ $\text{VAFN}_i^{\text{M.Simulación}}$ - Volumen de agua en forma de nieve obtenido a partir del modelo hidrológico de simulación para la celda i y la fecha a .
- ≡ $\text{VAFN}_i^{\text{M.Geoestadístico}}$ - Volumen de agua en forma de nieve obtenido a partir del modelo geoestadístico para la celda i y la fecha a .
- ≡ n - número de celdas del modelo distribuido que representa la cuenca.
- ≡ f - Número de fechas para las que se dispone de observaciones del manto nival.

Ajustados los parámetros que condicionan la evolución de la cubierta nival, se plantea el estudio comparativo para la resolución temporal adoptada entre los caudales fluyentes registrados en el punto de control y los calculados por el modelo hidrológico para el mismo lugar del cauce. En este caso, la función objetivo adoptada es la minimización del error cuadrático entre los resultados de caudales observados y calculados, extendida a todo el periodo de simulación incluido en la fase de calibración.

$$F.\text{Objetivo} = \min \sum_{i=1}^m \left(Q_i^{\text{observado}} - Q_i^{\text{calculado}} \right)^2$$

Donde:

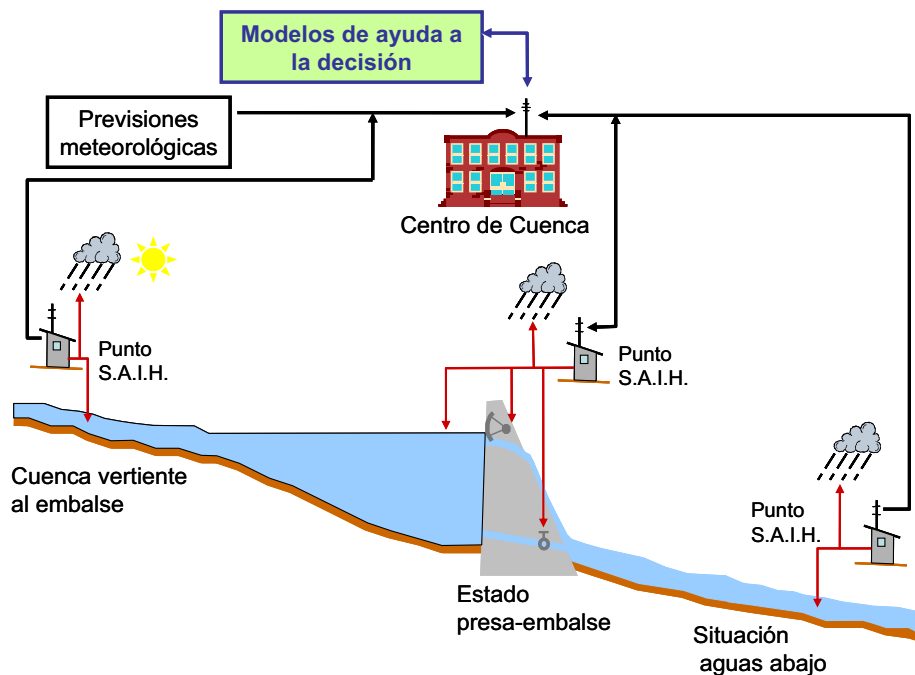
- ≡ $Q_i^{\text{observado}}$ - caudal observado en el punto de control en el instante i .
- ≡ $Q_i^{\text{calculado}}$ - caudal calculado por el modelo hidrológico en el punto de control en el instante i .
- ≡ m - número de instantes para los que se realiza la simulación.

Concluida la fase de calibración, el modelo permite incorporar el estado espacio-temporal de la cubierta nival calculado a partir del modelo geoestadístico para posteriores mediciones (fuera del período de simulación) en el modelo hidrológico, para eliminar los posibles errores acumulativos en el cálculo de las reservas hídricas disponibles en forma de nieve.

COMENTARIO FINAL

Se ha conseguido diseñar un modelo nival que permite incluir toda la información referente a dicho fenómeno y que en cada momento podrá ser adaptado a la información disponible y a las nuevas técnicas que se desarrollen y apliquen (imágenes satélite obtenidas mediante sensores ópticos, densidades y espesores obtenidos de sensores activos, telenivómetros, etc.).

Esta estructura permite una previsión continua del fenómeno nival (estado del manto nival y escorrentías procedentes de la fusión), así como su calibración a partir en los datos observados (sistemas de información hidrológica, mediciones de campo, telenivómetros, imagen satélite, etc.), reduciendo al máximo aquellas desviaciones que se pueden producir entre la situación real y la simulada, que en el caso de la nieve son acumulativas.



Esquema de la integración del modelo propuesto en la gestión de los recursos hídrico

El modelo también permite la corrección en tiempo real del estado de la cobertura nival calculada a partir de las observaciones realizadas.

Con todo ello, se considera que la metodología propuesta proporciona una información nival precisa y muy útil para ayudar a la gestión de los embalses emplazados en cuencas afectadas por este fenómeno, ya que permite estimar el volumen de agua almacenado en forma de nieve aguas arriba del embalse y la evolución temporal de los caudales fluyentes procedentes de su fusión, variables imprescindibles para el responsable de la explotación.

En el territorio español, dentro del programa ERHIN, se está procediendo a la implantación de esta metodología para facilitar la gestión de los embalses de cabecera, tanto en situación ordinaria como extraordinaria y conseguir una gestión óptima de los recursos hídricos disponibles.

LA NIEVE EN LAS CORDILLERAS DE ESPAÑA

ÁREAS DE ESTUDIO Y DATOS DE PARTIDA

Definidas las áreas con marcado comportamiento nival, se han ido realizando de modo sistemático las campañas de medición invernal, donde se toman datos de los espesores en las pértigas y se realizan ensayos para determinar la densidad de la nieve, valores que alimentan la correspondiente base de datos, fundamental para la calibración del modelo hidrológico ASTER. Esta información ha sido complementada en los últimos años con la obtenida de las imágenes satélite. En el año 2000, en el Sistema Central, y en el año 2007 en el Pirineo y Cordillera Cantábrica, se ha instalado una red de telenivómetros conectados en tiempo real con el SAIH para obtener medición continua de espesores y densidades. Estos equipos están en fase de calibración y existe una propuesta de instalación de telenivómetros en el resto de los sistemas controlados.

En las imágenes que se presentan a continuación se puede apreciar la distribución de cuencas nivales estudiadas, la Red oficial de pértigas y de telenivómetros y la distribución de cuencas modelizadas con el modelo ASTER



Cuencas nivales controladas

Red Oficial de pértigas para el control nival



Red Oficial telenivómetros

Cuencas en las que se dispone de modelos ASTER

A continuación se reflejan los datos más significativos, en cuanto a superficie de nieve controlada, cota media y tipo de cuenca por cada uno de los Sistemas estudiados y donde el fenómeno nival es relevante.

Sistema	Unidad administrativa	Subcuenca	Area (km ²)	Cota media (m)	Tipo cuenca
Cantábrico	Duero	Rubagón-Camesa	374,6	1.078	ASTER
Cantábrico	Duero	Esla en Riaño	593,4	1.470	ASTER
Cantábrico	Duero	Porma en Embalse de Porma	250,4	1.436	ASTER
Cantábrico	Duero	Pisuerga en Aguilar de Campoo	548,1	1.228	ASTER
Cantábrico	Duero	Luna en Barrios de Luna	496,0	1.500	ASTER
Cantábrico	Duero	Carrión en Compuerto	311,9	1.617	ASTER
Cantábrico	Duero	Omañas	403,6	1.351	ANUARIO
Cantábrico	Duero	Esla - Cuenca Central	650,2	1.471	ANUARIO
Cantábrico	Duero	Esla occidental	1.304,0	1.271	ANUARIO
Cantábrico	Duero	Carrión en Guardo	98,2	1.453	ANUARIO
Cantábrico	Ebro	Ebro Cabecera. E. Ebro	681,5	1.047	ANUARIO
Cantábrico	Norte	Bibey	826,1	1.284	ANUARIO
Cantábrico	Norte	Lor-Selmo	450,2	964	ANUARIO
Cantábrico	Norte	Navia	1.105,7	925	ANUARIO
Cantábrico	Norte	Nalón	2.164,8	1.101	ANUARIO
Cantábrico	Norte	Sella	462,7	1.055	ANUARIO
Cantábrico	Norte	Deva	1.022,4	1.122	ANUARIO
Cantábrico	Norte	Nansa-Saja	429,6	1.019	ANUARIO
Cantábrico	Norte	Pas-Miera-Asón	910,7	604	ANUARIO
Cantábrico	Norte	Cabrera-Casoyo	701,6	1.256	ANUARIO
Cantábrico	Norte	Sil Cabecera	1.718,9	1.159	ANUARIO
Cantábrico	Norte	Boeza	198,7	1.316	ANUARIO
Pirineo	ACA	Ter-Freser	430,5	1.676	ANUARIO
Pirineo	Ebro	Ara en Boltaña	615,3	1.470	ASTER
Pirineo	Ebro	Garona en Bossòst	475,7	1.893	ASTER
Pirineo	Ebro	Gállego en E. de Búbal	295,1	1.940	ASTER
Pirineo	Ebro	Cinca en Escalona	793,6	1.671	ASTER

LA NIEVE EN LAS CORDILLERAS DE ESPAÑA

Sistema	Unidad administrativa	Subcuenca	Area (km ²)	Cota media (m)	Tipo cuenca
Pirineo	Ebro	Ésera en Campo	541,7	1.809	ASTER
Pirineo	Ebro	N. Ribagorzana en Pont de Suert	566,6	1.849	ASTER
Pirineo	Ebro	Valira en Seo D' Urgel	549,0	1.912	ASTER
Pirineo	Ebro	Segre en Seo D' Urgel	1.239,6	1.683	ASTER
Pirineo	Ebro	Aragón en E. Yesa	2.166,4	1.086	ASTER
Pirineo	Ebro	Pallaresa en E. de Talárn	2.064,3	1.627	ASTER
Pirineo	Ebro	Irati-Salazar	620,9	1.018	ANUARIO
Pirineo	Ebro	Ésera en Graus	325,0	950	ANUARIO
Pirineo	Ebro	Gállego en Sabiñánigo	306,5	1.413	ANUARIO
Sierra Nevada	CMA	Guadafeo en Rules	1.076,0	1.405	ASTER
Sierra Nevada	CMA	Mecina en Mecina	44,8	2.008	ANUARIO
Sierra Nevada	CMA	Válor en Válor	20,5	1.863	ANUARIO
Sierra Nevada	CMA	Nechite en Nechite	32,3	1.836	ANUARIO
Sierra Nevada	CMA	Laroles en Laroles	20,8	1.830	ANUARIO
Sierra Nevada	CMA	Bayárcal en Bayárcal	36,9	1.936	ANUARIO
Sierra Nevada	Guadalquivir	Genil en Canales	176,5	1.970	ASTER
Sierra Nevada	Guadalquivir	Dílar en CE de Dílar	44,8	2.015	ANUARIO
Sierra Nevada	Guadalquivir	Monachil en Diéchar	35,8	2.049	ANUARIO
Sierra Nevada	Guadalquivir	Alhama en Lugros	31,0	1.764	ANUARIO
Sierra Nevada	Guadalquivir	Alhorí en Jeres	54,7	2.013	ANUARIO
Sierra Nevada	Guadalquivir	Pueblo en Lanteira	19,5	1.829	ANUARIO
Sierra Nevada	Guadalquivir	Barrio en Lanteira	21,6	1.852	ANUARIO
Sierra Nevada	Guadalquivir	Benéjar en Aldeire	44,8	1.806	ANUARIO
Sistema Central	Duero	Tormes en Santa Teresa	1.851,7	1.362	ASTER
Sistema Central	Tajo	Tiétar en Rosarito	1.743,2	759	ASTER
Sistema Central	Tajo	Sorbe en Beleña	475,6	1.374	ASTER
Sistema Central	Tajo	Manzanares en Santillana	247,1	1.236	ASTER
Sistema Central	Tajo	Lozoya en el Atazar	925,0	1.356	ASTER
Sistema Central	Tajo	Jerte en Plasencia	370,0	1.071	ASTER
Sistema Central	Tajo	Jarama en el Vado	378,0	1.424	ASTER
Sistema Central	Tajo	Guadiela en Buendía	3.355,8	1.011	ASTER
Sistema Central	Tajo	Guadarrama en Picotejo	355,9	1.044	ASTER
Sistema Central	Tajo	Bornova en Alcorlo	362,3	1.228	ASTER
Sistema Central	Tajo	Alto Tajo en Entrepeñas	3.825,6	1.218	ASTER
Sistema Central	Tajo	Alberche en el Burguillo	1.052,7	1.355	ASTER
Sistema Central	Tajo	Alagón en Gabriel y Galán	1.848,2	846	ASTER
	TOTAL		45.144,9		

En los cuadros que se presentan a continuación se relaciona la superficie controlada y cota media nival, redes de pértigas y telenivómetros por Organismos y Sistemas estudiados:

LA NIEVE EN LAS CORDILLERAS DE ESPAÑA

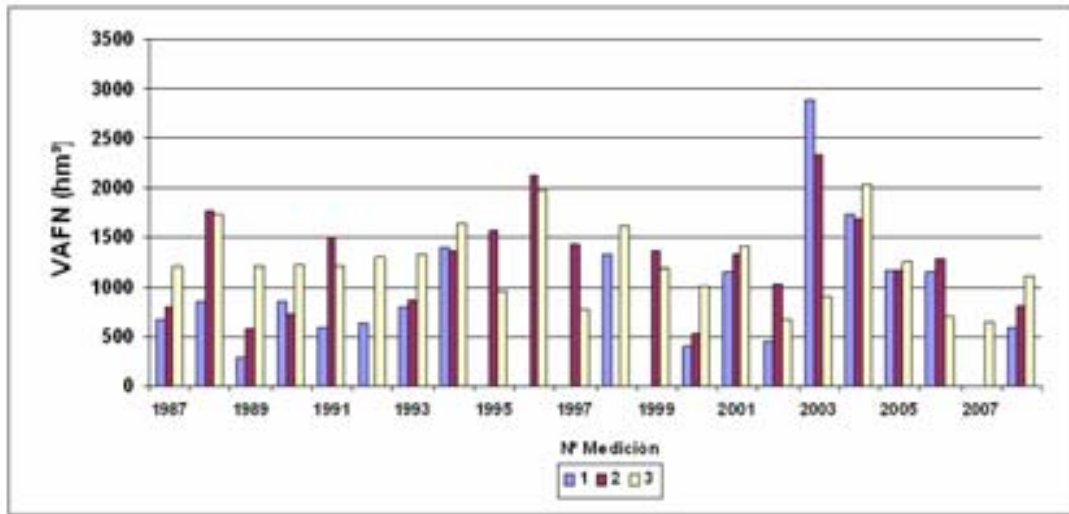
Sistema	Organismo	Área Nival (km ²)	Cota Media Nival
PIRINEO	Confederación Hidrográfica del Ebro	10.559,7	1.510,7
	Agencia Catalana del Agua	430,5	1.676,0
CANTÁBRICO	Confederación Hidrográfica del Norte	9.991,5	1.066,8
	Confederación Hidrográfica del Duero	5.030,4	1.363,5
	Confederación Hidrográfica del Ebro	681,5	1.047,0
SIERRA NEVADA	Confederación Hidrográfica del Guadalquivir	428,7	1.942,4
	Cuenca Mediterránea Andaluza	1.231,3	1.469,0
SISTEMA CENTRAL	Confederación Hidrográfica del Duero	1.851,7	1.362,0
	Confederación Hidrográfica del Tajo	14.939,5	1.093,0
Total		45.144,9	

Área nival controlada en los diferentes Sistemas

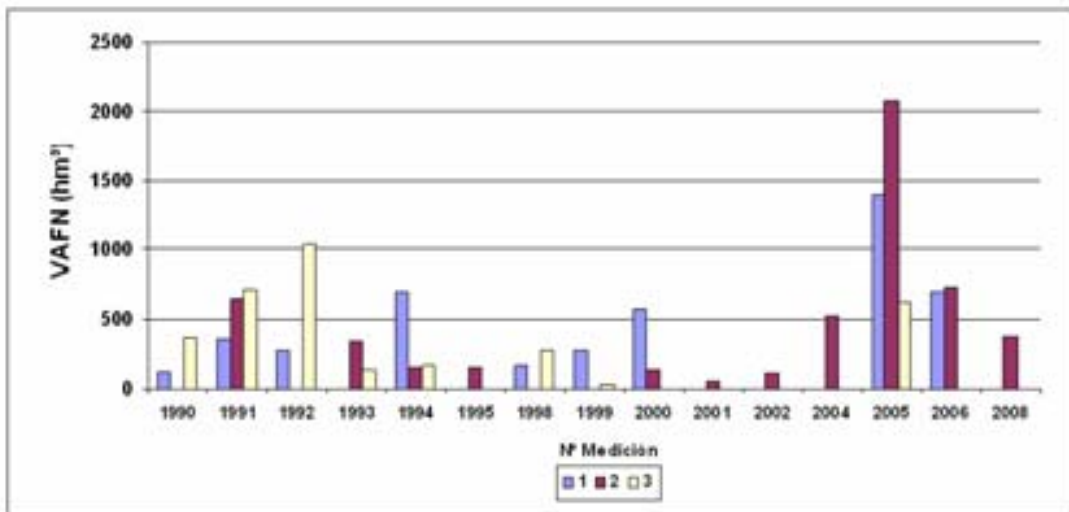
Sistema	Administración hidráulica	Pértigas		Telenivómetros		Observaciones
		Nº	Año Implant.	Nº	Año implant.	
CANTÁBRICO	CH Duero	55	1989-1990			16 prop. instal. teleniv.
	CH Norte	66	1989-1990			17 prop. instal. teleniv.
	CH Ebro	6	1989-1990	1	2007	
PIRINEO	CH Ebro	110	1986-1987	8	2007	3 propuesta instalación telenivómetros (2008)
	Agencia Catalana del Agua (ACA)	3	1986-1987	-	-	
SIERRA NEVADA	CH Guadalquivir	11	1990	-	-	1 prop. instal. teleniv.
	Cuenca Mediterránea Andaluza (CMA)	13	1990	-	-	
SISTEMA CENTRAL	CH Duero	-	-	-	-	8 prop. instal. pértigas 2 prop. instal. telenivóm.
	CH Tajo	-	-	4	2000	31 prop. instal. pértigas
TOTAL		264		13		

Red de pértigas y telenivómetros en los diferentes Sistemas

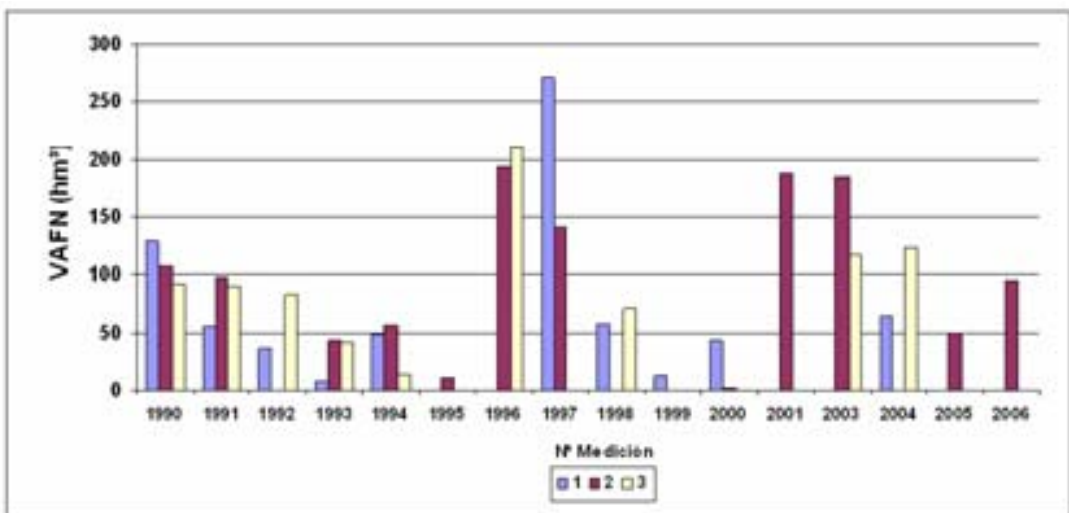
En los gráficos que se muestran a continuación se representan, para cada uno de los Sistemas, los resultados obtenidos del Volumen de Agua en Forma de Nieve (VAFN, expresados en hm³) de las tres mediciones de campo efectuadas dentro de cada año hidrológico: la primera correspondiente a las primeras nevadas (octubre o noviembre), la segunda correspondiente al punto más álgido y que suele coincidir con los meses de febrero o marzo y la tercera que coincide con el inicio de la fusión generalizada (mayo o junio). Se puede comprobar que, en algunos años, no se han realizado las tres mediciones antes mencionadas, sino sólo alguna de ellas.



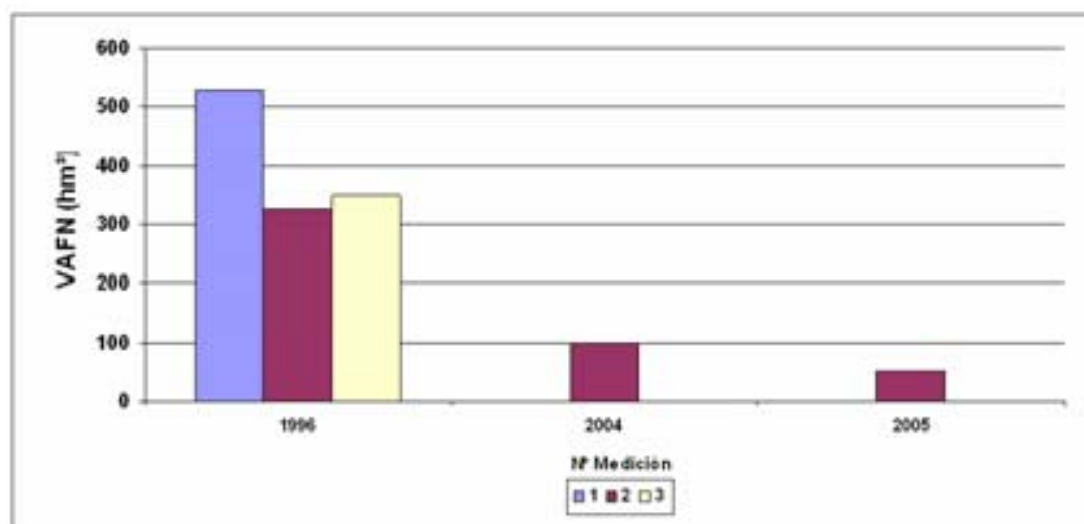
Historico de resultados para las mediciones de campo en el Pirineo



Historico de resultados para las mediciones de campo en la Cantábrica



Historico de resultados para las mediciones de campo en Sierra Nevada



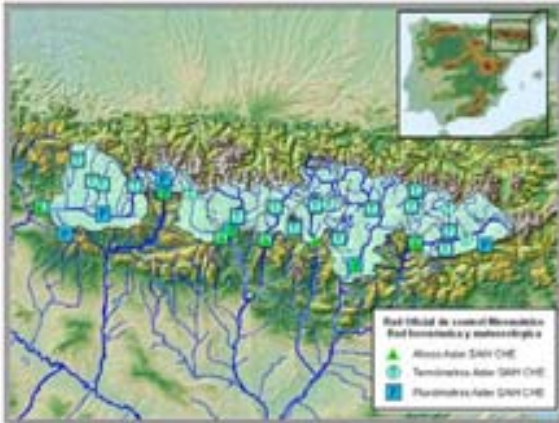
Histórico de resultados para las mediciones de campo en el Sistema Central

Con toda esta información se han ido desarrollando progresivamente los modelos ASTER e incorporando a los respectivos Sistemas de Ayuda a la Decisión en cada una de las Confederaciones Hidrográficas. Como puede comprobarse en la siguiente tabla, a finales del año 2007 se dispone de una superficie total modelizada de más de 29.500 km².

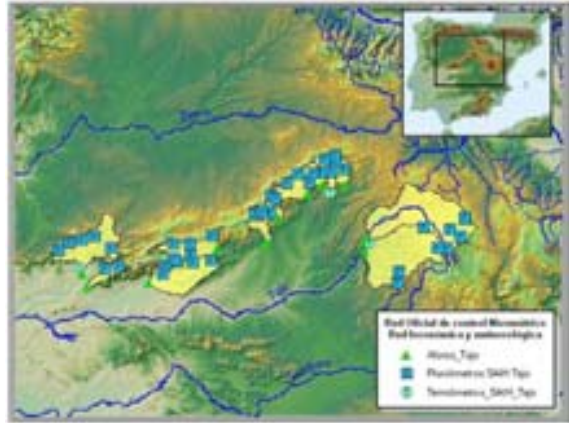
Sistema	Cuenca	Superficie Controlada (km ²)	Cota media (m)	Nº Subcuencas	Conexión SAIH
Sierra Nevada	Cuenca Mediterránea Andaluza	1.076,0	1.542	1	No
Cantábrico	Duero	2.574,5	1.102	6	Sí
Sistema Central	Duero	1.851,7	1.395	1	No
Pirineo	Ebro	9.307,3	1.407	10	Sí
Sierra Nevada	Guadalquivir	716,5	1.970	1	No
Sistema Central	Tajo	14.939,5	1.102	12	Sí
		29.925,5		31	

Áreas modelizadas con ASTER.

En las imágenes que se muestran a continuación se puede apreciar la ubicación de la red meteorológica y foronómica, utilizada en el modelo ASTER, en las diferentes cuencas en donde se ha modelizado.



Red meteorológica y foronómica utilizada en los modelos ASTER EBRO



Red meteorológica y foronómica utilizada en los modelos ASTER TAJO



Red meteorológica y foronómica utilizada en los modelos ASTER GUADALQUIVIR-SUR



Red meteorológica y foronómica utilizada en los modelos ASTER DUERO

Con todo esto, en la actualidad se dispone de resultados de la evolución nival en tiempo real, así como de los caudales procedentes de su fusión, permitiendo adicionalmente realizar previsiones de su evolución.

Por otro lado, estos estudios han permitido obtener valiosas conclusiones respecto a la importancia del fenómeno nival en la gestión óptima de los recursos hídricos, así como de la evolución de dicho fenómeno a lo largo de los años.

Todas estas cuestiones se describen en el siguiente capítulo.

BALANCE DE 20 AÑOS DE INVESTIGACIÓN

Todos los trabajos descritos en apartados anteriores han dado lugar a una serie de resultados y conclusiones que se desarrollan a continuación.

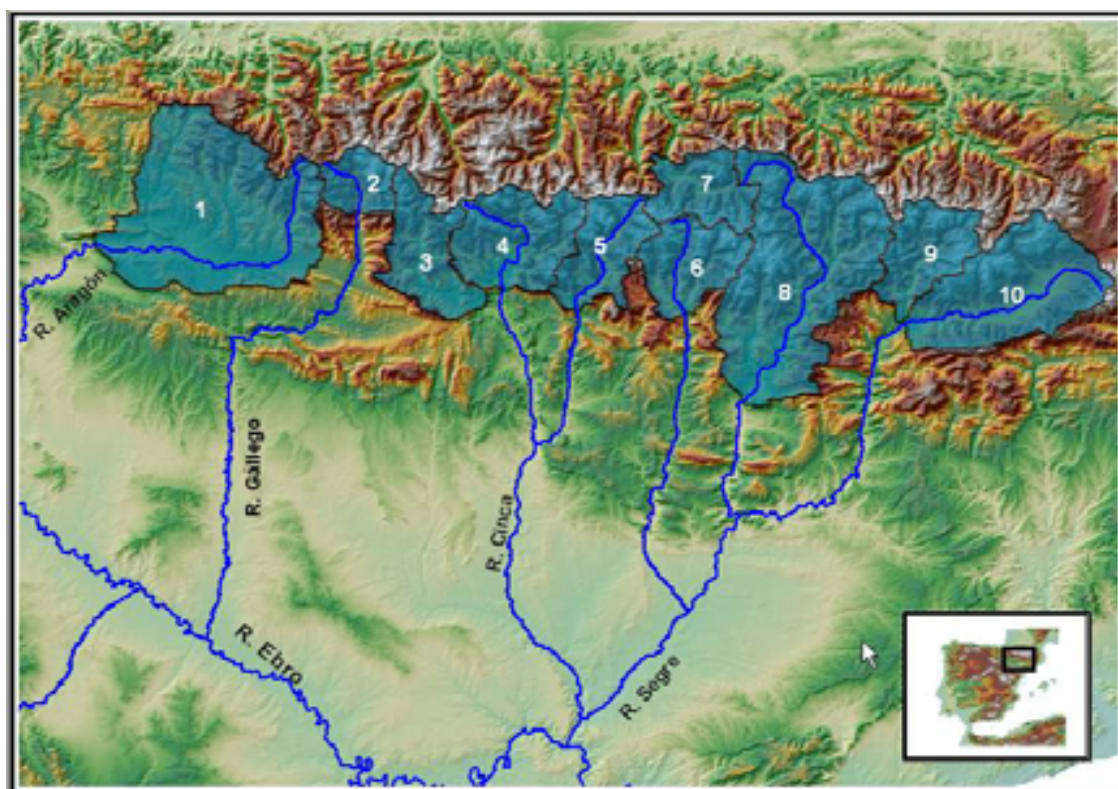
Pirineo

La cuenca del Ebro tiene una superficie de 85.000 km², de la que algo más de un 10% se encuentra afectada de forma significativa por el fenómeno nival. Esta área se corresponde con las cuencas cuya cabecera se sitúan en el Pirineo, donde se vienen realizando anualmente un máximo de tres campañas de campo desde 1987. Del total de las aportaciones del Ebro, estas cuencas de cabecera representan el 20%, mientras que la nieve controlada supone el 6% de la precipitación total de la cuenca del Ebro, quedando patente su gran importancia.



Segunda medición invernal del Pirineo español. Año 2004

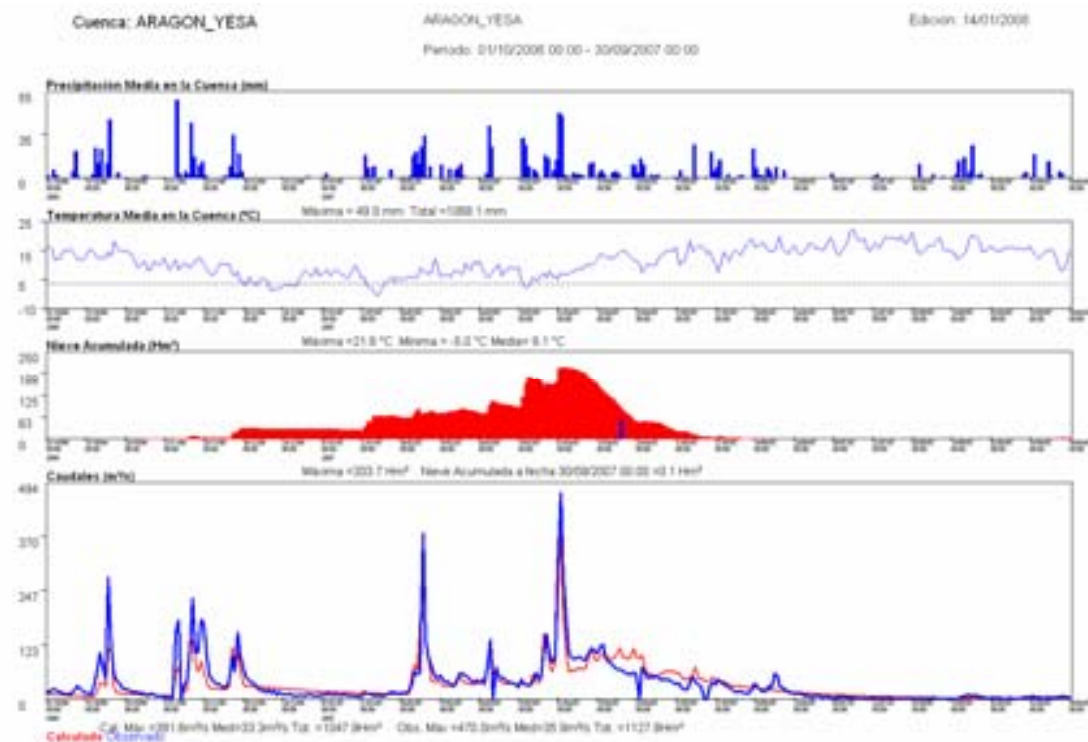
Conocidos los puntos de control de caudales instalados en la cuenca del Ebro y el área afectada por el fenómeno nival se han delimitado las cuencas donde actualmente se aplica el modelo ASTER (ver tabla adjunta).



Nº	Río	Estación de cierre	Superficie (km ²)	Cota media (m)
1	Aragón	E029 E. de Yesa	2.166,4	1.086
2	Gállego	E035 E. de Búbal	295,1	1.940
3	Ara	A040G Boltaña	615,3	1.470
4	Cinca	A051G E. Escalona	793,6	1.672
5	Ésera	A258B Campo	541,7	1.809
6	N. Ribagorzana	A137S Pont de Suert	566,6	1.849
7	Garona	A019 Bossòst	475,7	1.893
8	Pallaresa	E058M E. Talárn	2.046,3	1.627
9	Valira	A0220 Seo D´Urgel	549,0	1.912
10	Segre	A0230 Seo D´Urgel	1.239,6	1.683
TOTAL			9.307,3	

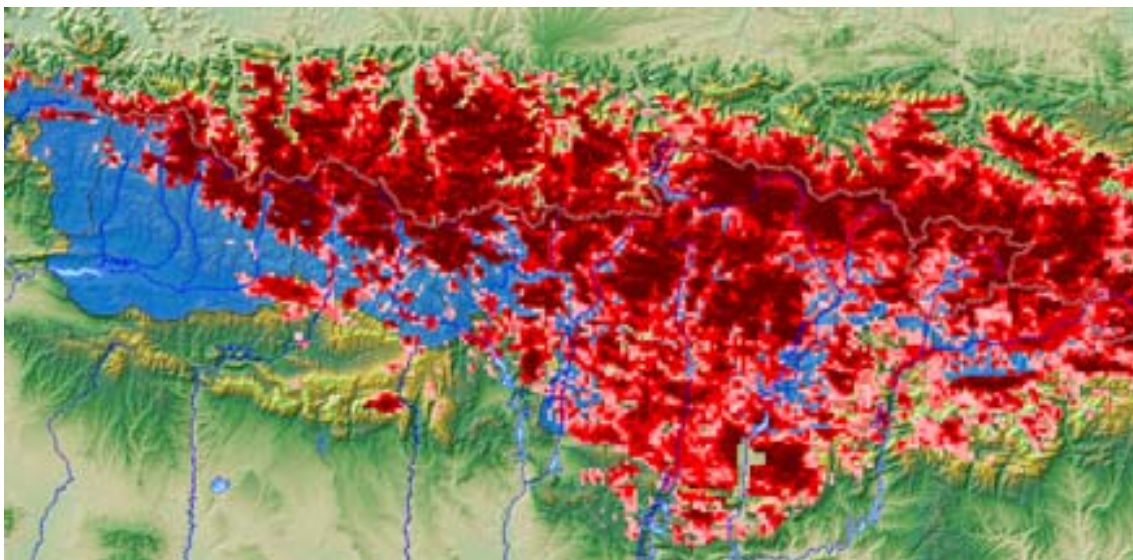
Cuencas modelizadas con ASTER en el Pirineo

Finalmente, los modelos hidrológicos se han integrado en el Sistema de Ayuda a la Decisión (SAD) desarrollado para la cuenca del Ebro, cumpliendo una doble función: permitir la gestión óptima de las avenidas para minimizar los daños potenciales y realizar una explotación adecuada, en los embalses de cabecera, de los recursos hídricos en situación ordinaria como puede comprobarse en la siguiente figura.

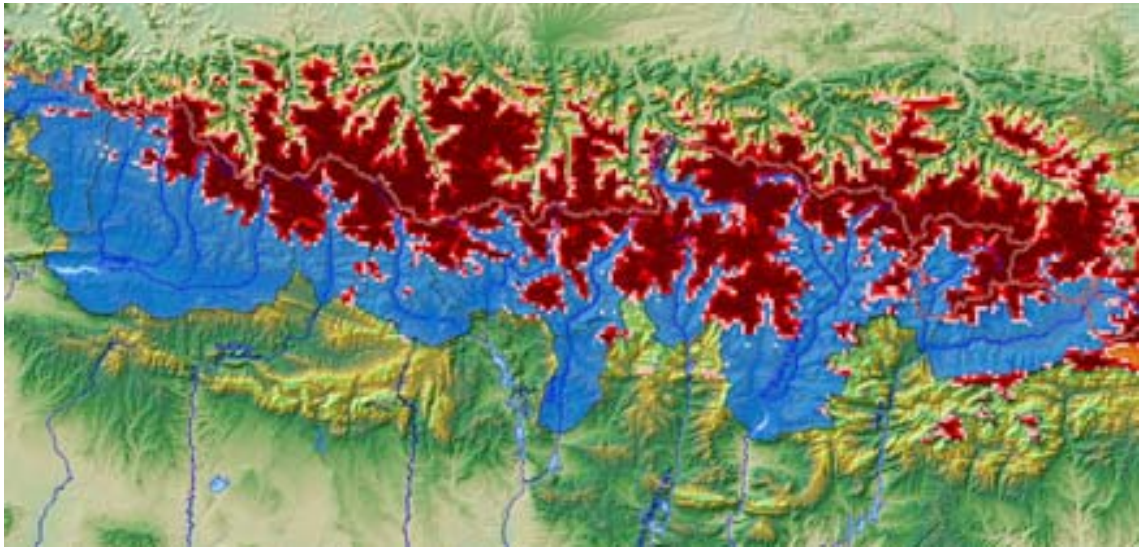


Resultados del modelo ASTER para la cuenca del río Aragón vertiente al embalse de Yesa. Año 2007

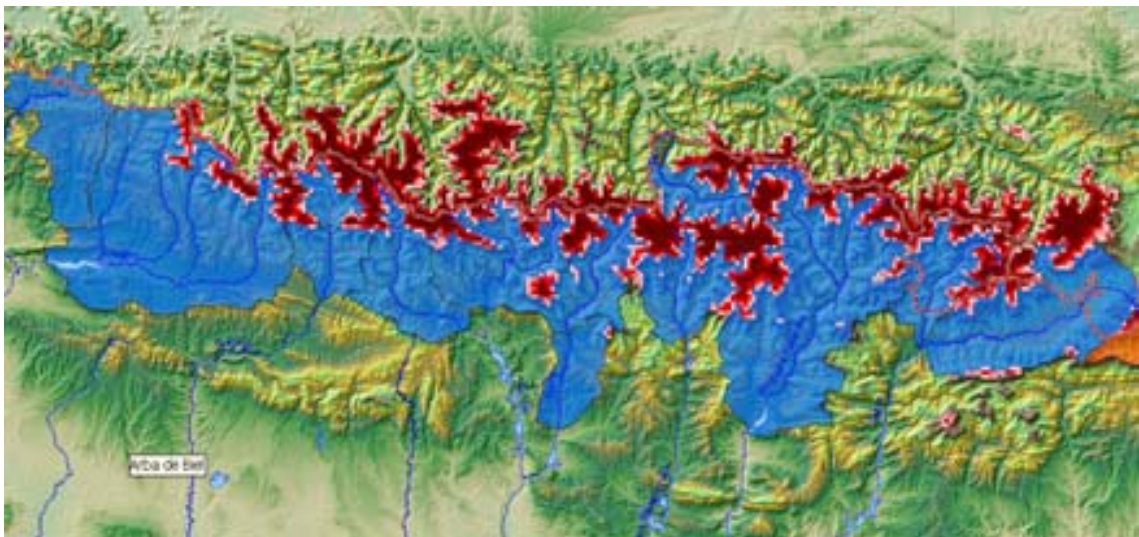
Estos modelos son calibrados periódicamente a partir de la información de caudales proporcionada por las estaciones de aforo en ríos, así como con los resultados obtenidos de las campañas de medición nival en pértigas y la interpretación de las imágenes satélite de teledetección, como puede comprobarse en la figura que se muestra a continuación en los que se representa, en color rojo, la superficie de la cubierta de nieve en cada una de las tres mediciones efectuadas en el año 2006 en el Pirineo.



Medición 1: 01/02/2006. En rojo superficie cubierta de nieve. En azul cuencas estudiadas

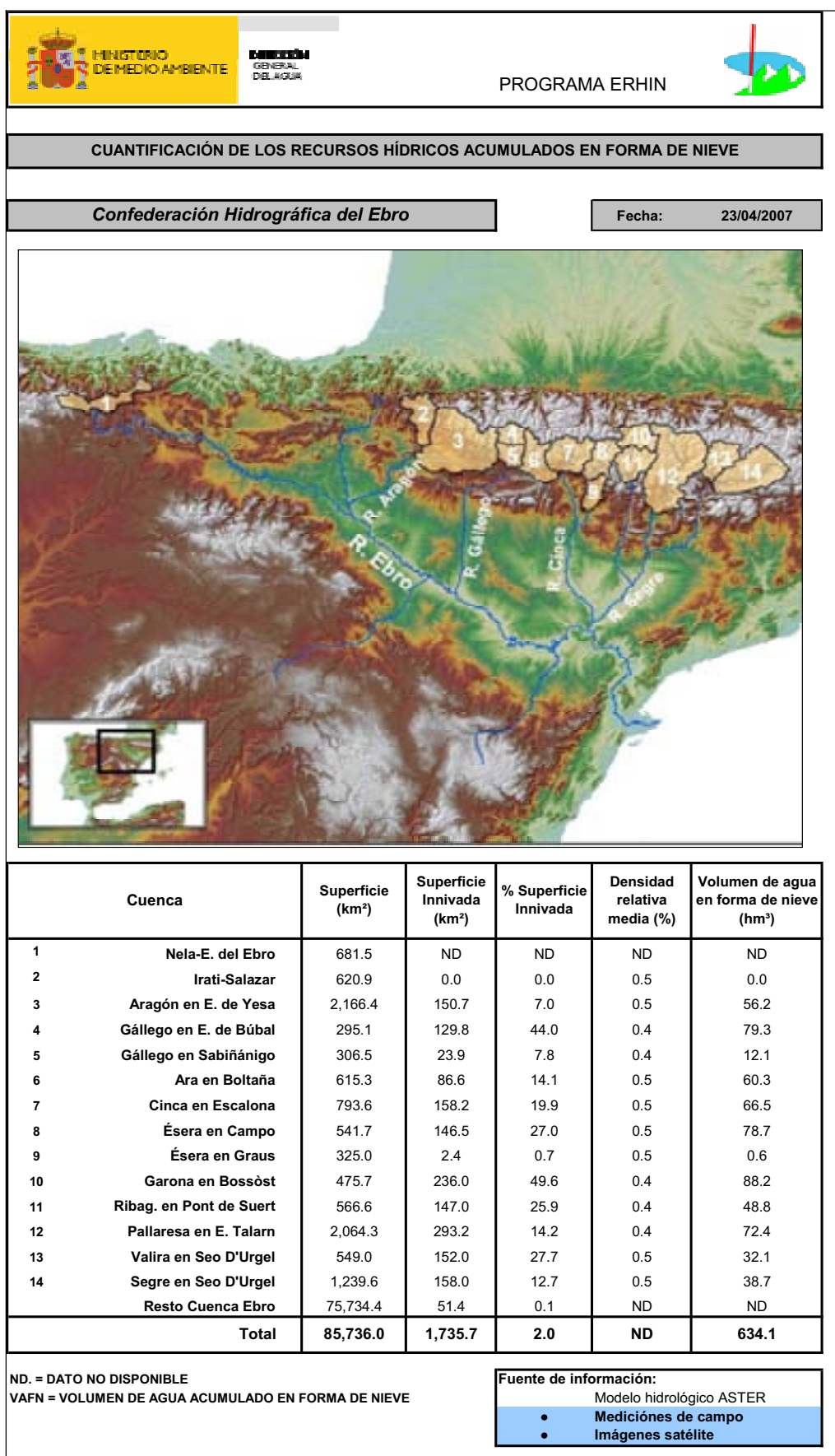


Medición 2: 14/03/2006. En rojo superficie cubierta de nieve. En azul cuencas estudiadas



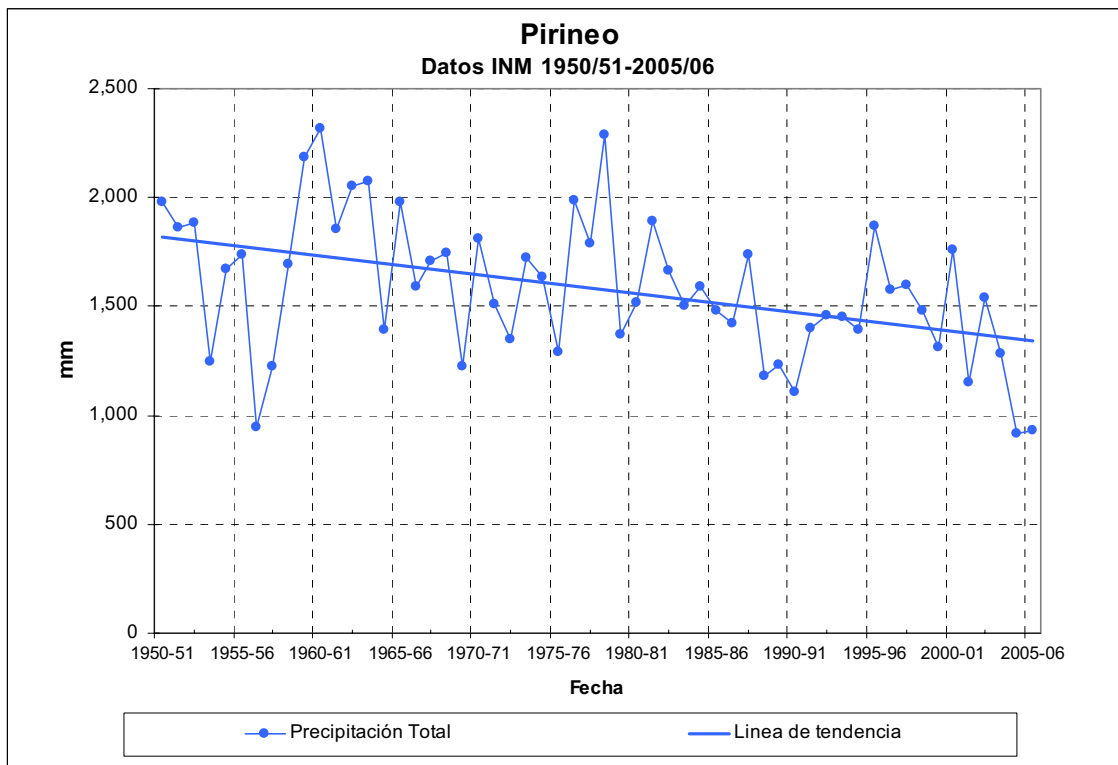
Medición 3: 30/04/2006. En rojo superficie cubierta de nieve. En azul cuencas estudiadas

Mediante la aplicación del modelo geoestadístico, descrito en el capítulo correspondiente, a los datos obtenidos de la campaña de medición y los de teledetección se obtiene la cuantificación del volumen de agua almacenado en forma de nieve (VAFN) para cada subcuena y su distribución espacial. Con todo ello se genera un informe resumido como el que se muestra en la siguiente figura.



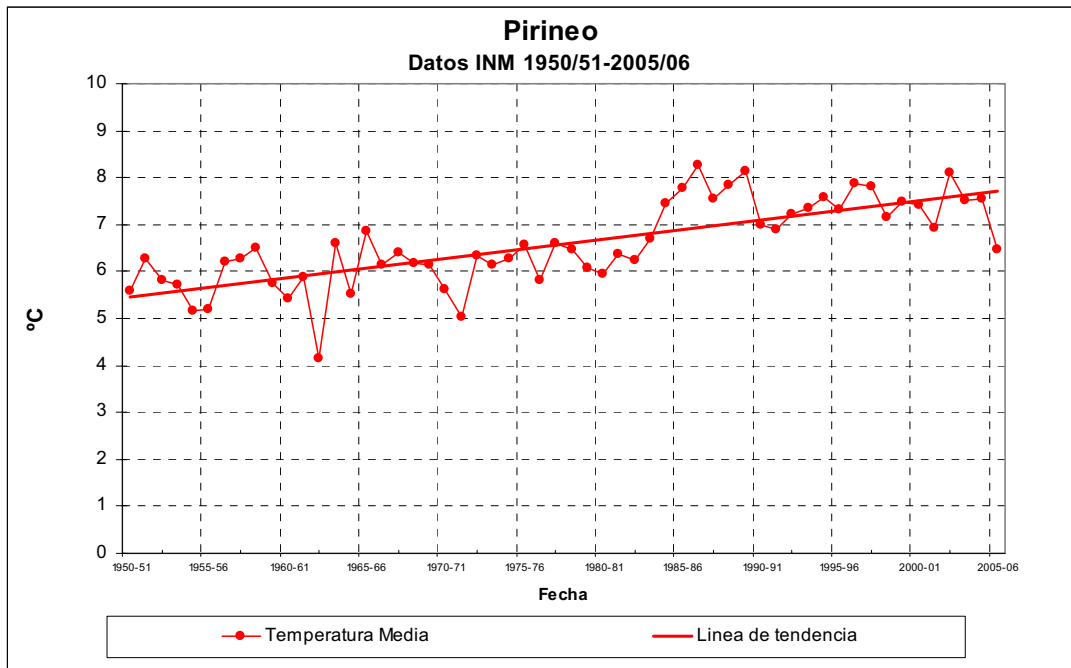
En el caso de la cuenca del río Ebro, se dispone de datos hidrometeorológicos de buena calidad procedentes del SAIH desde el año 2002. Por este motivo, hasta dicha fecha los estudios se basan en los datos obtenidos del INM, cuya serie histórica es mucho más amplia (se ha estudiado la serie 1950/51-2005/06). Para el período de tiempo común a ambos orígenes (2002/03-2005/06) se ha comprobado la homogeneidad de los datos, asegurando la correcta interpretación de los resultados obtenidos. Una vez realizado este proceso para el estudio detallado del período 2002/03-2007/08 se han utilizado datos procedentes del SAIH.

En un primer análisis de los datos indicados se comprueba como las precipitaciones del período hidrológico 1950/51-2005/06 para la superficie estudiada tiene una clara tendencia decreciente.



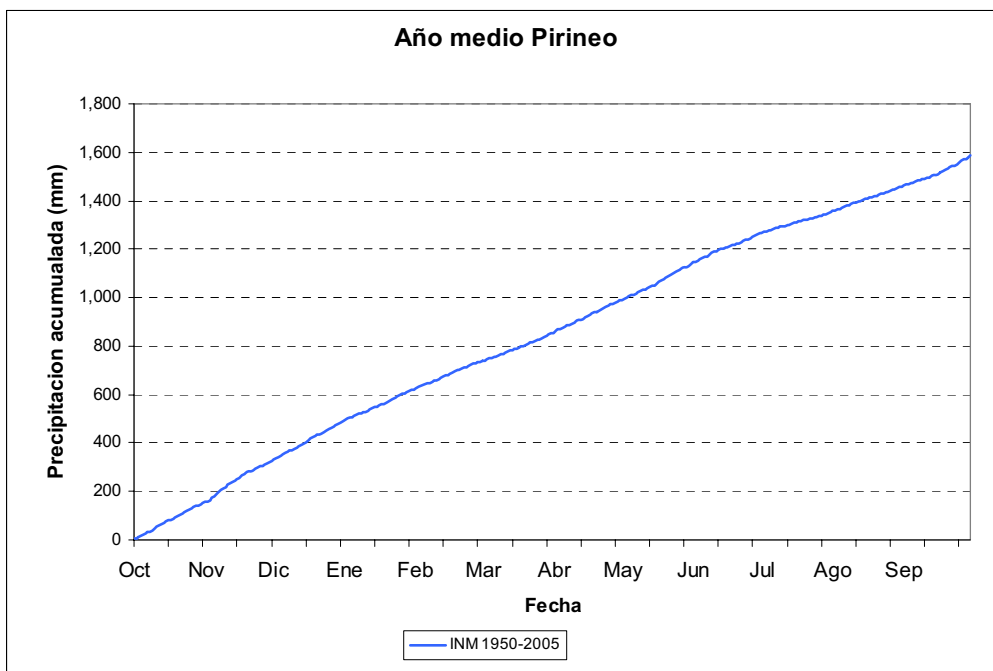
Precipitaciones anuales en la zona ASTER del Pirineo para el periodo hidrológico 1950/51-2005/06

Del mismo modo, en la figura siguiente se observa que las temperaturas siguen una tendencia creciente para el período de estudio.

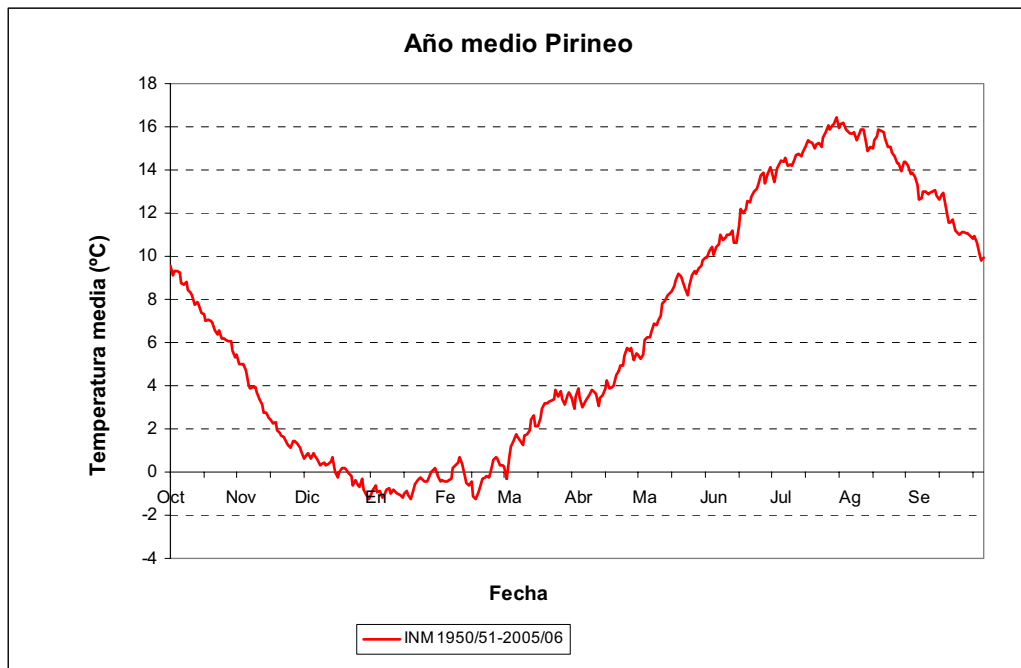


Temperaturas medias anuales en la zona ASTER del Pirineo para el periodo hidrológico 1950/51-2005/06

En las dos figuras siguientes se observa la evolución de las precipitaciones acumuladas y temperaturas media diarias para un año medio del mismo periodo. En el caso de las precipitaciones se observa un comportamiento lineal. En el caso de las temperaturas, los valores mínimos se registran en los meses de enero/febrero, mientras que los máximos se producen en el mes de agosto.



Precipitaciones acumuladas en la zona ASTER del Pirineo para el periodo hidrológico 1950/51-2005/06

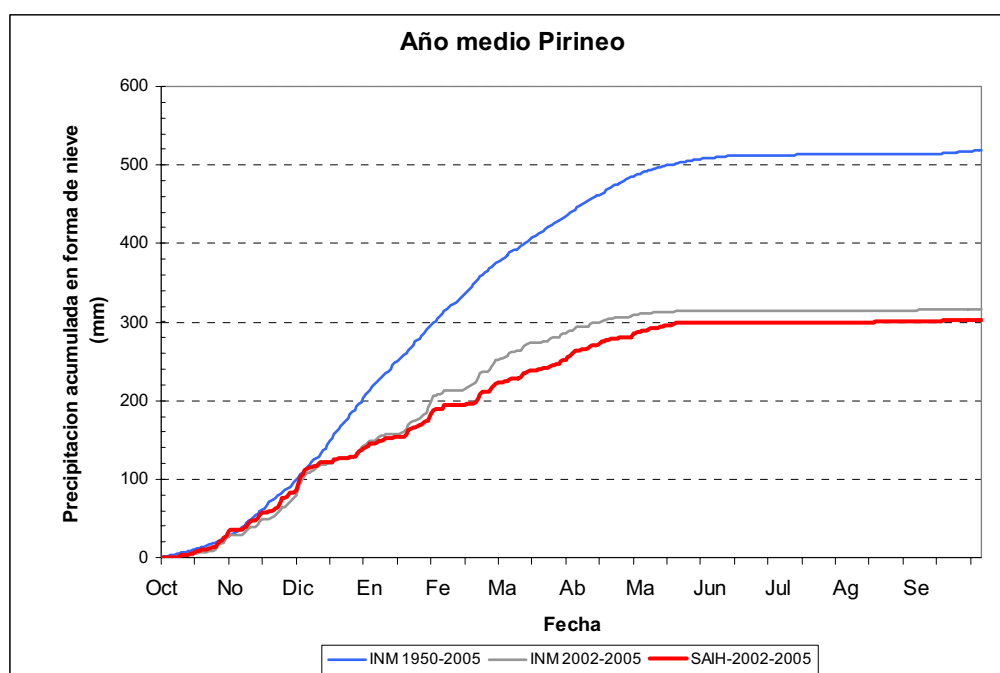


Evolución de las temperaturas medias diarias en la zona cubierta por el modelo ASTER del Pirineo para el periodo hidrológico 1950/51-2005/06

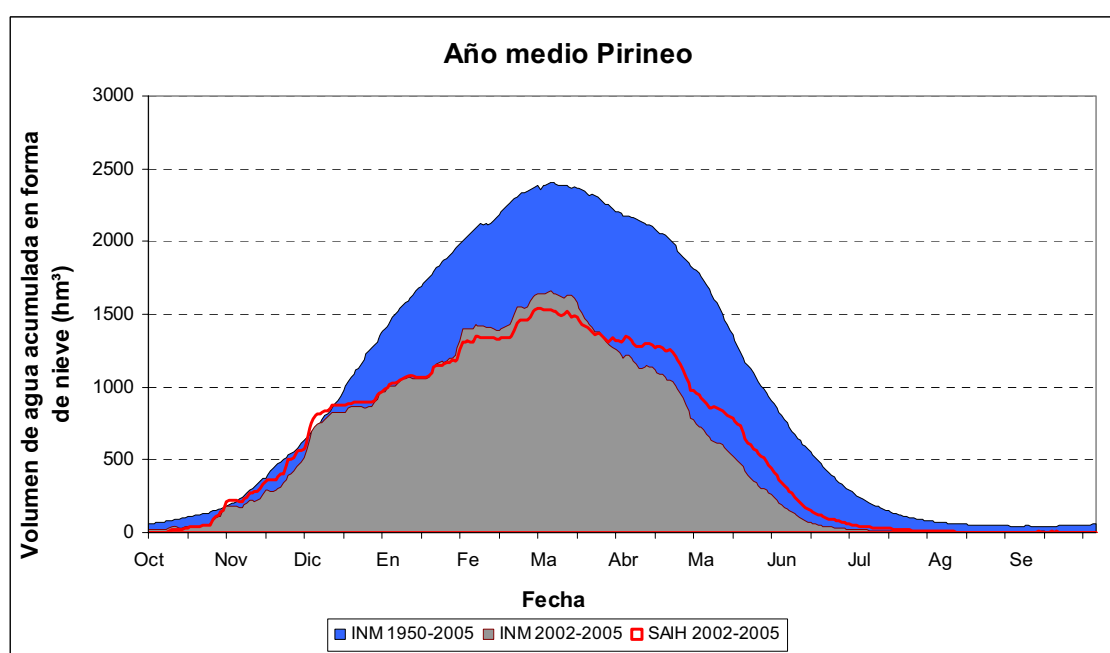
De la simulación de esta información mediante el modelo ASTER se obtienen los resultados presentados en las siguientes figuras.

En primer lugar debe destacarse la homogeneidad de resultados obtenidos aplicando datos INM y datos SAIH para la cuantificación de la nieve precipitada y para el estudio de la evolución del volumen de agua acumulado en forma de nieve como puede comprobarse en los dos gráficos siguientes. En ambos casos las desviaciones son despreciables para el estudio. En estas figuras también se aprecia la diferencia de valores obtenidos para el año medio si se analiza el período hidrológico 1950/51-2005/06 ó el 2002/03-2005/06. En este último período, los valores nivales son mucho menores, resultado consecuente con las conclusiones obtenidas para las precipitaciones y temperaturas registradas en la zona y que han sido antes mencionadas.

En el gráfico correspondiente a la evolución del volumen de agua acumulado en forma de nieve se aprecia como el efecto de la tendencia indicada previamente para las temperaturas y precipitaciones se ha trasladado al fenómeno nival, reduciéndose el valor máximo del volumen almacenado en forma de nieve para un año hidrológico y la época del año donde su valor es significativo (actualmente en los meses de junio y julio el volumen de nieve es despreciable).



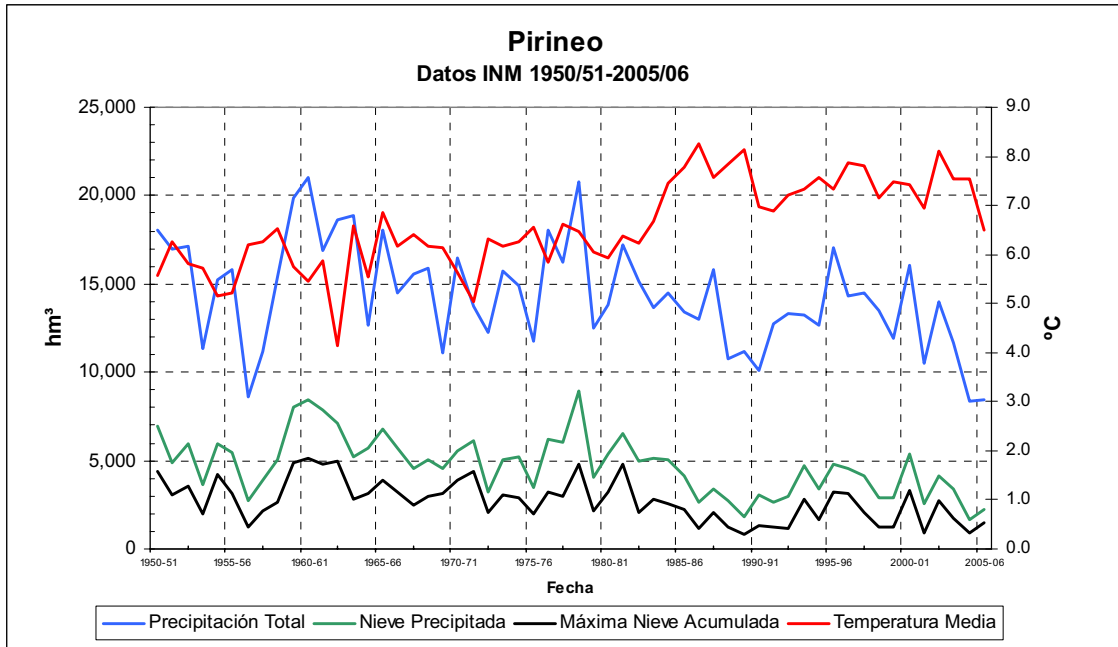
Evolución de la precipitación acumulada en forma de nieve en la zona ASTER del Pirineo para distintos periodos de tiempo y diferentes fuentes de información



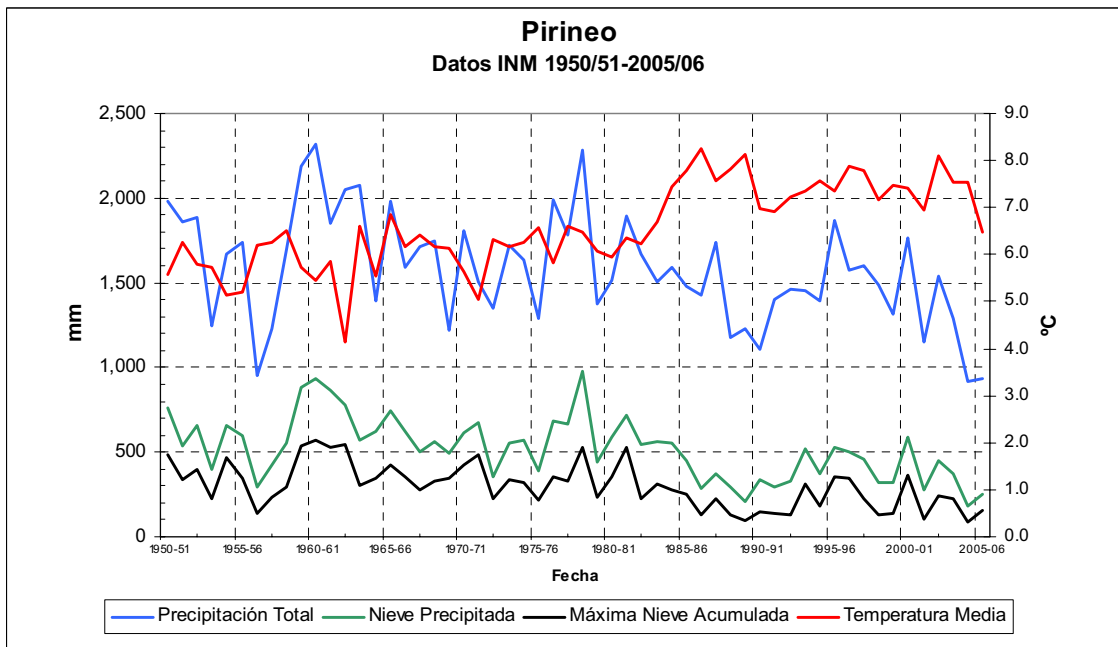
Evolución del volumen de agua acumulado en forma de nieve en la zona ASTER del Pirineo para distintos periodos de tiempo y diferentes fuentes de información

En los dos gráficos siguientes se observa la tendencia en el período hidrológico 1950/51-2005/06 para la nieve precipitada anualmente y la del valor máximo de agua almacenada en forma de nieve para cada año (resultados de la modelización). En ambas series se comprueba una tendencia decreciente, lo que significa que los recursos hídricos en forma de nieve han

ido disminuyendo progresivamente tanto en volumen total regulado como en valores máximos registrados.



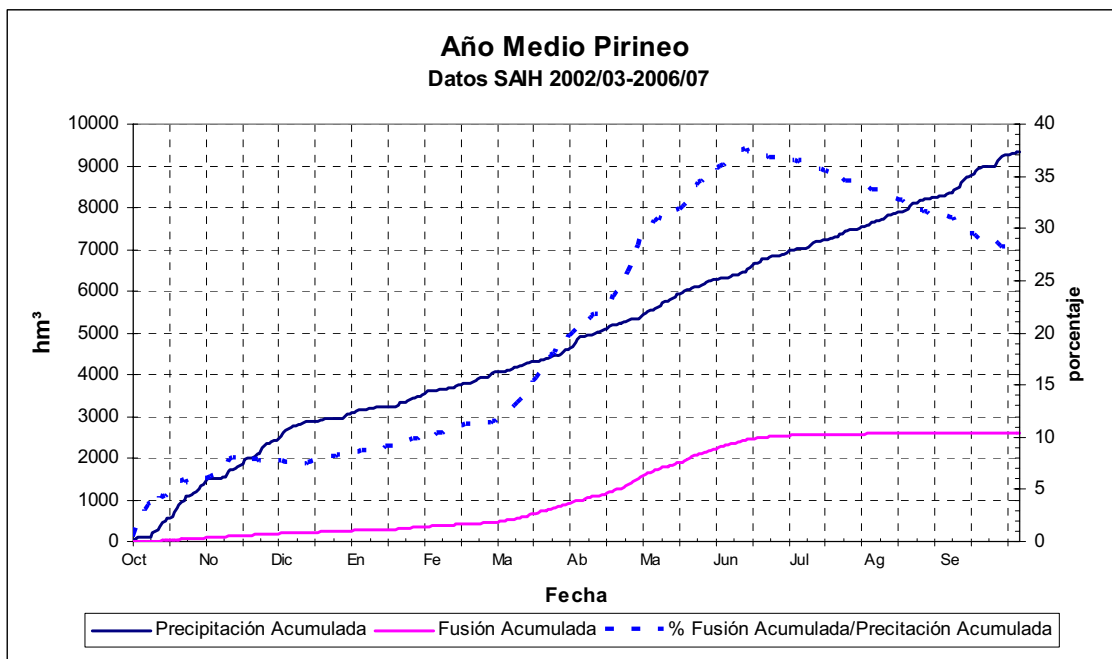
Evolución de algunos parámetros nivales en la zona ASTER del Pirineo para el periodo hidrológico 1950/51-2005/06



Evolución de algunos parámetros nivales en la zona ASTER del Pirineo para el periodo hidrológico 1950/51-2005/06

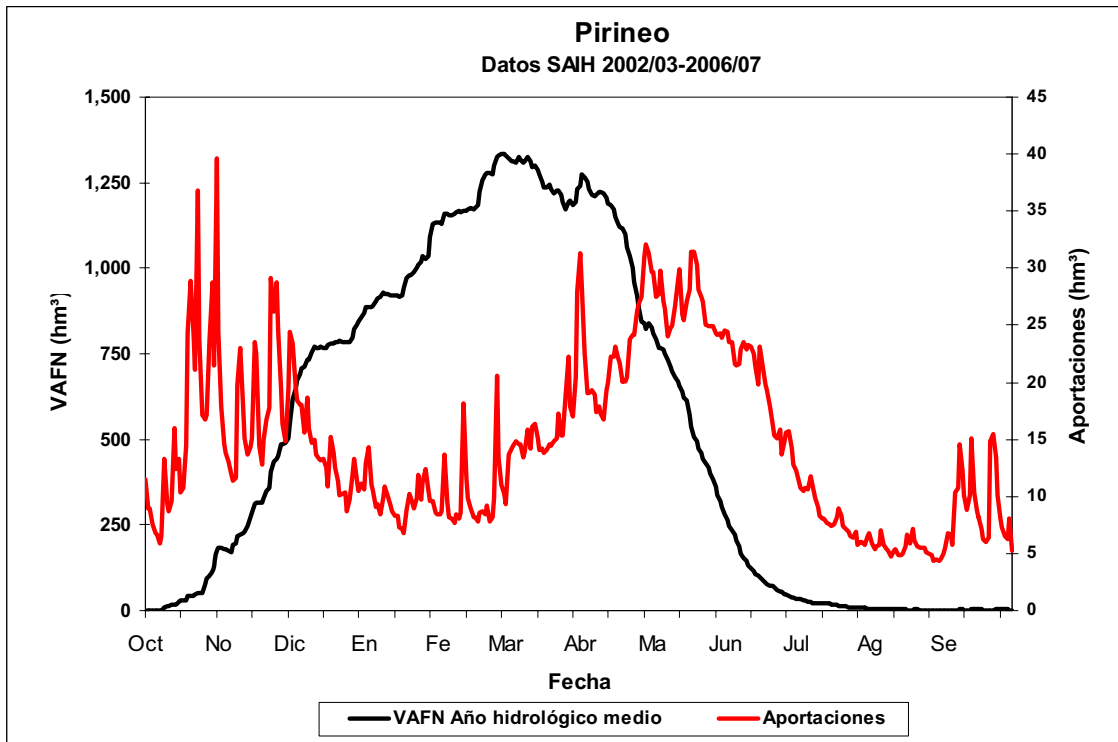
Para el período 2002/03-2006/07, del que se dispone de datos SAIH, se ha realizado un análisis más detallado cuyos resultados se comentan seguidamente.

Respecto al volumen de agua precipitado en forma de nieve y la fusión generada, se concluye que en el período marzo-junio es donde la fusión de la nieve acumulada tiene mayor importancia respecto a la precipitación, llegando a representar más del 35% hasta junio, y siendo de casi un 30% a nivel anual. Esto indica la gran relevancia de este fenómeno en la hidrología del área de estudio.

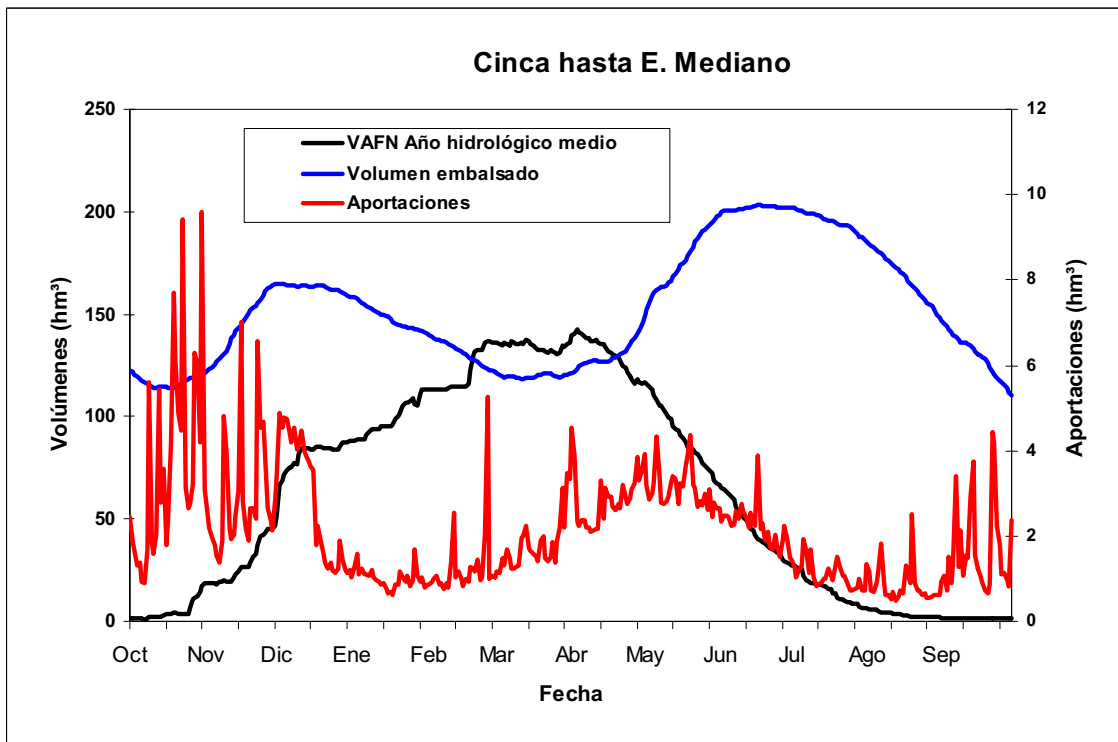


Comparativa del volumen de agua precipitado en forma de nieve y la fusión generada en la zona ASTER del Pirineo para el período 2002/03-2006/07

En cuanto a los recursos almacenados y su relación con el volumen embalsado y los caudales circulantes por los ríos, cabe decir que el efecto del fenómeno nival queda patente en las dos figuras siguientes. En la primera de ellas se representa, para toda el área de estudio, el volumen de agua almacenada en forma de nieve y las aportaciones de los tramos de ríos afectados. Se observa el importante efecto de regulación hídrica que produce sobre las aportaciones la fusión nival. En la segunda figura se representan, para la cuenca vertiente al embalse de Mediano, las aportaciones al embalse, el volumen embalsado y el volumen de agua almacenada en forma de nieve para la cuenca. Se aprecia como la fusión en los meses marzo-junio producen un incremento muy importante en el caudal de base del río Cinca y éste a su vez aumenta el volumen almacenado en el embalse de Mediano.

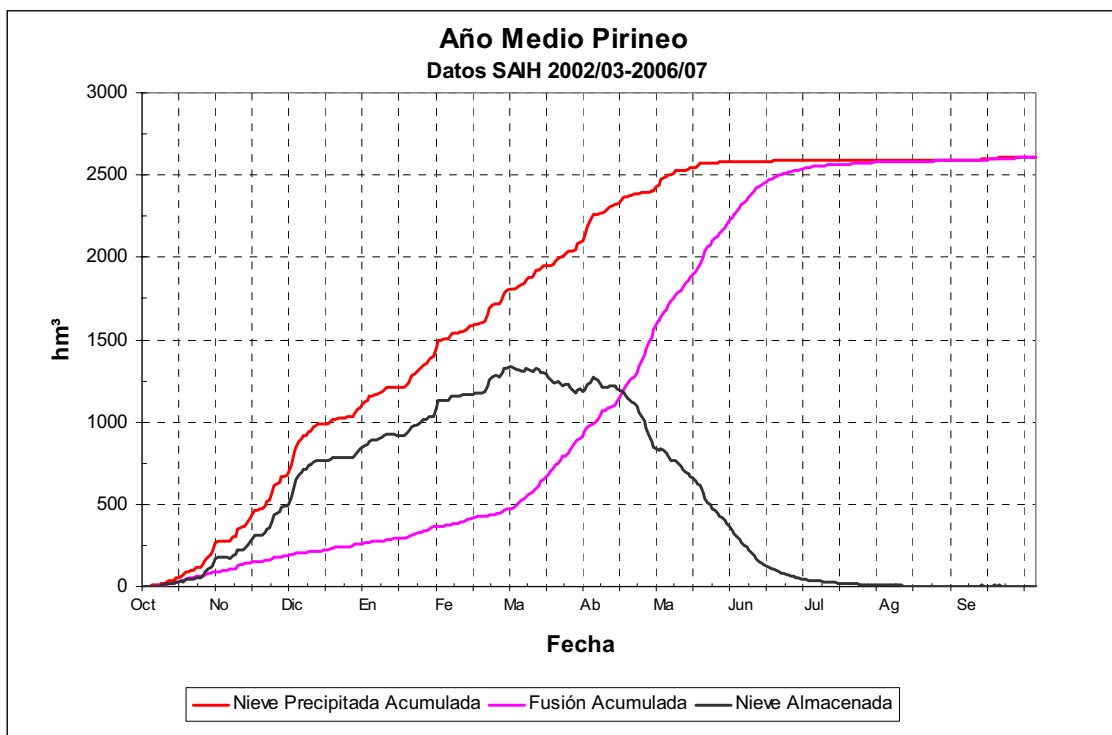


Estudio del fenómeno nival y su efecto en la regulación de los caudales circulantes en la zona de estudio del Pirineo. Periodo 2002/03-2006/07



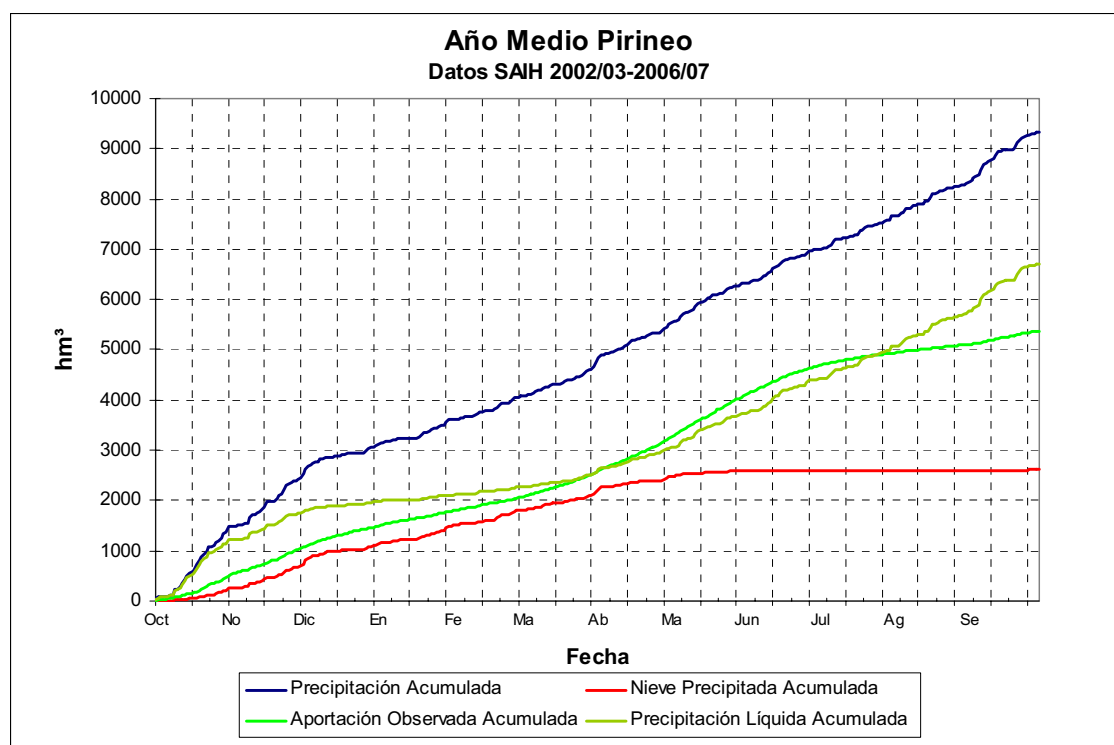
Estudio del fenómeno nival y su efecto en la regulación para la cuenca del Cinca vertiente al embalse de Mediano. Periodo 2002/03-2006/07

Las precipitaciones acumuladas en forma de nieve se ajustan a un modelo lineal entre noviembre y abril, mientras las fusiones se centran en el período marzo-junio, lo que implica un importante efecto regulador de los recursos hídricos, retardando la incorporación de la escorrentía a los cauces fluviales. La fusión se inicia de modo lento, acelerándose el proceso a finales de abril y prolongándose hasta casi finales del mes de julio. Esta circunstancia asegura un caudal base en los ríos pirenaicos para el periodo estival que se caracteriza por bajas precipitaciones, elevada evapotranspiración e importantes demandas.



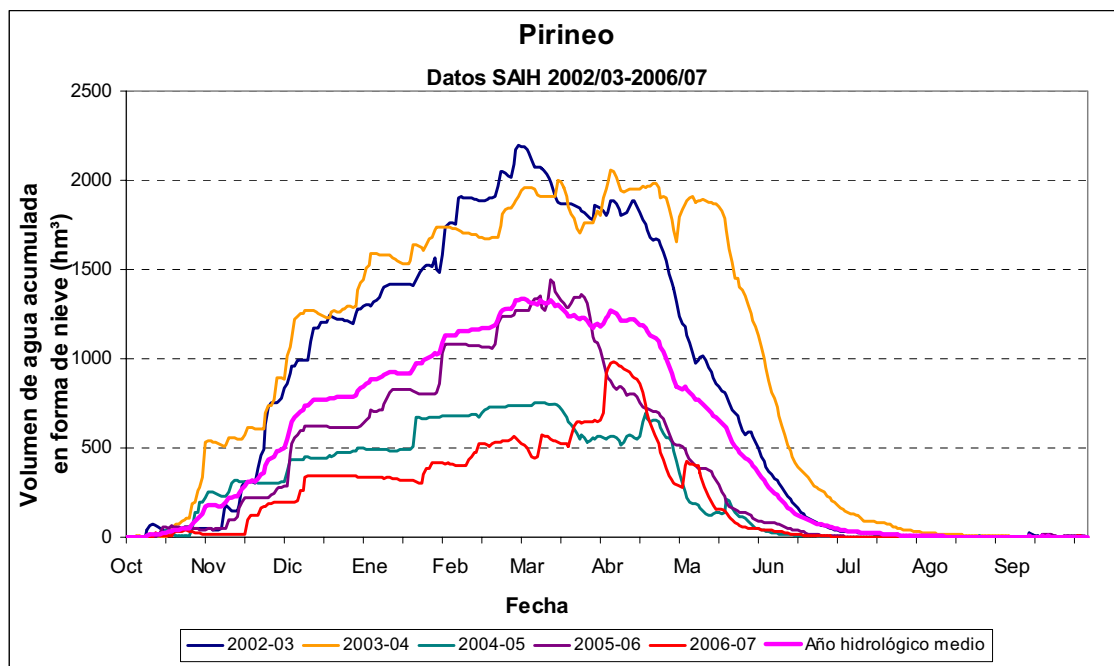
Comportamiento del fenómeno nival en la zona ASTER del Pirineo para el período 2002/03-2006/07

Como se aprecia en la siguiente figura, las aportaciones procedentes de la innivación son especialmente significativas en los embalses de cabecera para el período abril-julio, momento en el cual comienza a disminuir sustancialmente el caudal base de los ríos hasta el inicio del nuevo año hidrológico (octubre).

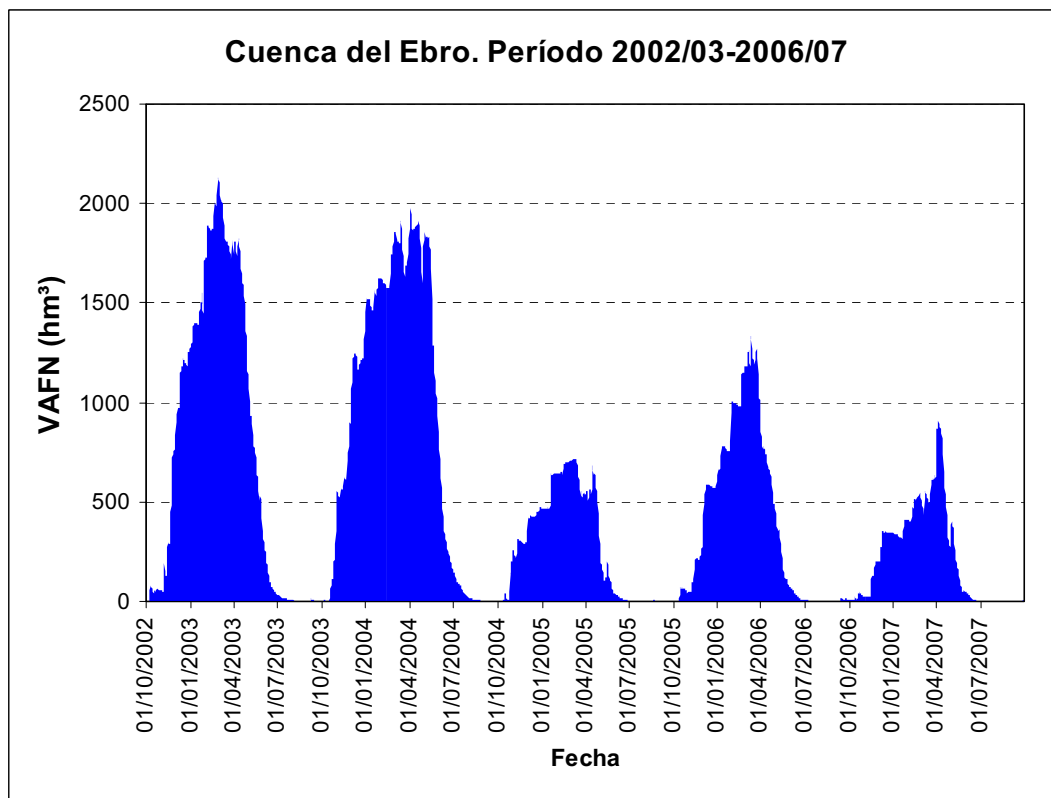


El fenómeno nival y la incorporación de los caudales a los embalses de cabecera en la zona ASTER del Pirineo para el período 2002/03-2006/07

Del análisis comparativo de los últimos cinco años hidrológicos se aprecia una cierta tendencia a la disminución del volumen de agua almacenada en forma de nieve, así como reducción en el efecto de regulación hídrica. En la siguiente figura se puede apreciar la evolución de la nieve acumulada en el Pirineo español para los cinco últimos años hidrológicos y su comparación con el año medio. En primer lugar se ve de forma muy clara que para el año hidrológico 2004/05 la nieve acumulada en forma de nieve en el Pirineo fue muy escasa en todo momento, llegando a ser la mitad de la habitual para el período de máxima acumulación (febrero-mayo). En el caso del año hidrológico 2005/06, aunque la acumulación máxima es incluso superior a la media, la fusión se ha producido muy rápidamente, adelantándose el aporte de caudales a los cursos fluviales al menos en un mes, respecto a la situación habitual. En este caso el efecto regulador de los recursos hídricos ha sido mucho menor del esperado. El año 2006/07 es muy similar al 2004/05, con acumulaciones muy pequeñas y fusión muy rápida. Se puede concluir que los tres últimos años hidrológicos se han situado muy por debajo del año medio.

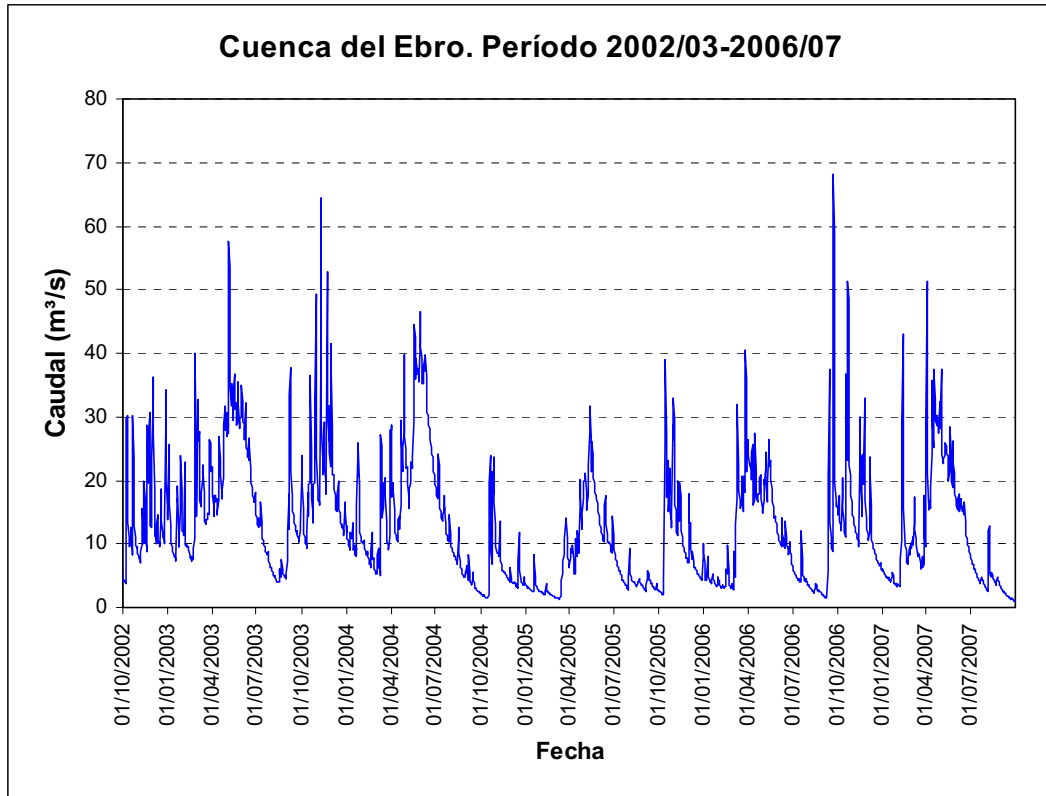


Evolución del agua acumulada en forma de nieve para las cuencas del Pirineo modelizadas con ASTER



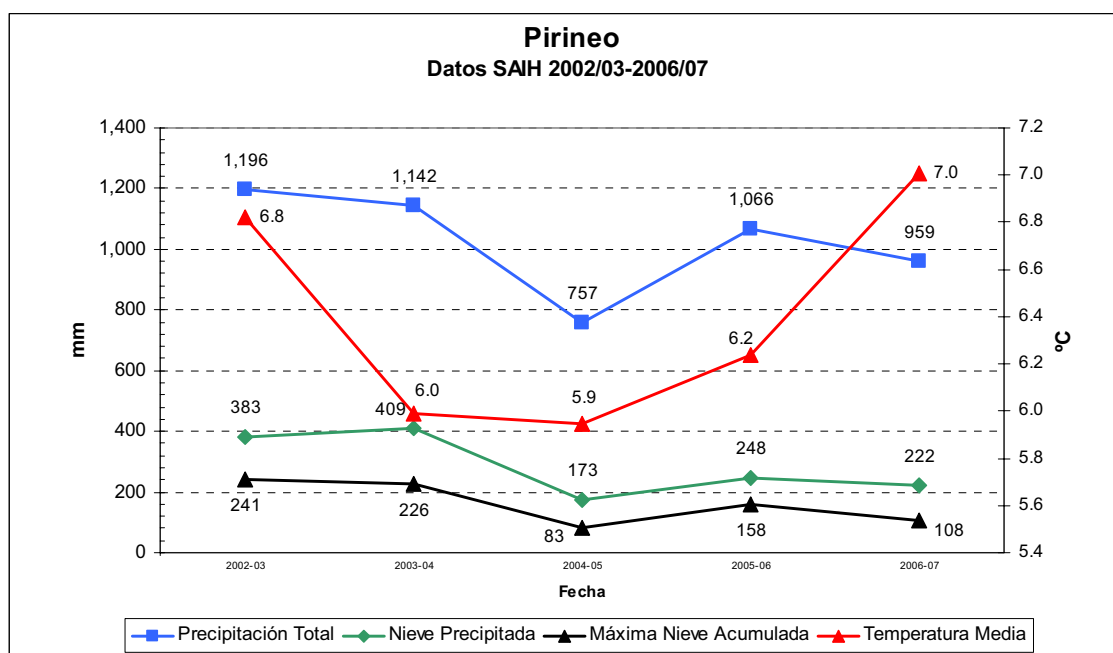
Evolución del VAFN en la Cuenca del Ebro para las cuencas del Pirineo modelizadas con ASTER para el periodo hidrológico 2002/03-2006/07

Todo lo indicado previamente se refleja en las aportaciones medidas en los embalses de cabecera.

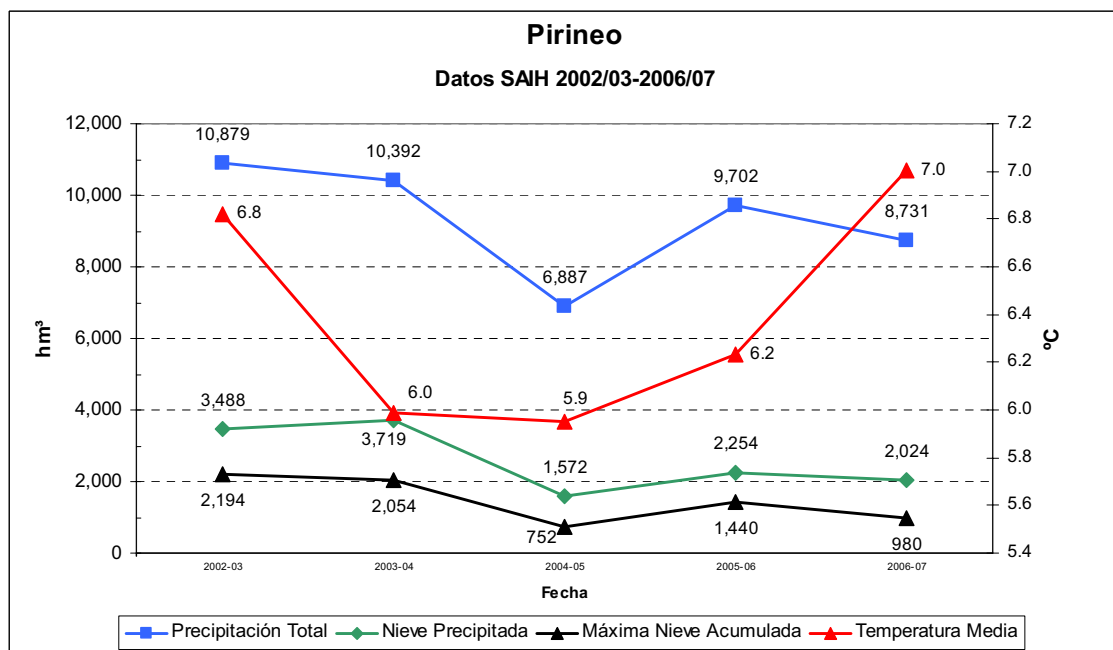


Evolución de las aportaciones a los embalses de cabecera para las cuencas del Pirineo modelizadas con ASTER para el periodo hidrológico 2002/03-2006/07

Esta situación queda igualmente reflejada en las figuras siguientes.



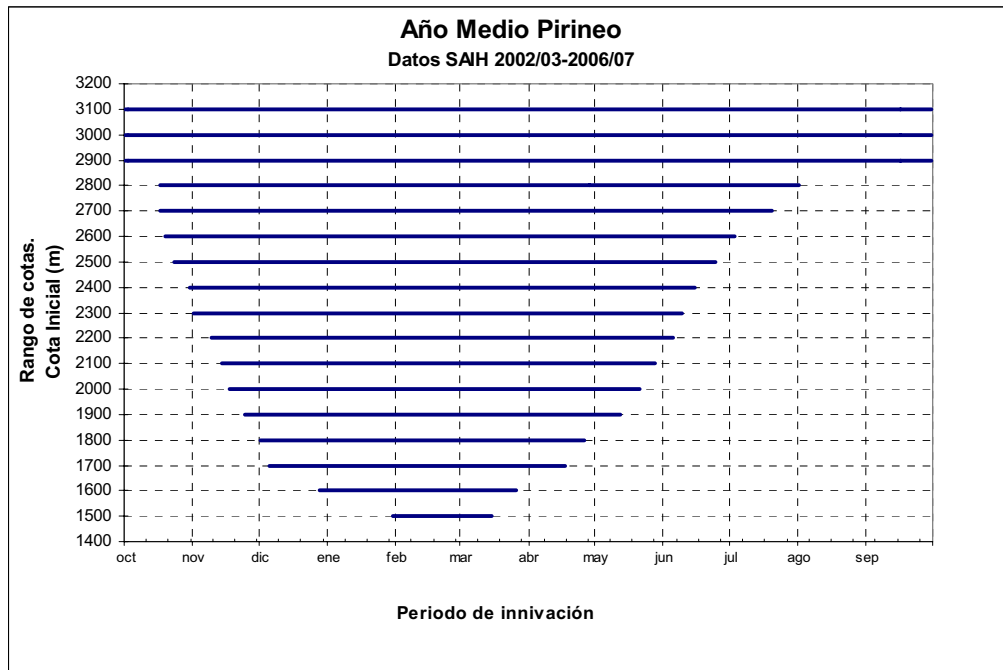
Evolución de algunos parámetros nivales (en mm) en la zona ASTER del Pirineo para el periodo hidrológico 2002/03-2006/07



Evolución de algunos parámetros nivales (en hm³) en la zona ASTER del Pirineo para el periodo hidrológico 2002/03-2006/07.

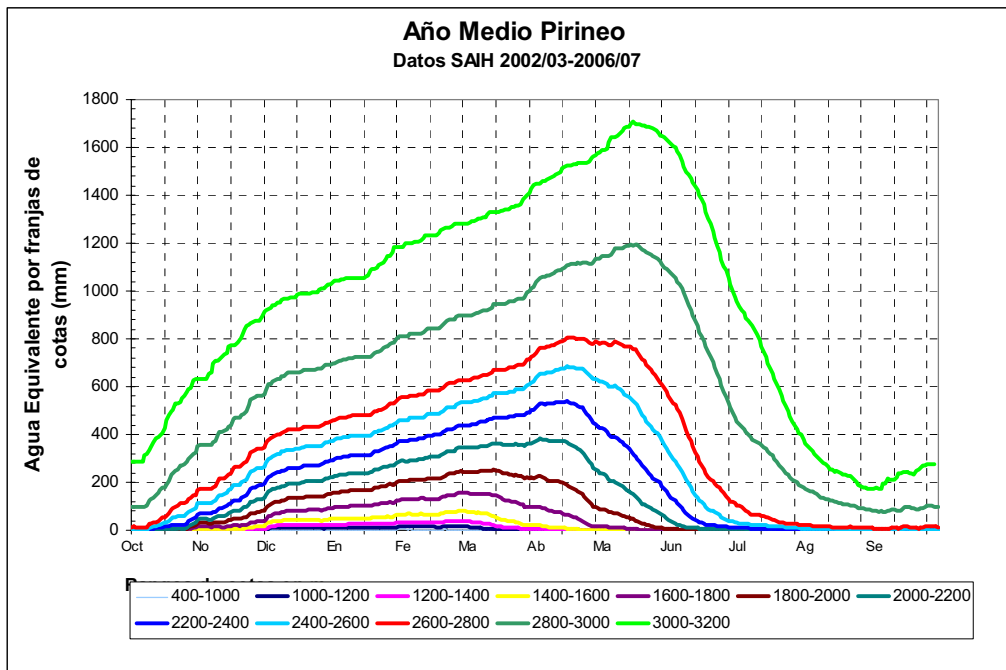
Por otro lado, se ha realizado un estudio de la importancia nival por cotas para cuantificar en que altitudes tiene mayor importancia el fenómeno nival, tanto en volúmenes hídricos totales como en su efecto laminador.

Respecto al periodo de tiempo en el que encontramos nieve, puede decirse que debemos buscar cotas superiores a 1.500 m de altitud para que la nieve tenga una permanencia considerable y el volumen almacenado sea significativo. En cotas inferiores a los 1.500 m de altitud, el tiempo medio de permanencia de la superficie cubierta con un espesor superior a los 20 cm es inferior a los treinta días, con lo que su efecto regulador es muy pequeño.



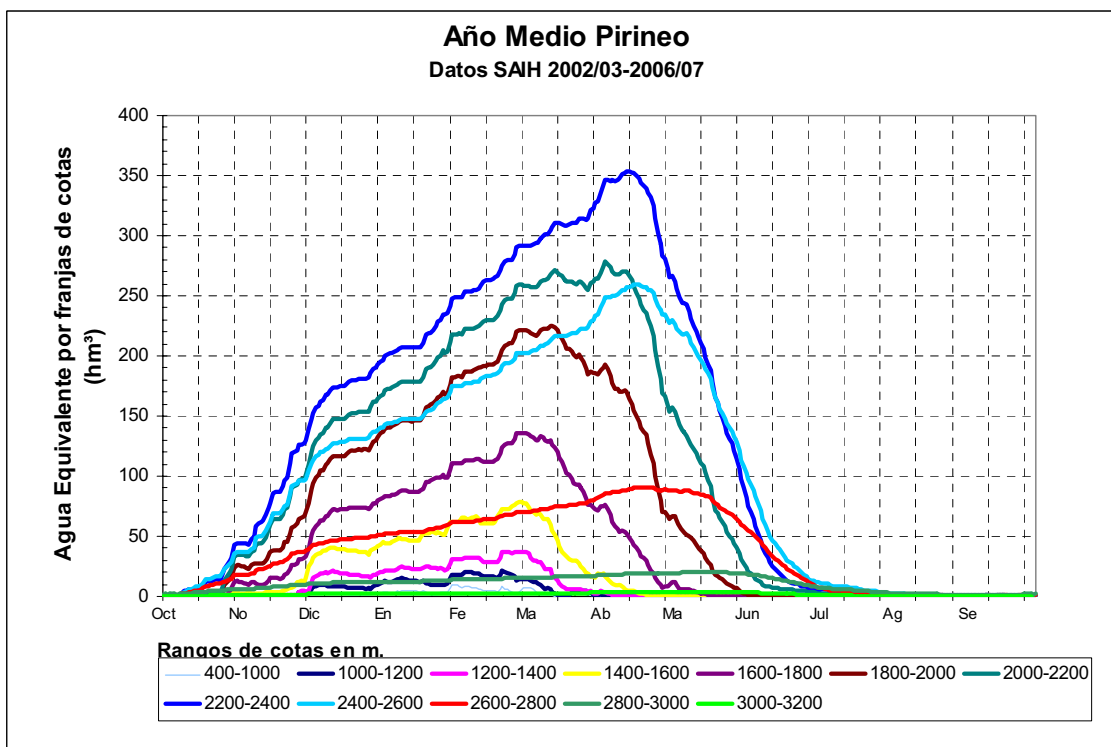
Tiempo de permanencia media de superficies cubiertas de nieve con espesores superiores a 20 cm, clasificadas por rangos de cotas

Respecto a los equivalentes de agua (mm), como no puede ser de otro modo, en general aumentan con la cota, si bien la superficie va disminuyendo. Esta circunstancia hace que el grueso de las reservas hídricas almacenadas en forma de nieve se encuentre entre las cotas 1.800 y 2.600 m como puede comprobarse en las tres figuras siguientes. La permanencia de nieve en estas cotas varía entre los 4 y los 8 meses, lo que en este caso sí representa un importante efecto regulador respecto a los caudales circulantes por los cauces.



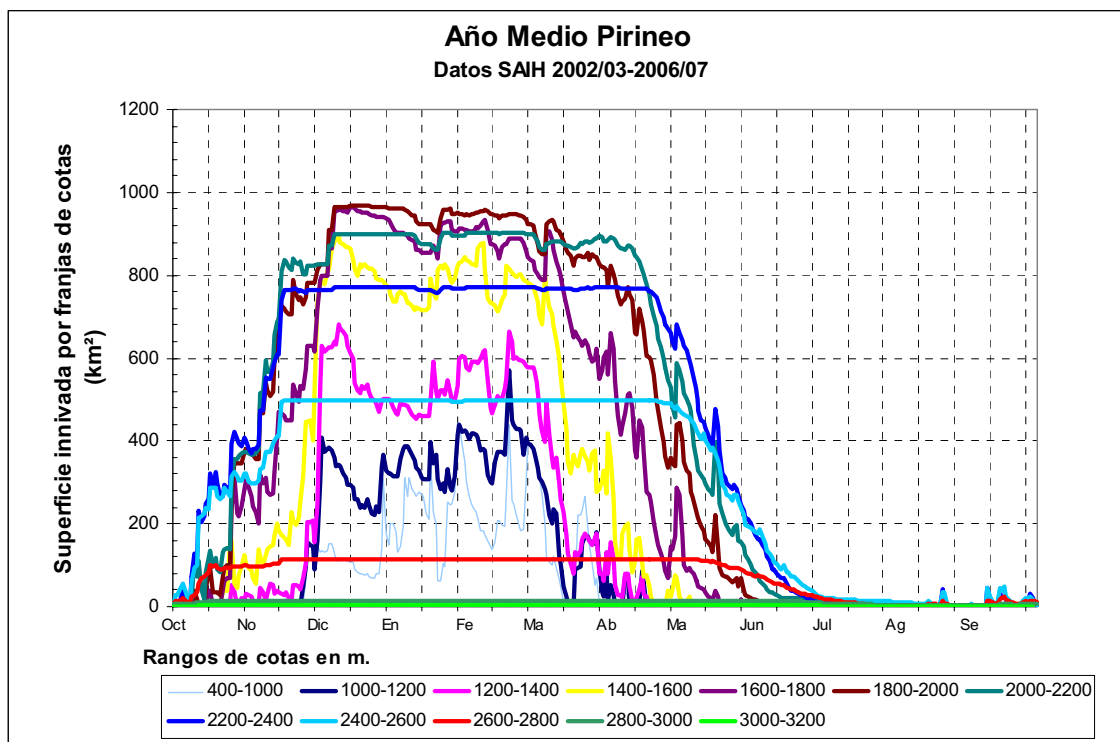
Equivalente de agua medio almacenado en forma de nieve (en mm) para los diferentes rangos de cotas

A partir de los 2.800 m comienzan a encontrarse superficies que pueden estar innivadas durante todo el año, si bien el volumen almacenado es insignificante en lo que se refiere a recursos hídricos.



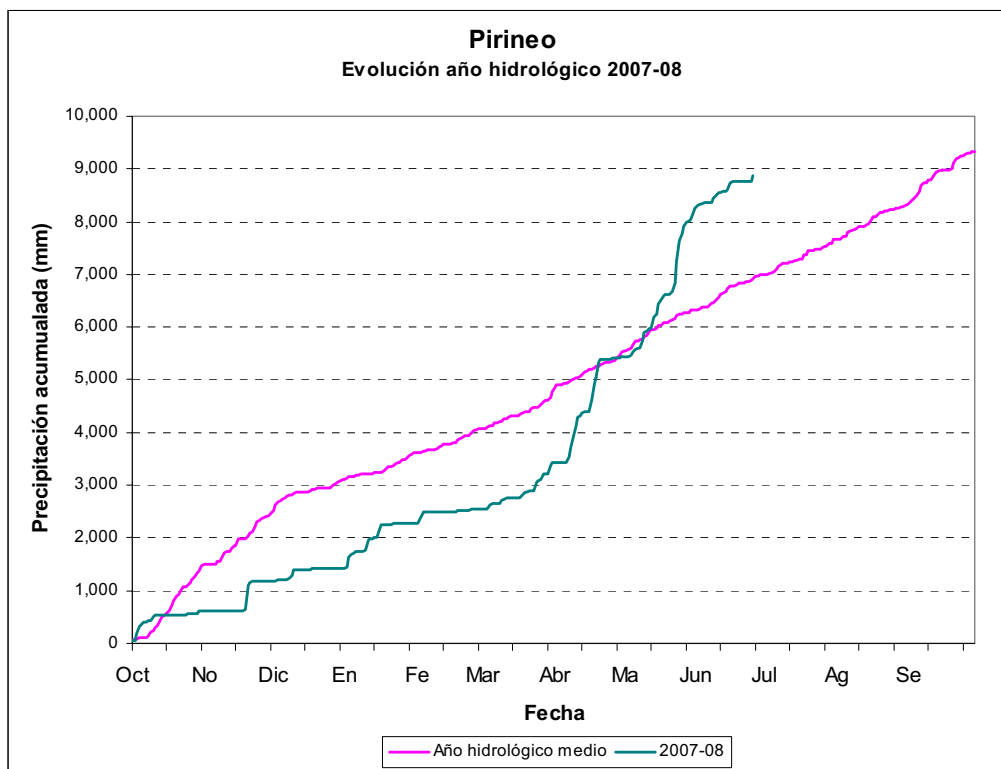
Volumen de agua medio almacenado en forma de nieve (hm³) para los diferentes rangos de cotas

La franja 2.200-2.400 m es la que mayor volumen de agua almacena en forma de nieve seguida de la de 2.000-2.200 m, si bien se observa como la franja 2.400-2.600 m comienza a tener mayor relevancia relativa hacia los meses posteriores a marzo, llegando a superar el volumen total de las anteriores. Esta circunstancia demuestra como la importancia relativa de cada franja va variando con la época del año, como puede comprobarse en el gráfico de la figura adjunta, en la cual se observa también que a partir de los 2.000 m de altitud, durante el periodo diciembre-mayo, está cubierta casi la totalidad de la superficie de modo permanente.

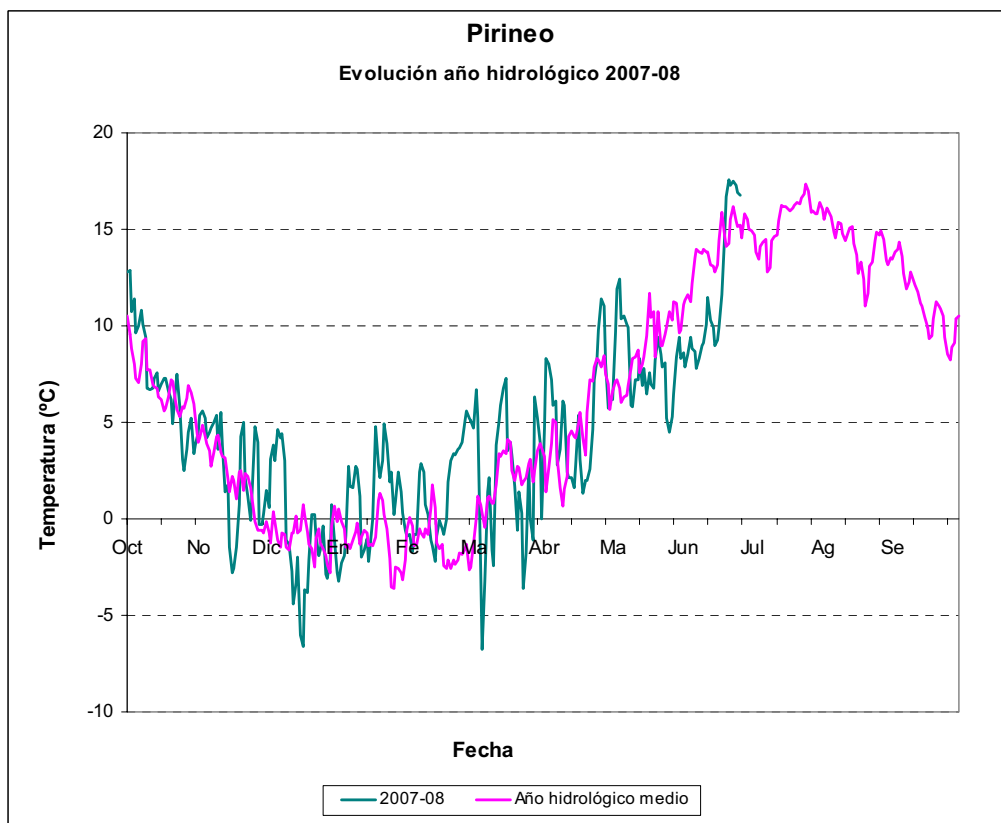


Superficie cubierta de nieve para los diferentes rangos de cotas

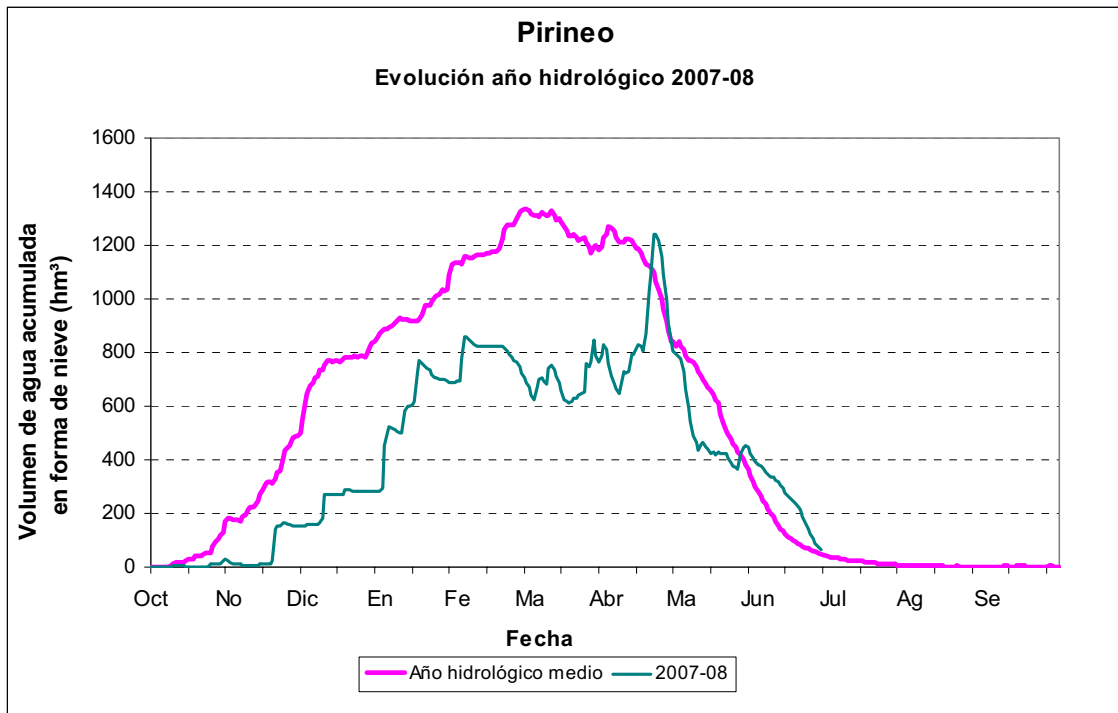
En el momento de esta presentación se dispone de los datos termométricos y pluviométricos hasta finales de junio de 2008. Se puede concluir que el año hidrológico 2007/08 ha sido un año con una baja pluviométrica hasta finales de marzo, lo que ha provocado que la acumulación de nieve en las zonas de estudio hasta esta fecha haya sido muy inferior a la media. A mediados del mes de abril se han producido unas fuertes precipitaciones (16-20 abril) que combinadas con bajas temperaturas ha dado lugar a un importante aumento del volumen de agua acumulada en forma de nieve, que ha llegado a superar el valor estimado para el año hidrológico medio. Desde el mes de mayo el comportamiento nival ha sido similar al del año medio como puede comprobarse en las siguientes figuras.



Precipitación en la zona ASTER del Pirineo para el año hidrológico 2007/2008



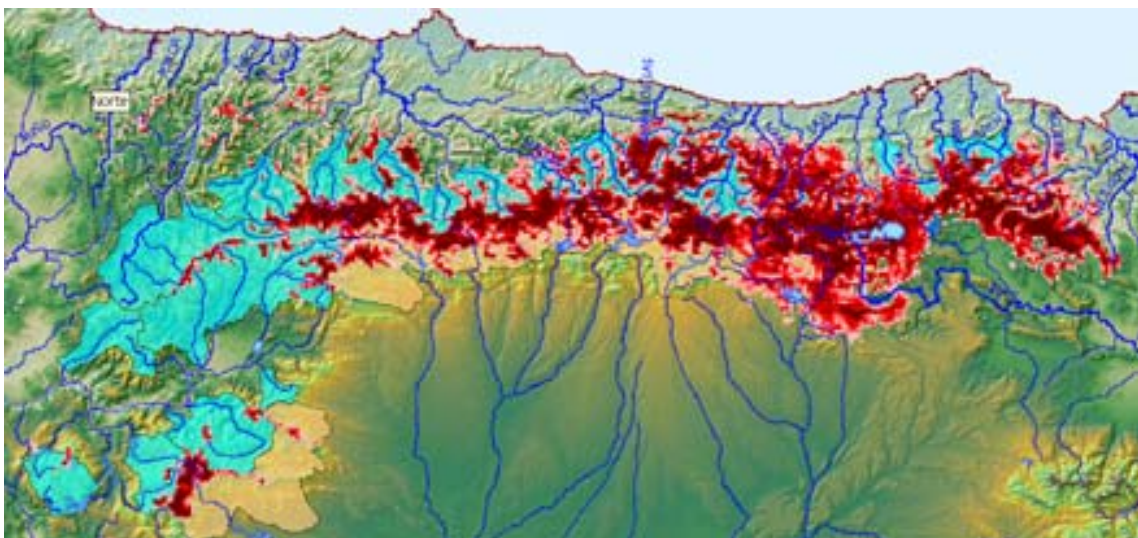
Temperatura en la zona ASTER del Pirineo para el año hidrológico 2007/2008



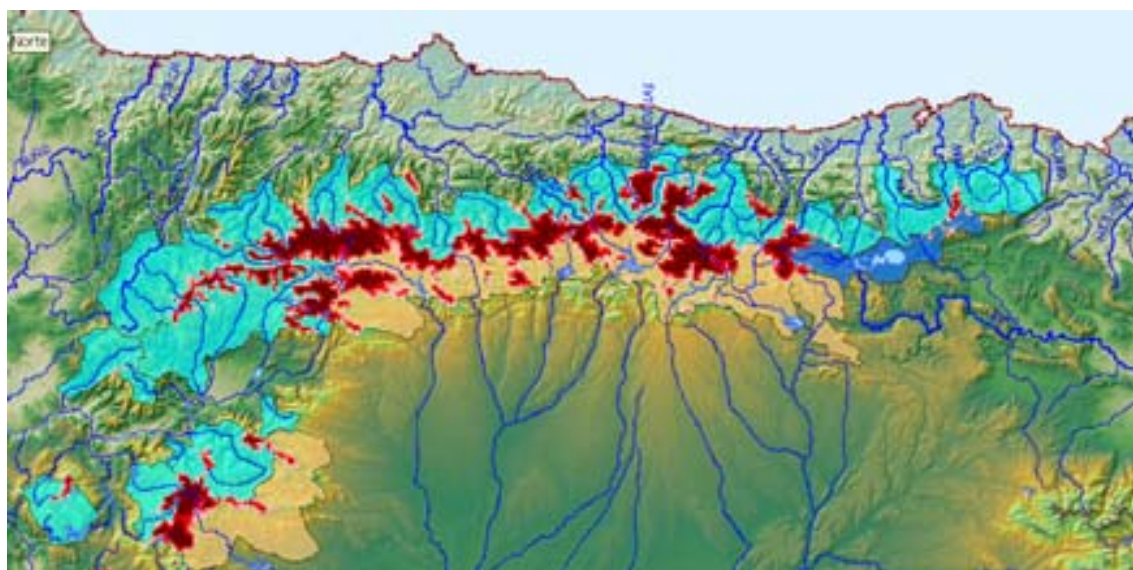
Evolución de la reservas nivales en la zona ASTER del Pirineo para el año hidrológico 2007/2008

Cordillera Cantábrica

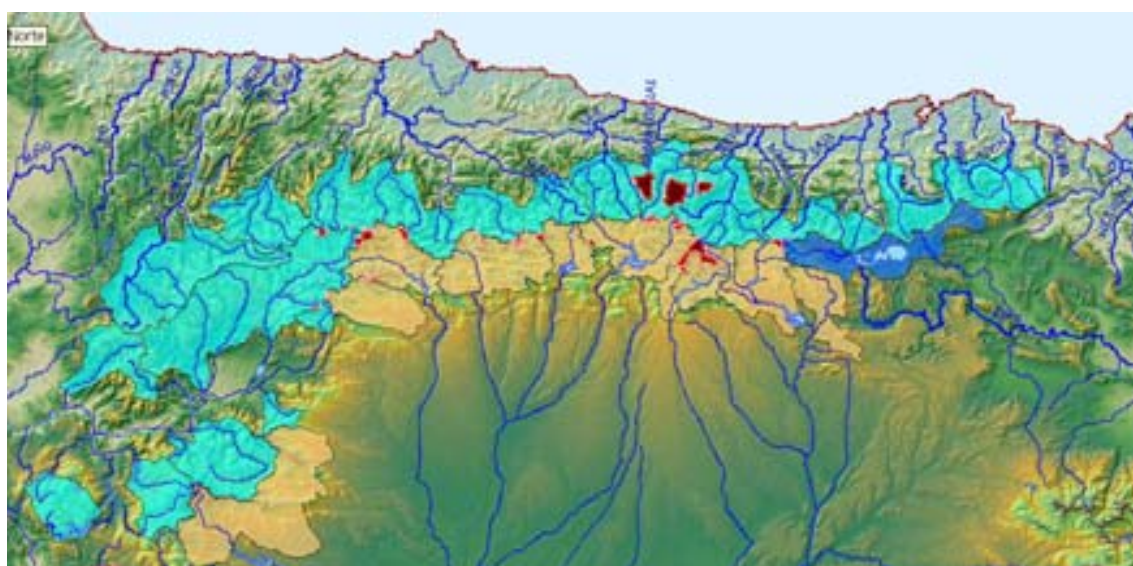
Se viene realizando anualmente una media de dos campañas de campo desde el año 1990, que en los tres últimos años han sido apoyadas por imágenes de teledetección como puede comprobarse en las imágenes que se muestran a continuación en los que se representa, en color rojo, la superficie de la cubierta de nieve en cada una de las tres mediciones efectuadas en el año 2006 en el Cantábrico.



Medición 1: 01/02/2006. En rojo superficie cubierta de nieve. En azul y amarillo cuencas estudiadas



Medición 2: 14/03/2006. En rojo superficie cubierta de nieve. En azul y amarillo cuencas estudiadas



Medición 3: 30/04/2006. En rojo superficie cubierta de nieve. En azul y amarillo cuencas estudiadas

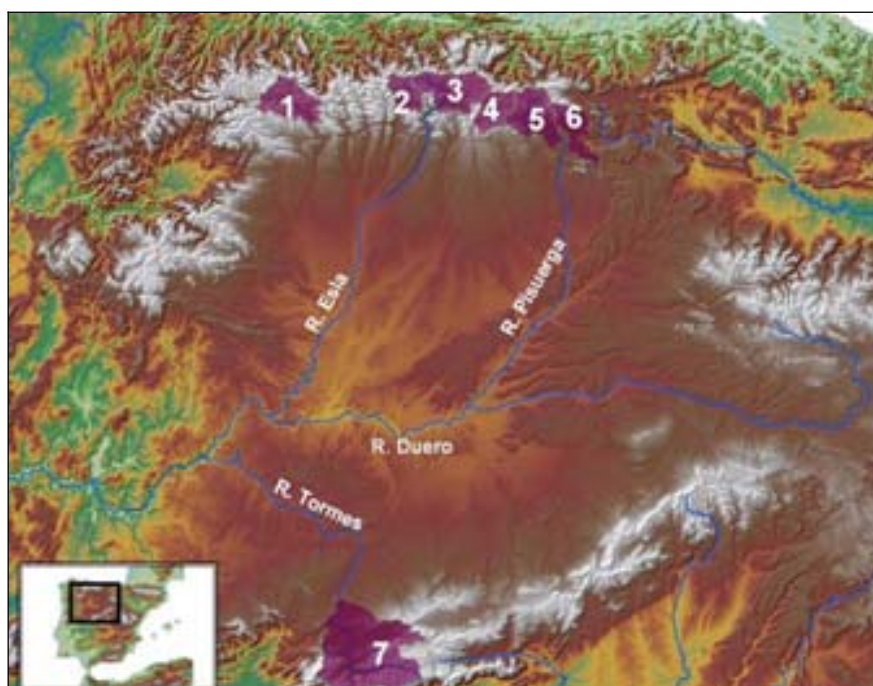
El histórico de mediciones ha permitido cuantificar las reservas hídricas para un año medio. Concretamente, a finales de enero o inicios de febrero los recursos almacenados ascienden a unos 500 hm^3 , valor similar al registrado a mediados de marzo, y disminuyen a 400 hm^3 a finales de abril, momento en el que la fusión se produce de una forma muy rápida. El valor histórico máximo calculado a partir de las mediciones corresponde a marzo de 2005, donde las reservas ascendieron a 2.080 hm^3 de agua acumulada en forma de nieve.

En la Cordillera Cantábrica, la variabilidad espacio-temporal de la cubierta nival es mucho mayor que en el caso del Pirineo.

En este caso las cuencas modelizadas con ASTER están incluidas en la cuenca del Duero, sumando un total de seis. La Confederación Hidrográfica

del Duero adicionalmente dispone de una cuenca modelizada para el Sistema Central (río Tormes vertiente al embalse de Santa Teresa).

A diferencia del caso del Pirineo y del Sistema Central, debido a que todavía no se dispone de información SAIH (se está instalando en la actualidad en la cuenca del Duero), las simulaciones se están realizando con datos termométricos y pluviométricos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet). En el momento en que el SAIH del Duero esté en funcionamiento, se realizará la adaptación de los modelos para que puedan ser utilizados en tiempo real para una mejor gestión de los recursos hídricos.



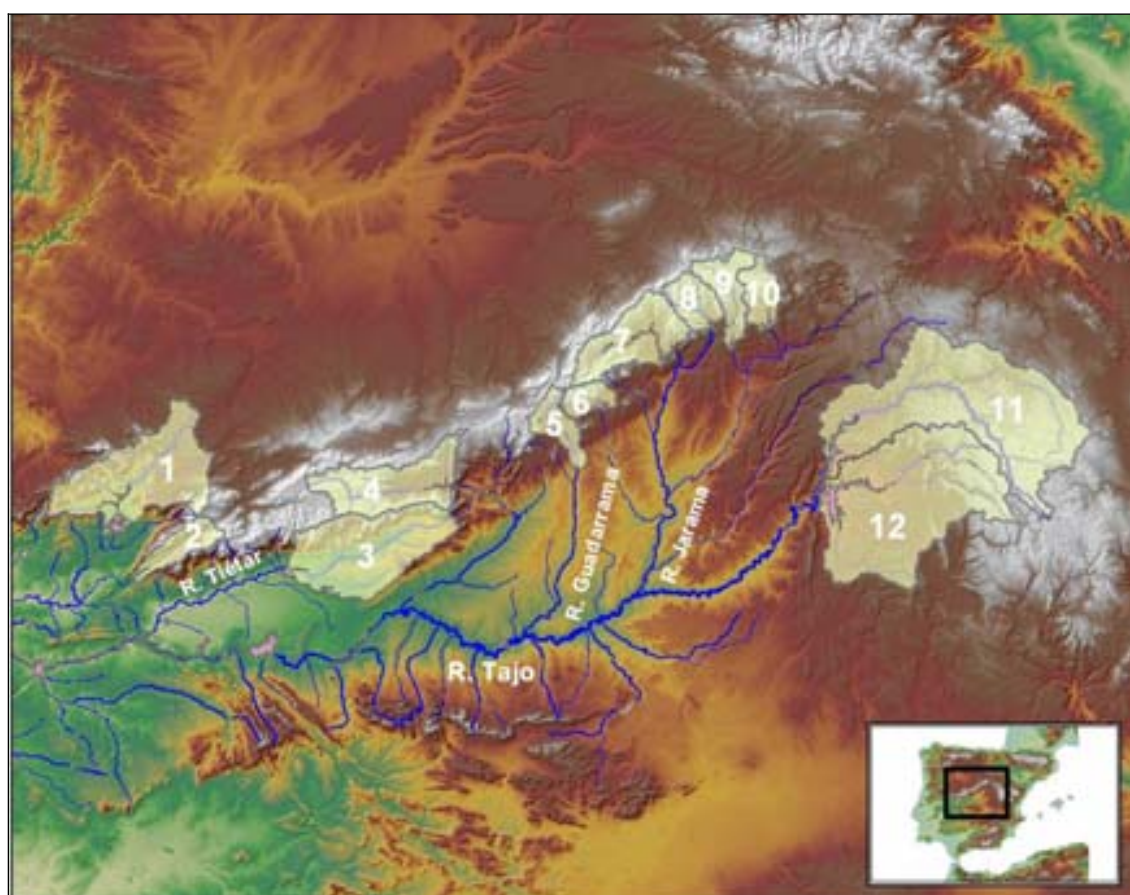
Nº	Río	Estación de cierre	Superficie (km ²)	Cota media (m)
1	Luna	2026 E. de Barrios Luna	496,0	1.500
2	Porma	2633 E. de Porma	250,4	1.436
3	Esla	6241 E. de Riaño	593,4	1.470
4	Carrión	2015 E. de Compuerto	311,9	1.617
4	Carrión	2014 E. de Camporredondo	241,0	1.666
5	Pisuerga	2016 Aguilar de Campoo	548,1	1.228
6	Rubagón-Camesa		347,6	1.078
7	Tormes	2843 E. de Santa Teresa	1.851,7	1.362
TOTAL			4.426,2	

Cuencas modelizadas con ASTER en la cuenca del Duero

Sistema Central

En esta cordillera, la superficie afectada es muy amplia, pero las cotas del terreno son relativamente bajas, lo que hace que habitualmente las reservas hídricas almacenadas en forma de nieve no sean elevadas. No obstante, en circunstancias concretas, pueden ocupar una gran superficie y por lo tanto dar lugar a importantes volúmenes de nieve, que funde rápidamente frente a un aumento de las temperaturas, provocando el correspondiente incremento de los caudales circulantes en los cauces fluviales.

También en esta cuenca se han desarrollado los correspondientes modelos ASTER (ver tabla adjunta) en las respectivas subcuencas. Actualmente estos modelos se encuentran integrados en el SAIH del Tajo lo que permite realizar previsiones de la evolución del manto nival y de los caudales circulantes.

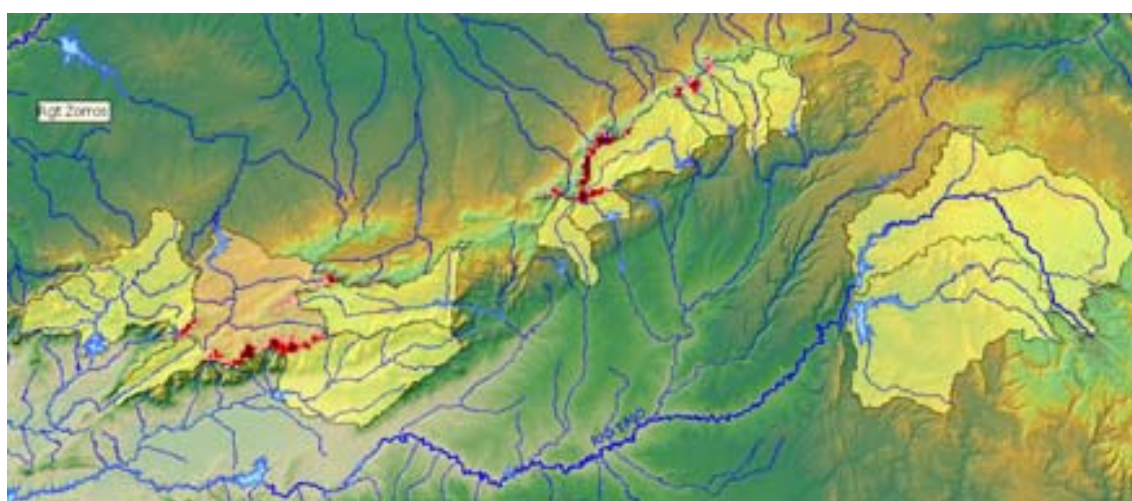


Nº	Río	Estación de cierre	Superficie (km ²)	Cota media (m)
1	Alagón	E36 E. Gabriel y Galán	1.848,2	846
2	Jerte	E40 E. Jerte-Plasencia	370,0	1.071
3	Tiétar	E33 E. de Rosarito	1.743,2	759
4	Alberche	E17 E. de El Burguillo	1.052,7	1.355
5	Guadarrama	Ar19 Picotejo	355,9	1.044
6	Manzanares	E15 E. El Real	247,1	1.236
7	Lozoya	E14 E. de El Atazar	925,0	1.356
8	Jarama	E13 E. de El Vado	378,0	1.424
9	Sorbe	E11 E. Beleña	475,6	1.374
10	Bornova	E09 E. Alcorlo	362,3	1.228
11	Alto Tajo	E01 E. Entrepeñas	3.825,6	1.218
12	Guadiela	E03 E. Buendía	3.355,8	1.011
TOTAL			14.939,5	

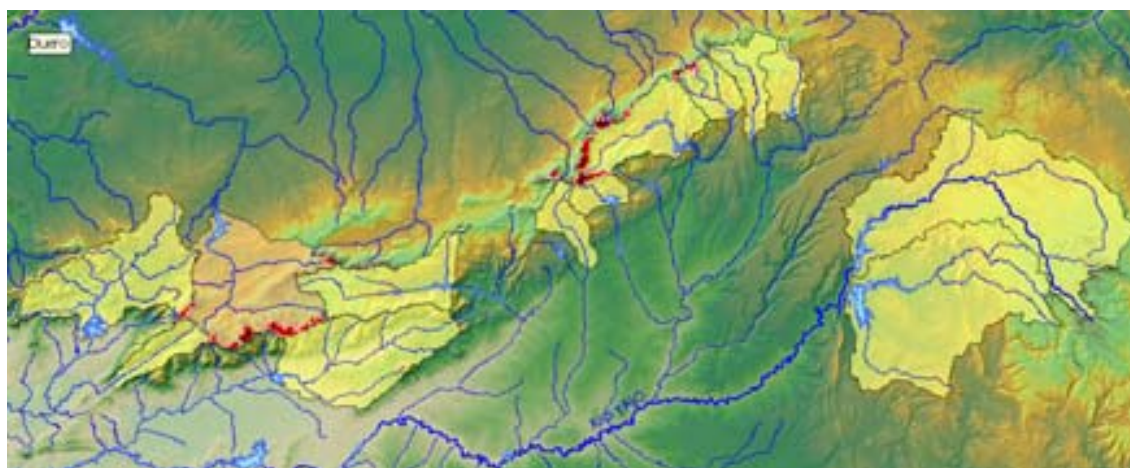
Cuencas modelizadas con ASTER en el Sistema Central (Confederación Hidrográfica del Tajo)

Los modelos hidrológicos son complementados por la información proporcionada por los telenivómetros y las imágenes satélite. Adicionalmente, se realizan campañas de campo con medición de espesores y densidades. El máximo registro se corresponde a enero de 1996 con un volumen de 530 hm³ de agua almacenada en forma de nieve.

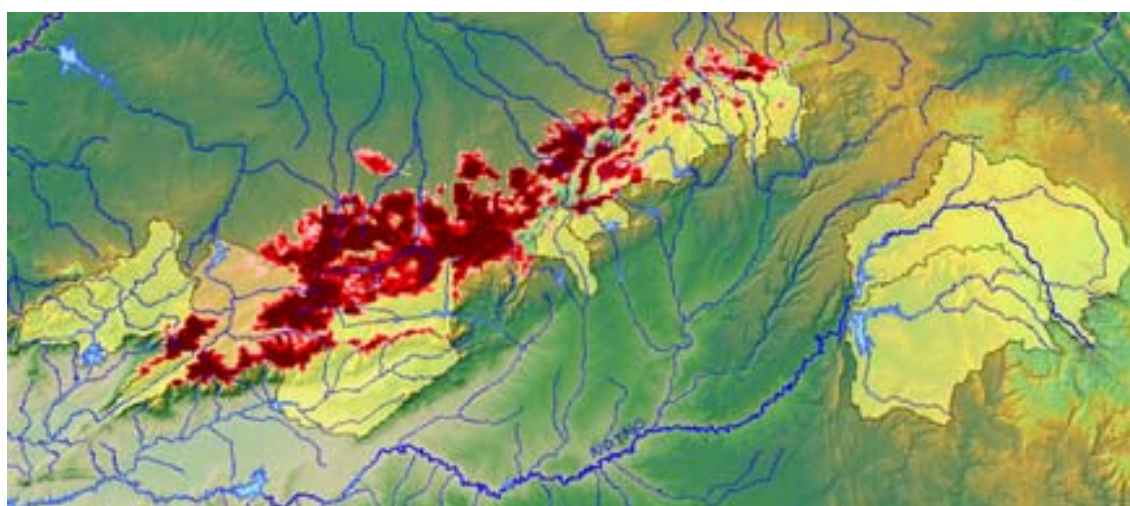
En las imágenes que se muestran a continuación se representa, en color rojo, la superficie de la cubierta de nieve en cada una de las tres mediciones efectuadas en el año 2005 en el Sistema Central.



Teledetección: 04/01/2005. En rojo superficie cubierta de nieve. En amarillo cuencas estudiadas



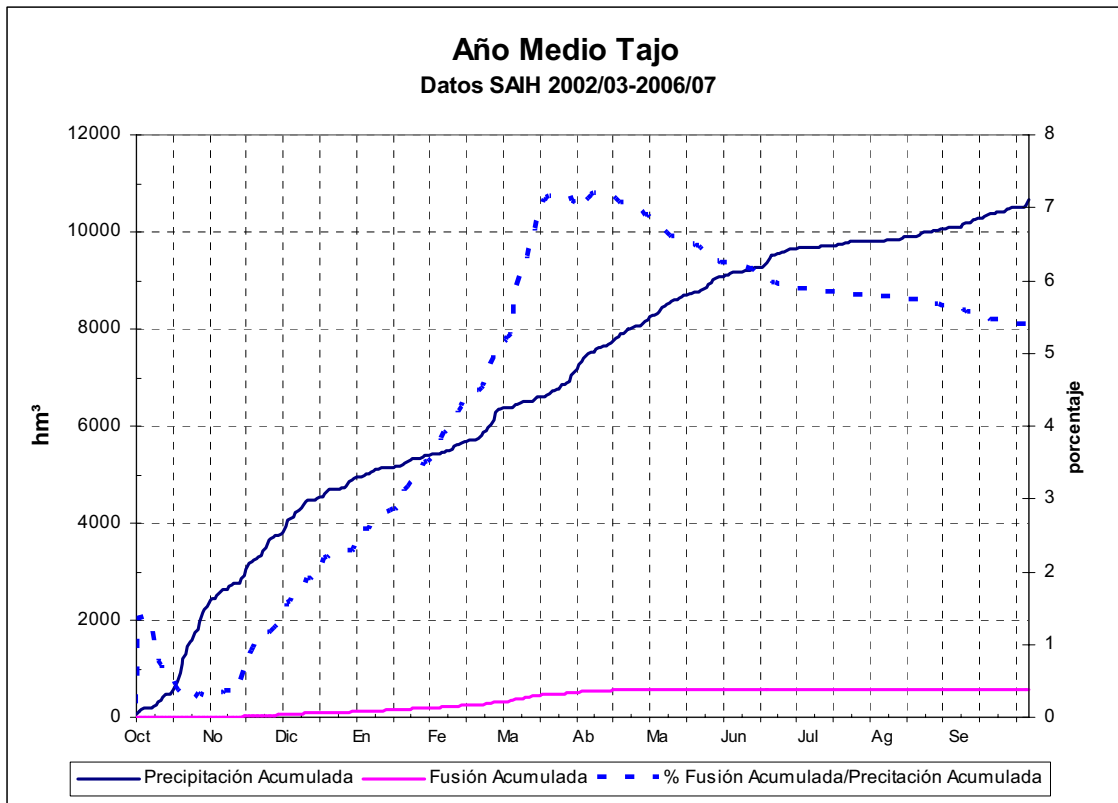
Teledetección: 03/02/2005. En rojo superficie cubierta de nieve. En amarillo cuencas estudiadas



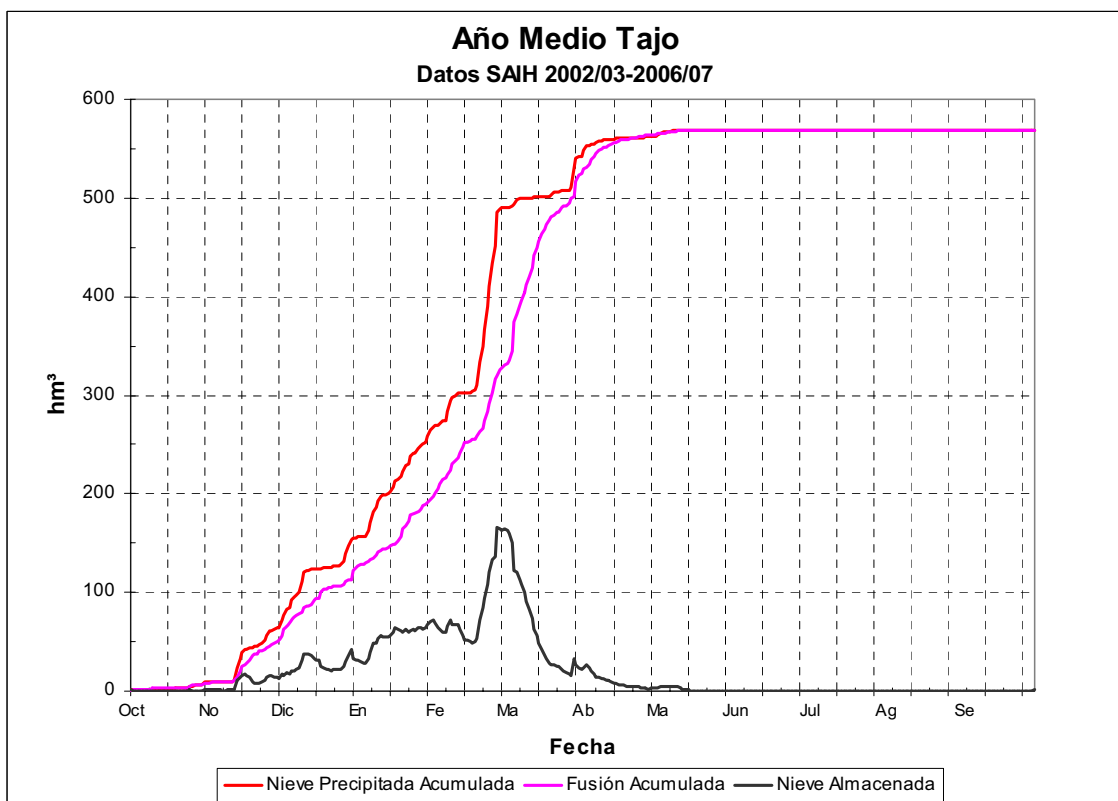
Teledetección: 01/03/2005. En rojo superficie cubierta de nieve. En amarillo cuencas estudiadas

Se ha realizado un análisis del período 2002/03-2006/07 concluyendo que en este caso la importancia relativa de la nieve frente al total de la pluviometría no llega al 6%, claramente inferior al del Ebro, y al final del período invernal se alcanza un máximo superior al 7%. Esto indica que como media en el total de los recursos no constituyen un papel importante, no obstante, en situaciones puntuales y debido a las fusiones tan rápidas que se producen sí que tiene gran interés la cuantificación de la previsión de aportaciones a los embalses de cabecera. Esta circunstancia se produce en varias ocasiones todos los años.

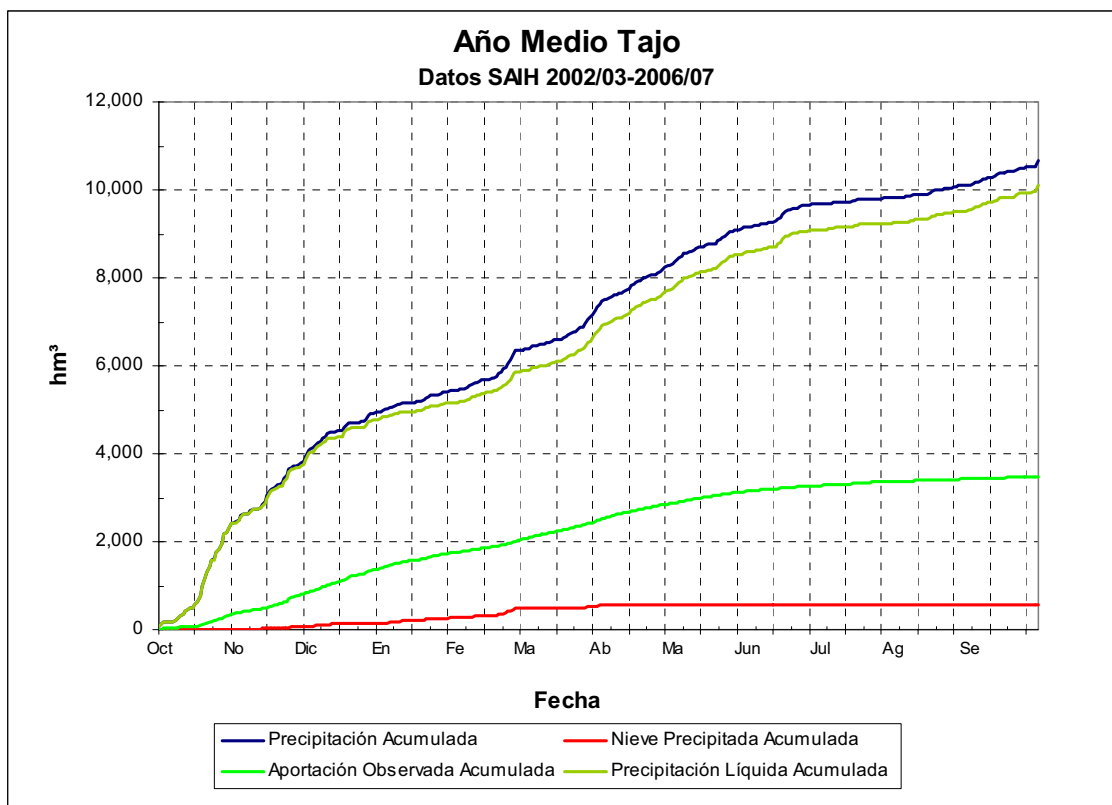
La nieve comienza a aparecer en la cordillera a principios de diciembre, alcanzándose los máximos en marzo y fundiendo en su totalidad en mayo.



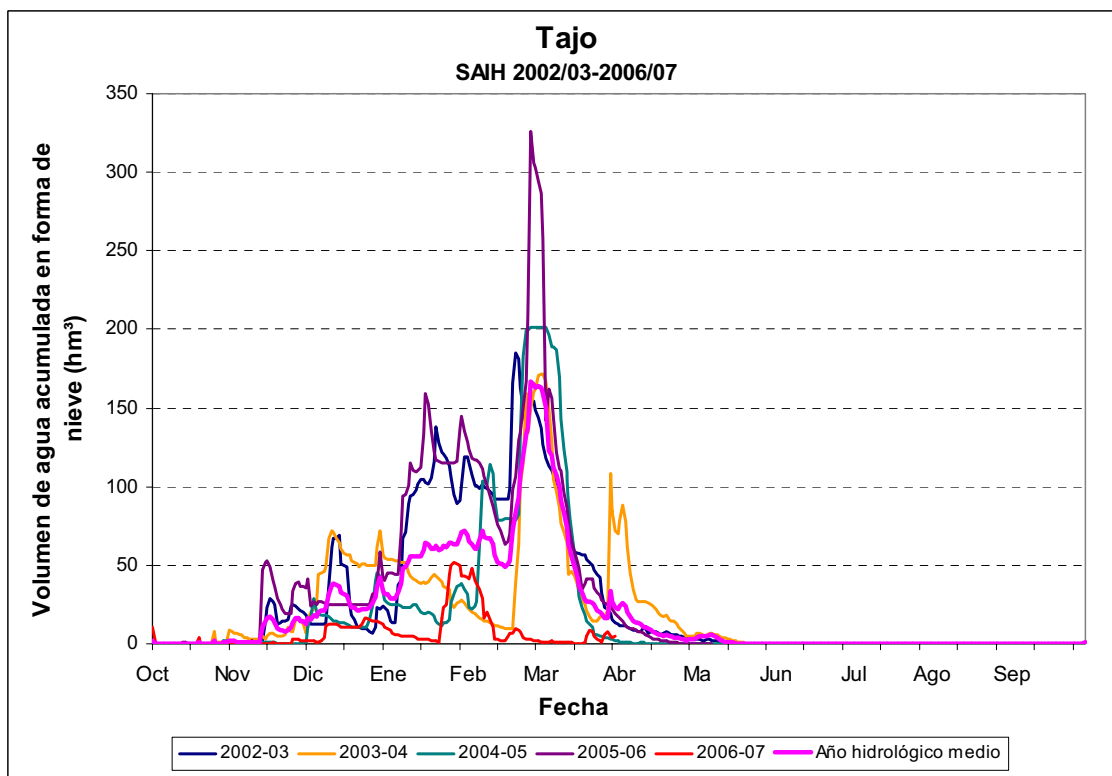
Comparativa del volumen de agua precipitado en forma de nieve y la fusión generada en la zona ASTER del Tajo para el período 2002/03-2006/07



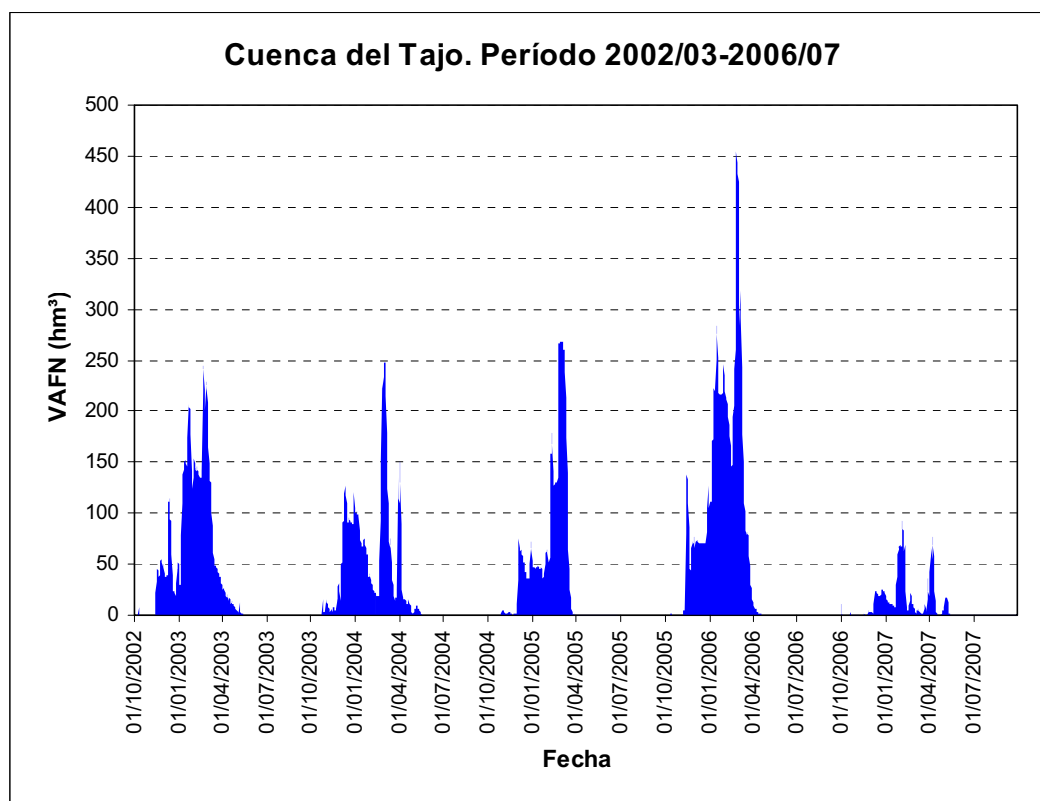
Comportamiento del fenómeno nival en la zona ASTER del Tajo para el período 2002/03-2006/07



El fenómeno nival y la incorporación de los caudales a los embalses de cabecera en la zona ASTER del Tajo para el período 2002/03-2006/07

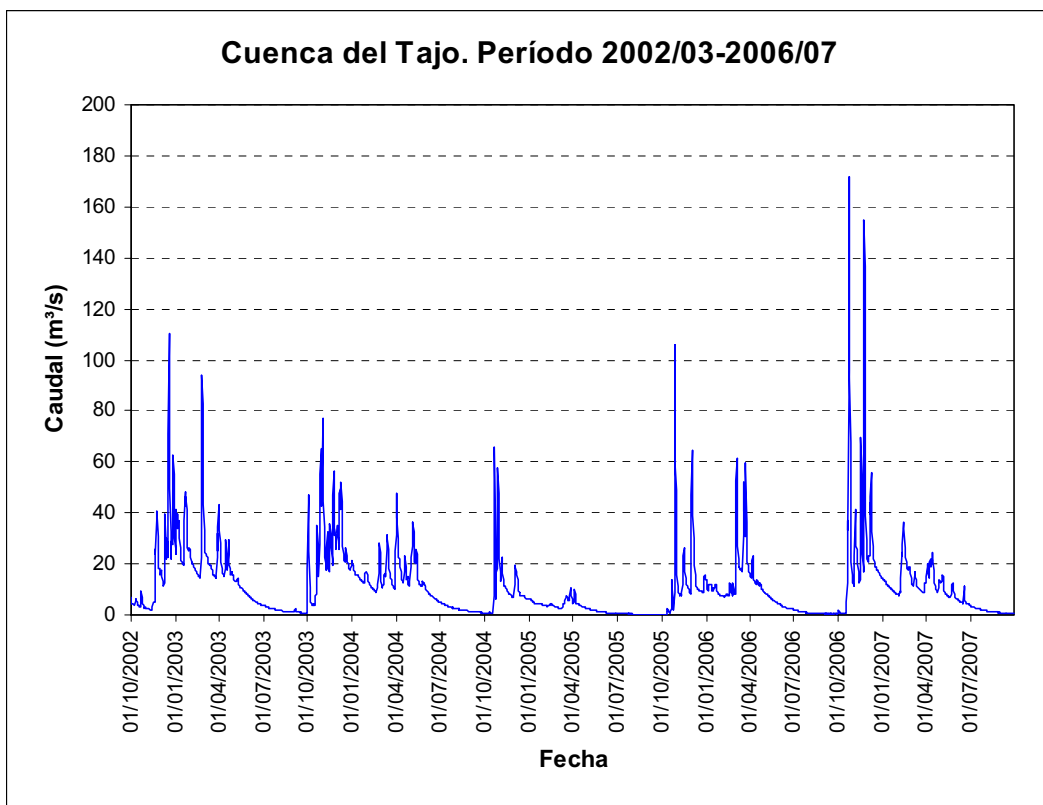


Evolución del agua acumulada en forma de nieve para las cuencas del Sistema Central modelizadas con ASTER

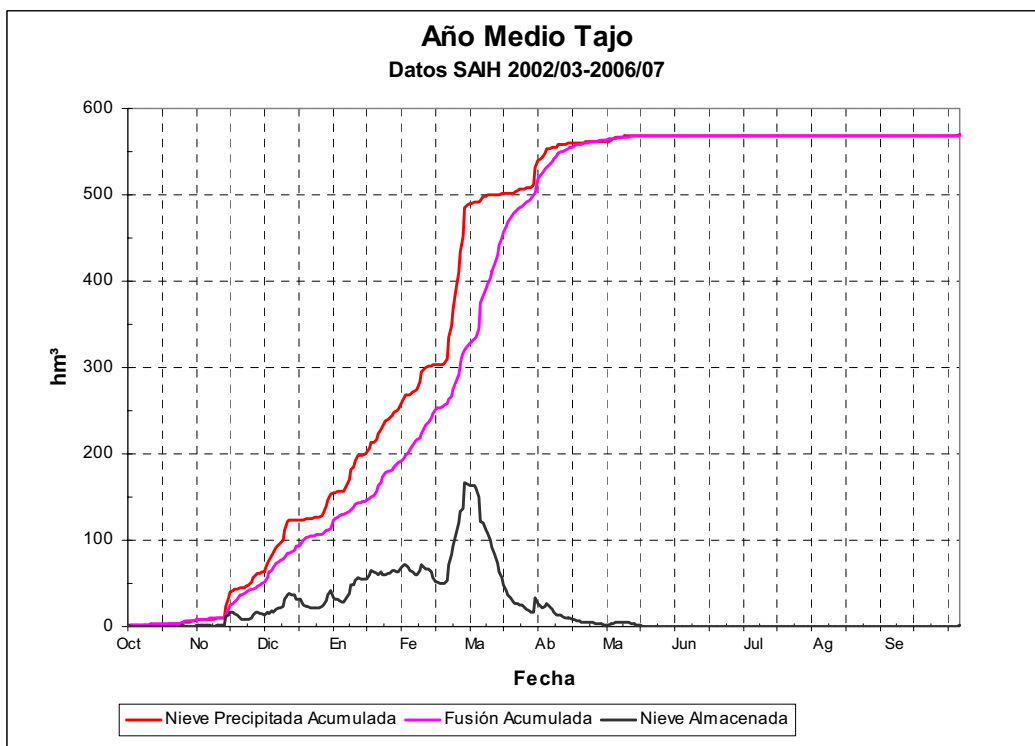


Evolución del VAFN en el Sistema Central para las cuencas modelizadas con ASTER para el periodo hidrológico 2002/03-2006/07

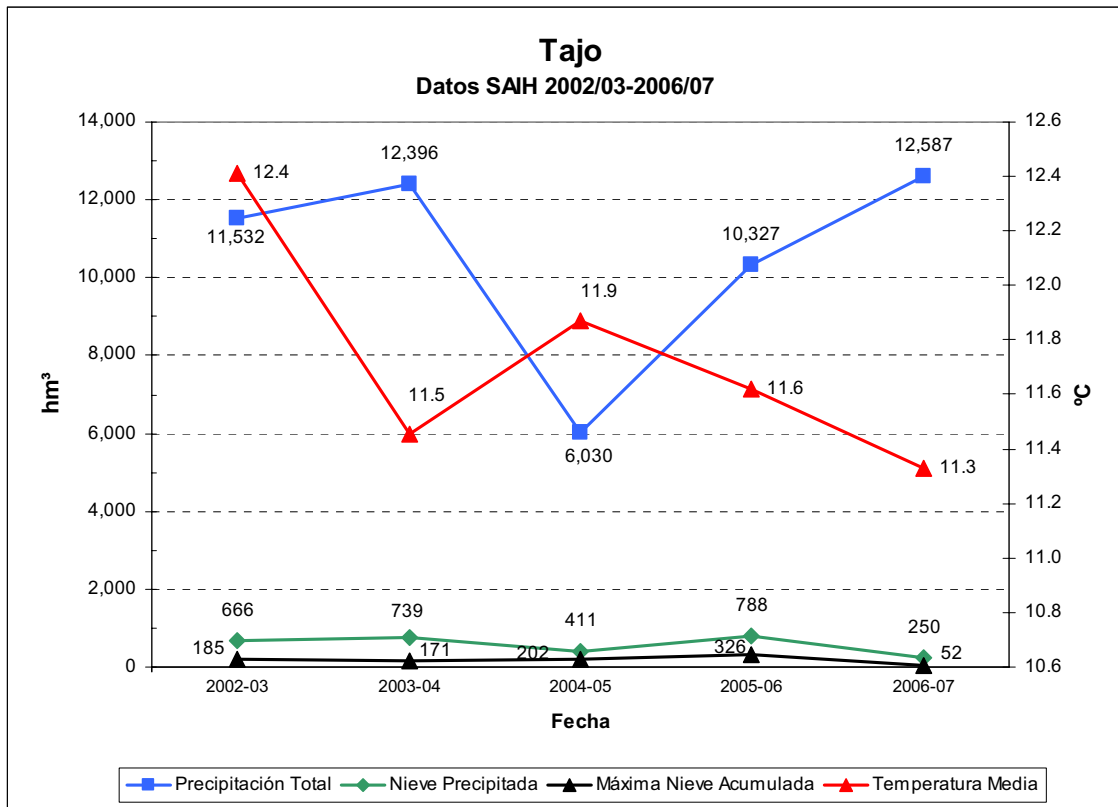
El año hidrológico 2006/07 puede considerarse como un año muy malo desde el punto de vista nival, ya que los valores estimados son muy inferiores a los medios, no llegándose en ningún momento a superar los 60 hm³ de reservas hídricas en forma de nieve, frente a la media anual próxima a los 170 hm³. Por el contrario, en este año las precipitaciones totales y las aportaciones a los embalses de cabecera fueron superiores a la media, lo que indica que la variable temperatura fue la causante de esta situación.



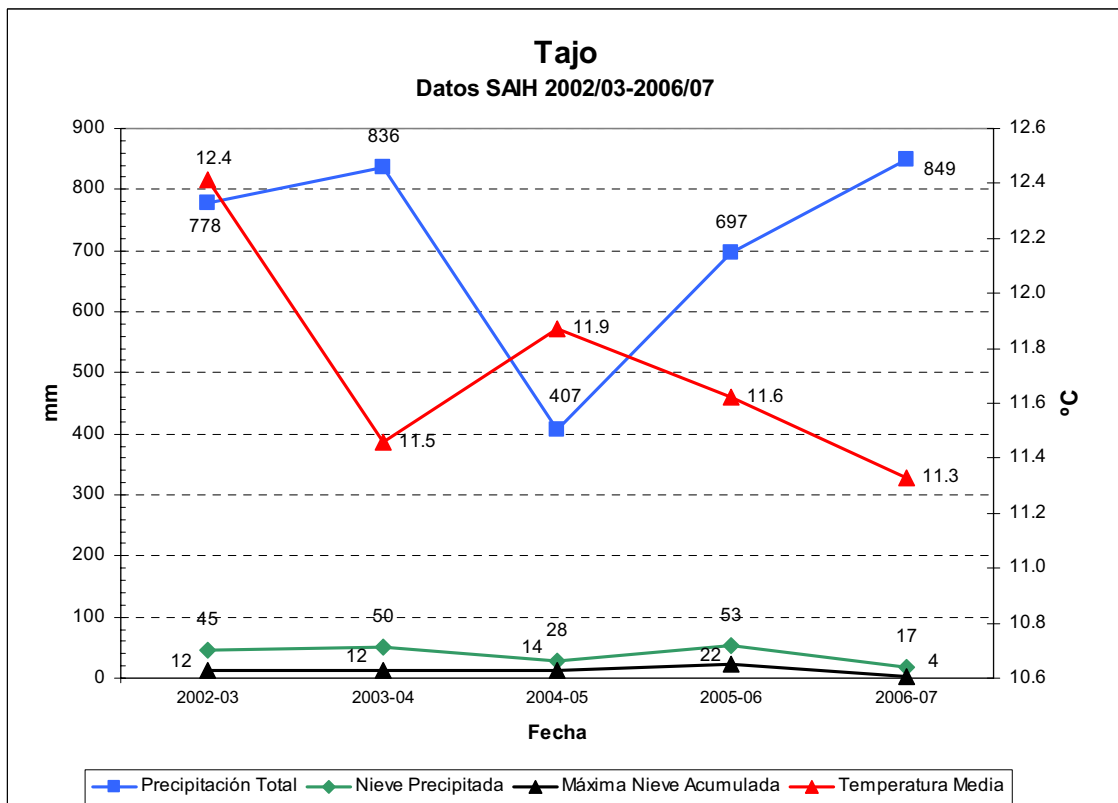
Evolución de las aportaciones para las cuencas del Sistema Central modelizadas con ASTER para el periodo hidrológico 2002/03-2006/07.



Evolución de las aportaciones a los embalses de cabecera para las cuencas del Pirineo modelizadas con ASTER



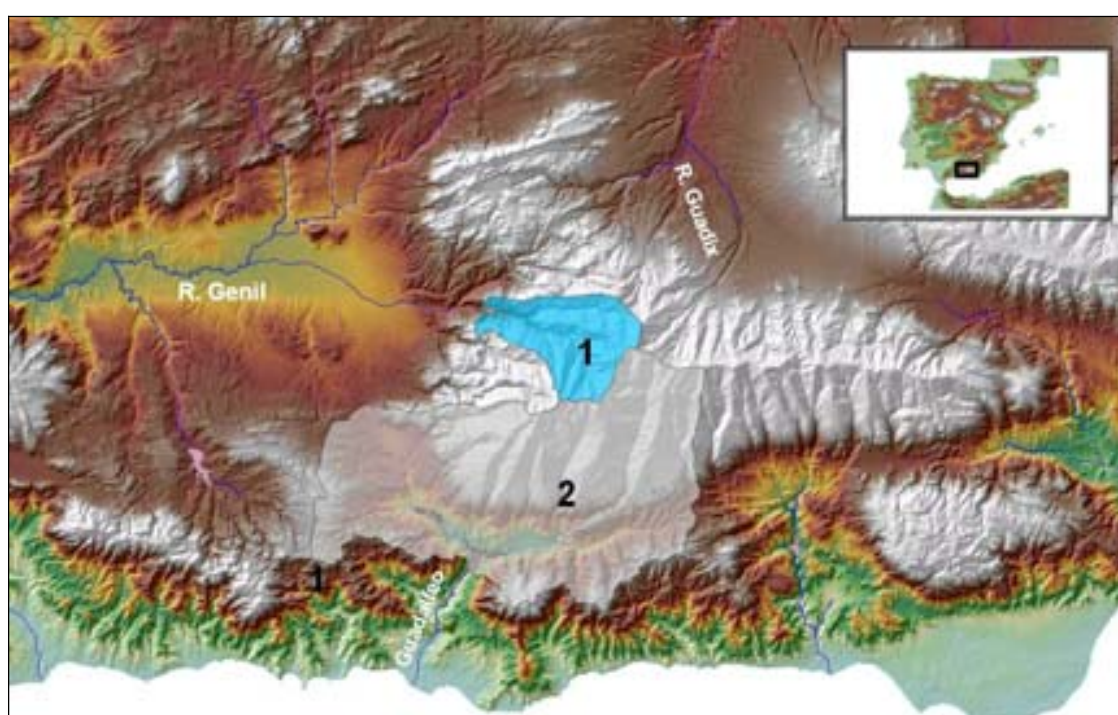
Evolución de algunos parámetros nivales (en hm³) en la zona ASTER del Tajo para el periodo hidrológico 2002/03-2006/07



Evolución de algunos parámetros nivales (en mm) en la zona ASTER del Tajo para el periodo hidrológico 2002/03-2006/07

Sierra Nevada

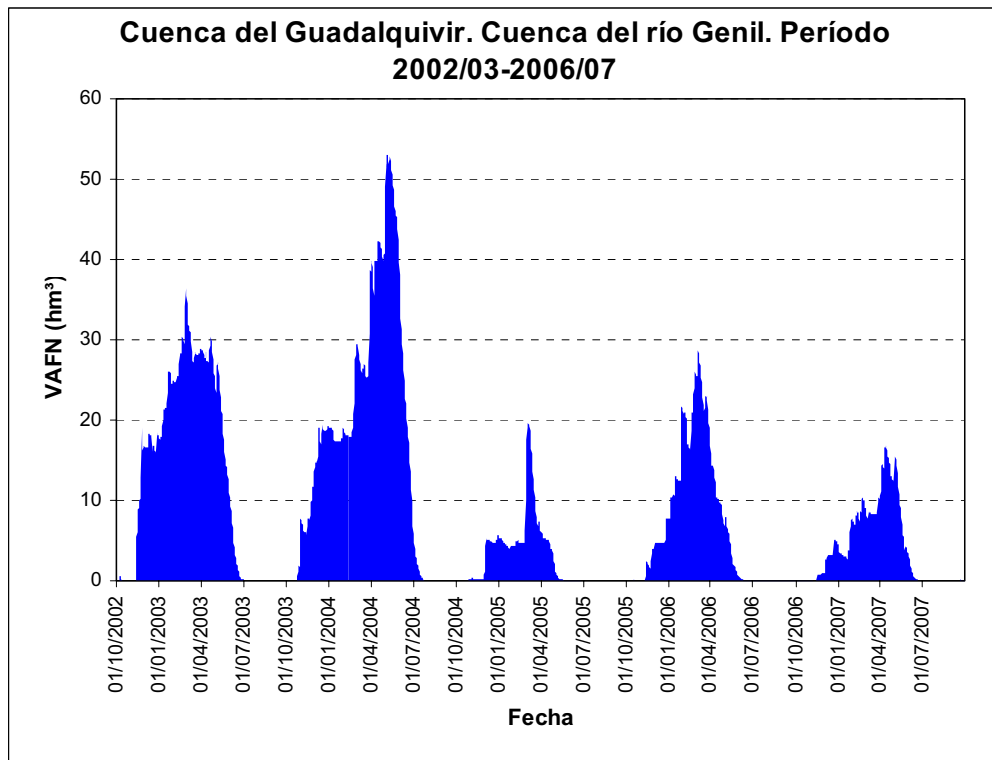
En este caso la superficie total afectada de un modo notable por la innivación es mucho más reducida que en los casos anteriores. No obstante hay dos cuencas en las cuales tienen una gran relevancia los recursos almacenados en forma de nieve, la cuenca del río Genil vertiente al embalse de Canales y la cuenca del río Guadalfeo vertiente al embalse de Rules. Ambas cuencas se han modelizado con el programa ASTER, alcanzando buenos resultados en la estimación de los volúmenes almacenados en forma de nieve y la cuantificación de los caudales fluyentes procedentes de su fusión.



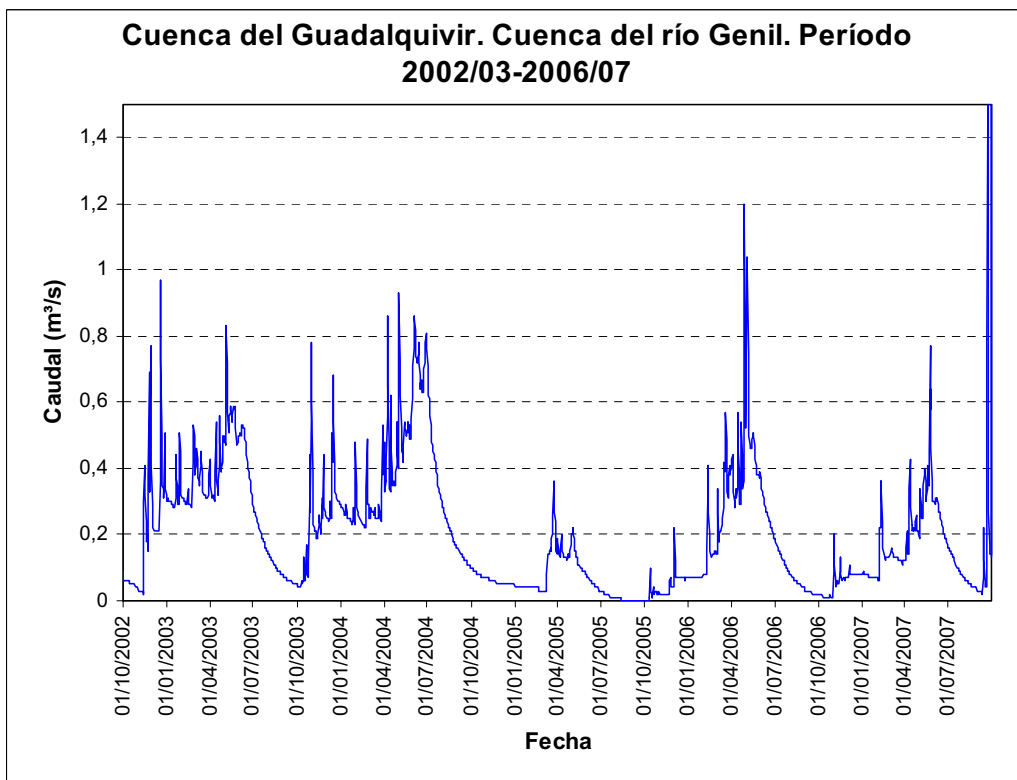
Nº	Río	Estación de cierre	Superficie (km ²)	Cota media (m)
1	Genil	E. de Canales	176,5	1.970
2	Guadalfeo	E. de Rules	1.076,0	1.405
TOTAL			1.252,5	

Cuencas modelizadas con ASTER en Sierra Nevada

Hasta el momento no se dispone de ninguna aplicación tipo SAD que permita la conexión en tiempo real de los modelos al SAIH, por lo que se gestionan de modo manual por el usuario.



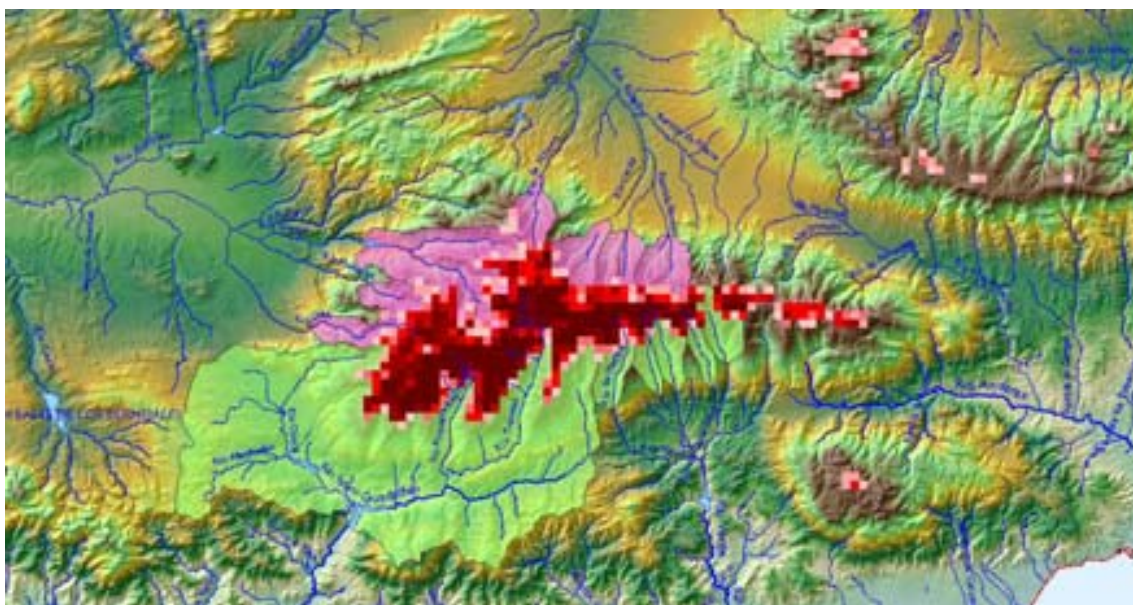
Resultados de acumulación nival obtenidos de la aplicación del modelo ASTER para la cuenca del río Genil vertiente al embalse de Canales. Período años hidrológicos 2002/03-2006/07



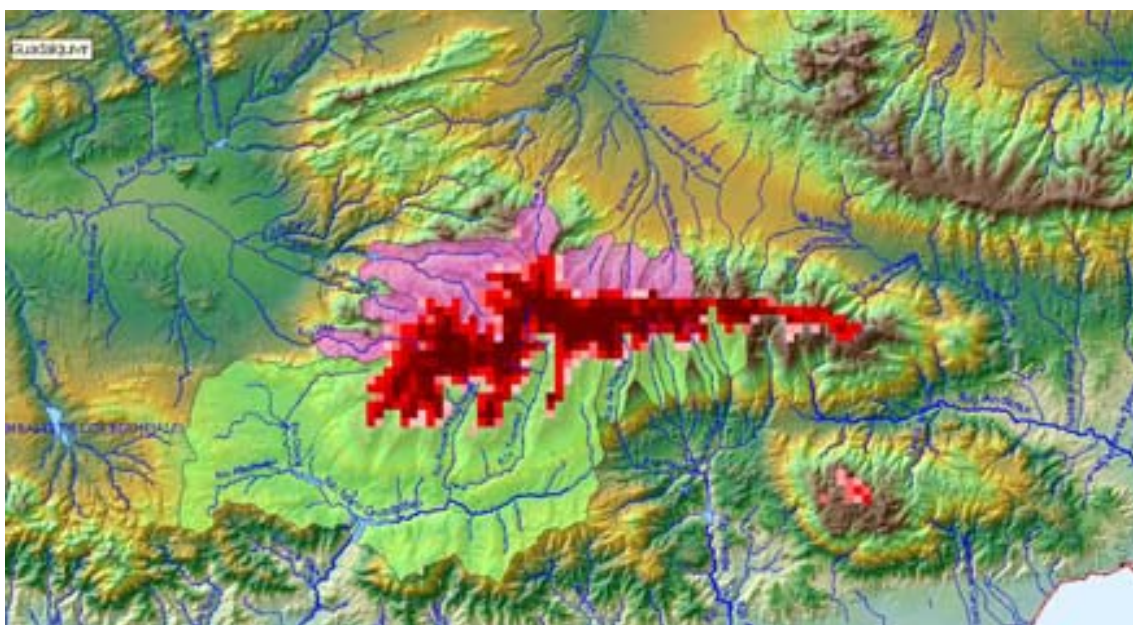
Resultados de aportaciones entrantes al embalse de Canales obtenidos con la aplicación del modelo ASTER. Período años hidrológicos 2002/03-2006/07

LA NIEVE EN LAS CORDILLERAS DE ESPAÑA

Se vienen realizando anualmente una media de dos campañas de campo desde el año 1990, que en los tres últimos años han sido apoyadas por imágenes de teledetección.



Teledetección: 04/01/2005. En rojo superficie cubierta de nieve. En rosa y verde cuencas modelizadas con Aster

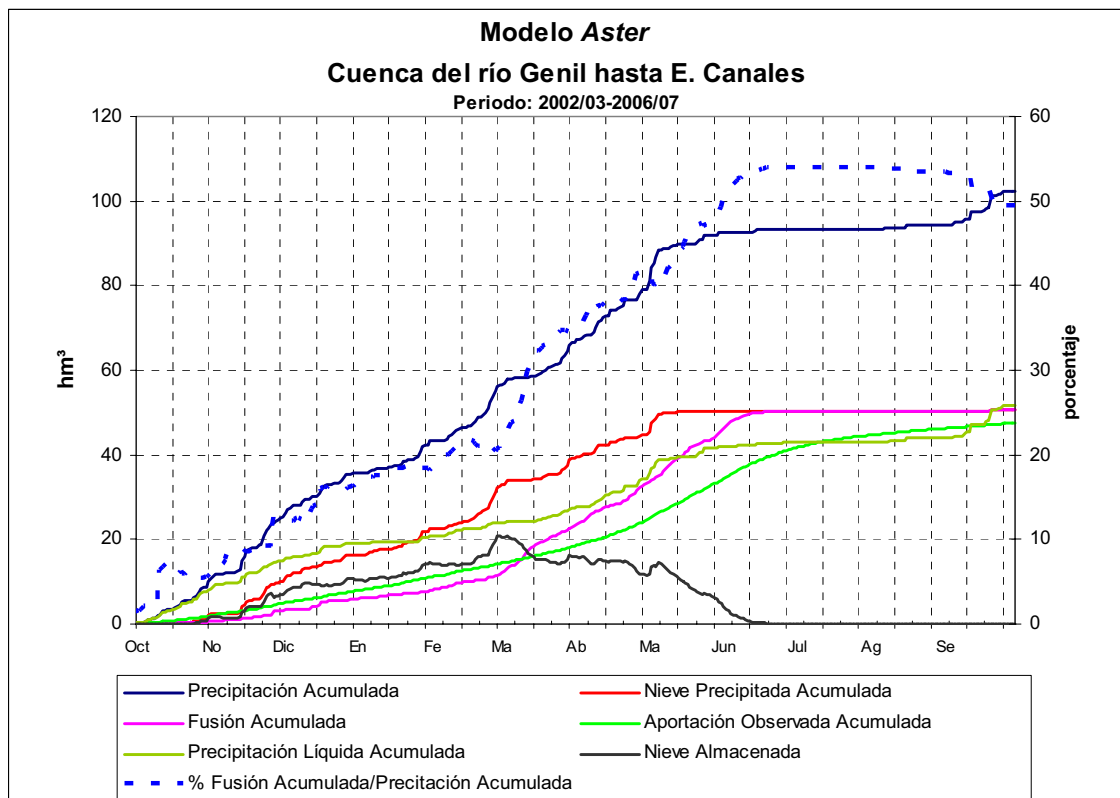


Teledetección: 02/02/2005. En rojo superficie cubierta de nieve. En rosa y verde cuencas modelizadas con Aster

El valor máximo calculado (para toda la superficie controlada) a partir de las mediciones se corresponde a febrero de 1997, donde las reservas ascendieron a 270 hm³ de agua acumulada en forma de nieve.

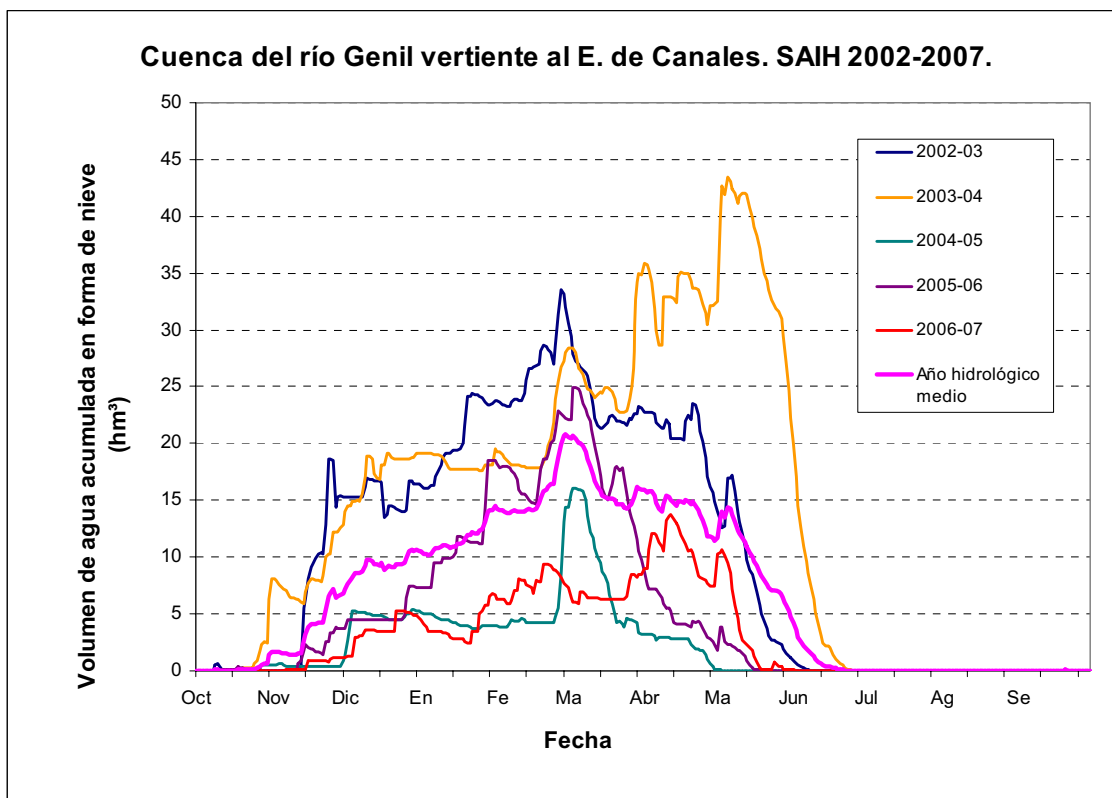
El área donde tiene mayor interés la cuantificación de las reservas nivales se corresponde con la cuenca del río Genil vertiente al embalse de Canales. En este caso es de suma importancia realizar previsiones de dicho fenómeno y su evolución para poder gestionar correctamente los órganos del embalse. Por ello se ha realizado un estudio detallado del periodo 2002/03-2006/07 en el que se observa como la nieve supone el 50% de las precipitaciones totales en la cuenca durante todo el año.

Del año medio se concluye que las precipitaciones en forma de nieve se producen entre los meses de noviembre y mayo, alcanzándose habitualmente el máximo en marzo (20 hm³), momento a partir del cual aumenta la velocidad de fusión de la nieve que se mantiene hasta finales de junio. Esta circunstancia deja patente el efecto regulador en los caudales fluyentes por el río Genil que supone el fenómeno nival.

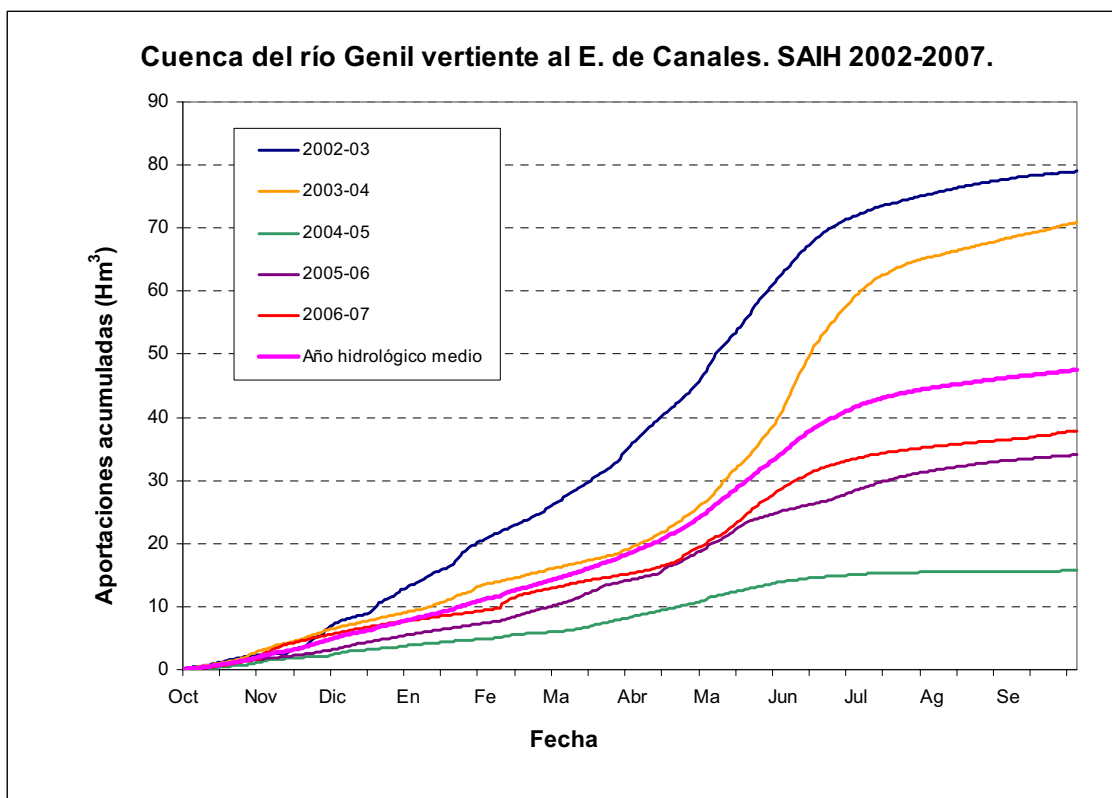


Comportamiento del fenómeno nival en la zona ASTER de la cuenca del río Genil hasta el embalse de Canales para el periodo 2002/03-2006/07

El año hidrológico 2006/07 junto al 2004/05 son los peores desde el punto de vista nival de la serie analizada (según se desprende del gráfico adjunto), alcanzándose volúmenes acumulados muy inferiores a la media, si bien desde el punto de vista de las aportaciones al embalse de Canales, es el año 2004/05 el que supone el mínimo de la serie. Esta situación justifica que en el año 2006/07 las elevadas temperaturas fueran el principal motivo de la escasa acumulación nival, aunque las precipitaciones también estuvieron ligeramente por debajo de la media.



Evolución del agua acumulada en forma de nieve para de la cuenca del río Genil hasta el embalse de Canales con ASTER



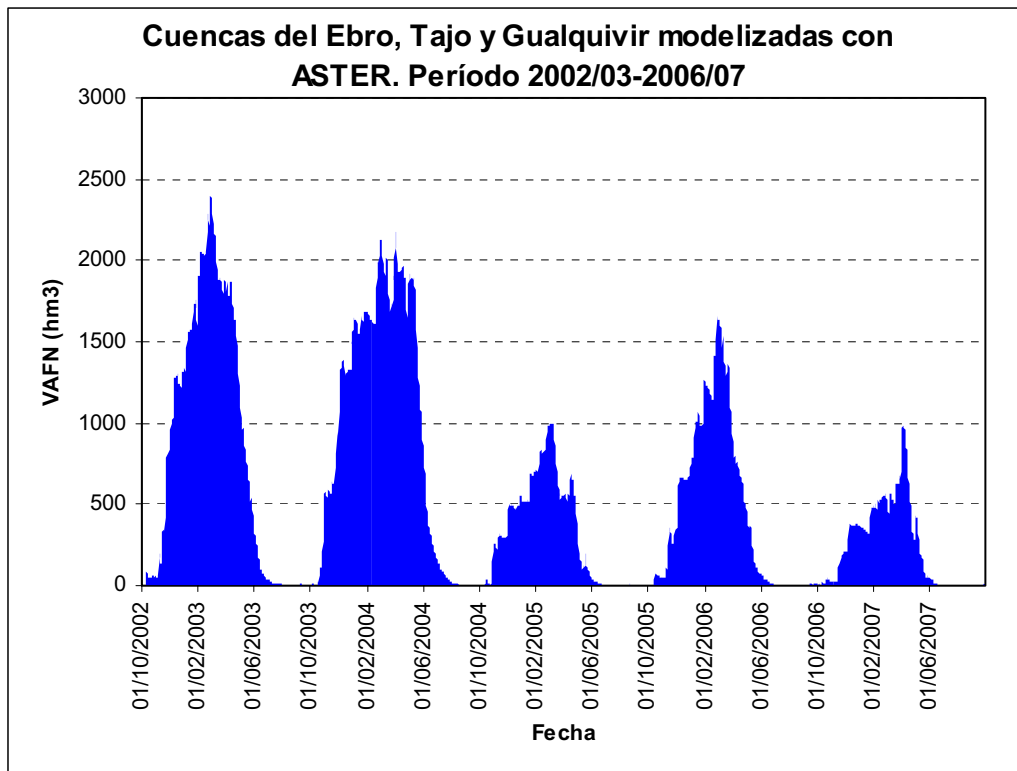
Evolución de las aportaciones al embalse de Canales

COMENTARIO FINAL

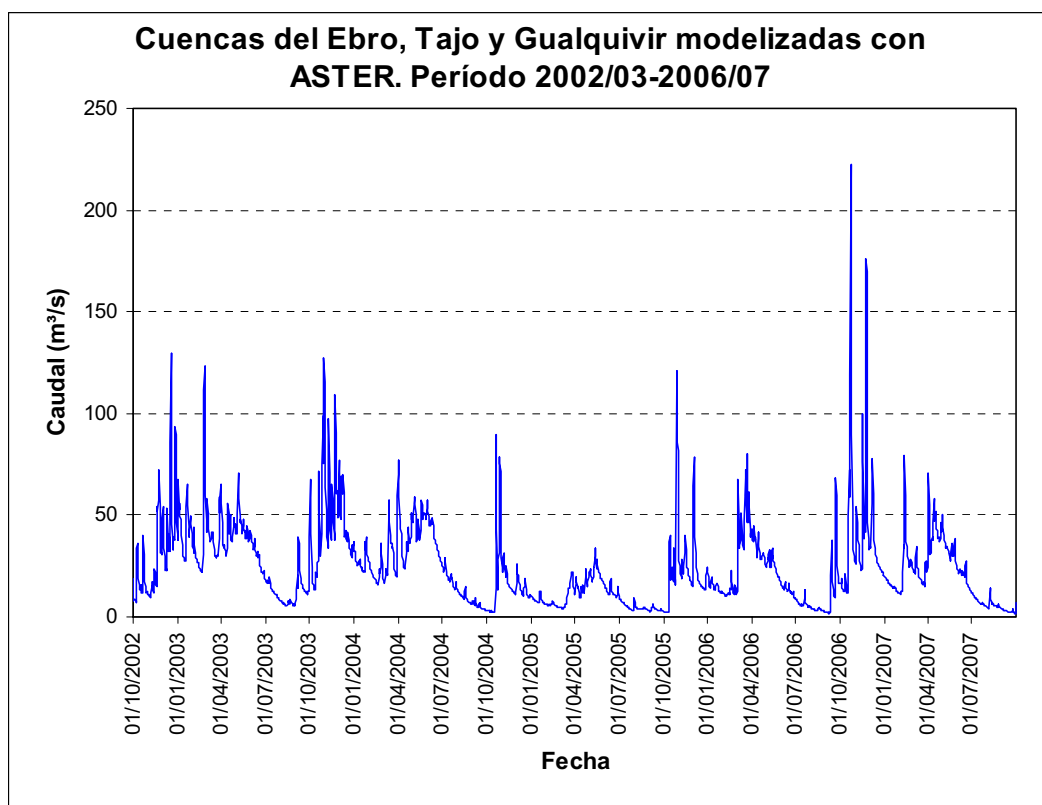
La línea de investigación seguida durante estos veinte años dentro del programa ERHIN de la DGA ha permitido disponer en la actualidad de una metodología eficiente para cuantificar las reservas hídricas en forma de nieve en las principales cordilleras españolas así como estimar su evolución y la de los caudales procedentes de su fusión. Gracias a los trabajos desarrollados se está haciendo una gestión más eficiente de los recursos hídricos almacenados en los embalses de cabecera, aumentando la garantía en el suministro de las demandas sostenibles y reduciendo posibles daños por inundación, todo ello en un marco de respeto al medio ambiente.

Esta metodología ya se encuentra a pleno rendimiento para las cuencas del Pirineo (Confederación Hidrográfica del Ebro) y del Sistema Central (Confederación Hidrográfica del Tajo), y se está terminando de implantar en el resto del territorio definido como “de importante influencia del fenómeno nival en el marco de los recursos hídricos”.

El objetivo inmediato es seguir trabajando e investigando en el conocimiento del fenómeno nival para dar respuesta a la demanda social que exige cada vez más un desarrollo con criterios de sostenibilidad y protección del medio ambiente.



Volumen total de agua almacenada en forma de nieve para las áreas modelizadas con ASTER en las cuencas del Ebro, Tajo y Guadalquivir



Aportaciones totales obtenidas para las áreas nivales modelizadas con ASTER en las cuencas del Ebro, Tajo y Guadalquivir

LOS GLACIARES ESPAÑOLES EVOLUCIÓN RECIENTE Y SITUACIÓN ACTUAL

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se trata de forma exhaustiva el estado actual de los restos glaciares españoles, así como su variación histórica desde el final de la Pequeña Edad del Hielo (primera mitad del siglo XIX) hasta la actualidad, pero especialmente a lo largo de las dos últimas décadas. Concretamente, se analizan los datos de 1980/82, 1993, 2002 y 2007, puestos en relación con los más antiguos existentes elaborados por Franz Schrader en 1894, si bien hoy sabemos que, en algunos casos, las meritorias estimaciones del geógrafo francés fueron exageradas.

Aunque el análisis morfológico de los glaciares se inicia a principios de los años 70, con algunos trabajos aislados, no fue hasta más tarde, entre 1978 y 1982, cuando se realiza el primer estudio de conjunto, mediante un trabajo de equipo del INEGLA (Instituto Español de Glaciología), subvencionado por la entonces Dirección General de Obras Hidráulicas, cuyos principales resultados fueron publicados en 1988 (Martínez de Pisón y Arenillas). Las observaciones y mediciones topográficas de campo, el análisis de la documentación histórica y de la fotografía aérea disponible (vuelo americano del año 1956/57) así como un vuelo fotogramétrico realizado en 1982 específicamente para las zonas glaciares, permitieron la elaboración del catálogo de aparatos glaciares y el estudio de su evolución histórica, además de la obtención de cartografía a escala 1: 5.000, la de más detalle y exactitud realizada hasta ese momento.

Estos primeros trabajos sirvieron de arranque para la instauración de los controles sistemáticos de los aparatos glaciares en el marco del programa ERHIN, iniciados en 1990 y que se extienden hasta la actualidad. A lo largo de esta fase, se ha logrado obtener información directa de la evolución de los glaciares españoles con frecuencia prácticamente anual, mediante la realización de campañas de campo de observación y topográficas, fotografías

aéreas oblicuas, nuevos vuelos fotogramétricos (1998) y, más recientemente, con imágenes de satélite, además de la realización de estudios geofísicos y de balance de masa. También se ha continuado en estos últimos años, con labores de investigación documental que han permitido el hallazgo de fotografías aéreas verticales de finales de los años cuarenta del Instituto Geográfico Nacional Francés así como del vuelo americano de la Serie A, de 1947, entre otros elementos documentales todos ellos de gran importancia. De este modo, se ha podido obtener información de diversos momentos que jalonan -no siempre regularmente- los últimos 150 años de la evolución de los glaciares españoles.

SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN

Los glaciares actuales

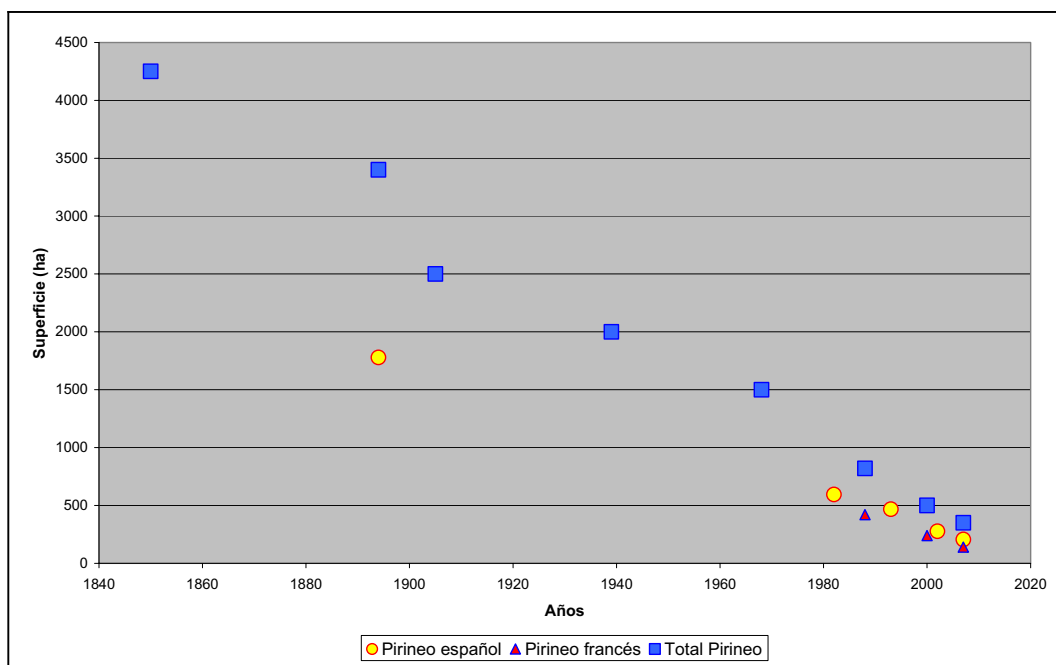
La cadena pirenaica alberga los únicos glaciares activos que en la actualidad persisten en la Península Ibérica. A comienzos del siglo XX ocupaban una superficie aproximada de 3.300 ha, pero en la actualidad, sólo cubren unas 390 ha. De esta extensión, aproximadamente un 58% (unas 206 ha) corresponde a la vertiente española. Estos aparatos glaciares -junto con un pequeño núcleo residual (glaciar del Calderone) que se conserva en los Apeninos- constituyen las reservas de hielo más meridionales de Europa.



Glaciares de la vertiente septentrional del macizo Aneto - Maladeta en septiembre de 2002. De izda. a dcha. glaciares de Tempestades, Barrancs, Aneto y La Maladeta. Pueden observarse las morrenas de la Pequeña Edad del Hielo (PEH), máximo avance en época histórica. Archivo Programa ERHIN

LOS GLACIARES ESPAÑOLES. EVOLUCIÓN RECIENTE Y SITUACIÓN ACTUAL

En el gráfico siguiente se refleja la evolución, desde mediados del siglo XX, de la superficie de los glaciares del Pirineo, diferenciando entre la vertiente francesa y española:



Evolución de las superficies glaciares del Pirineo

En la figura siguiente se ubican los distintos aparatos glaciares correspondientes al Pirineo español.



Emplazamiento de los macizos glaciares del Pirineo español

Como ya se ha indicado, las zonas del Pirineo central español en las que todavía se mantienen glaciares activos pertenecen, de Oeste a Este, a las cuencas hidrográficas de los ríos Gállego, Cinca, Ésera-Garona y Noguera Ribagorzana. Las alturas máximas de los conjuntos montañosos -seis macizos- que alojan estos aparatos glaciares superan los 3.000 m de altitud, pero sus diferentes formas, emplazamientos y orientaciones dan lugar a una distribución irregular del área glaciada. Así, sólo el macizo de Aneto-Maladeta concentra un 56 % (116 ha) de la superficie glaciaria española (206 ha). Un 40 % de la superficie restante se distribuye, casi en partes iguales, entre los macizos de Monte Perdido (38 ha), Picos del Infierno (20 ha) y Posets (25 ha). Los macizos de Viñemal y Besiberri apenas reúnen un 3 %. Los macizos de Balaitus, Taillón, La Munia y Perdiguero están extinguidos. Esta superficie queda conformada por un total de 18 aparatos de los cuales sólo 9 pueden ser considerados todavía como verdaderos glaciares; los nueve restantes corresponden a formas claramente regresivas o residuales -glaciares rocosos y heleros-. Todos ellos se sitúan en emplazamientos particularmente favorables en función de su altitud -por encima de los 2.700 m-, orientación -básicamente NE o NO-, exposición a los vientos -al abrigo de los flujos del Oeste-, etc.

En los Picos del Infierno (3.076 m) se ubica un glaciar, un glaciar rocoso y dos heleros; en el Viñemal (3.298 m), un helero; en el Monte Perdido (3.353 m) dos glaciares y un helero; en el Posets (3.375 m) dos glaciares, un glaciar rocoso y un helero; en el Aneto (3.404 m) cuatro glaciares y un helero; y en el de Besiberri (3.030 m), un glaciar rocoso. El de Taillón y el de La Munia están extinguidos. El aparato de mayor tamaño es el glaciar del Aneto con 64 ha, seguido por el glaciar oriental de La Maladeta -28 ha- y el glaciar Inferior del Perdido -28 ha- y claramente más pequeños el de Tempestades -10 ha-, los de Llardana (9 ha) y Barrancs (8 ha), así como el occidental del Infierno y el de La Paúl (Posets), que apenas alcanzan las 6 ha. Los restantes aparatos presentan superficies que oscilan entre las 2 ha del helero del Posets y las 0,4 ha del helero de Punta Zarra. Los espesores máximos de hielo oscilan entre los 40 m de los glaciares del Aneto y La Maladeta y los 4 m del helero de Punta Zarra.

Evolución geológica

Los antecedentes más lejanos de estos glaciares actuales se encuentran en las grandes glaciaciones cuaternarias que, a lo largo del Pleistoceno, afectaron a amplias zonas del planeta, incluyendo distintas áreas montañosas de la Península Ibérica. El último de estos periodos, denominado de modo general Würm, provocó en el caso de la vertiente española del Pirineo, potentes mantos de hielo que cubrieron las zonas más elevadas de la cordillera y emitieron poderosas lenguas glaciares -en algunos casos de casi 40 km de longitud, tres de anchura y más de 600 m de espesor- que confluían en los valles principales y descendían hasta los 900 metros de altitud, formando

verdaderos glaciares de valle similares a los que actualmente existen en el Himalaya o Alaska. De este último periodo derivan, pues, las principales huellas glaciares de erosión y de depósito -circos, valles en artesa, umbrales, morrenas, terrazas fluvio-glaciares, etc.-, que configuran el paisaje actual del Pirineo.

A partir del último máximo glacial¹, el clima se fue haciendo paulatinamente más bonancible y las lenguas de hielo del Pirineo iniciaron un lento, pero inexorable, retroceso -sólo interrumpido por pequeños reavances- que provocó una sistemática disgregación de las masas de hielo, que finalmente se acantonaron en determinados circos, protegidos por las más altas cumbres, donde, considerando la más optimista de las hipótesis, habrían ocupado posiciones muy similares a las actuales. Es muy posible, sin embargo, que estos pequeños glaciares se extinguieran totalmente a lo largo de los primeros milenios, cálidos y secos, del Holoceno (últimos 10.000 años).

Evolución histórica

Ya en época histórica, se produce un empeoramiento climático conocido como Pequeña Edad del Hielo (siglos XVI a XIX) que provocó la reconstrucción -o, en cualquier caso, el reavance- de muchos glaciares pirenaicos; los aparatos que se conservan en la actualidad son el resultado de este último proceso. Según confirman numerosos restos que se pueden observar en las inmediaciones de los aparatos todavía activos, durante la PEH los circos se rellenaron nuevamente de hielo y se formaron incipientes lenguas que en algún caso particular, como el de los glaciares de La Maladeta o Aneto, alcanzaron unos dos kilómetros de longitud y descendieron hasta los 2.500 metros de altura, sólo 300 m por debajo de su posición actual.

Esta última pulsación glacial termina hacia 1860, cuando se evidencia el inicio de un nuevo importante retroceso que prosigue hasta casi 1960 -interrumpido por un limitado avance entre 1906 y 1912-, a partir de cuya fecha se atenúa hasta 1980, momento en el que se incrementa el retroceso glacial que conduce a la situación actual.

A finales del siglo XVIII y principios del XIX, las primeras descripciones de los pirineístas muestran los glaciares en una situación que debe corresponder con el máximo avance en época histórica, lo que en la actualidad puede comprobarse en los bien definidos edificios morrénicos y otras claras trazas geomorfológicas que dejaron sobre el terreno.

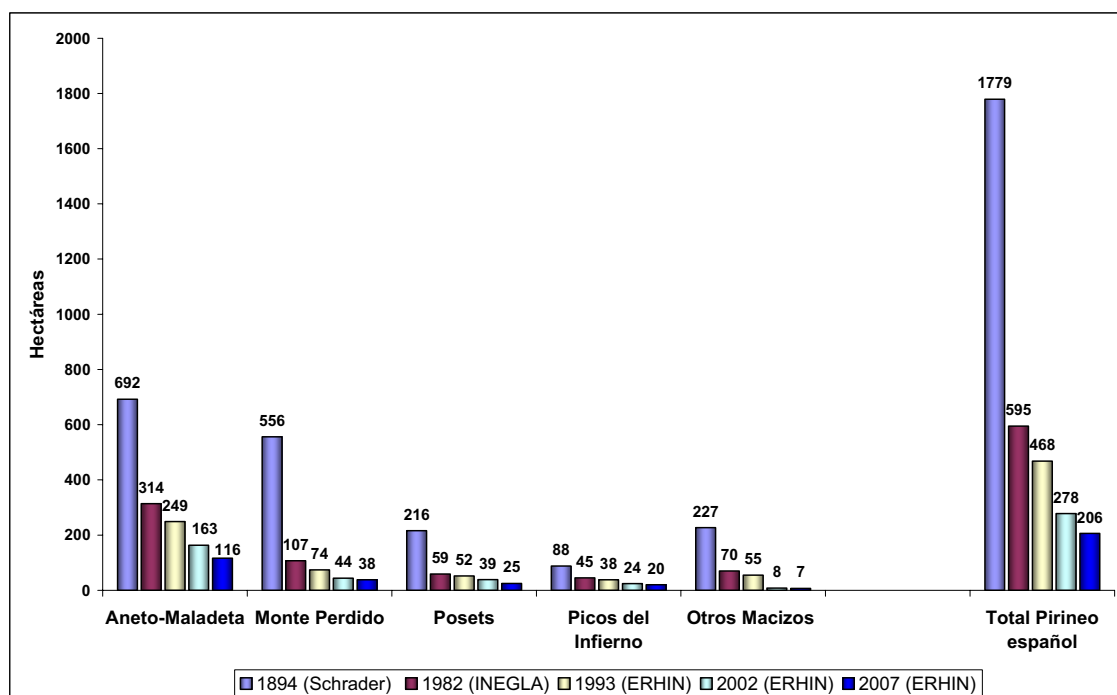
¹ A nivel global el último máximo glacial (UMG, equivalente al momento más frío del Würm, en terminología clásica) se suele situar hace unos 20.000 años (20.000 B.P.), pero los datos ahora disponibles en el Pirineo conducen, en esta cordillera, a una fecha más antigua que quizá haya que retrotraer hasta unos 50.000 años antes del presente.



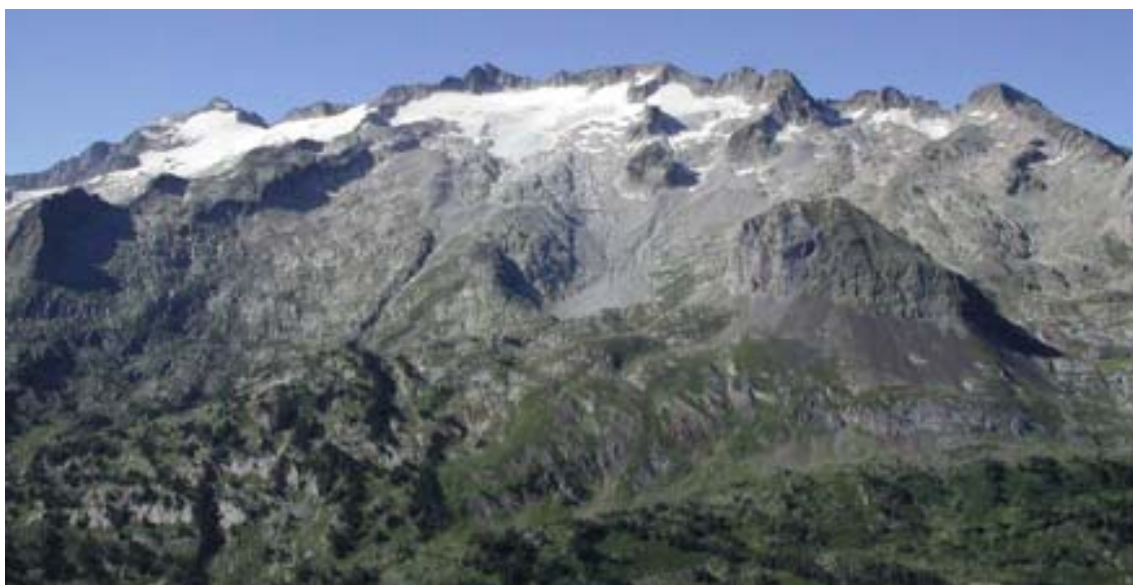
Glaciares de Barrancs, de Tempestades y Aneto, en 1876, según fotografía de C.H. Fabre. Anuario del Club Alpino Francés (CAF), y 2005. Obsérvese -en el caso del glaciar del Aneto- la ya notable separación del hielo de las morrenas terminales de la PEH

La primera medición de los glaciares de la vertiente española del Pirineo fue realizada por el geógrafo francés F. Schrader entre los años 1880 y 1894. Sus estudios otorgaron a la superficie global ocupada por glaciares del lado español un valor de 1.779 ha. Más adelante, entre 1900 y 1909, Ludovic Gaurier efectuó nuevas mediciones concluyendo que las evaluaciones de Schrader podrían resultar excesivas, lo que hoy parece razonable, ya que de ser exactas las cifras de 1894, la tasa de ablación glaciaria en los aparatos españoles habría sido aún más evidente de lo que se deduce de las observaciones realizadas en los últimos ochenta años.

Más o menos cien años después de las primeras mediciones de Schrader, en los años 80 del pasado siglo, los glaciares y heleros del Pirineo español ocupaban solamente unas 600 hectáreas, que en el año 1993 se habían reducido a unas 470 y en 2002 a unas 280. Finalmente, según los últimos datos de 2007, la superficie total ha disminuido hasta unas 210 ha como consecuencia de un proceso de degradación muy importante y acelerado que ha afectado especialmente a los aparatos menores, dejándolos en estado crítico o llevándolos a la extinción.



Evolución de las superficies glaciares del Pirineo Español por macizos



Glaciar de la Maladeta según fotografía de 1857 y 2002. Obsérvese en la imagen de 1857 el hielo todavía apoyado en las morrenas terminales de la PEH y a la derecha el evidente retroceso del hielo. Archivo Programa ERHIN



Glaciares de Monte Perdido según fotografía de 1920 y 2002. Obsérvese en la imagen de 1920 la cascada de seracs que conectaba con la parte inferior, actualmente desaparecida (2002). Archivo Programa ERHIN

LOS GLACIARES ESPAÑOLES. EVOLUCIÓN RECIENTE Y SITUACIÓN ACTUAL

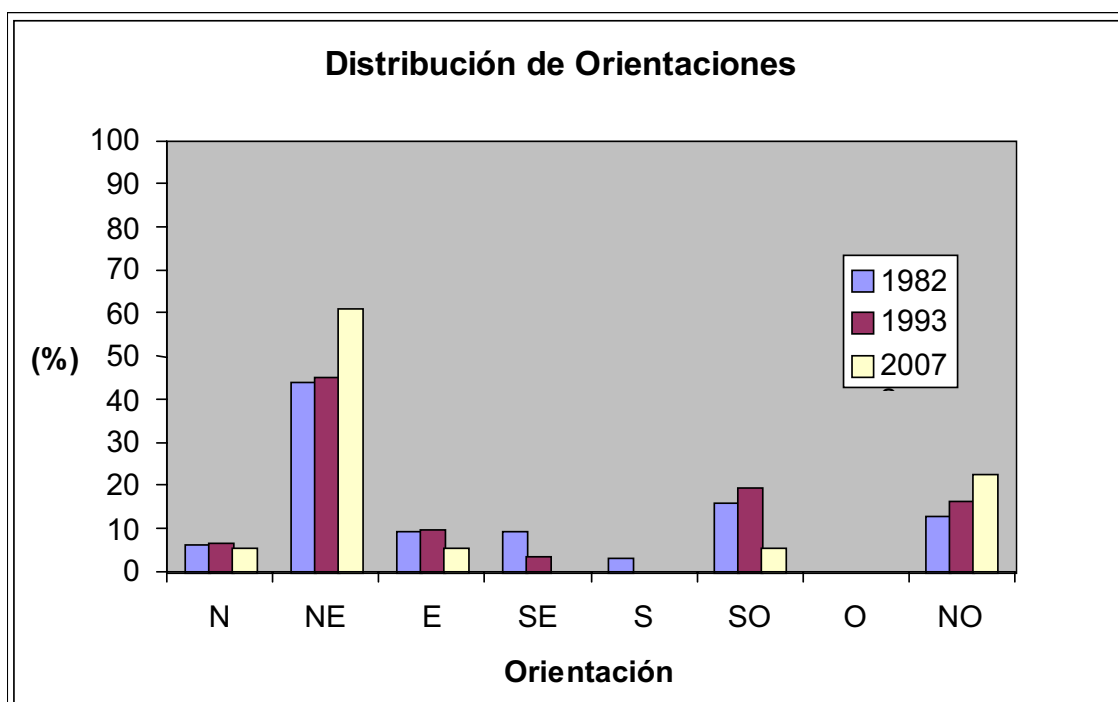
Debido al marcado retroceso referido anteriormente, algunos glaciares descritos en 1980/82 han evolucionado claramente hacia la pérdida de masa, pasando de la categoría de glaciares a heleros, o desapareciendo. En este proceso, se observa en consecuencia, tanto reducciones en el recuento total de aparatos, debido a su desaparición, como aumentos causados por la desagregación de un gran glaciar en dos o más aparatos. En la actualidad (2007), sólo persisten 18 (9 glaciares, 3 glaciares rocosos y 6 heleros) de los 34 aparatos descritos en 1982 como se puede constatar en las tablas siguientes:

	SCHRADER 1894	INEGLA 1982	ERHIN 1993	ERHIN 2002	ERHIN 2007
Nº Glaciares	27	25	14	9	9
SD (Sin Definir)	-	3	0	0	0
Nº Glaciares rocosos	-	2	3	3	3
Nº Heleros	-	4	14	6	6
Nº Glaciares extintos	-	0	3	16	16
Nº Total aparatos	27	34	34	34	34
Nº Total macizos	-	10	10	6	6
Sup. Total (ha)	1.779	595	468	277	206
Vol.Total (hm ³)	886	107	75	45	30

Evolución de los glaciares del Pirineo español (1894 - 2007)

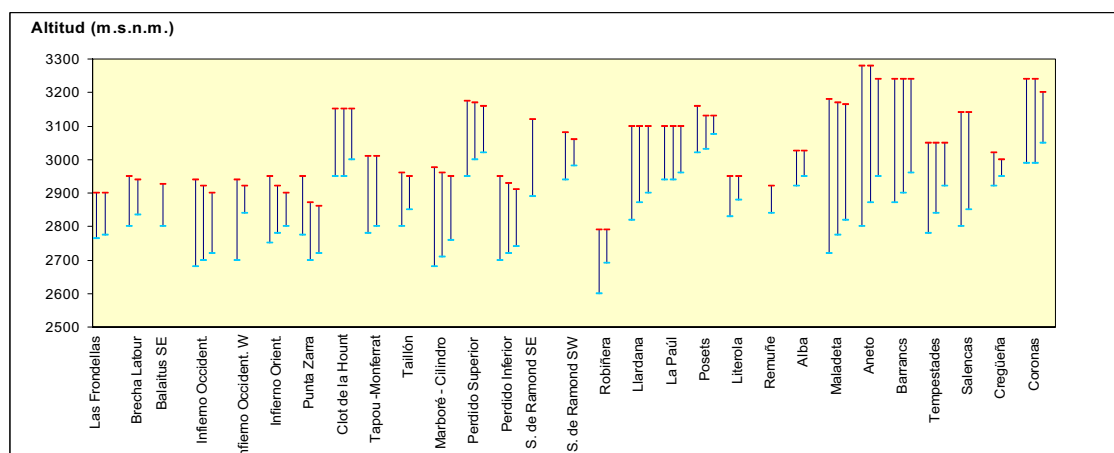
MACIZO	SCHRADER 1894 Sup. (ha)	INEGLA 1982 Sup. (ha)	ERHIN 1993 Sup. (ha)	ERHIN 2002 Sup. (ha)	ERHIN 2007 Sup. (ha)
Balaitus	55	18	13	0	0
Infierno	88	45	38	24	20
Viñemal	40	20	17	2	1
Taillón	-	10	2	0	0
Monte Perdido	556	107	74	44	38
La Munia	40	12	8	0	0
Posets	216	59	52	39	25
Perdiguero	92	10	9	0	0
Aneto-Maladeta	692	314	249	162	116
Besiberri	-	-	6	6	6
TOTAL PIRINEO	1.779	595	468	277	206

Evolución de superficies glaciares del Pirineo español por macizos

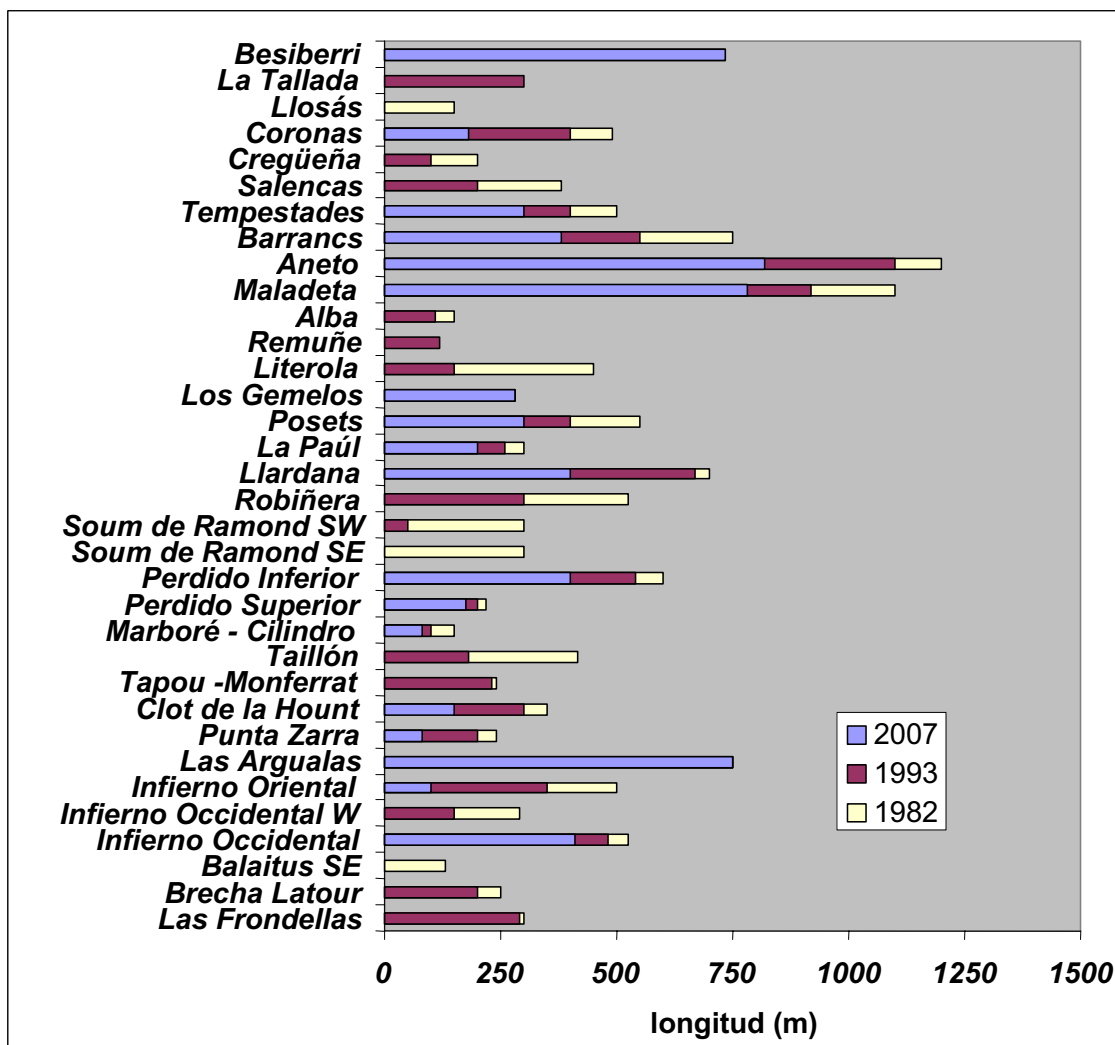


Variación en la distribución de las orientaciones en los glaciares del Pirineo español por aparatos

Las vertientes orientadas al Sur, con glaciares ya inicialmente menos desarrollados y en condiciones morfo-climáticas frágiles, han experimentado la pérdida total del hielo, a excepción de la vertiente meridional del Aneto, donde todavía perdura el pequeño helero de Coronas. Esto ha provocado que los macizos fronterizos del Balaitus, Taillón, La Munia y Perdiguero, cuyas vertientes Norte se encuentran íntegramente en territorio francés, dejen de computar como espacios glaciados españoles. En todos los casos restantes se ha detectado un retroceso importante que, en general, puede considerarse grave con notables pérdidas de volumen, superficie, longitud y acortamiento de los rangos altitudinales de ocupación del hielo.



Variación en los rangos de altitud en los glaciares del Pirineo español. Para cada aparato glaciar, la primera línea vertical corresponde a 1982, la segunda a 1993 y la tercera a 2007. Los aparatos desaparecidos sólo presentan 1 ó 2 líneas dependiendo del año de extinción. Los glaciares rocosos no se representan

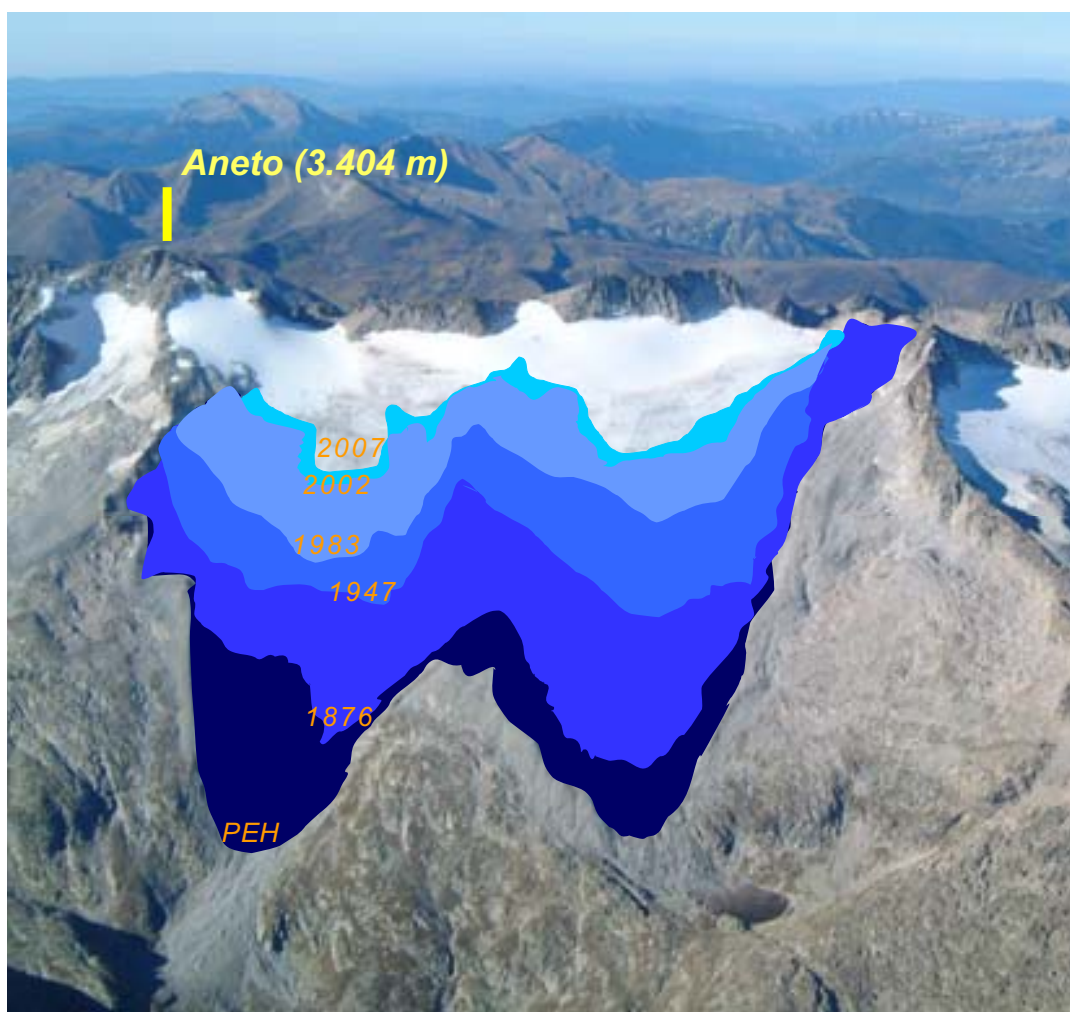


Variación de longitudes en los glaciares del Pirineo español por aparatos

COMENTARIO FINAL

La fase de regresión glaciar que actualmente se observa en el Pirineo resulta acorde con lo que, en términos generales, se viene señalando a nivel mundial y que parece guardar relación con el establecimiento de una tendencia climática cálida y un cierto cambio en el régimen de las precipitaciones.

Con independencia del conocimiento de las causas últimas responsables del proceso de degradación parece evidente que, de no variar la actual tendencia regresiva que afecta al total de nuestras áreas glaciares, este siglo que ahora comienza puede ver (quizás dentro de algunas décadas) la total, o casi total, extinción de las últimas reservas de hielo del Pirineo español y, por tanto, una importante modificación del actual paisaje de alta montaña.



Evolución del glaciar del Aneto entre la Pequeña edad del Hielo (PEH) y la actualidad

CARACTERIZACIÓN POR MACIZOS

MACIZO 1. BALAITUS

► Descripción general

Macizo granítico situado en la frontera entre España y Francia. Con una altura de 3.144 m alberga montañas de más de 3.000 m (Balaitus, 3.144 m; Frondellas NE, 3.071 m; Frondellas SO, 3.001 m).

En este macizo se han llevado a cabo estudios de las huellas glaciares de la Pequeña Edad de Hielo de donde se desprende que es en los circos con orientaciones septentrionales donde se localizan los principales restos de este período.

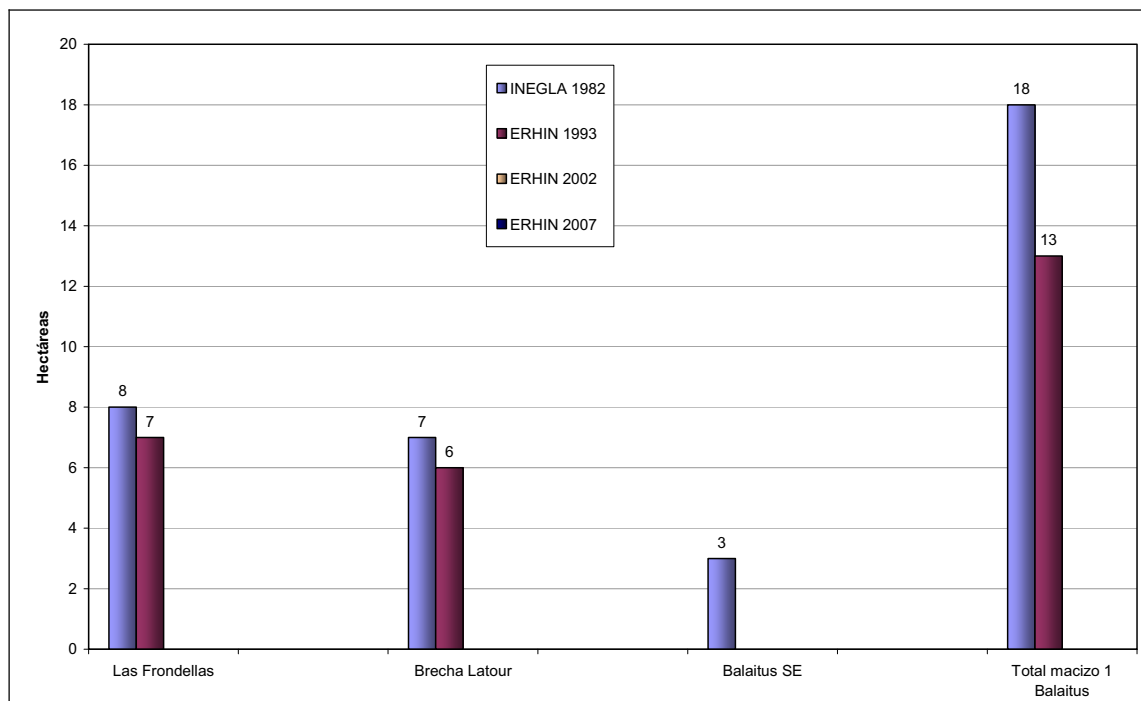
En torno a las crestas que conectan el macizo con las cumbres contiguas se localizan aproximadamente una docena de circos con huellas morfológicas de la Pequeña Edad de Hielo. Posee una densa red de fracturación que contribuye a la delimitación de sus valles secundarios.

Dentro de este macizo se pueden observar actualmente un glaciar y dos heleros: el glaciar de Las Néous (subdividido en dos masas) y el helero de Pabat, ambos ubicados en Francia y en España el helero de Frondellas N en el circo de Arriel.

Se puede decir que son aparatos residuales en muy avanzado proceso de extinción, salvo el glaciar de Las Néous gracias a su orientación de umbría y a los aportes nivales de la vertiente norpirenaica. Se encuentran en tal proceso de retroceso que en el caso de los heleros de Brecha-Latour y Balaitus, en la última década, se les ha considerado meras morfologías de helero-nevero.

De acuerdo con el estudio, la evolución experimentada por los glaciares de Las Frondellas, Brecha Latour y Balaitus SE es la siguiente: a partir de 2002 y hasta 2007 se han declarado como extintos el de Las Frondellas y Brecha Latour; el Balaitus SE adquirió esta categoría en 1993. Entre 1982 y 1993 los glaciares de Las Frondellas y Brecha Latour han experimentado la misma evolución, categorizados ambos en 1982 como glaciares y en 1993 como heleros. En cuanto al Balaitus SE, su categoría en 1982 era la de helero.

► Situación



Evolución de las superficies glaciares en el macizo del Balaitus, por aparatos

► Evolución periodo: 1982-2007:

En la tabla siguiente se presenta la evolución del macizo del Balaitus:

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m)		Longitud (m)
							máx	mín.	
1982									
1.1	Las Frondellas	Gállego	30 TYN 213 462	NO	Glaciar	8	2.900	2.765	300
1.2	Brecha Latour	Gállego	30 TYN 218 462	E	Glaciar	7	2.950	2.800	250
1.3	Balaitus SE	Gállego	30 TYN 219 459	SE	Helero	3	2.925	2.800	130
1993									
1.1	Las Frondellas	Gállego	30 TYN 213 462	NO	Helero	7	2.900	2.775	290
1.2	Brecha Latour	Gállego	30 TYN 218 462	E	Helero	6	2.940	2.835	200
1.3	Balaitus SE	Gállego	30 TYN 219 459	SE	Extinto	-	-	-	-
2002									
1.1	Las Frondellas	Gállego	30 TYN 213 462	NO	Extinto	-	-	-	-
1.2	Brecha Latour	Gállego	30 TYN 218 462	E	Extinto	-	-	-	-
1.3	Balaitus SE	Gállego	30 TYN 219 459	SE	Extinto	-	-	-	-
2007									
1.1	Las Frondellas	Gállego	30 TYN 213 462	NO	Extinto	-	-	-	-
1.2	Brecha Latour	Gállego	30 TYN 218 462	E	Extinto	-	-	-	-
1.3	Balaitus SE	Gállego	30 TYN 219 459	SE	Extinto	-	-	-	-

► Reportaje fotográfico



Las Frondellas 1982 y 2003



Brecha Latour 1995 y 2003

MACIZO 2. INFIERNO

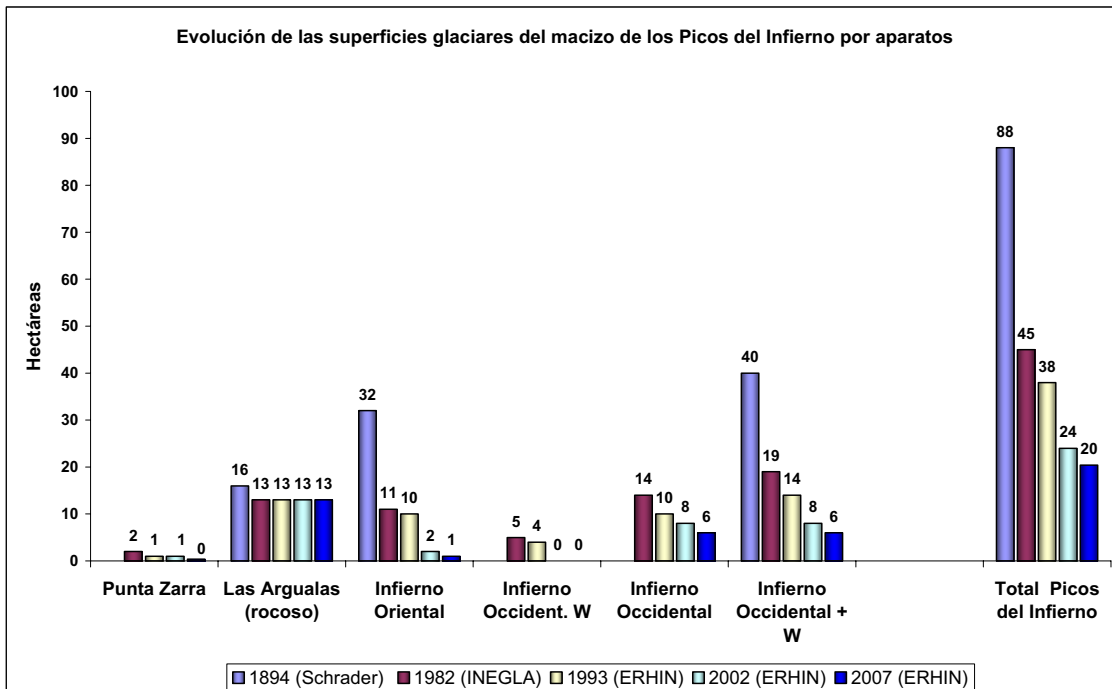
► Descripción general

El macizo de los Picos del Infierno debe su nombre a las cumbres más altas de todo el conjunto, pero extiende su denominación a un ámbito que comprende diversos picos y glaciares. Parte las aguas de los ríos Aguas Limpias y Pondiellos hacia el Oeste y Caldarés hacia el Este, cuyos caudales se reúnen finalmente en el Gállego. Entre los aparatos activos del macizo está el glaciar rocoso de Las Argualas, que es el que más superficie aporta al conjunto.

Schrader, en sus observaciones del año 1894, situó un único glaciar en el Pico del Infierno Occidental y no contabilizó el helero de Punta Zarra; tampoco clasificó como rocoso el glaciar de Las Argualas, calculando una superficie glaciada total de 88 ha. En 1980 se determinó la naturaleza de glaciar rocoso para el aparato de Las Argualas, con una superficie de 13 ha (superficie que no ha variado hasta la fecha) y se catalogó el helero de Punta Zarra. Asimismo, se constató la permanencia del glaciar del Infierno occidental, aunque escindido en dos cuerpos glaciares y un helero. Esto dio origen a una nueva nomenclatura al considerarse de modo independiente esos tres aparatos, que pasaron a denominarse: Glaciar occidental, Helero occidental W y Glaciar oriental.

En 2007, en todo el macizo sólo persistían los glaciares Occidental y Oriental de los Picos del Infierno (aunque este último reducido a un helero), el Glaciar rocoso de Las Argualas y el Helero de Punta Zarra, con una superficie conjunta de 20 ha.

► Situación

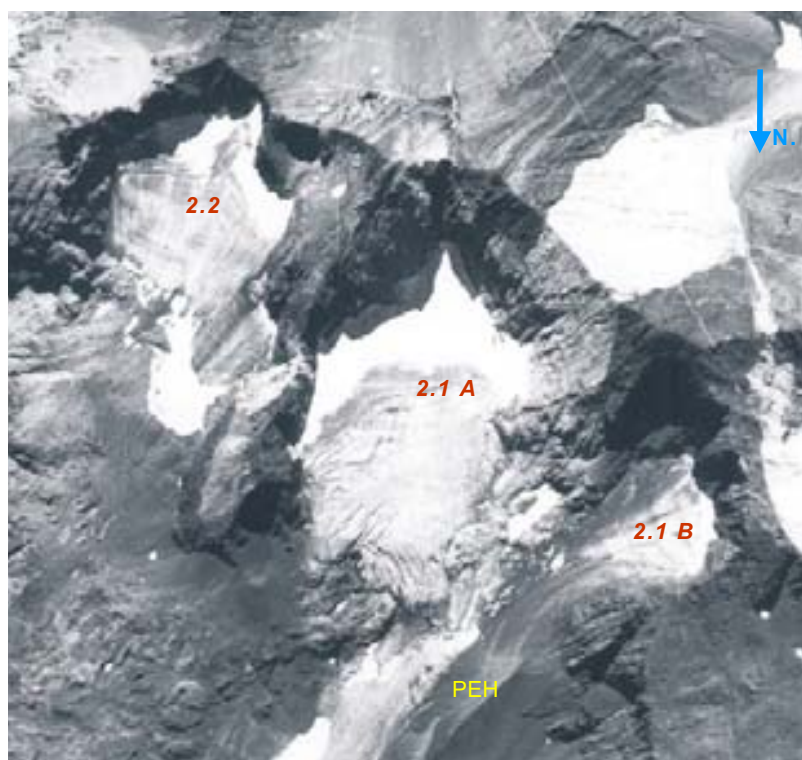


► **Evolución período: 1982-2007**

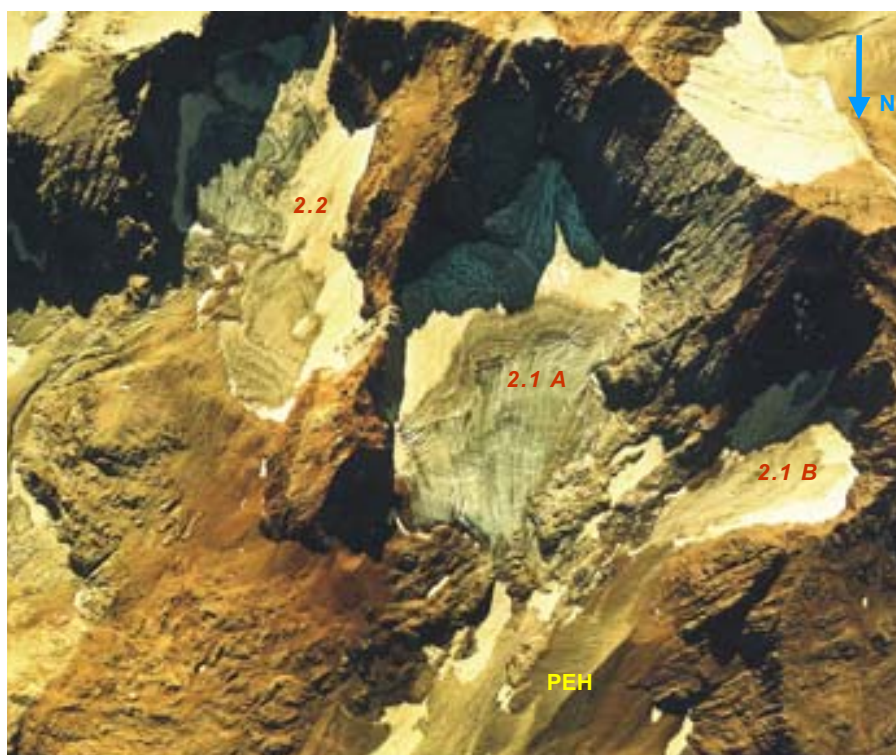
En la tabla siguiente se presenta la evolución del macizo Picos del Infierno

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m)		Longitud (m)
							máx	mín.	
1982									
2.1.A	Infierno Occidental	Gállego	30TYN 243 407	NE	Glaciar	14,0	2.940	2.680	525
2.1.B	Infierno Occidental W	Gállego	30TYN 240 409	NE	Helero	5,0	2.940	2.700	290
2.2	Infierno Oriental	Gállego	30TYN 246 405	NE	Glaciar	11,0	2.950	2.750	500
2.3	Las Argualas	Gállego	30 TYN 235 393	NO	G.Rocoso	13,0	2.725	2.600	650
2.4	Punta Zarra	Gállego	30 TYN 249 423	N	Helero	2,0	2.880	2.680	240
1993									
2.1.A	Infierno Occidental	Gállego	30TYN 243 407	NE	Glaciar	10,0	2.920	2.700	480
2.1.B	Infierno Occidental W	Gállego	30TYN 240 409	NE	Helero	4,0	2.920	2.840	150
2.2	Infierno Oriental	Gállego	30TYN 246 405	NE	Glaciar	10,0	2.920	2.780	350
2.3	Las Argualas	Gállego	30 TYN 235 393	NO	G.Rocoso	13,0	2.725	2.600	650
2.4	Punta Zarra	Gállego	30 TYN 249 423	N	Helero	1,0	2.870	2.700	200
2002									
2.1.A	Infierno Occidental	Gállego	30TYN 243 407	NE	Glaciar	5,8	2.900	2.720	410
2.1.B	Infierno Occidental W	Gállego	30TYN 240 409	NE	Extinto	–	–	–	–
2.2	Infierno Oriental	Gállego	30TYN 246 405	NE	Helero	1,5	2.900	2.800	100
2.3	Las Argualas	Gállego	30 TYN 235 393	NO	G.Rocoso	13,0	2.725	2.600	650
2.4	Punta Zarra	Gállego	30 TYN 249 423	N	Helero	0,7	2.860	2.720	80
2007									
2.1.A	Infierno Occidental	Gállego	30TYN 243 407	NE	Glaciar	6,0	2.990	2.730	270
2.1.B	Infierno Occidental W	Gállego	30TYN 240 409	NE	Extinto	–	–	–	–
2.2	Infierno Oriental	Gállego	30TYN 246 405	NE	Helero	1,0	2.940	2.830	90
2.3	Las Argualas	Gállego	30 TYN 235 393	NO	G.Rocoso	13,0	2.725	2.600	650
2.4	Punta Zarra	Gállego	30 TYN 249 423	N	Helero	0,4	2.810	2.760	75

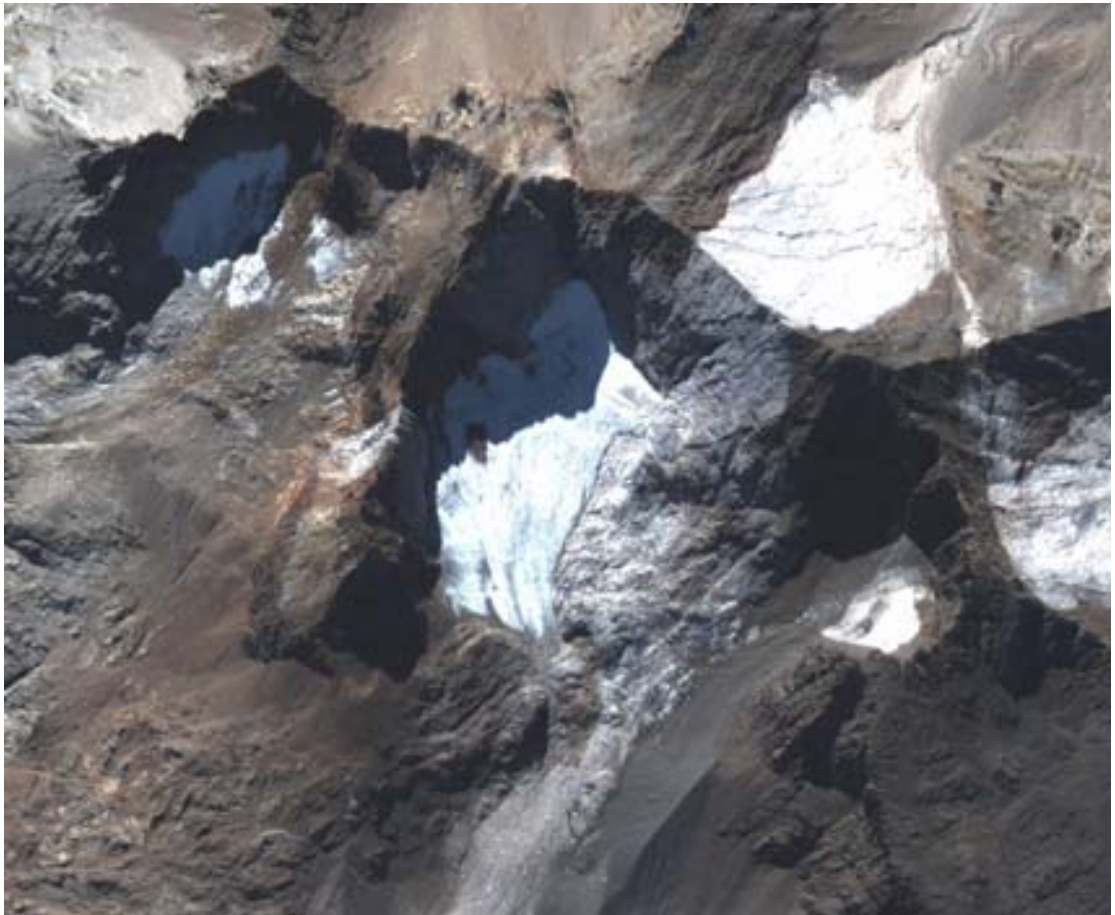
► Reportaje fotográfico



Glaciares septentrionales de los Picos del Infierno según fotografía aérea vertical de 1947 (vuelo serie A)

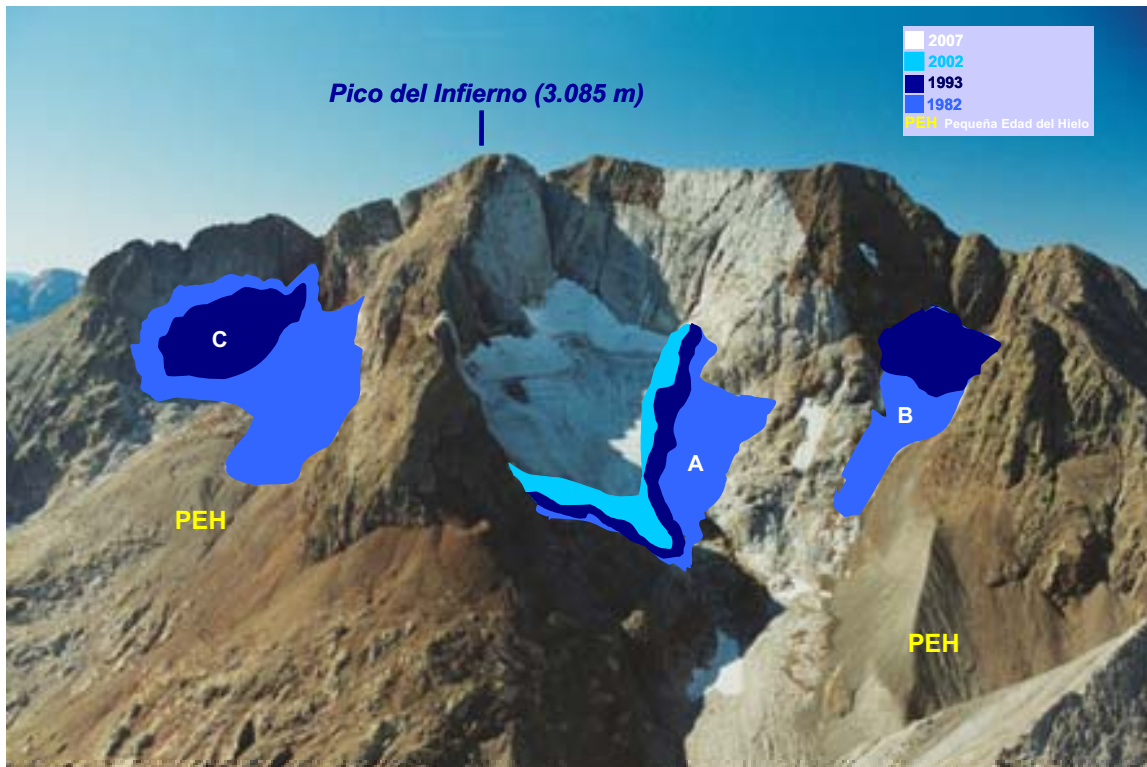


Glaciares septentrionales de los Picos del Infierno según fotografía aérea vertical de 1982 (vuelo INEGLA)



Glaciares septentrionales de los Picos del Infierno según imagen de satélite de 2005. ERHIN

- ⦿ A: Glaciar del Infierno Occidental (Código 2.1 A)
- ⦿ B: Helero extinto Occidental (W) del Infierno (Código 2.1 B)
- ⦿ C: Helero del Infierno Oriental (Código 2.2)



Evolución de los glaciares septentrionales de los Picos del Infierno 1982 - 2007. Fotografía septiembre de 2002



Septiembre de 1993



Septiembre de 1982

○ Glaciar rocoso de Las Argualas (Código 2.3)



Septiembre de 2002

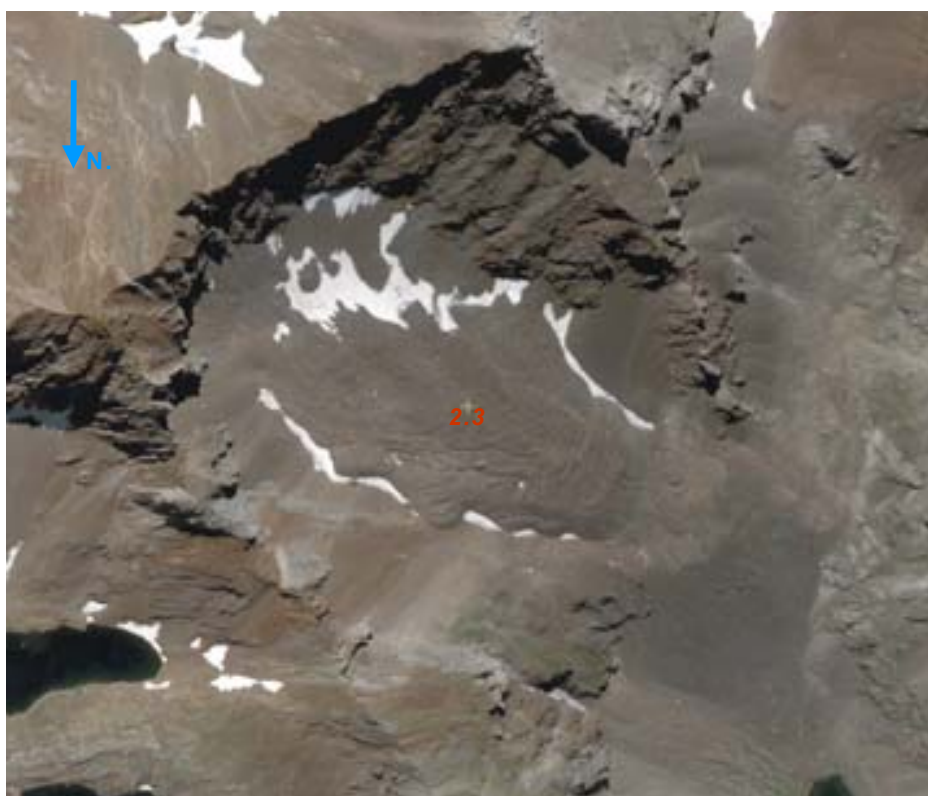
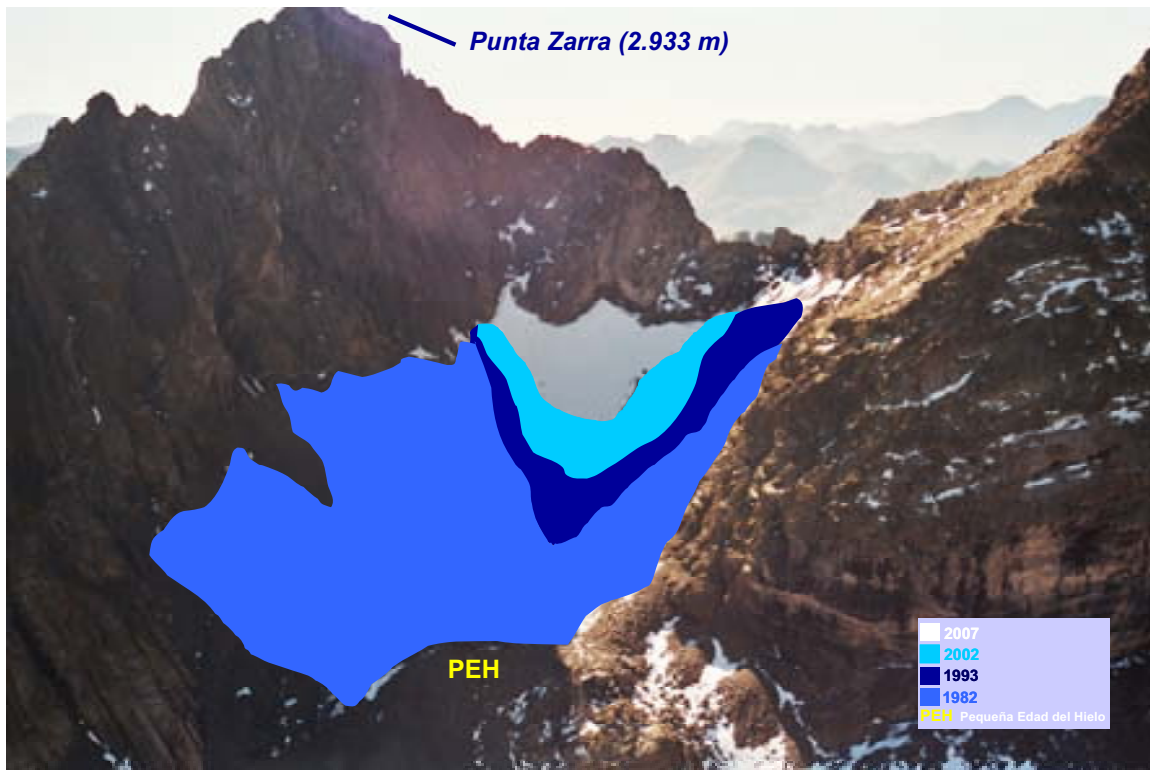


Imagen de satélite. Año 2004

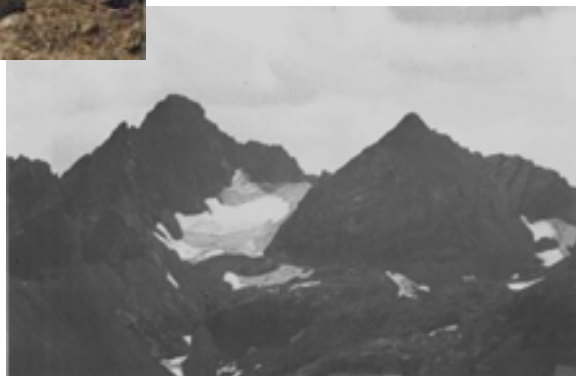
● Helero de Punta Zarra (Código 2.4)



Septiembre de 2002



Septiembre de 1993



Septiembre de 1982

MACIZO 3: VIÑEMAL

► Descripción general

El pico Vignemale es el más alto del Pirineo francés con 3.299 m. Se localiza entre España y Francia, concretamente en la provincia de Huesca, perteneciendo al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, y la parte francesa al departamento de Altos Pirineos, donde forma parte del Parque Nacional de los Pirineos.

Se sitúa en la cabeza del valle del Ara, mostrando en su vertiente española un corte complejo en los materiales paleozoicos. Este corte presenta un doble sinclinal colgado con un apretado anticlinal intermedio. En este conjunto sinclinal se insertan grandes masas calcáreas o “marmoleras” devónicas que dan lugar a un potente pilar rocoso. El intenso modelado de montaña se debe a las fracturas bien desarrolladas que recorren el macizo de abajo a arriba, y que dan lugar a canales de gran desnivel.

Este macizo está compuesto por diez cumbres dispuestas en forma de corona: Pic du Milieu (3.130 m), Gran Tapou (3.150 m), Montferrat (3.219 m), Pico Central (3.235 m), Cerbillona (3.247 m), Pic du Clot de la Hount (3.289 m), Pique Longue o Gran Vignemale (3.298 m), Pitón Carré (3.197 m), Punta Chausenque (3.204 m) y Petit Vignemale (3.032 m).

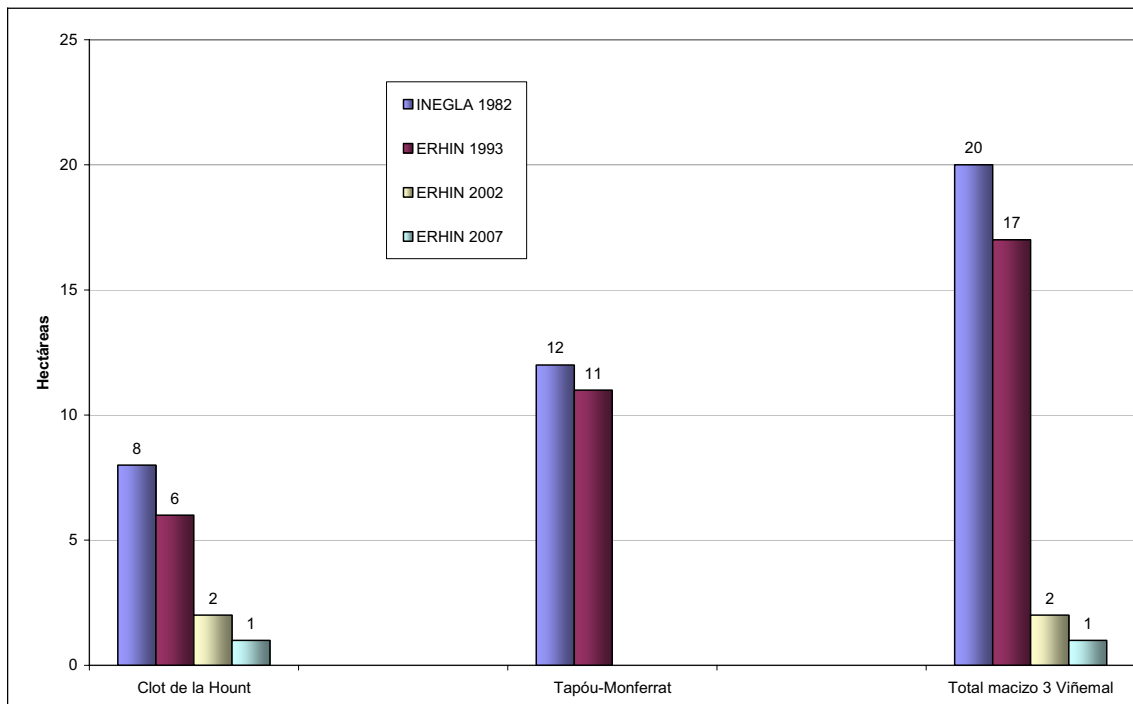
Varios aparatos glaciares se localizan en el mismo, como el de Ossue en el interior de Gran Tapou, y al menos cuatro glaciares con orientación norte en el perímetro exterior del macizo: Gaube -hoy subdividido en los glaciares de Petit Vignemale y Oulettes de Gaube-, Montferrat y Clot de la Hount, pero también orientados al sur Tapou-Montferrat y Cerbillona.

De los glaciares de Gaube y Ossue se dispone de amplia información sobre el retroceso que han experimentado. A finales del siglo XVIII el glaciar de Ossue, situado por encima de los 3.100 m, tenía una longitud de 3 km y un complejo morrénico de 5 arcos, 58 años después había sufrido un retroceso de 1,5 km en longitud y 200 m en altura. Una evolución parecida tuvo el glaciar de Gaube, de orientación septentrional y localizado en cotas más bajas (2.500-2.700 m), que supuso su división en dos aparatos.

Por tanto, quedan tres aparatos glaciares, de los cuales dos de ellos tienen dimensiones muy reducidas (Petit Vignemale y Oulettes), y un tercero, el glaciar de Ossue, alcanza las 59 ha de superficie, además de tres heleros (Montferrat, Montferrat-Tapou y Clot de la Hount).

La evolución experimentada por los glaciares de Clot de la Hount y Tapou-Montferrat es la siguiente. En el año 1982 ambos tenían la categoría de glaciares con una superficie de 8 y 12 ha y una longitud de 350 m y 240 m respectivamente. En 1993 adquirieron la categoría de heleros si bien no experimentaron un imponente retroceso hasta 2002, fecha en la que el Tapou-Montferrat se declaró extinto, y el Clot de la Hount sufrió una pérdida de superficie de un 75% y de un poco menos del 50% de longitud.

► Situación



Evolución de las superficies glaciares en el macizo del Viñemal, por aparatos

► **Evolución período: 1982-2007**

En la tabla siguiente se presenta la evolución Macizo del Viñemal

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m)		Longitud (m)
							máx	mín.	
1982									
3.1	Clot de la Hount	Cinca	30 TYN 332 401	NO	Glaciar	8	3.150	2.950	350
3.2 A y B	Tapóu-Monferrat	Cinca	30 TYN 342 388	SO	Glaciar	12	3.010	2.780	240
1993									
3.1	Clot de la Hount	Cinca	30 TYN 332 401	NO	Helero	6	3.150	2.950	300
3.2 A y B	Tapóu-Monferrat	Cinca	30 TYN 342 388	SO	Helero	11	3.010	2.800	230
2002									
3.1	Clot de la Hount	Cinca	30 TYN 332 401	NO	Helero	2	3.150	3.000	150
3.2 A y B	Tapóu-Monferrat	Cinca	30 TYN 342 388	SO	Extinto	-	-	-	-
2007									
3.1	Clot de la Hount	Cinca	30 TYN 332 401	NO	Helero	1	3070	2970	120
3.2 A y B	Tapóu-Monferrat	Cinca	30 TYN 342 388	SO	Extinto	-	-	-	-

► Reportaje fotográfico



Clot de la Hount 1995



Clot de la Hount 1999



Tapou y Monferrat 2003

MACIZO 4: TAILLÓN

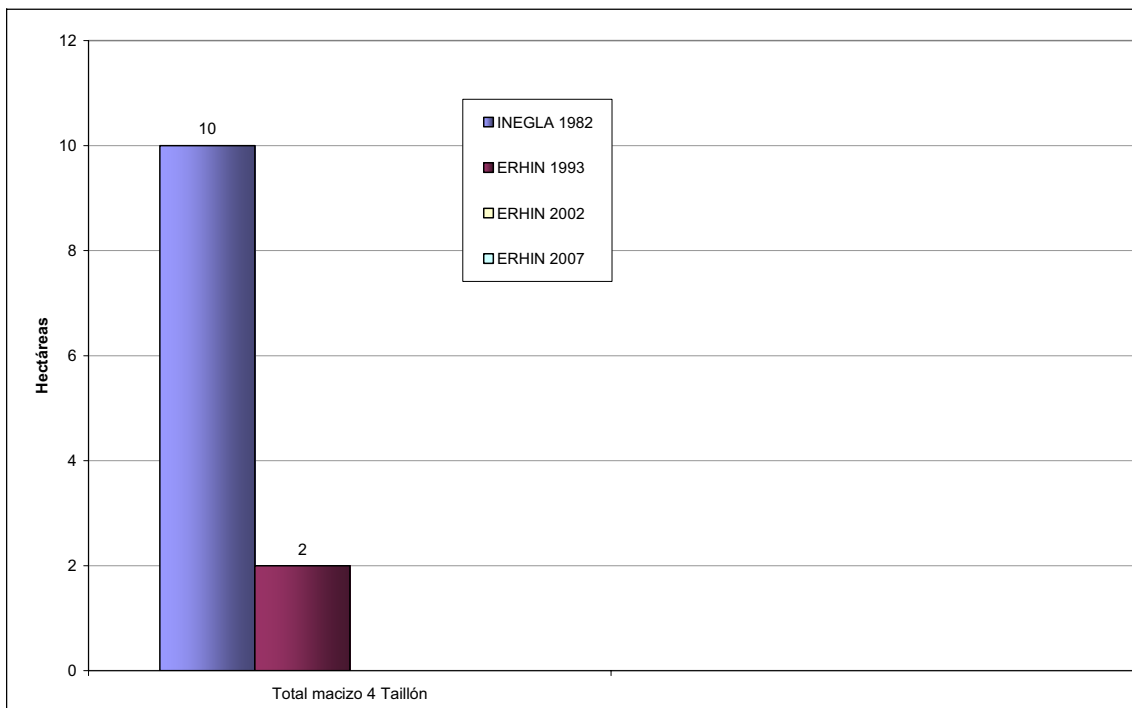
► Descripción general

Cumbre de 3.144 m situada en la frontera entre España y Francia. Pertenece al extremo norte del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

Desde el punto de vista geológico predominan las calizas y dolomías. Está próxima la Brecha de Roldán, corte transversal en la arista divisoria entre España y Francia.

La evolución experimentada por el glaciar el Taillón entre 1982 y 2007 es la siguiente: en 1982 su categoría era la de glaciar con una superficie de 10 ha y 415 m de longitud. En 1993 pasó a la categoría de helero al experimentar un retroceso en su superficie de un 80% y de un poco más del 40% en su longitud. Finalmente a partir de 2002 y hasta 2007 se ha catalogado como extinto.

► Situación



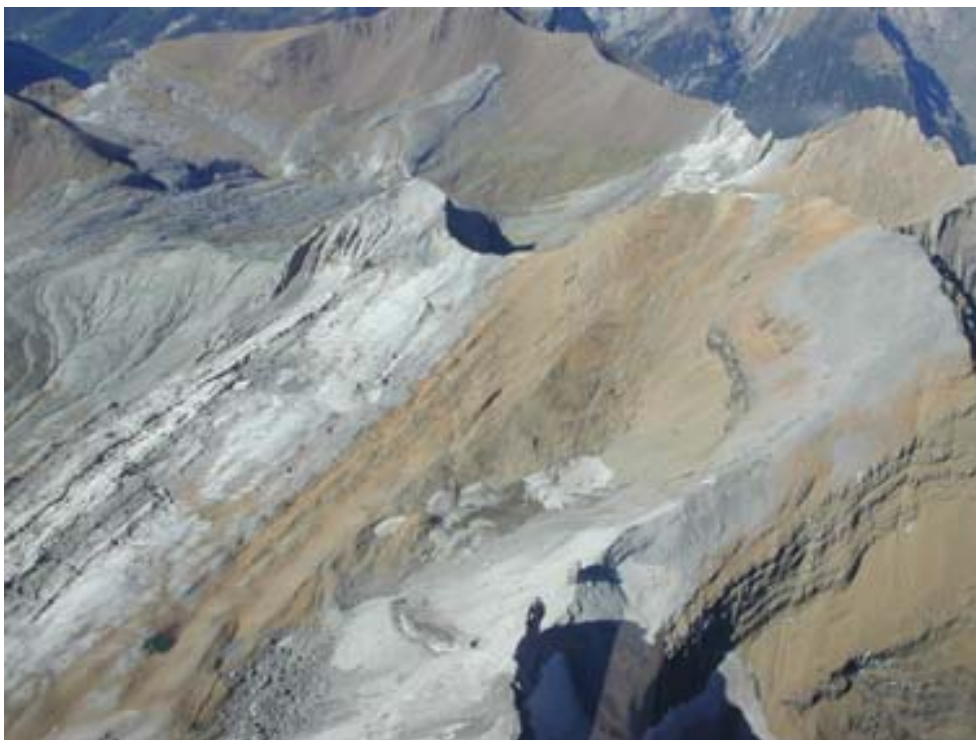
Evolución de la superficie glaciar del macizo del Taillón

► Evolución período: 1982-2007

En la tabla siguiente se presenta la evolución del Macizo del Taillón

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m)		Longitud (m)
							máx	mín.	
1982									
4.1	Taillón	Cinca	30 TYN 418 309	SE	Glaciar	10	2.960	2.800	415
1993									
4.1	Taillón	Cinca	30 TYN 418 309	SE	Helero	2	2.950	2.850	180
2002									
4.1	Taillón	Cinca	30 TYN 418 309	SE	Extinto	-	-	-	-
2007									
4.1	Taillón	Cinca	30 TYN 418 309	SE	Extinto	-	-	-	-

► Reportaje fotográfico



Tailón 1995 y 2002

MACIZO 5: MONTE PERDIDO

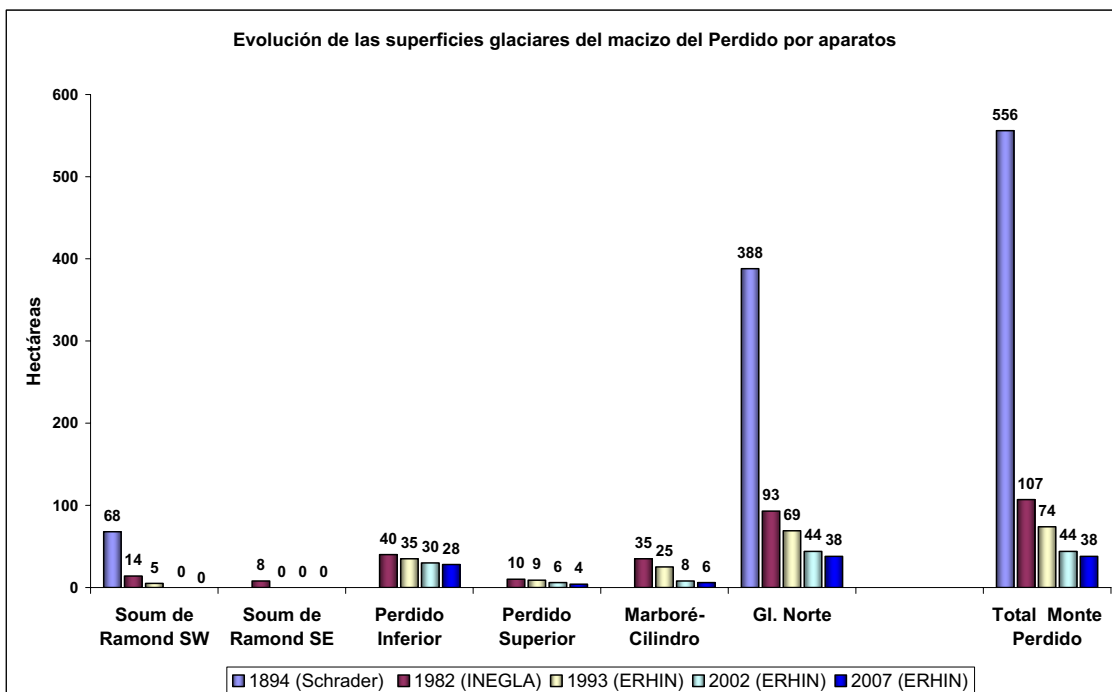
► Descripción general

El macizo de Monte Perdido es quizás uno de los más espectaculares y conocidos del Pirineo por su morfología característica, de singular belleza, y sus dimensiones. La cima que le da nombre alcanza los 3.355 m y el macizo se desarrolla con amplitud en las cabeceras de dos de los valles más representativos de la cordillera, como son el de Ordesa y el de Pineta. Ambos drenan sus aguas hacia el río Cinca.

La extensión de la superficie glaciada, aunque en la actualidad muy mermada, es la segunda del Pirineo, detrás de la del Macizo de Aneto-Maladeta. En el año 1894 el pirineista Schrader contabilizó 5 glaciares (Monte Perdido, Soum de Ramond SW y Sur, Cilindro, Cima de Marboré) y estimó su superficie en 556 ha. En las observaciones de 1980 se constató la extinción de los tres últimos (que de hecho eran los más reducidos) y la escisión del aparato principal en cuatro (Marboré-Cilindro, Monte Perdido Superior, Monte Perdido Inferior y Soum de Ramond SE), aunque este último ya se consideró un helero. La superficie total que se calculó entonces sólo alcanzaba las 107 ha.

En 1994 se constató la extinción del Helero del Soum de Ramond SE y en 2000 la del Glaciar del Soum de Ramond SW, que había pasado previamente por la categoría de helero. Según las observaciones del año 2007 el estado de este macizo es crítico, pues solamente se conservan dos glaciares propiamente dichos (Monte Perdido Superior e Inferior) y un helero residual (Marboré-Cilindro). No obstante, la superficie glaciada total ocupa 38 ha, la segunda en importancia del Pirineo.

► Situación

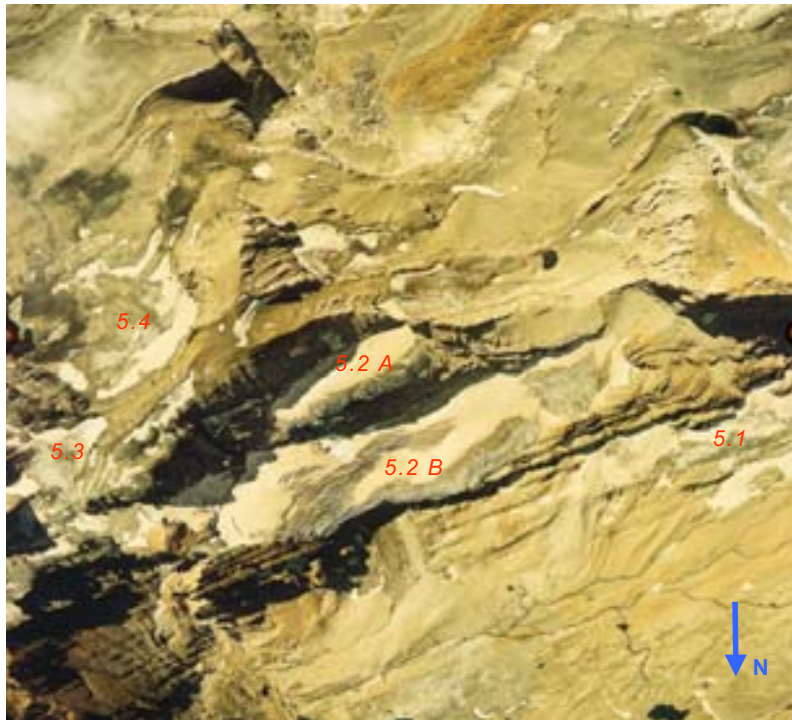


► **Evolución período: 1982-2007**

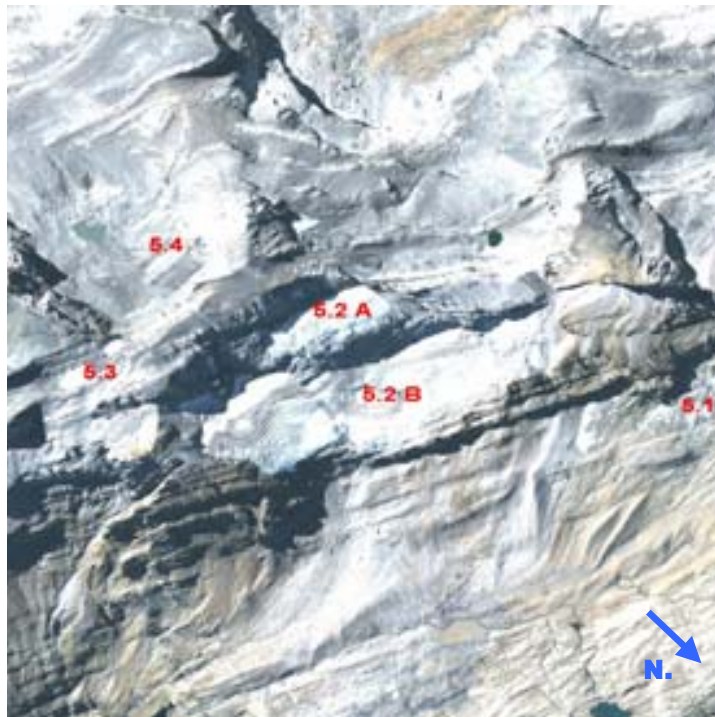
En la tabla siguiente se presenta la evolución del Macizo de Monte Perdido.

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m)		Longitud (m)
							máx	mín.	
1982									
5.1	Marboré - Cilindro	Cinca	31 TBH 561 312	NE	Glaciar	35	2.975	2.680	150
5.2 A	Perdido Superior	Cinca	31 TBH 571 296	NE	Glaciar	10	3.175	2.950	220
5.2 B	Perdido Inferior	Cinca	31 TBH 572 299	NE	Glaciar	40	2.950	2.700	600
5.3	Soum de Ramond SE	Cinca	31 TBH 580 287	SE	Helero	8	3.120	2.890	300
5.4	Soum de Ramond SW	Cinca	31 TBH 574 289	SO	Glaciar	14	3.080	2.940	300
1993									
5.1	Marboré - Cilindro	Cinca	31 TBH 561 312	NE	Glaciar	25	2.960	2.710	100
5.2 A	Perdido Superior	Cinca	31 TBH 571 296	NE	Glaciar	9	3.170	3.000	200
5.2 B	Perdido Inferior	Cinca	31 TBH 572 299	NE	Glaciar	35	2.930	2.720	540
5.3	Soum de Ramond SE	Cinca	31 TBH 580 287	SE	Extinto	—	—	—	—
5.4	Soum de Ramond SW	Cinca	31 TBH 574 289	SO	Helero	5	3.060	2.980	50
2002									
5.1	Marboré - Cilindro	Cinca	31 TBH 561 312	NE	Helero	8	2.950	2.760	80
5.2 A	Perdido Superior	Cinca	31 TBH 571 296	NE	Glaciar	6	3.160	3.020	175
5.2 B	Perdido Inferior	Cinca	31 TBH 572 299	NE	Glaciar	30	2.910	2.740	400
5.3	Soum de Ramond SE	Cinca	31 TBH 580 287	SE	Extinto	—	—	—	—
5.4	Soum de Ramond SW	Cinca	31 TBH 574 289	SO	Extinto	—	—	—	—
2007									
5.1	Marboré - Cilindro	Cinca	31 TBH 561 312	NE	Helero	6	3.040	2.700	210
5.2 A	Perdido Superior	Cinca	31 TBH 571 296	NE	Glaciar	4	3.230	3.110	130
5.2 B	Perdido Inferior	Cinca	31 TBH 572 299	NE	Glaciar	28	3.090	2.775	360
5.3	Soum de Ramond SE	Cinca	31 TBH 580 287	SE	Extinto	—	—	—	—
5.4	Soum de Ramond SW	Cinca	31 TBH 574 289	SO	Extinto	—	—	—	—

► Reportaje fotográfico

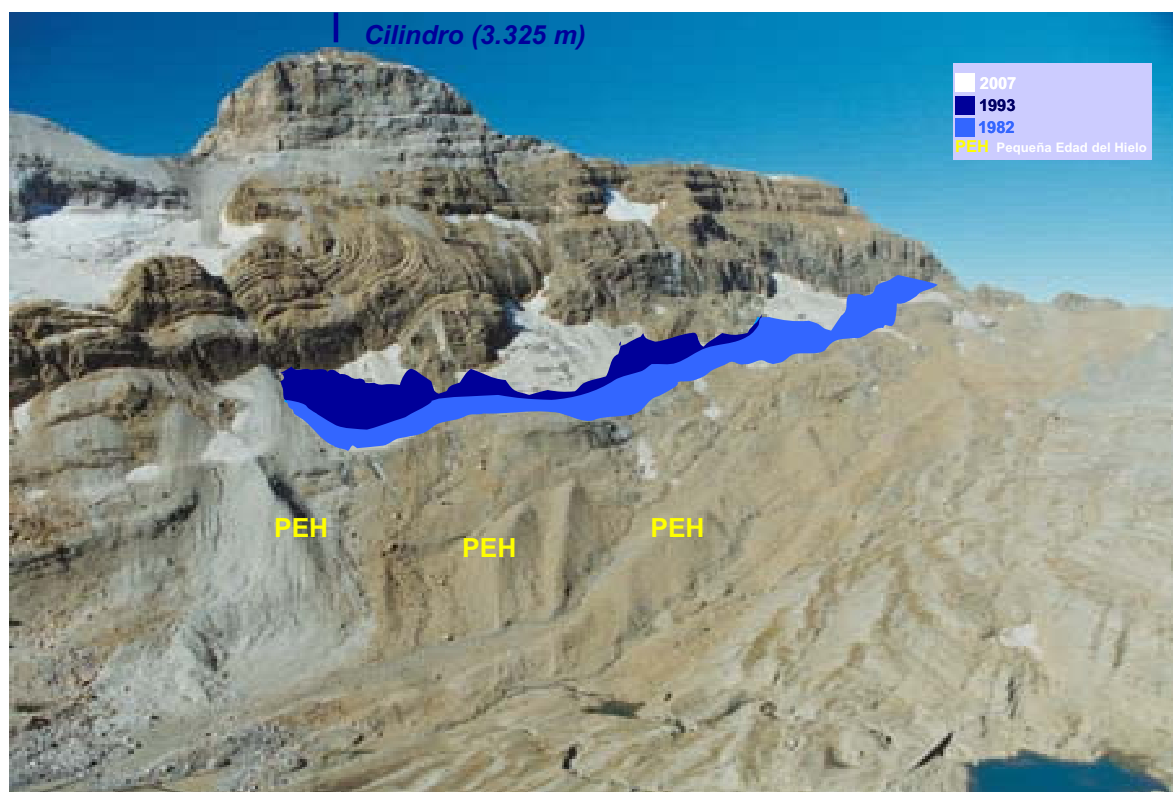


Macizo del Monte Perdido según fotografía aérea vertical de 1983 (vuelo INEGLA). 5.1 glaciar de Marboré-Cilindro, 5.2.A glaciar superior de Monte Perdido, 5.2.B glaciar inferior de Monte Perdido, 5.3 glaciar del Soum de Ramond S.E. y 5.4 glaciar del Soum de Ramond S.W.



Macizo del Monte Perdido según fotografía de satélite de 2005. 5.1 Helero de Marboré-Cilindro, 5.2.A glaciar superior de Monte Perdido, 5.2.B glaciar inferior de Monte Perdido, 5.3 glaciar extinto del Soum de Ramond S.E. y 5.4 glaciar extinto del Soum de Ramond S.W. ERHIN

○ Helero residual de Marboré - Cilindro (Código 5.1)

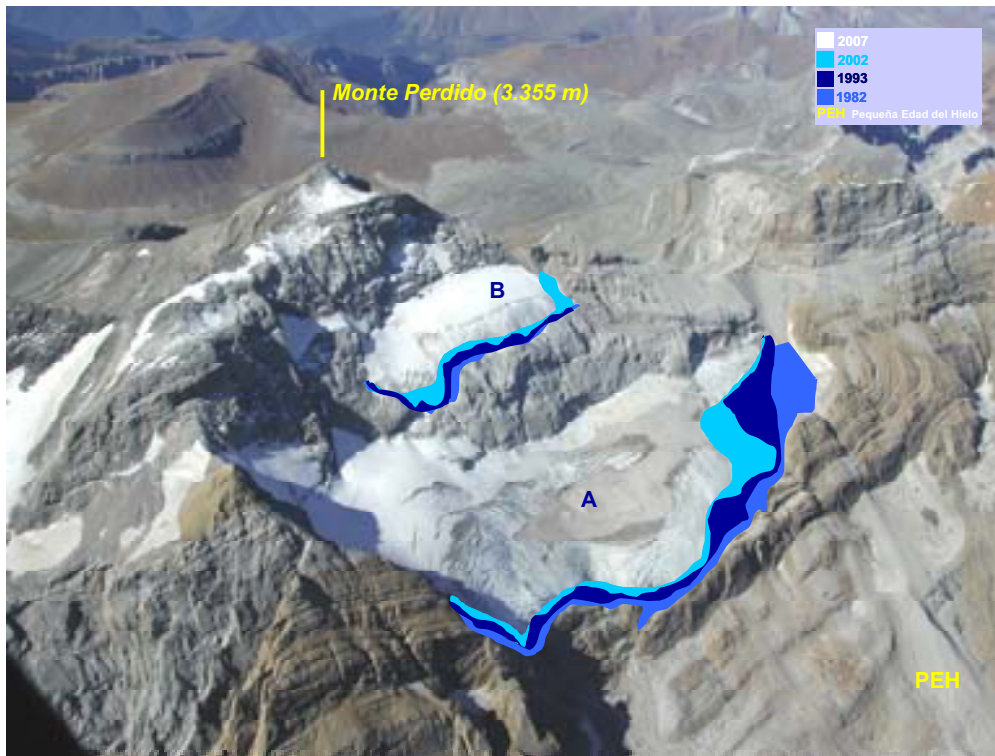


Evolución del aparato de Marboré - Cilindro entre 1982 y 2007. Fotografía septiembre de 2002



Septiembre de 1993

◉ Glaciar de Monte Perdido (Código 5.2 A y B)



Evolución de los glaciares septentrionales del Monte Perdido entre 1982 y 2007. Fotografía septiembre de 2002

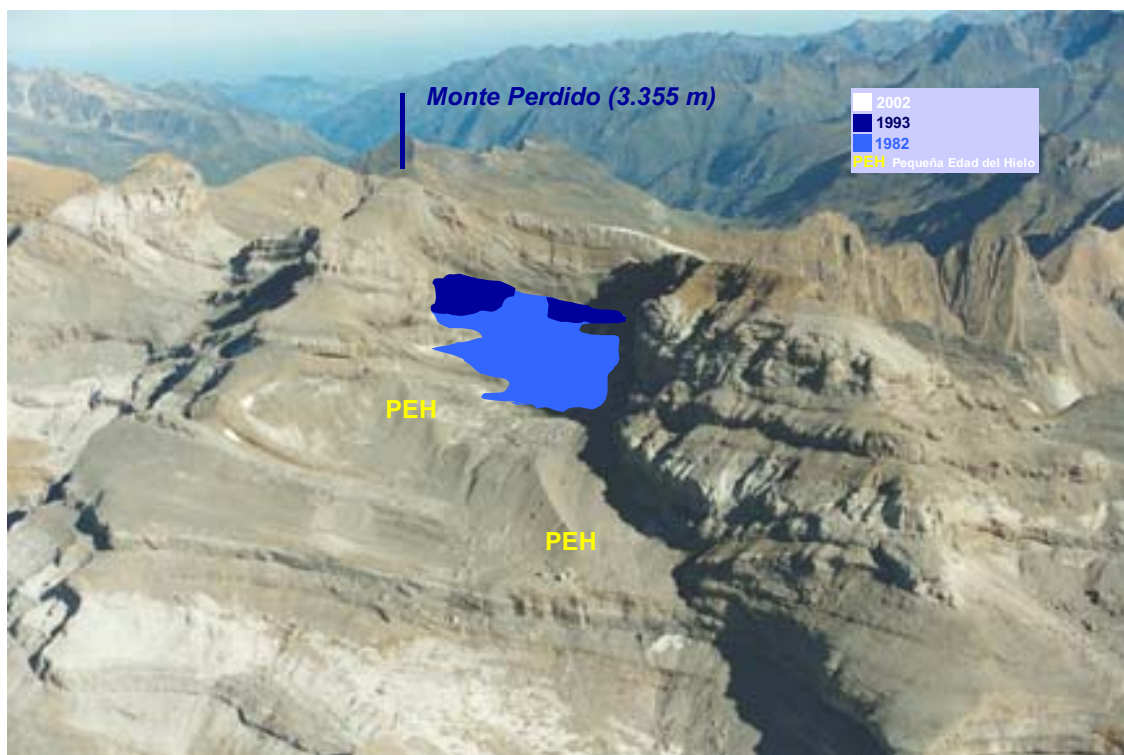


Septiembre de 1993



Septiembre de 1980

○ Helero del Soum de Ramond SW (Código 5.4)



Evolución del aparato del Soum de Ramond oeste entre 1982 y 2002. Fotografía septiembre de 2002



Septiembre 1993

MACIZO 6: LA MUNIA

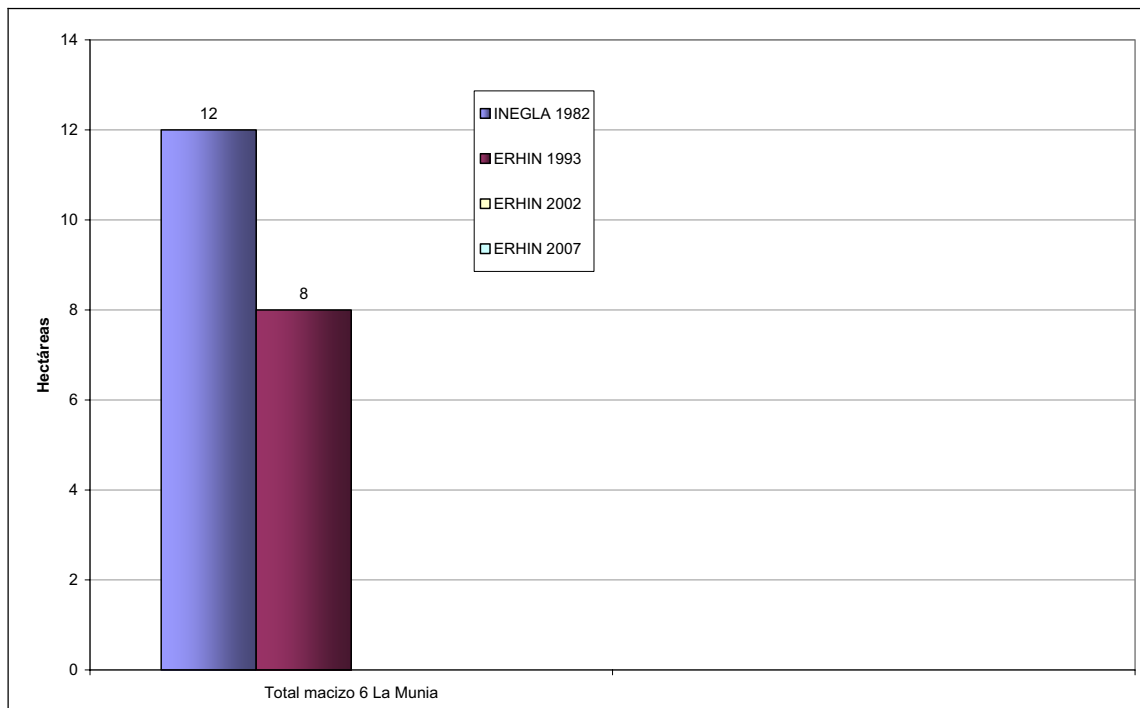
► Descripción general

Tiene una altura de 3.134 m. En él se localizan cerca de siete circos glaciares con formas atribuibles a la Pequeña Edad de Hielo que sufren un proceso de deglaciación desde el siglo XIX.

En los circos posicionados en umbría y hacia el norte se localizan los restos más importantes, con glaciares que alcanzaron cotas bajas, como La Munia, 2.370 m en Barroude y 2.500 m en Robiñera, con abundante sobrealimentación por aludes.

El helero de Robiñera, con datos desde 1982 hasta 2007, ha evolucionado hasta su extinción, de forma que en poco más de 10 años (1982-1993) pasó de una superficie de 12 a 8 ha y a una longitud de 300 m de los 525 que tenía en 1982, pasando de la categoría de glaciar a helero. A partir de 1993 comenzó la regresión hasta su extinción en 2002, fecha en la que ya no se dispone de datos sobre superficie y longitud. Esta situación se prolonga hasta 2007, por lo que en tan sólo 12 años este glaciar ha pasado a la categoría de extinto.

► Situación



Evolución de la superficie glaciar del macizo de La Munia

► **Evolución periodo: 1982-2007**

En la tabla siguiente se presenta la evolución del Macizo de La Munia

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m)		Longitud (m)
							máx	mín.	
1982									
6.1	Robiñera	Cinca	31 TBH 658 319	NE	Glaciar	12	2.790	2.600	525
1993									
6.1	Robiñera	Cinca	31 TBH 658 319	NE	Helero	8	2.790	2.690	300
2002									
6.1	Robiñera	Cinca	31 TBH 658 319	NE	Extinto	-	-	-	-
2007									
6.1	Robiñera	Cinca	31 TBH 658 319	NE	Extinto	-	-	-	-

► Reportaje fotográfico



Robiñera 1995 y 2003

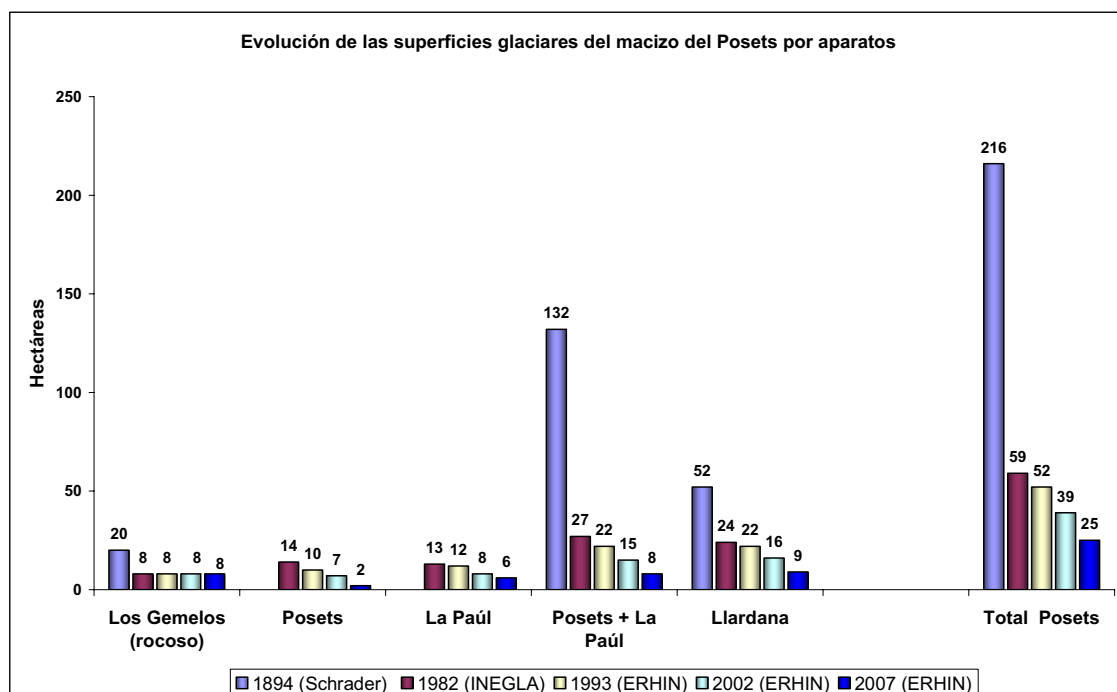
MACIZO 7: POSETS

► Descripción general

El macizo de Posets corresponde a la cumbre de este mismo nombre -que con sus 3.375 m es la segunda en altura del Pirineo- y a su entorno próximo. Divide aguas entre las cuencas de los ríos Cinca y Ésera y está integrado por diversos aparatos que, como en otros macizos, han ido cambiando su extensión y naturaleza con el paso del tiempo y, de manera mucho más importante, en los últimos decenios.

Schrader en el año 1894 describió en este macizo cuatro aparatos, todos ellos catalogados como glaciares (Llardana, Posets, Los Gemelos, Espadas), con una superficie glaciada total de 216 ha. En las observaciones de 1980 se constató que el glaciar de Espadas se había extinguido y que el de Posets se había escindido en dos aparatos (Posets y La Paúl en la nomenclatura actual), conservándose una superficie de hielo de tan sólo 59 ha en la fecha indicada. El aparato de Los Gemelos se catalogó entonces como glaciar rocoso. Desde 1999 el glaciar de Posets ha perdido esta categoría para pasar a ser un helero, y la superficie glaciada ha quedado reducida -en 2007- a 25 ha.

► Situación

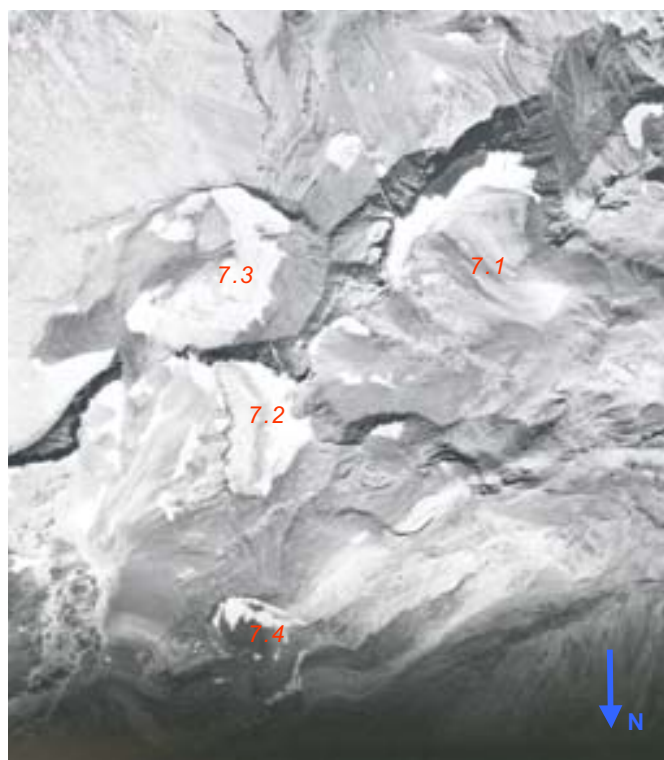


► Evolución período 1982-2007

En la tabla siguiente se presenta la evolución del Macizo de Posets

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m)		Longitud (m)
							máx	mín.	
1982									
7.1	Llardana	Cinca	31 TBH 895 255	NO	Glaciar	24,0	3.100	2.820	700
7.2	La Paúl	Ésera	31 TBH 901 265	NE	Glaciar	13,0	3.100	2.940	300
7.3	Posets	Ésera	31 TBH 903 260	E	Glaciar	14,0	3.160	3.020	550
7.4	Los Gemelos	Ésera	31 TBH 904 270	NE	Glaciar Rocoso	8,0	–	–	280
1993									
7.1	Llardana	Cinca	31 TBH 895 255	NO	Glaciar	22,0	3.090	2.870	670
7.2	La Paúl	Ésera	31 TBH 901 265	NE	Glaciar	12,0	3.090	2.950	260
7.3	Posets	Ésera	31 TBH 903 260	E	Glaciar	10,0	3.145	3.030	400
7.4	Los Gemelos	Ésera	31 TBH 904 270	NE	Glaciar Rocoso	8,0	–	–	280
2002									
7.1	Llardana	Cinca	31 TBH 895 255	NO	Glaciar	16,0	3.080	2.900	400
7.2	La Paúl	Ésera	31 TBH 901 265	NE	Glaciar	8,5	3.085	2.960	200
7.3	Posets	Ésera	31 TBH 903 260	E	Helero	6,6	3.130	3.075	300
7.4	Los Gemelos	Ésera	31 TBH 904 270	NE	Glaciar Rocoso	8,0	–	–	280
2007									
7.1	Llardana	Cinca	31 TBH 895 255	NO	Glaciar	9,0	3.100	2.970	280
7.2	La Paúl	Ésera	31 TBH 901 265	NE	Glaciar	6,0	3.100	2.940	390
7.3	Posets	Ésera	31 TBH 903 260	E	Helero	2,0	3.160	3.080	225
7.4	Los Gemelos	Ésera	31 TBH 904 270	NE	Glaciar Rocoso	8,0	2990	2.830	360

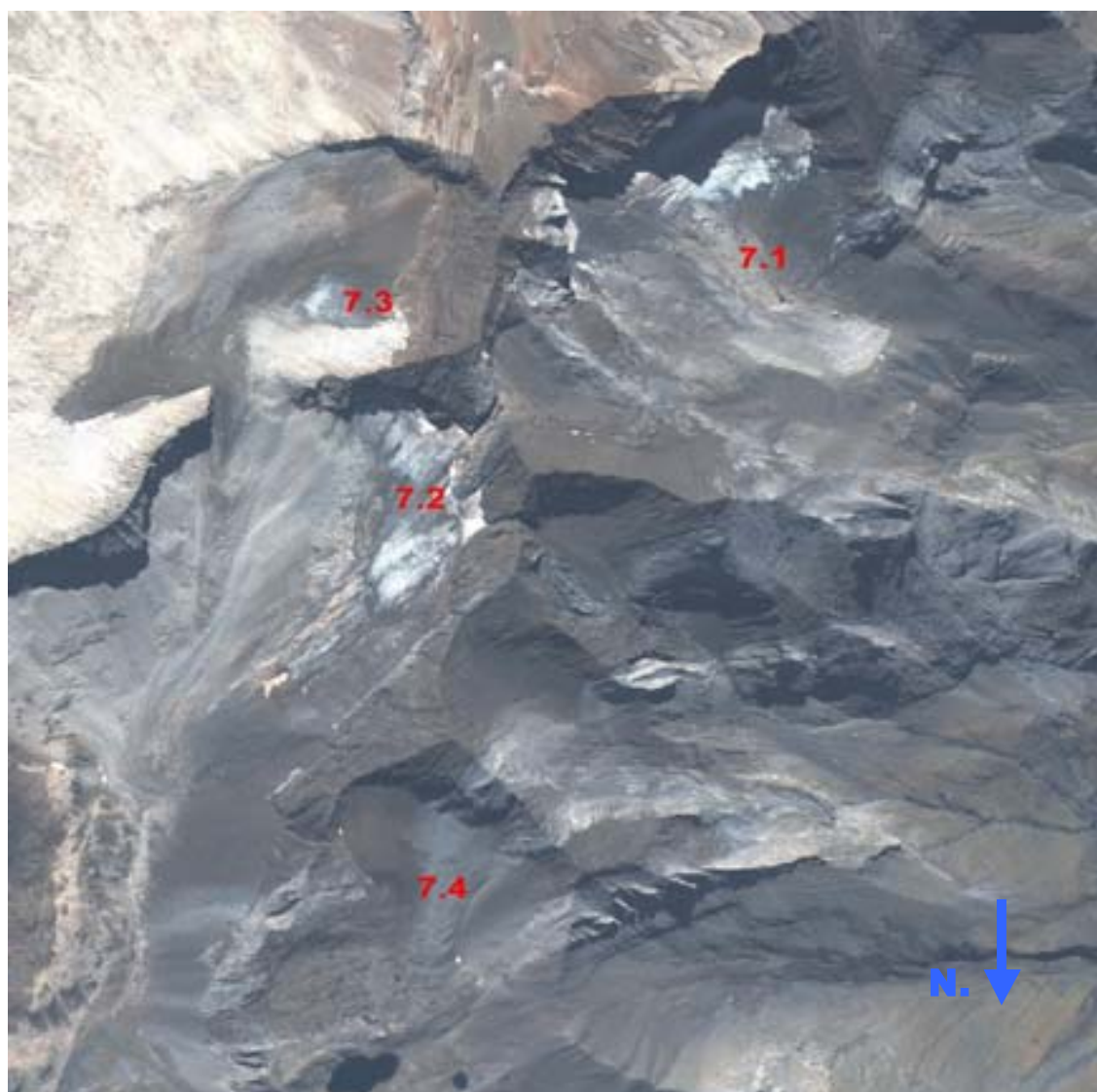
► Reportaje fotográfico



Macizo del Posets según fotografía aérea vertical de 1957 (vuelo americano). 7.1 glaciar de Llardana, 7.2 glaciar de la Paúl, 7.3 glaciar del Posets y 7.4 glaciar rocoso de los Gemelos



Macizo del Posets según fotografía aérea vertical de 1983 (vuelo INEGLA). 7.1 glaciar Llardana, 7.2 glaciar de la Paúl, 7.3 glaciar del Posets y 7.4 glaciar rocoso de los Gemelos



Macizo del Posets según fotografía de satélite de 2005. 7.1 glaciar de Llardana, 7.2 glaciar de la Paül, 7.3 Helero del Posets y 7.4 glaciar rocoso de los Gemelos. ERHIN.

○ Glaciar de Llardana (Código 7.1)

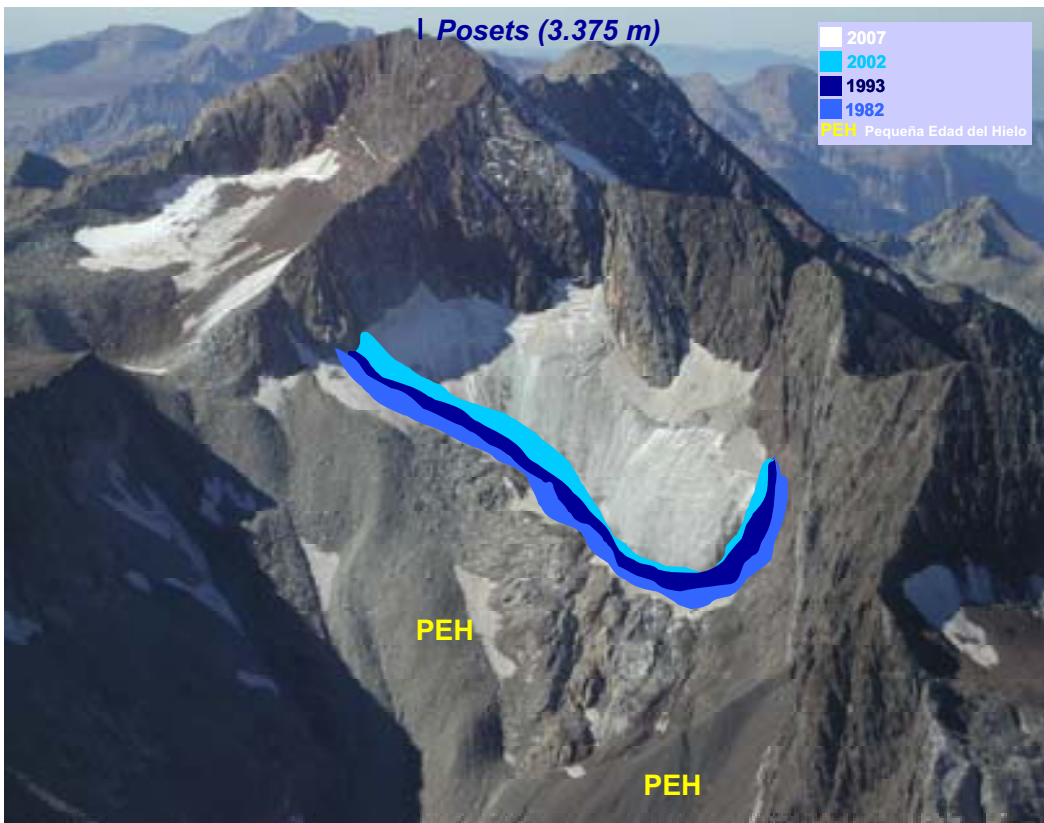


Septiembre de 1993



Julio de 1982

◉ Glaciar de La Paúl (Código 7.2)



Evolución del glaciar de La Paúl 1982 - 2007. Fotografía septiembre de 2002



Septiembre 1993



Septiembre 1982

○ Helero del Posets (Código 7.3)



Septiembre de 2002



Septiembre de 1993

◉ Glaciar rocoso de Los Gemelos (Código 7.4)



Septiembre 2002

MACIZO 8: PERDIGUERO

► Descripción general

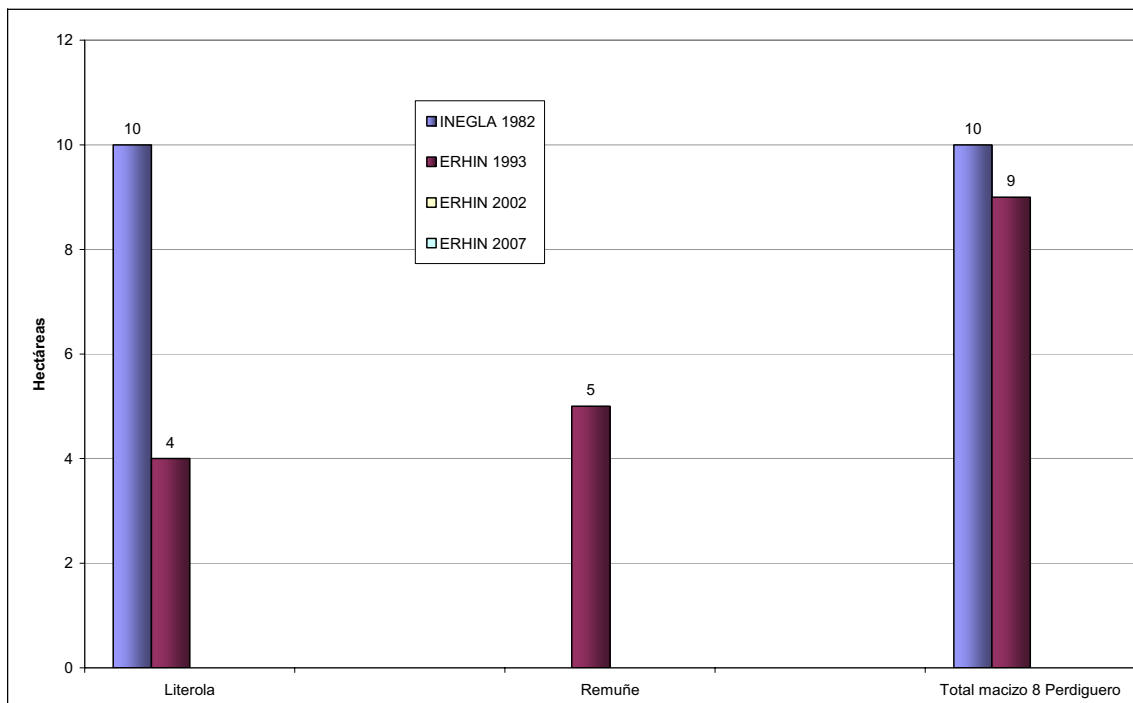
Macizo granítico situado entre Aragón y Alto Garona. Tiene una altura de 3.221 m y 7 km de longitud y está formado por cumbres de más de 3.000 m como Gourg Blancs, 3.129 m; Seil de la Baque, 3.012 m; Pico de Portillón D´Oo, 3.050 m; Perdiguero, 3.222 m; Clarabide, 3.020 m; Cabrioules, 3.116 m; Maupas, 3.109 m.

Los procesos glaciares, con 16 circos, y la conservación de abundantes restos generados durante la Pequeña Edad de Hielo se debe a la orientación septentrional, altitud y a las paredes continuas de los circos.

Los glaciares que se han investigado en este estudio han sido el de Literota y Remuñe. El glaciar Literola tenía en 1982 una superficie de 10 ha y 450 m de longitud, el retroceso glaciar hizo que en 1993 adquiriera la categoría de helero al disminuir, en tan solo 11 años, su superficie un 60% y aproximadamente su longitud en más del 60%. Ya en 2002 este aparato pasó a la categoría de extinto, situación que se ha mantenido hasta 2007.

Por lo que respecta al glaciar Remuñe, en 1982 no tenía una categoría definida y no se disponían de datos sobre superficie y longitud. Los correspondientes a 1993 permitían clasificarle como helero, con una superficie de 5 ha y una longitud de 120 m. En 2002 fue declarado extinto.

► Situación



Evolución de las superficies glaciares en el macizo del Perdiguero, por aparatos

► Evolución período: 1982-2007

En la tabla siguiente se presenta la evolución del Macizo de Perdiguero

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m)		Longitud (m)
							máx	mín.	
1982									
8.1	Literola	Ésera	31 TBH 974 300	SO	Glaciar	10	2.950	2.830	450
8.2	Remuñe	Ésera	31 TBH 989 302	SO	S.D	-	-	-	-
1993									
8.1	Literola	Ésera	31 TBH 974 300	SO	Helero	4	2.950	2.880	150
8.2	Remuñe	Ésera	31 TBH 989 302	SO	Helero	5	2.920	2.840	120
2002									
8.1	Literola	Ésera	31 TBH 974 300	SO	Extinto	-	-	-	-
8.2	Remuñe	Ésera	31 TBH 989 302	SO	Extinto	-	-	-	-
2007									
8.1	Literola	Ésera	31 TBH 974 300	SO	Extinto	-	-	-	-
8.2	Remuñe	Ésera	31 TBH 989 302	SO	Extinto	-	-	-	-

► Reportaje fotográfico



Lliterola 1993 y 2002



Remuñe 1993

MACIZO 9: ANETO - MALADETA

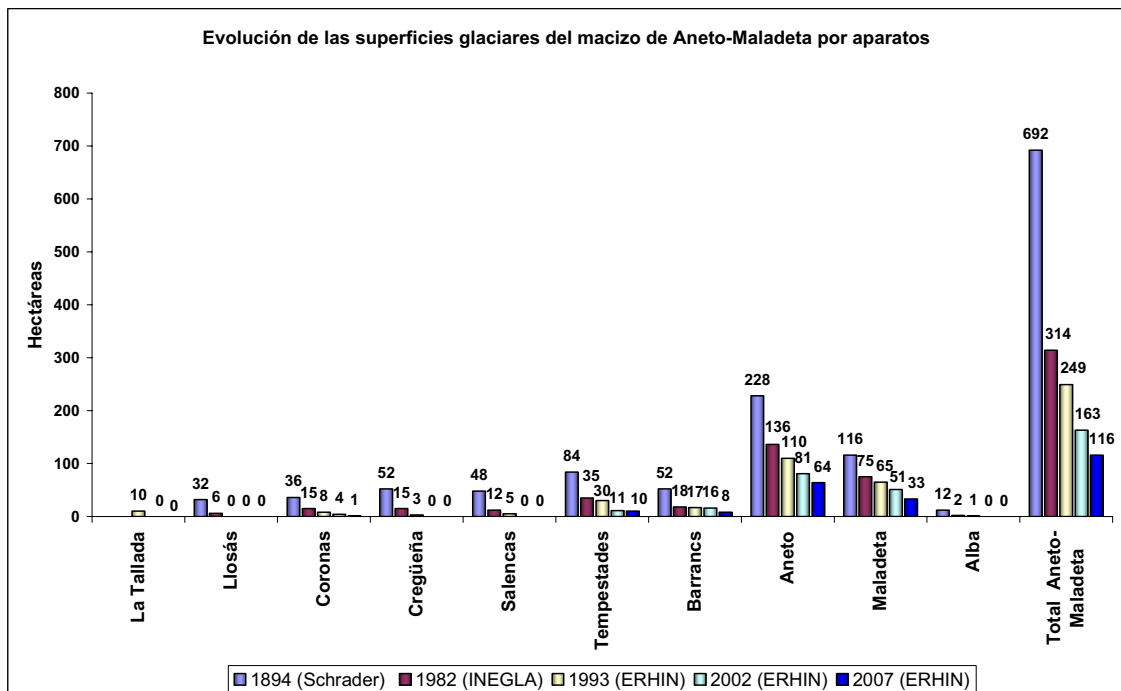
► Descripción general

El macizo de Aneto-Maladeta es sin duda el más conocido y simbólico de todo el Pirineo, tanto por la presencia de la cima más alta de la cadena (Aneto, 3.404 m), como por la extensión y relativamente buena conservación de sus glaciares, debido a su altitud, masividad y posición hacia el Norte.

El macizo se sitúa en la cabecera del valle de Benasque, ejemplo típico de valle glaciar en artesa, por el que corren las aguas del río Ésera, alimentadas por las escorrentías del macizo, salvo las que se pierden por el Forau de Aigualluts y se dirigen por vía subterránea hacia el Garona, en cuya cuenca surgen por el manadero de los Ojos del Judío en la Artiga de Lin del Valle de Arán.

A pesar de ser el macizo de mayor importancia, también aquí el efecto de la regresión es notable, como demuestran las cifras de pérdida de superficie glaciada. En el año 1894 Schrader contabilizó un total de 10 glaciares con una superficie de 692 ha (Alba, Maladeta, Aneto, Barrancs, Tempestades, Salencas, Cregüena Norte, Cregüena Sur, Coronas y Llosás). En las observaciones de 1980 se constató que el número de aparatos era el mismo, pero la superficie se estimó en 314 ha. Entre 1990 y 2007 su situación ha variado notablemente: el glaciar de la Maladeta se ha escindido en dos (1992), el de Coronas ha pasado a helero y han desaparecido los antiguos glaciares de Cregüena (1998) y Llosás (1994), así como los aparatos de Salencas y Alba (1999). La extensión glaciar calculada en 2007 se reduce a 116 ha.

► Situación



► Evolución período: 1982-2007

En la tabla siguiente se presenta la evolución del Macizo Aneto-Maladeta

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m)		Longitud (m)
							máx	mín.	
1982									
9.1	Alba	Ésera	31 TCH 055 255	NE	Glaciar	--/°1,5	3.025	2.920	150
9.2 A y B*	Maladeta	Ésera	31 TCH 066 250	NE	Glaciar	75,0	3.180	2.720	1.100
9.3	Aneto	Ésera / Garona	31 TCH 075 236	NE	Glaciar	136,0	3.280	2.800	1.200
9.4	Barrancs	Ésera / Garona	31 TCH 83230	NE	Glaciar	18,0	3.240	2.870	750
9.5	Tempestades	Ésera / Garona	31 TCH 089 223	NE	Glaciar	35,0	3.050	2.780	500
9.6	Salencas	Ribagorzana	31 TCH 093 216	E	Glaciar	12,0	3.140	2.800	380
9.7 A y B	Cregüena	Ésera	31 TCH 064 236	SO	Glaciar	15,0	3.020	2.920	200
9.8	Coronas	Ésera	31 TCH 075 228	SO	Glaciar	15,0	3.240	2.990	490
9.9	Llosás	Ésera	31 TCH 080 223	SO	Glaciar	6,0	3.140	3.020	150
9.10	La Tallada	Ribagorzana	31 TCH 138 210	N	S.D	–	–	–	–
1993									
9.1	Alba	Ésera	31 TCH 055 255	NE	Glaciar	1,0	3.025	2.950	110
9.2 A y B*	Maladeta	Ésera	31 TCH 066 250	NE	Glaciar	65,0	3.170	2.775	920
9.3	Aneto	Ésera / Garona	31 TCH 075 236	NE	Glaciar	110,0	3.280	2.870	1100
9.4	Barrancs	Ésera / Garona	31 TCH 83230	NE	Glaciar	17,0	3.240	2.900	550
9.5	Tempestades	Ésera / Garona	31 TCH 089 223	NE	Glaciar	30,0	3.050	2.840	400
9.6	Salencas	Ribagorzana	31 TCH 093 216	E	Helero	5,0	3.140	2.850	200
9.7 A y B	Cregüena	Ésera	31 TCH 064 236	SO	Helero	3,0	3.000	2.950	100
9.8	Coronas	Ésera	31 TCH 075 228	SO	Glaciar	8,0	3.240	2.990	400
9.9	Llosás	Ésera	31 TCH 080 223	SO	Extinto	–	–	–	–
9.10	La Tallada	Ribagorzana	31 TCH 138 210	N	Helero	10,0	–	–	300
2002									
9.1	Alba	Ésera	31 TCH 055 255	NE	Extinto	–	–	–	–
9.2 A y B*	Maladeta	Ésera	31 TCH 066 250	NE	Glaciar	43+8	3.165	2.820	780
9.3	Aneto	Ésera / Garona	31 TCH 075 236	NE	Glaciar	81,0	3.240	2.950	820
9.4	Barrancs	Ésera / Garona	31 TCH 83230	NE	Glaciar	16,0	3.240	2.960	380
9.5	Tempestades	Ésera / Garona	31 TCH 089 223	NE	Glaciar	11,0	3.050	2.920	300

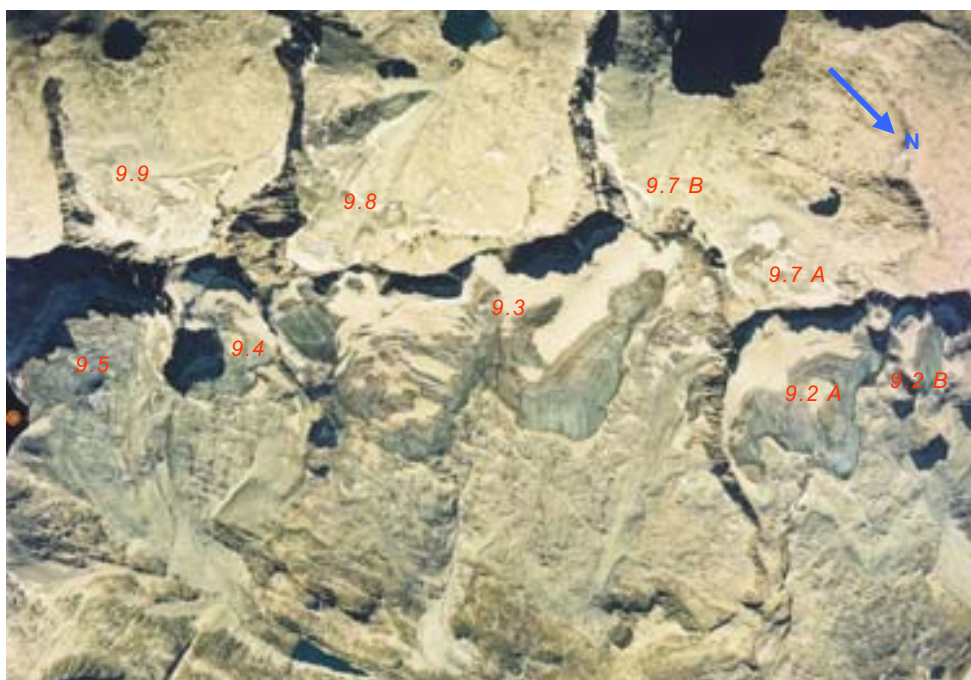
LOS GLACIARES ESPAÑOLES. EVOLUCIÓN RECIENTE Y SITUACIÓN ACTUAL

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m)		Longitud (m)
							máx	mín.	
9.6	Salencas	Ribagorzana	31 TCH 093 216	E	Extinto	–	–	–	–
9.7 A y B	Cregüeña	Ésera	31 TCH 064 236	SO	Extinto	–	–	–	–
9.8	Coronas	Ésera	31 TCH 075 228	SO	Helero	3,5	3.200	3.050	180
9.9	Llosás	Ésera	31 TCH 080 223	SO	Extinto	–	–	–	–
9.10	La Tallada	Ribagorzana	31 TCH 138 210	N	Extinto	–	–	–	–
2007									
9.1	Alba	Ésera	31 TCH 055 255	NE	Extinto	–	–	–	–
9.2 A y B*	Maladeta	Ésera	31 TCH 066 250	NE	Glaciar	28+5	3.165	2.850	770
9.3	Aneto	Ésera / Garona	31 TCH 075 236	NE	Glaciar	64,0	3.310	2.950	680
9.4	Barrancs	Ésera / Garona	31 TCH 83230	NE	Glaciar	8,0	3.260	2960	500
9.5	Tempestades	Ésera / Garona	31 TCH 089 223	NE	Glaciar	10,0	3.050	2.930	280
9.6	Salencas	Ribagorzana	31 TCH 093 216	E	Extinto	–	–	–	–
9.7 A y B	Cregüeña	Ésera	31 TCH 064 236	SO	Extinto	–	–	–	–
9.8	Coronas	Ésera	31 TCH 075 228	SO	Helero	1,0	3.240	3.150	120
9.9	Llosás	Ésera	31 TCH 080 223	SO	Extinto	–	–	–	–
9.10	La Tallada	Ribagorzana	31 TCH 138 210	N	Extinto	–	–	–	–

► Reportaje fotográfico



Macizo de Aneto Maladeta según fotografía aérea vertical de 1947 (vuelo serie A). 9.3 glaciar de Aneto, 9.4 glaciar de Barrancs, 9.5 glaciar de Tempestades, 9.6 glaciar de Salencas, 9.7 A glaciar Norte de Cregüeña, 9.7 B glaciar Sur de Cregüeña, 9.8 glaciar de Coronas y 9.9 glaciar de Llosás



Macizo de Aneto Maladeta según fotografía aérea vertical de 1982 (vuelo INEGLA). Se observan los mismos aparatos que en la fotografía anterior, además del 9.2 glaciar de La Maladeta

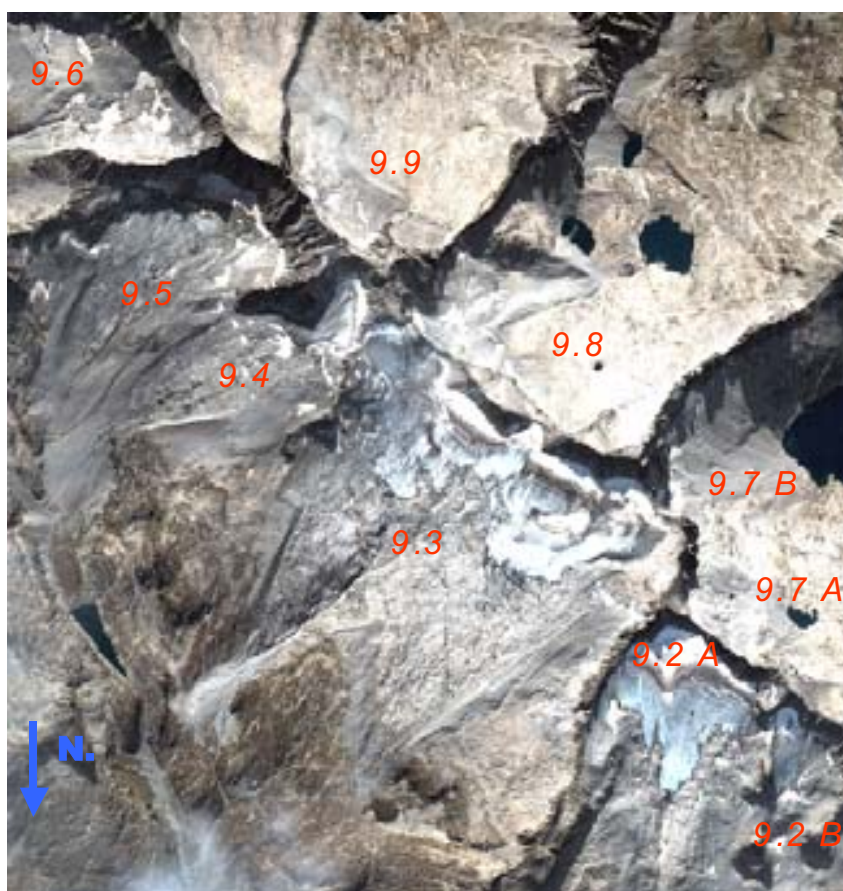
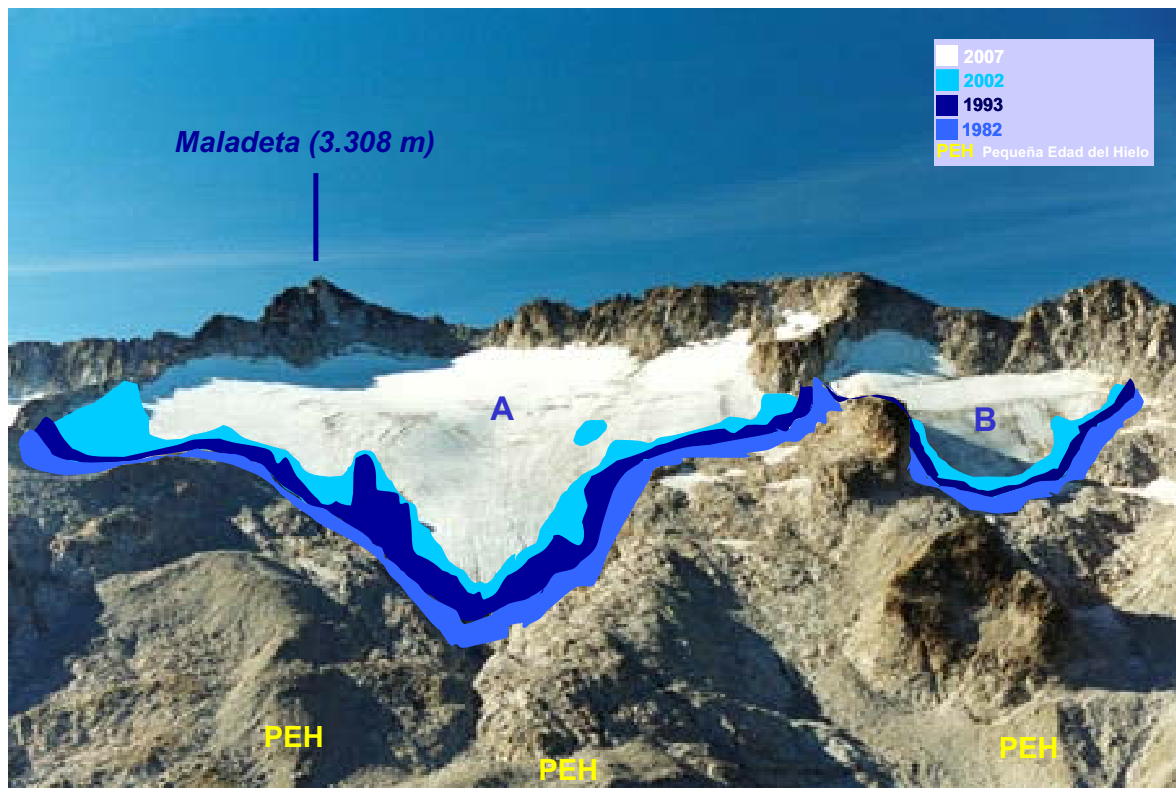


Imagen de satélite correspondiente al Macizo de Aneto-Maladeta (octubre de 2004). Obsérvese como el glaciar de La Maladeta aparece ya escindido en dos lóbulos (9.2 A, glaciar oriental y 9.2 B, glaciar occidental)

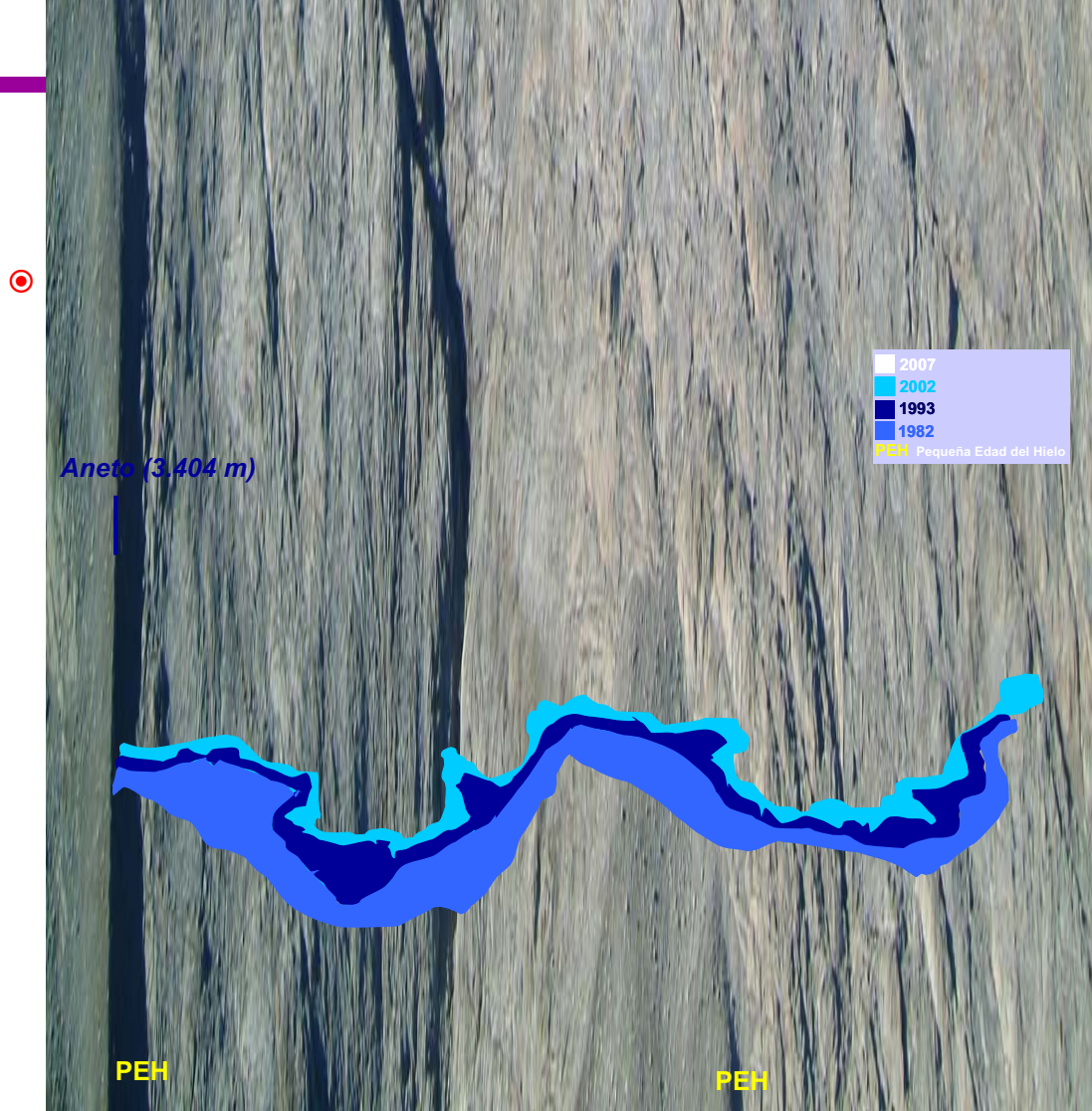
◉ Glaciares de La Maladeta (Código 9.2 A y B)



Evolución de los glaciares de la Maladeta 1982 - 2007. Fotografía septiembre de 2002



Septiembre de 1993



Evolución del glaciar del Aneto 1982 - 2007. Fotografía septiembre de 2002

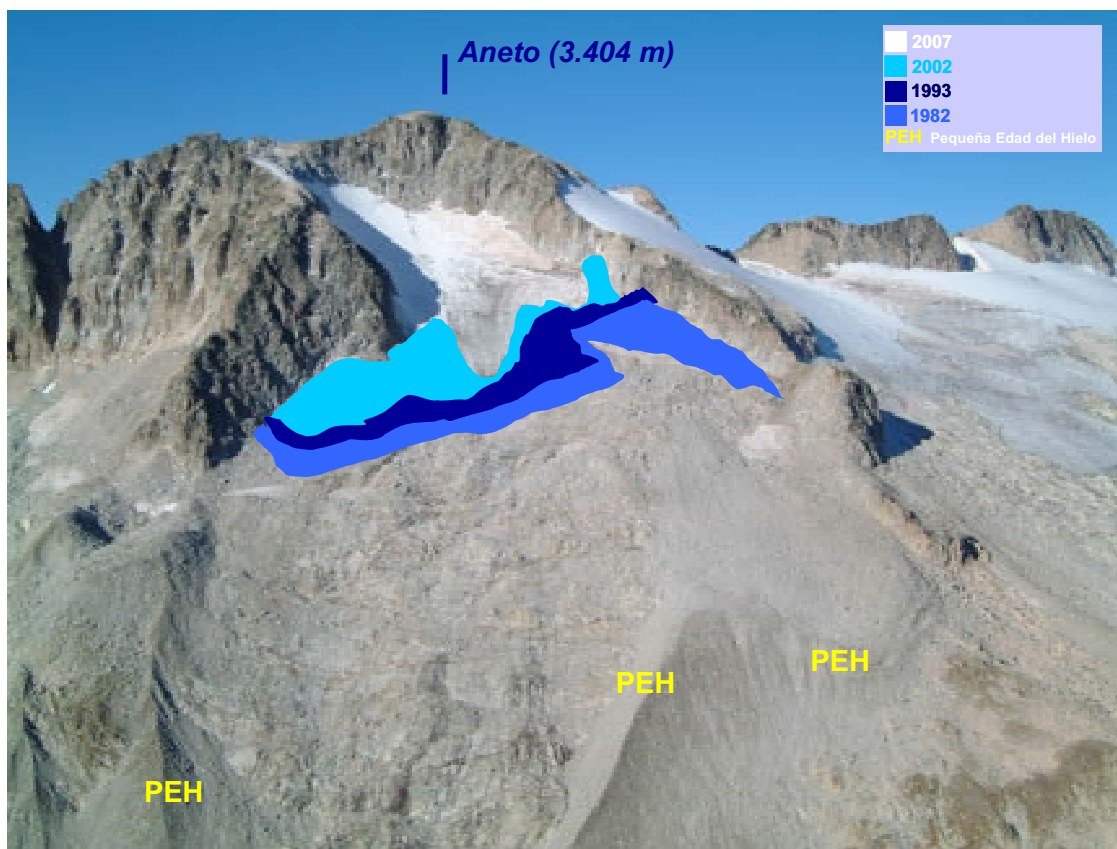


Septiembre de 1993



Septiembre de 1982

● Glaciar de Barrancs (Código 9.4)



Evolución del glaciar de Barrancs 1982 - 2007. Fotografía septiembre de 2002

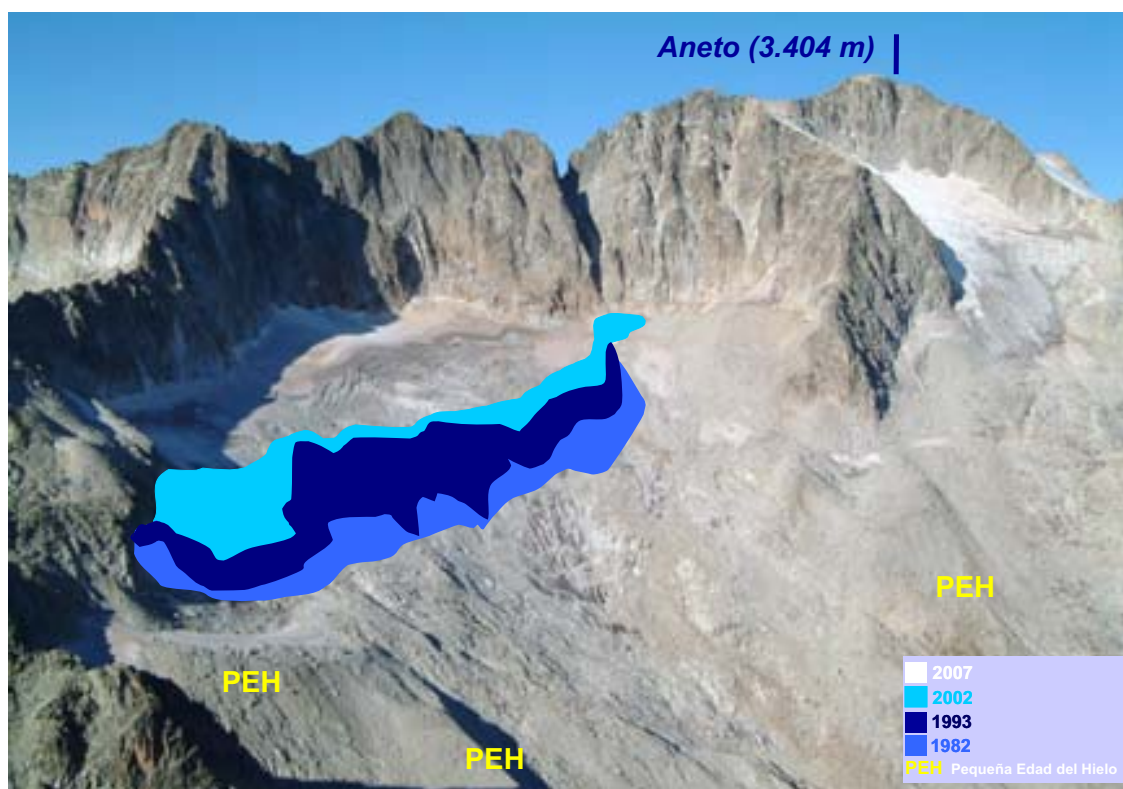


Septiembre 1993



Septiembre 1982

○ Glaciar de Tempestades (Código 9.5)



Evolución del glaciar de Tempestades 1982 - 2007. Fotografía septiembre de 2002



Septiembre 1993



Septiembre 1982

◉ Heleros extintos de Cregüeña (Código 9.7 A y B)



Septiembre de 2002

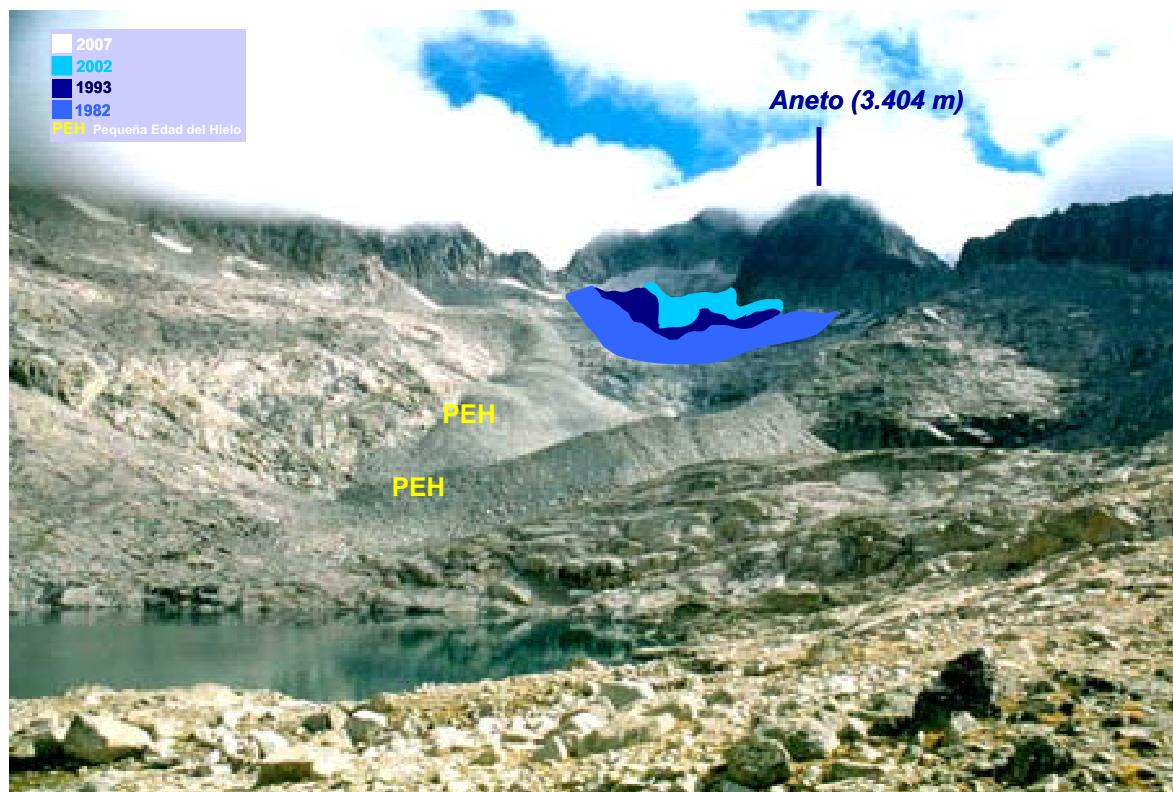


Septiembre 1993



Septiembre 1982

○ Helero de Coronas (Código 9.8)



Evolución del glaciar de Coronas 1982 - 2007. Fotografía septiembre de 2002



Septiembre 1993



Septiembre 1982

◉ Helero extinto de Llosás (Código 9.9)



Septiembre de 1993

◉ Helero extinto de la Tallada (Código 9.10)



Septiembre de 1991

MACIZO 10: BESIBERRI

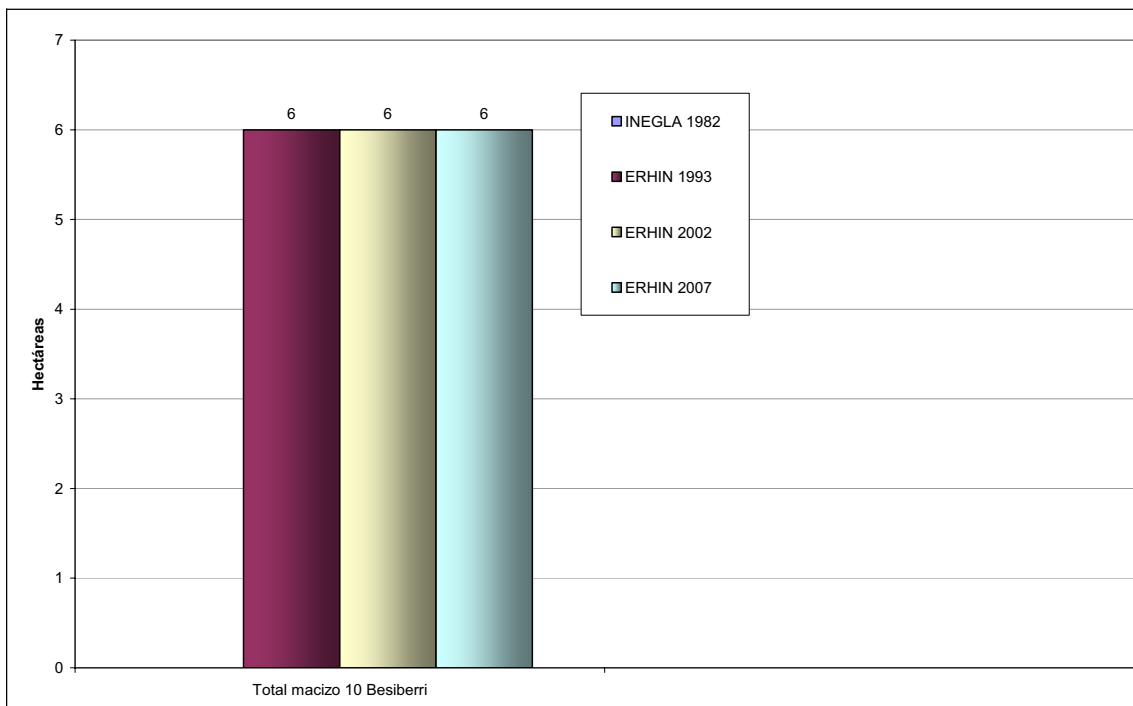
► Descripción general

Con una altura de 3.014 m y cuatro picos de más de 3.000 m de altura -el Besiberri del Norte (3.008 m), el Besiberri del medio (3.003 m), el Besiberri del Sur (3.024 m) y el Comaloforno (3.029 m)- se ubica en la comarca de Alta Ribagorza, en los límites del Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici.

Desde el punto de vista geomorfológico se caracteriza por la presencia de morrenas y un glaciar rocoso inscritos en los circos del cordal principal y las crestas adyacentes.

En 1982 carecía de categoría definida y en 1993 fue clasificado como glaciar rocoso, extendiéndose por una superficie de 6 ha y alcanzando una longitud de 735 m, situación que se ha mantenido hasta 2007.

► Situación



Evolución de la superficie glaciar del macizo del Besiberri

► **Evolución período 1982-2007**

En la tabla siguiente se presenta la evolución del Glaciar de Besiberri

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m)		Longitud (m)
							máx	mín.	
1982									
10.1	Besiberri	Ribagorzana	31 TCH 203 184	NO	S.D	-	-	-	-
1993									
10.1	Besiberri	Ribagorzana	31 TCH 203 184	NO	Glaciar Rocosó	6	-	-	735
2002									
10.1	Besiberri	Ribagorzana	31 TCH 203 184	NO	Glaciar Rocosó	6	-	-	735
2007									
10.1	Besiberri	Ribagorzana	31 TCH 203 184	NO	Glaciar Rocosó	6	-	-	735

► Reportaje fotográfico



Besiberri 1993

OBSERVACIONES GLACIOLÓGICAS

INTRODUCCIÓN

El interés del programa ERHIN por los glaciares tiene un doble origen. Por un lado, la evidente relación existente entre procesos nivales y glaciares, en lo que se refiere a la cuantificación y gestión de los recursos hídricos implicados en estos procesos y, por otro, el interés comprobado que tienen los glaciares como indicadores de los cambios climáticos. En este sentido, hay que destacar que las masas de hielo reaccionan con cierta rapidez frente a variaciones de temperatura, precipitación, insolación,... Estas reacciones dependen de la inercia propia de cada aparato glaciar y es, por tanto, más acusada en los glaciares más pequeños (y de menor inercia propia). En estos aparatos, entre los que están los del Pirineo español, las respuestas suelen ser bastante rápidas incluso frente a variaciones climáticas de orden menor, lo que convierte a nuestros glaciares en “escaparates” de tales modificaciones.

Por todo ello, el programa ERHIN ha desarrollado una línea de investigación relativa al estudio de los glaciares españoles. De este modo y desde 1991 -a partir de datos previos del Instituto Español de Glaciología (INEGLA) de 1980- se llevan a cabo controles de las variaciones del conjunto de los glaciares del ámbito sur-pirenaico, así como trabajos para la determinación del balance anual de masa glaciar, movimiento glaciar, y otros destinados al análisis de la dinámica y estructura interna de algunos aparatos concretos, tanto glaciares blancos como rocosos (trabajos geofísicos).

Los datos obtenidos son suministrados regularmente al WGMS (World Glacier Monitoring Service), organismo dependiente de la UNESCO que coordina a nivel mundial las informaciones normalizadas sobre fluctuaciones glaciares. Así se satisface la necesidad de este organismo de contar con datos de glaciares situados en posiciones tan meridionales como los españoles.

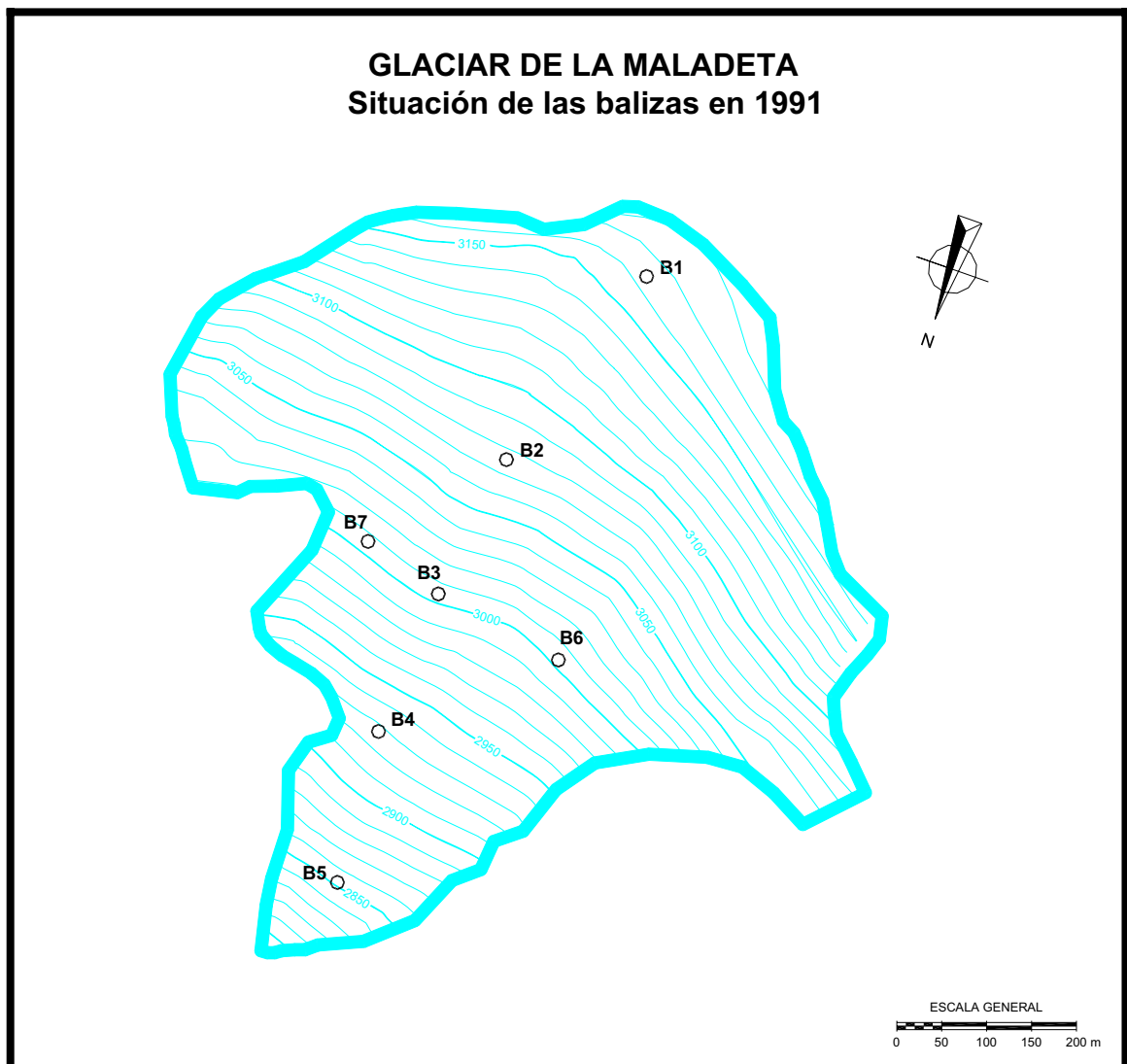
DETERMINACIÓN DEL BALANCE ANUAL DE MASA Y MOVIMIENTO SUPERFICIAL DEL HIELO EN EL GLACIAR DE LA MALADETA

Los trabajos específicos de balance masa y movimiento del hielo se vienen desarrollando exclusivamente en el glaciar de La Maladeta, constituyendo un importante precedente en la investigación glaciológica en nuestro país, puesto que nunca antes -al igual que los trabajos geofísicos en glaciares- se habían acometido en España estudios de este tipo. En 1991, la entonces Dirección General de Obras Hidráulicas, procedió a la instalación en el glaciar de La Maladeta de siete balizas de ablación. Así, desde 1992 se vienen realizando controles anuales sistemáticos de este aparato glaciar, disponiéndose en la actualidad de datos de 16 años hidrológicos completos. El control topográfico de las balizas de ablación ha permitido, además, la determinación del movimiento superficial del hielo.



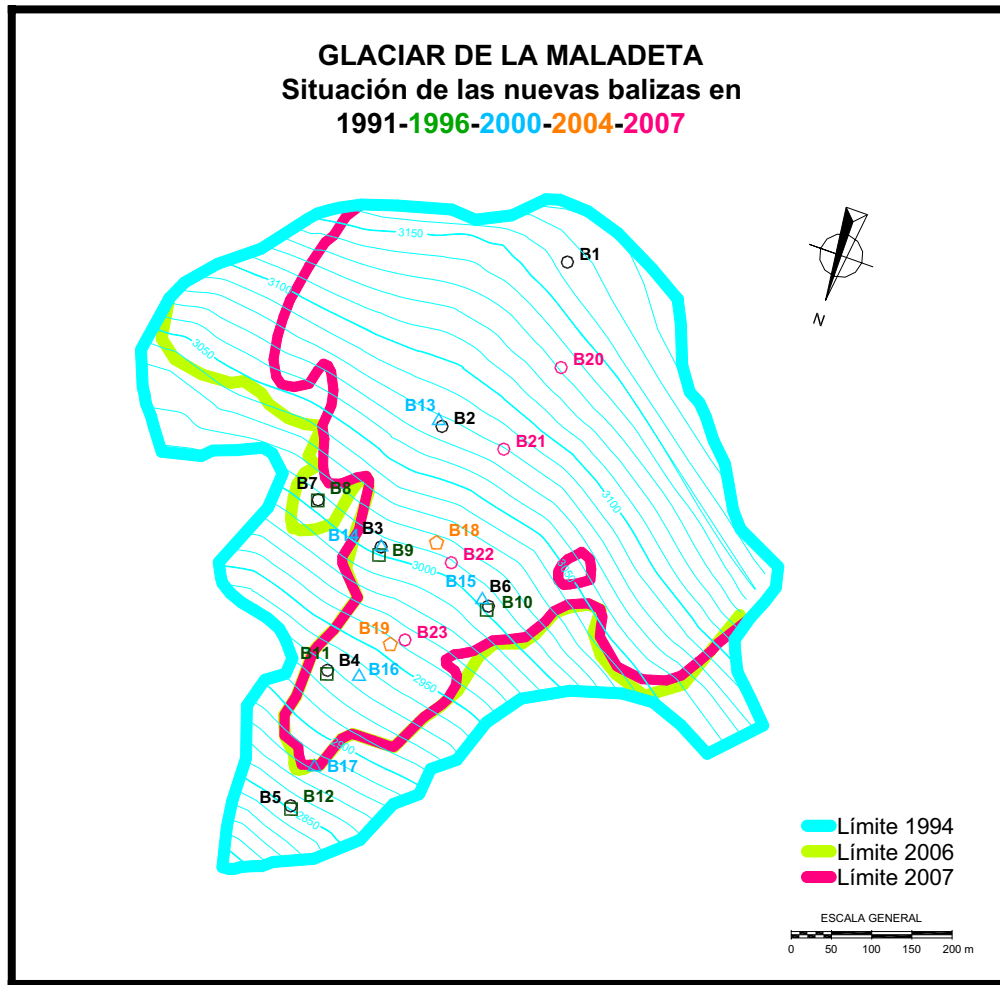
Glaciar de La Maladeta. Septiembre de 2007

Los criterios que condujeron a la selección de este aparato fueron en primer lugar su idoneidad por tamaño y características físicas, además de enclavarse en una zona relativamente poco frecuentada -en comparación con el vecino Aneto-, lo que a priori garantizaba, en cierto modo, la integridad de la red fija de balizas en la que necesariamente tendrían que apoyarse estos trabajos.



Red inicial de Balizas de Ablación

La red de balizas de ablación del glaciar de La Maladeta se implantó por primera vez en octubre de 1991 y se componía inicialmente de un total de siete. Cinco de ellas se situaban a diferentes altitudes conformando una línea de máxima pendiente sobre el eje principal del glaciar. Las dos restantes se emplazaban a uno y otro lado, respectivamente, de esta línea teórica, en la zona de mayor amplitud del glaciar, formando una cruz a la altura de la baliza intermedia del eje principal. Posteriormente en 1996, 2000, 2004 y 2007 se realizaron reinstalaciones de estos elementos a medida que iban quedando inoperativos, al aflorar del hielo en su totalidad. En la actualidad, la red básica ha pasado a ser de 4 elementos de control en vez de 7 ya que, en las zonas donde se situaban la B7, B6 y B5, el continuo retroceso del glaciar ha hecho que aflore el sustrato rocoso.

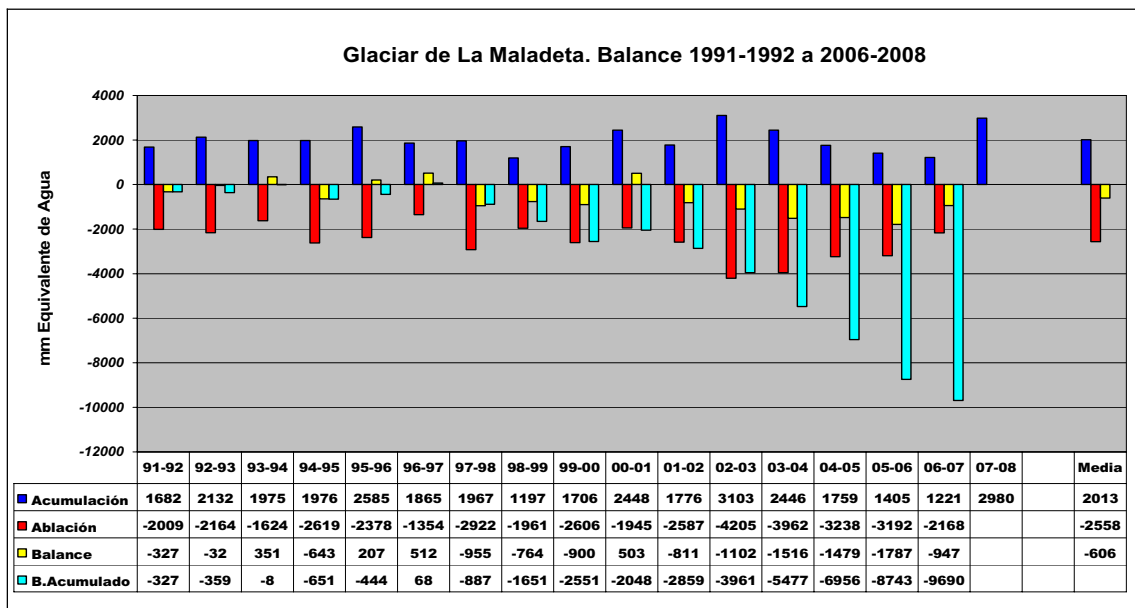


Situación de las nuevas Balizas de Ablación

Análisis de Balances. Años 1991-1992 a 2006-2007: dieciséis ciclos de estudio

Desde la obtención en 1992 de los primeros datos de balance de masa del glaciar de La Maladeta, se estableció como objetivo prioritario avanzar en el conocimiento de las claves y fenómenos que explicarían el comportamiento particular de este aparato.

A lo largo de los años de estudio se ha constatado la mayor importancia de la ablación frente a la acumulación como factor determinante del balance de masa y que la ablación no tiene una relación con la termometría tan clara como “a Priori” pudiera parecer, ya que con temperaturas medias mensuales muy similares se registran ablaciones muy diferentes. Ello condujo a pensar en el factor precipitación como determinante de la ablación. En efecto, este análisis demostró que, con independencia de las temperaturas, se daban mayores ablaciones cuando el verano resultaba seco y, más aún, a igualdad de cantidad de precipitación, se encontraban diferencias notables dependiendo del mayor o menor número de días exentos de precipitación.



Los episodios esporádicos de pequeñas nevadas resultan normales en las áreas glaciares a lo largo del periodo estival y, aunque su importancia desde el punto de vista de la ganancia de masa es mínima, la nieve nueva, por su elevada capacidad de reflexión y su baja conductividad térmica aísla el glaciar, retardando los procesos de ablación. Este fenómeno es aún más significativo cuando afecta directamente al hielo descubierto, dado su menor albedo. Esto es precisamente lo que ha ocurrido en el año hidrológico 2006-2007 donde las precipitaciones en forma de nieve en pleno mes de julio y agosto han permitido mantener el glaciar tapado por una fina capa de nieve durante casi todo el verano.

De cualquier modo, los datos de balance de masa del glaciar de La Maladeta, indican una pérdida acumulada a lo largo de los últimos 16 años de aproximadamente 9.690 mm de agua, es decir, unas pérdidas medias de hielo sobre el glaciar del orden de 11 metros, aunque en la parte terminal del glaciar estas pérdidas alcanzan los 31 metros de espesor, lo que indica una clara regresión de este aparato que ha determinado una disminución de superficie de un 45 % y una retirada del frente de unos 180 metros.

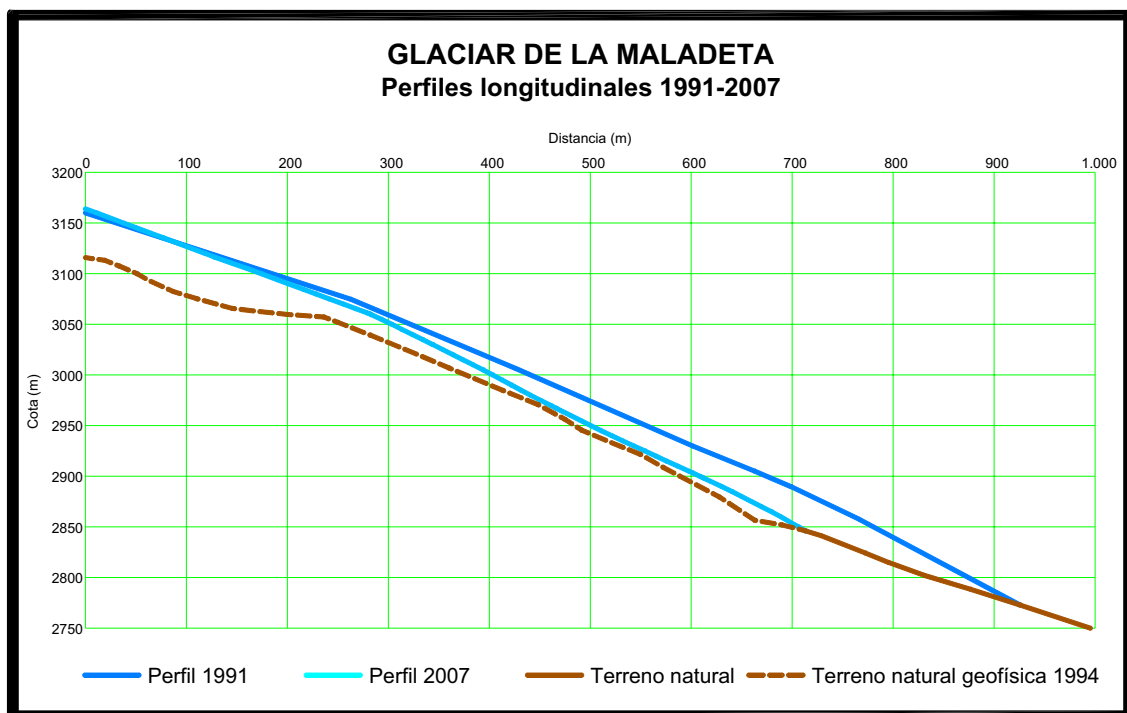
OBSERVACIONES GLACIOLÓGICAS

BALANCE DE MASA. GLACIAR DE LA MALADETA									
AÑO		TOTAL mm	ELA msnm	AAR %	N° DE BALIZA / ALTITUD				
					B1 3.150 m	B2 3.100 m	B7(8)-3(9)-6(10) 3.000 m	B4(11) 2.900 m	B5(12) 2.850 m
1992	AC 92	1.682	3.090	25,5	2.160	2.550	1.147	1.210	960
	AB 92	2.009			386	2.447	2.081	2.314	3.034
	B 92	-327			1.774	103	-935	-1.104	-2.074
1993	AC 93	2.132	3.066	34,5	3.471	1.775	1.793	1.565	2.024
	AB 93	2.164			1.087	1.456	2.405	2.653	3.982
	B 93	- 32			2.384	319	- 612	-1.088	-1.958
1994	AC 94	1.975	3.028	48,8	2.650	1.950	1.856	1.579	1.668
	AB 94	1.624			30	910	2.259	2.060	3.385
	B 94	351			2.620	1.040	- 403	- 481	-1.717
1995	AC 95	1.976	3.075	31,1	3.068	1.915	1.953	1.059	1.551
	AB 95	2.619			448	1.415	3.453	3.559	5.551
	B 95	- 643			2.620	500	-1.500	-2.500	-4.000
1996	AC 96	2.585	3.049	40,8	3.907	1.978	2.659	1.471	3.183
	AB 96	2.378			1.962	1.750	2.880	2.056	3.933
	B 96	207			1.945	228	- 221	- 585	- 750
1997	AC 97	1.865	3.025	49,9	3.280	1.700	1.832	1.135	1.046
	AB 97	1.354			-613	948	2.086	1.850	2.516
	B 97	512			3.893	752	- 253	- 715	-1.470
1998	AC 98	1.967	3.100	21,7	4.316	1.650	1.597	1.130	1.144
	AB 98	2.922			2.387	1.650	3.854	4.217	4.276
	B 98	- 955			1.929	0	-2.258	-3.087	-3.132
1999	AC 99	1197	3.104	20,2	2.472	918	1.144	684	288
	AB 99	1961			1.780	968	3.034	2.619	3.078
	B 99	- 764			692	-50	-1.890	-1.935	-2.790
2000	AC 00	1706	3.138	9,0	2.682	1.119	1.732	1.800	288
	AB 00	2606			1.990	2.257	3.661	4.509	3.078
	B 00	- 900			692	-1.138	- 1.929	- 2.709	- 2.790
2001	AC 01	2448	3.025	69,0	3.007	2.250	2.623	1.624	1.440
	AB 01	1945			1.578	1.233	2.972	2.434	4.149
	B 01	503			1.429	1.017	- 349	- 810	- 2.709
2002	AC 02	1776	3.142	10,0	2.610	1.098	2.089	1.717	1.628
	AB 02	2587			2.470	1.812	3.357	3.742	3.788
	B 02	- 811			140	-714	- 1.268	- 2.025	- 2.160
2003	AC 03	3103	> 3.200	0,0	3.349	3.819	2.256	1.668	1.330
	AB 03	4205			3.358	4.287	3.984	4.031	5.200
	B 03	- 1102			- 9	-1.008	- 1.728	- 2.363	- 3.870
2004	AC04	2446	> 3.200	20,0	3.338	1.971	2.508	2.041	1890
	AB 04	3962			3.338	3.969	4146	5.011	5.490
	B 04	- 1516			0	-1.998	-1638	-2.970	-3.600

BALANCE DE MASA. GLACIAR DE LA MALADETA									
AÑO	TOTAL mm	ELA msnm	AAR %	Nº DE BALIZA / ALTITUD					
				B1 3.150 m	B2 3.100 m	B7(8)-3(9)-6(10) 3.000 m	B4(11) 2.900 m	B5(12) 2.850 m	
2005	AC05	1759	3.150	20,0	2.651	1.720	1074	1.383	954
	AB 05	3238			2.651	3.583	3095	3.642	4.554
	B 05	- 1479			0	-1.863	-2021	-2.259	-3.600
2006	AC06	1405	> 3.200	20,0	1.553	1.446	1319	1.131	855
	AB 06	3192			1.553	3.765	3456	4.528	4.959
	B 06	- 1787			0	-2.320	-2138	-3.398	-4.104
2007	AC07	1221	> 3.200	20,0	1.881	807	1248	711	518
	AB 07	2168			2.364	1.326	2746	3.180	3.290
	B 07	- 947			-483	-519	-1498	-2.469	-2.772

AC = Acumulación. AB = Ablación. B = Balance. ELA = Altitud de la línea de equilibrio. AAR = Relación entre las superficies de las zonas de acumulación y la total del glaciar

Balace de Masa del glaciar de La Maladeta. 1992 a 2007

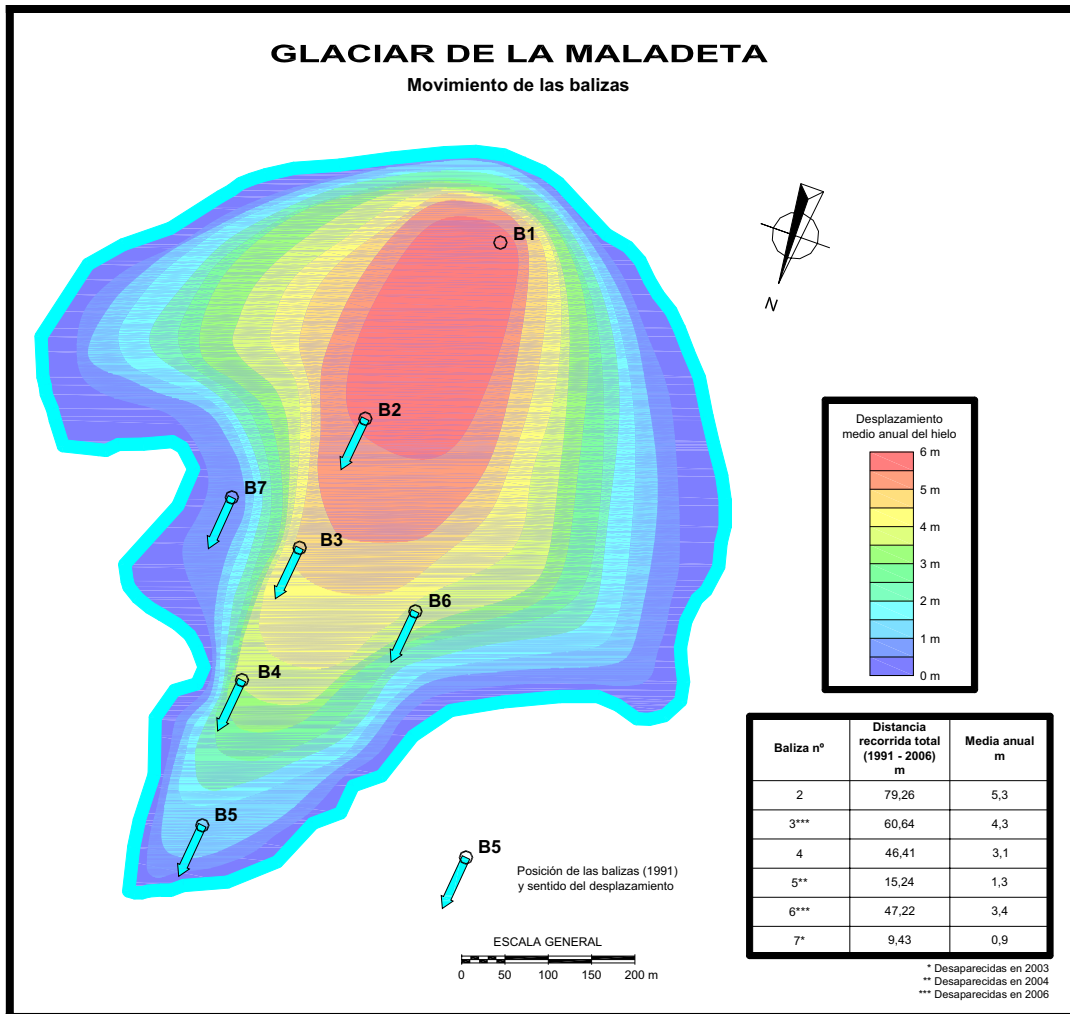


Movimiento superficial del hielo

El control por topografía clásica de las balizas instaladas para el desarrollo de los trabajos de balance de masa ha permitido, además, la determinación del movimiento superficial del hielo del glaciar de La Maladeta.

Como puede observarse en la figura siguiente, los movimientos anuales registrados en las distintas balizas marcan las zonas con flujo extensivo (balizas 3, 6 y 4) y compresivo (balizas 5 y 7), quedando así definidas las áreas de mayor o menor dinámica.

La zona más rápida del glaciar presenta un movimiento medio anual de aproximadamente 5 m.



Glaciar de La Maladeta. Movimiento superficial del hielo 1991 a 2007

ESTUDIOS GEOFÍSICOS DESARROLLADOS EN GLACIARES BLANCOS Y ROCOSOS DEL PIRINEO ESPAÑOL

La determinación de los espesores de hielo, estructura glaciar y, en general, la cartografía de los zócalos rocosos subglaciares, es fundamental para el avance en el conocimiento científico de las masas glaciares. Hasta la realización de los trabajos geofísicos que aquí se exponen los datos existentes acerca de los espesores de hielo en los glaciares españoles provenían de observaciones puntuales -no siempre precisas-, por lo que existía un gran

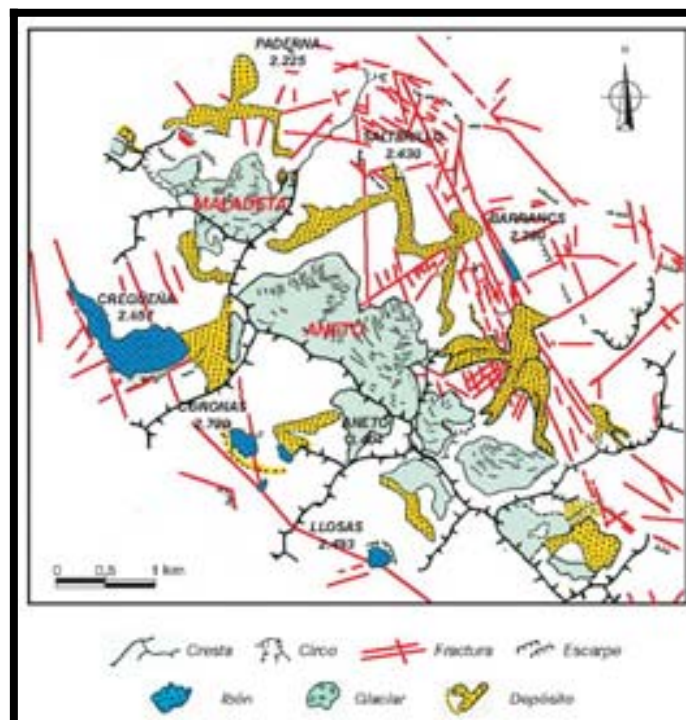
interés en disponer de datos directos. Dentro del programa ERHIN la investigación geofísica se ha aplicado a distintos tipos de glaciares del Pirineo, concretamente a los glaciares blancos de Aneto y La Maladeta (Alto Ésera, Pirineo aragonés) y a los glaciares rocosos de Las Argualas (Alto Gállego) y Besiberri (Alto Noguera Ribagorzana).

En un dominio montañoso como el Pirineo, con un desarrollo glaciar actual fruto de una clara evolución recesiva, una de las mayores dificultades para aplicar métodos geofísicos destinados a conocer la estructura interna de los aparatos glaciares estriba en los reducidos espesores de hielo existentes. Esto obliga necesariamente a disponer de técnicas geofísicas de alta resolución compatibles con las distintas situaciones que se presentan en cada caso.

Las técnicas geofísicas aplicadas han sido los procedimientos sísmicos y de geo-radar en glaciares blancos, descubiertos de derrubios, y los métodos eléctricos en glaciares rocosos y cubiertos, que presentan una capa de clastos que cubren parcial o totalmente el hielo glaciar.

Aplicación de métodos geofísicos en glaciares blancos

Los glaciares de Aneto y La Maladeta son, por sus dimensiones, los más importantes del conjunto de los aparatos glaciares españoles, con superficies que en la actualidad abarcan 64 y 33 ha respectivamente, y se encuentran ubicados en las vertientes septentrionales del macizo homónimo de Aneto-Maladeta (Montes Malditos), ocupando un rango de altitudes comprendido entre los 3.100 y 2.900 m.

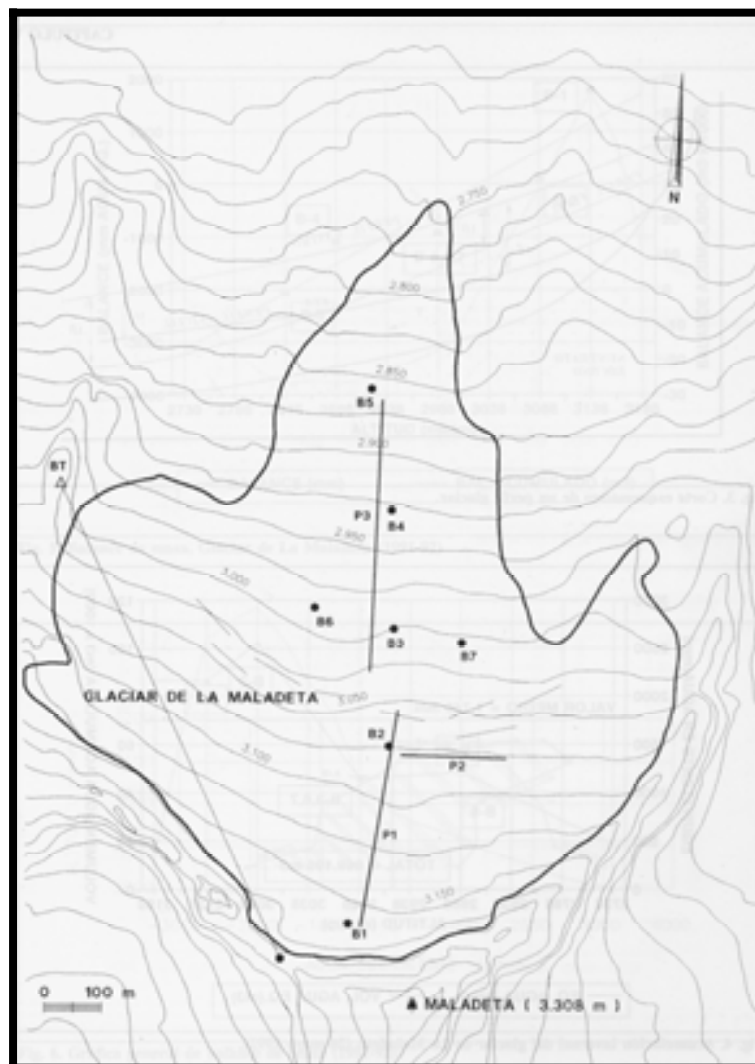


En la figura adjunta se presenta el esquema geomorfológico del área glaciada del macizo, labrada a favor del granito culminante y sobre el que se desarrolla una importante red de fracturación nada ajena al desarrollo de las formas de hielo.

● Prospección sísmica del glaciar de La Maladeta

En septiembre de 1992 se abordó el estudio por sísmica de reflexión del glaciar de La Maladeta.

En concreto se realizaron tres perfiles principales, correspondientes a dos longitudinales (P1 y P3) y un transversal (P2). En la figura siguiente se puede observar el desarrollo de estos perfiles con respecto a las dimensiones principales del glaciar. En dicha figura aparecen también las balizas empleadas para el control del balance anual de masa (B1 a B7), que sirvieron de referencia para el emplazamiento de los tendidos sísmicos.



En todos los perfiles se efectuó apilamiento de disparos, con el fin de incrementar la relación señal/ruido, y se emplearon diversos valores de control automático de ganancia AGC. En la parte alta-media del glaciar fue necesario realizar pequeños pozos para el emplazamiento tanto de la fuente de energía -entre 0,50 y 1 m de profundidad-, como de los geófonos -alrededor de 0,20 m-, con el fin de evitar la atenuación de las ondas debida a la absorción en la nieve más superficial.

Se trabajó con un total de 41 registros sísmicos diferentes, procesados con ayuda del programa EXPRESS (desarrollado por el Ministerio del Petróleo de la antigua URSS y mejorado por la Cátedra de Prospección Sísmica del Instituto de Prospecciones Geológicas de Moscú). Además, se contó con la inestimable colaboración de los profesores Boganik, Levandosky y Nomokonov, pertenecientes todos ellos al Instituto de Prospecciones Geológicas de Moscú.

El procesado y análisis de los sismogramas obtenidos ha permitido extrapolar la existencia de tres capas en la estructura interna del glaciar:

- ≡ El horizonte más superficial, caracterizado por una velocidad longitudinal baja ($V_p = 1.000-1.700$ m/s), que corresponde a la capa nieve-firn (nieve evolucionada).
- ≡ La zona de velocidad media ($V_p = 3.500-3.700$ m/s) que corresponde a la capa de hielo.
- ≡ La capa de velocidad alta, con velocidad aparente mayor ($V_p = 5.700$ m/s), que corresponde al zócalo granítico.

Tras la determinación de las velocidades y los tiempos mínimos de llegada, el cálculo de espesores mínimos se efectuó para los distintos valores de profundidad desde la superficie hasta las interfases de las distintas capas existentes. De este modo se obtuvieron las siguientes profundidades de hielo:

≡ Perfil P1:	nieve-firn	12,5 m
	hielo	31,5 m
	TOTAL	44,0 m

El espesor total desde la superficie hasta el zócalo granítico resulta ser de 44 m.

≡ Perfil P3:	nieve-firn	5,0 m
	hielo	37,0 m
	TOTAL	42,0 m

El espesor total hasta el zócalo granítico resulta de 42 m.

	Velocidad med. v_P (m/s)	Perfil P1 d (m)	Perfil P3 d (m)
Nieve-firn	1.000 - 1.700	12,5	5,0
Hielo	3.500 - 3.700	31,5	37,0
Sustrato granítico	5.700	-	-
TOTAL		44,0	42,0

Valores obtenidos de velocidades (v_P) y espesores (d) en La Maladeta (1992)

● **Cartografiado por geo-radar de los glaciares de Aneto y La Maladeta**

En agosto de 1994 y tras los primeros datos obtenidos por sísmica en la Maladeta, se abordó el estudio mediante geo-radar por RES (Radio Echo-Sounding) de los glaciares de Aneto y La Maladeta. Los principales objetivos de este estudio fueron, en primer lugar, la determinación de los espesores de hielo y topografía del lecho en ambos glaciares. En segundo lugar, definir sus estructuras internas, es decir, obtener también la ecoprofundidad de los posibles reflectores internos presentes en este tipo de glaciares templados.



Toma de datos con georradar en el Glaciar de La Maladeta. Agosto de 1994

Para estas investigaciones geofísicas se empleó el geo-radar de ultra-alta frecuencia (UHF) por pulsos TGU, diseñado expresamente para mediciones en superficie en glaciares de montaña, con espesores hasta 350-400 m. Este geo-radar fue concebido en la Universidad de Tomsk según un acuerdo suscrito con el Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Rusia.

En el glaciar de La Maladeta se realizaron 177 mediciones distribuidas en 21 perfiles, distanciados entre sí entre 50 y 100 m.

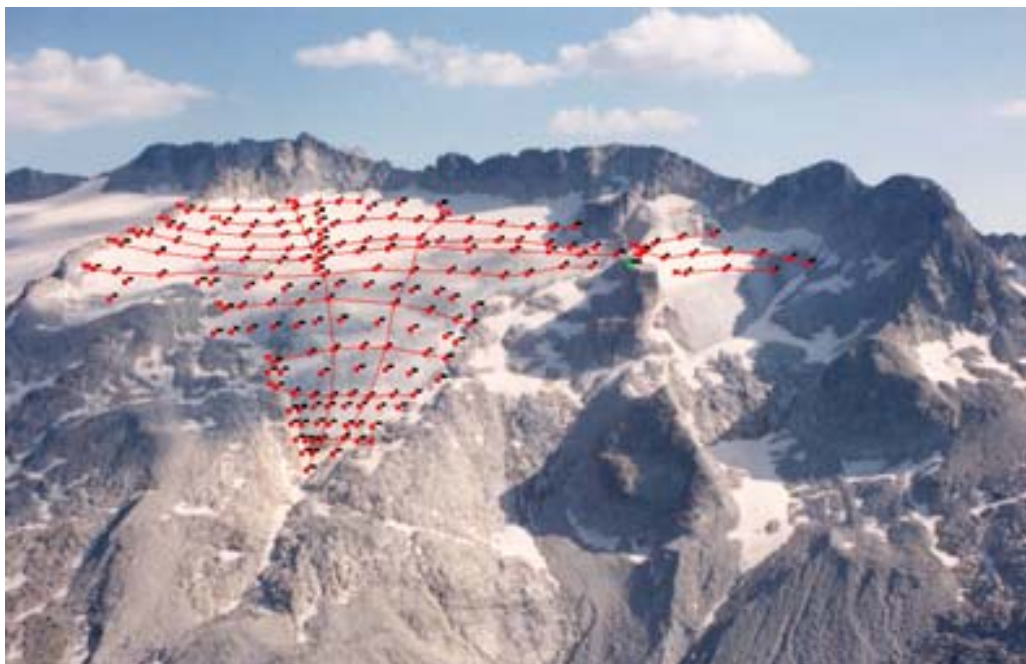
En el glaciar de Aneto los trabajos de campo se realizaron en el lóbulo occidental y luego en el oriental. Se ejecutaron 17 perfiles en total, distanciados entre sí unos 100 m, en los cuales se efectuaron 135 puntos de medición espaciados cada 50 m aproximadamente.

Los resultados fueron procesados, en una primera fase, en el Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Rusia en Moscú, con participación del equipo español, y se continuó, con posterioridad, en España.

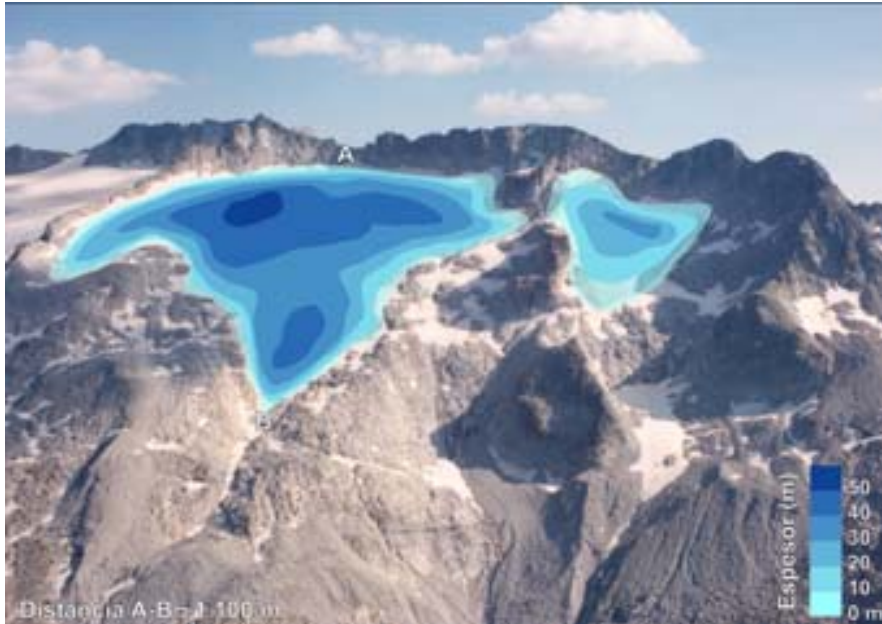
● Glaciar de La Maladeta

En este glaciar se obtuvieron tres tipos diferentes de registros de geo-radar:

- ≡ Sólo reflexión del substrato subglaciar.
- ≡ Reflexiones del substrato subglaciar y de una eco-capa interna R1.
- ≡ Reflexiones del substrato subglaciar y de reflectores internos R1 y R2.



Como resultado se realizó la cartografía de la ecoprofundidad del substrato o zócalo subglaciar, así como el mapa de localización de los reflectores internos R1 y R2.



En este cartografiado del zócalo subglaciar destacan áreas profundas, que configuran cuatro cubetas:

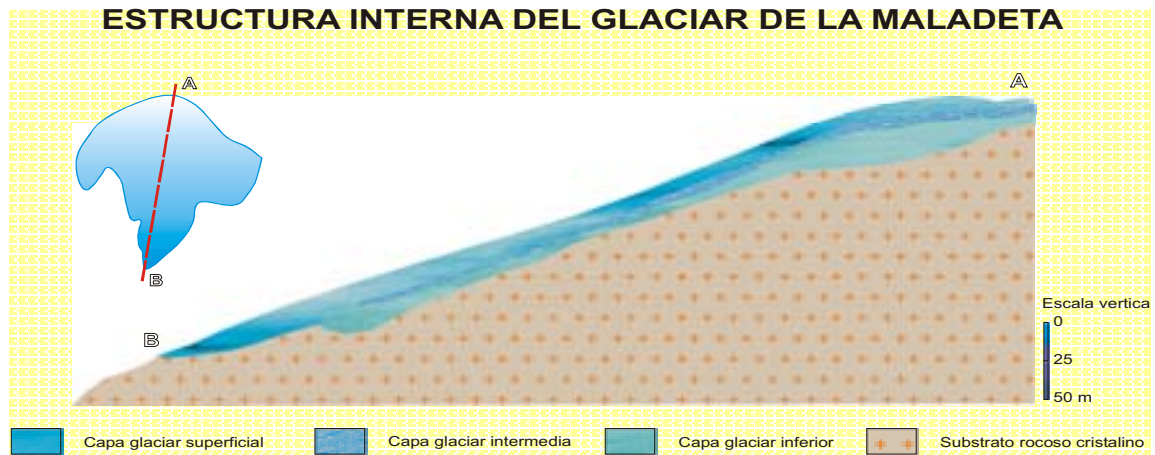
- ≡ Dos en la zona de acumulación: una oriental y otra occidental, donde las ecoprofundidades máximas registradas son 52 m y 50 m respectivamente.
- ≡ Una en la zona de ablación, con una ecoprofundidad máxima registrada de 46 m.
- ≡ Una en el pequeño lóbulo situado en el extremo occidental, cuya ecoprofundidad máxima registrada es de 36 m.

En cuanto a los reflectores internos se localizan en las áreas profundas cartografiadas en el glaciar:

- ≡ En la zona de acumulación se registraron dos reflectores internos R1 y R2, a unas ecoprofundidades máximas de 30 m y 38 m respectivamente.
- ≡ En la zona de ablación se registró R1 con una ecoprofundidad máxima de 30 m, y el reflector interno R2 solamente se localizó en su parte más profunda, perfil 7, con una ecoprofundidad máxima de 24 m.

En estas áreas profundas cartografiadas, las ecoprofundidades registradas son del mismo orden que los espesores que se obtuvieron en la campaña de prospección sísmica de reflexión acometida en el periodo 1991-92.

Además estas áreas profundas encajan perfectamente con los resultados de los estudios geomorfológicos de posibles directrices de fracturación subglaciar, fracturas visibles y alineaciones preferentes.



● Glaciar del Aneto

En el lóbulo occidental se ejecutaron los perfiles 1 al 8 para realizar el cartografiado del substrato subglaciar y de posibles reflectores internos. Se obtuvieron dos tipos de registros:

- ≡ Reflexión del substrato glaciar
- ≡ Reflexiones del substrato glaciar e interno R1.

Destacan dos zonas que presentan mayor ecoprofundidad, formando tres cubetas:

- ≡ Una en el área sur.
- ≡ Dos en el área central.

En el área sur presenta una ecoprofundidad del substrato subglaciar máxima de 48 m.

Respecto el área central, las dos cubetas alcanzan ecoprofundidades máximas de 52 m y 48 m.

Destaca el hecho que el reflector interno R1, solamente se haya registrado en estas zonas más profundas de este lóbulo occidental. En el área sur con una ecoprofundidad máxima de 30 m, y en el área central de 38 m y 34 m.

En el lóbulo oriental se efectuaron los perfiles 9 al 17. En ellos se obtuvieron dos tipos de registros:

- ≡ Reflexión del substrato glaciar
- ≡ Reflexiones del substrato glaciar e interno R1.

En el cartografiado resultante se observa dos zonas:

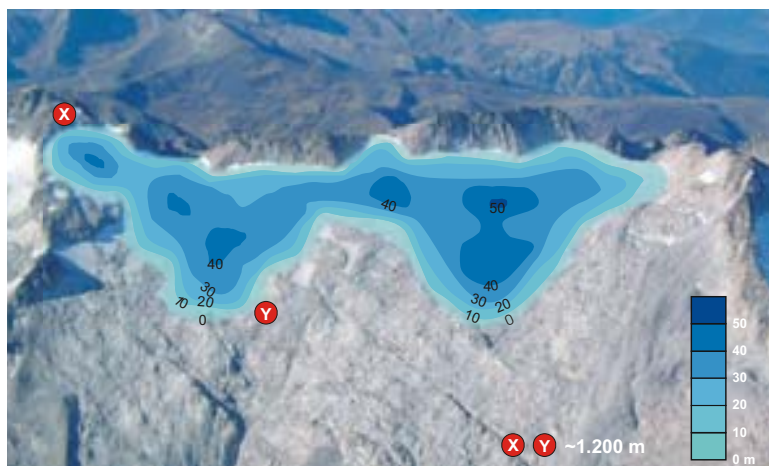
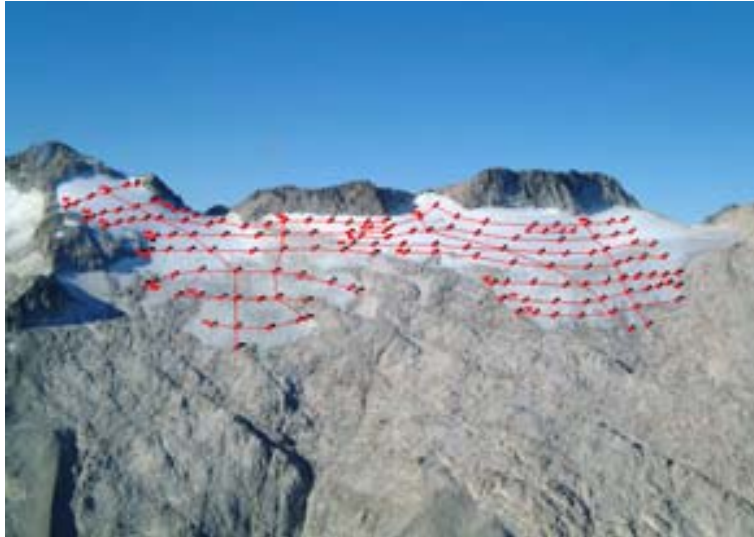
OBSERVACIONES GLACIOLÓGICAS

- ≡ Zona más oriental, donde se alcanza una ecofundidad máxima de 42 m.
- ≡ Zona central, con una ecofundidad máxima de 38 m.

En la zona central es la única área donde se registró el reflector interno R1, con una ecofundidad máxima de 33 m. Concretamente en puntos de observación correspondientes al perfil 14 (P14).

En el glaciar de Aneto estas zonas profundas también se corresponden con los resultados de los estudios geomorfológicos de posibles directrices de fracturación subglaciar, fracturas visibles y alineaciones preferentes.

En la figura siguiente se han representado las secciones transversales (perfiles 2 al 17) y longitudinales (perfiles 18 al 21) de las interpretaciones de las diversas reflexiones registradas con el geo-radar TGU en el glaciar de Aneto.



Ecofundidades derivadas de la campaña con geo-radar (1994)

	Sustrato (m)	R1 (m)	R2 (m)
A) Glaciar de La Maladeta			
Zona acumulación	52 y 50	30	38
Zona ablación	46	30	24
Lóbulo occidental	36	-	-
B) Glaciar del Aneto			
Lóbulo occidental	48 y 52	38	-
Área central	48	34	-
Lóbulo oriental	42 y 40	33	-

Resultados obtenidos en la campaña con geo-radar (1994) en los glaciares de La Maladeta y Aneto

Aplicación de métodos geofísicos en glaciares rocosos

Los glaciares rocosos están constituidos, como núcleo fundamental, por una capa formada por una mezcla de hielo y derrubios -que se ha venido en denominar capa H/D, con potencias y riqueza en derrubios muy variables. Es habitual encontrar en este tipo de glaciares un manto de clastos libre de hielo que recubre en todo o en parte esta capa (glaciar cubierto o negro), manto que, debido al lento desplazamiento del hielo por gravedad, manifiesta formas superficiales de flujo, tales como lenguas, arcos y surcos. Este movimiento, en el caso de glaciares rocosos activos, supone una velocidad del orden de centímetros o decímetros por años.

El origen del hielo interno está actualmente en discusión. Según algunos, se trata de hielo residual proveniente de las etapas de recesión de un glaciar blanco. En este caso se genera un sistema de derrubios glaciares que implica el paso de glaciar blanco a negro o cubierto y rocoso, considerándose glaciares rocosos glaciogénéticos. En cambio, otros autores defienden un origen periglacial completamente diferente. El glaciar rocoso formaría parte de los ambientes con suelos permanentemente helados (permafrost) continuos o discontinuos, cuyos clastos se rodean del hielo formando un cuerpo helado con hielo intersticial proveniente del rehielo del agua de fusión nival, y que adquiere fluencia cuando la masa helada alcanza un cierto volumen. Se trataría, pues de un glaciar rocoso periglacial o criogénico.

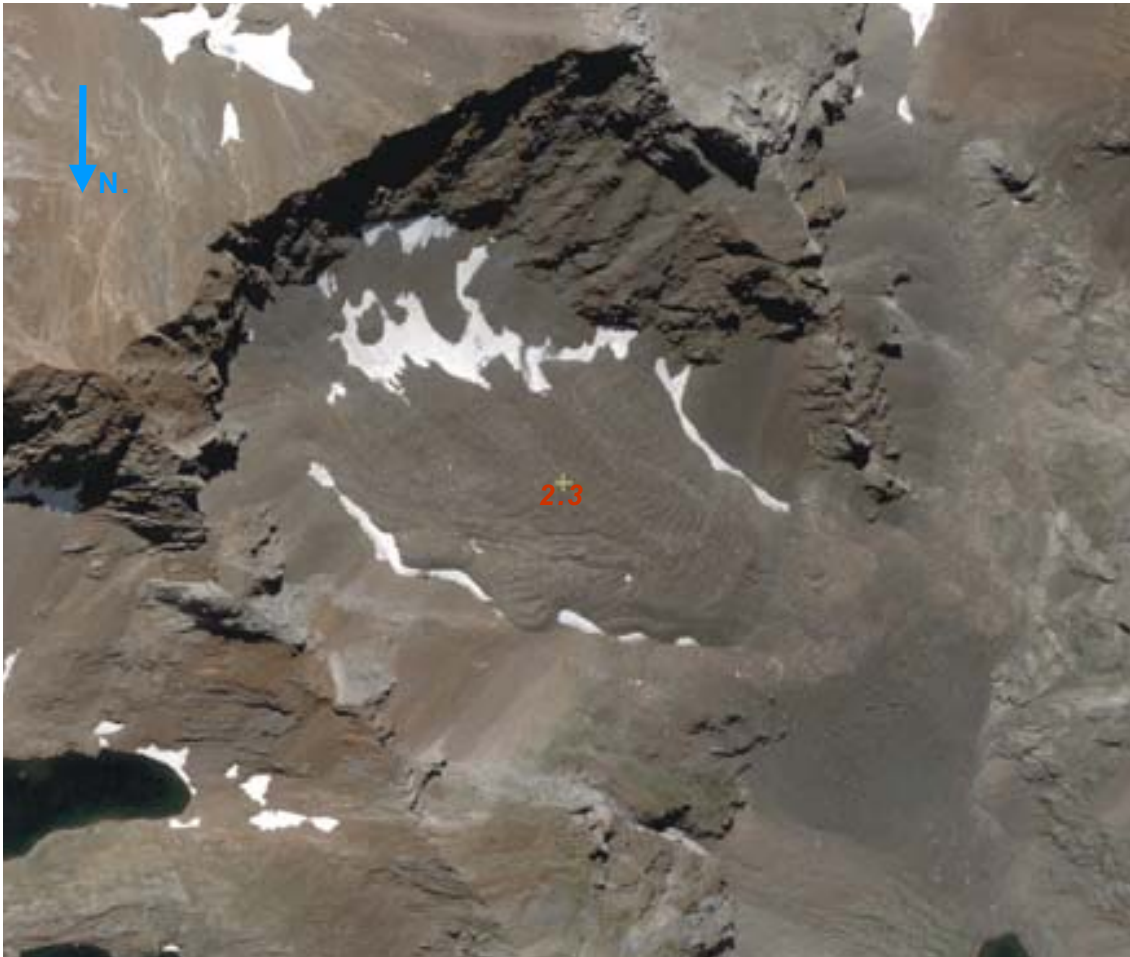
Así, para un mejor conocimiento de los glaciares rocosos y poder establecer alguna hipótesis sobre la naturaleza de su origen, es fundamental establecer su estructura interna y las características de cada una de sus capas, determinando en concreto:

- ≡ Espesor de la formación de derrubios sin hielo en la superficie del glaciar.

- ≡ Localización y caracterización de la capa H/D: espesores y profundidades de sus límites, geometría y riqueza del hielo.
- ≡ Profundidad y topografía del sustrato subglaciar.

En ausencia de sondeos mecánicos (delicados, costosos y, además, condicionados a unas pocas áreas previamente seleccionadas), la prospección geoelectrónica se destaca como el sistema más adecuado para responder a las anteriores cuestiones, sin elevados costes, de manera cuantitativa y/o semicuantitativa. En concreto, los sondeos eléctricos verticales (SEV) se han venido empleando con éxito en este tipo de glaciares desde mediados del siglo XX debido al contraste que proporciona la alta resistividad del hielo (entre 2 y 100 MΩm).

● Estudio geoelectrónico del glaciar rocoso de las Argualas



Los trabajos de campo se realizaron en julio de 1994 y consistieron en la ejecución de una serie de sondeos eléctricos verticales (S.E.V.), mediante el dispositivo cuadripolar (AMNB) tipo Schlumberger, con ayuda de un aparato MAATEL BM1 de alto voltaje (2 kV), adaptado especialmente para la medida de altas resistividades.

Además, se realizaron dos S.E.V. en el área del glaciar rocoso fósil de Salvas, alejado del glaciar rocoso activo en cuestión, con el fin de contrastar las resistividades de dos niveles geológicos bien caracterizados y definidos:

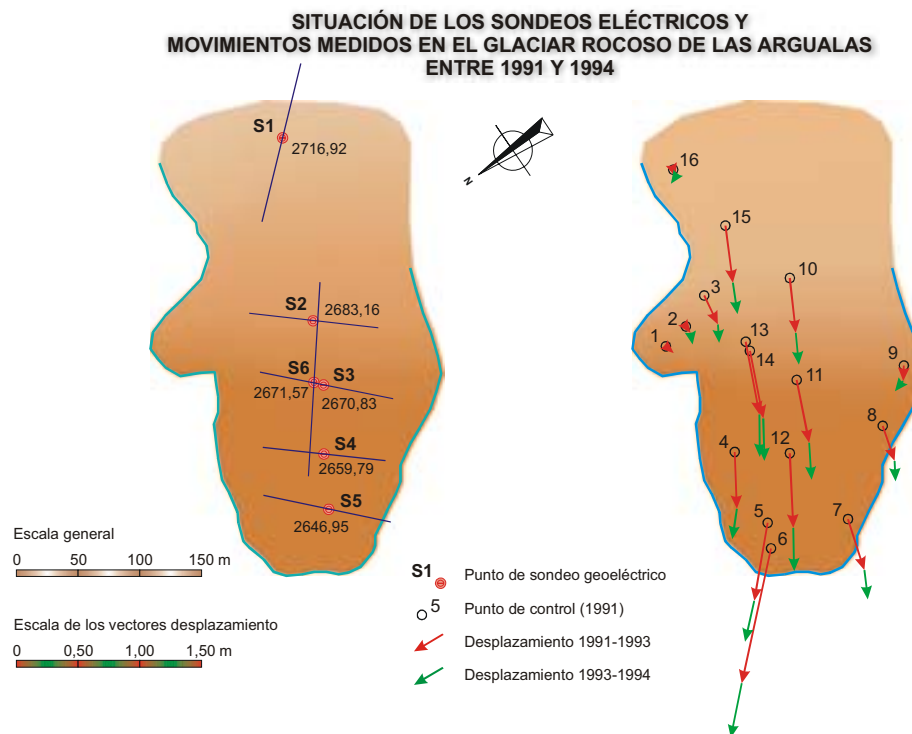
- ≡ El substrato rocoso (sector de Salvas, altitud 2.200 m, S.E.V. AR8);
- ≡ El glaciar rocoso fósil de Salvas en sí, formado en principio por clastos (altitud 2.240 m, S.E.V. AR7).

Los datos geoelectricos obtenidos en el glaciar fósil de Salvas presentan una morfología típica de una curva de resistividades aparentes sin hielo. Se distinguen tres capas geoelectricas:

- ≡ 1ª capa geoelectrica: nivel superficial de derrubios un poco más conductores (humedad, tierra vegetal), $r_1 = 9.000 \Omega m$, $h_1 = 0,8 m$.
- ≡ 2ª capa geoelectrica: formación intermedia de derrubios sin finos, $r_2 = 22.000 \Omega m$, h_2 de 6 m a 8 m de espesor.
- ≡ 3ª capa geoelectrica: correspondiente al sustrato rocoso, con $r_3 = 2.500 \Omega m$.

La superficie relativamente importante del glaciar rocoso de Las Argualas permitió la realización de seis S.E.V. de considerables longitudes, con aperturas de semialas de emisión, $AB/2$, entre 70 m y 150 m.

Todas las curvas de resistividad aparente obtenidas poseen una morfología característica de contenido de hielo: curvas globalmente de tres capas, con resistividades aparentes elevadas de la segunda capa geoelectrica.



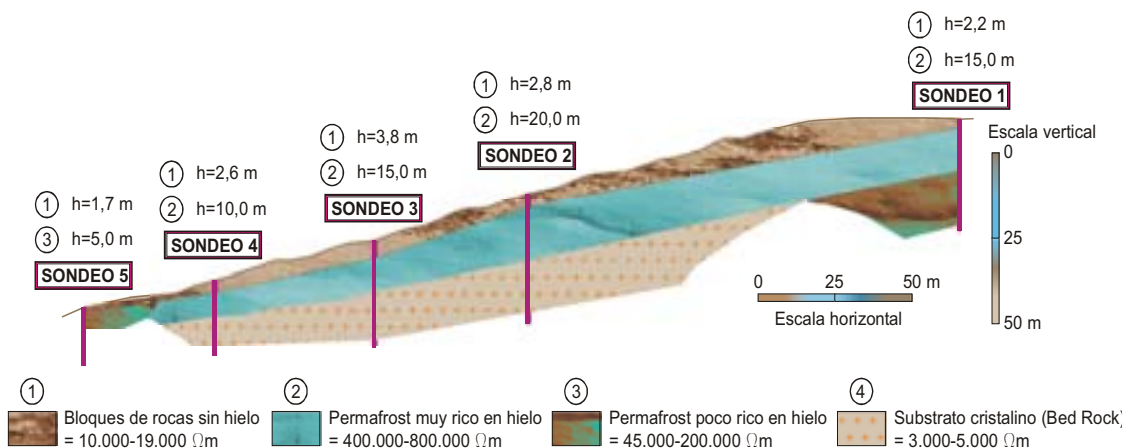
Los S.E.V. transversales (S2, S3 y S4) presentan curvas que reflejan una capa, la segunda geoelectrónica, que indica la presencia de la formación H/D con unas resistividades específicas comprendidas entre 200.000 Ωm y 600.000 Ωm , apreciándose un aumento en sus valores hacia aguas arriba. Esto induce a pensar en la existencia de la capa H/D rica en hielo que se va empobreciendo de aguas arriba hacia aguas abajo. Su espesor está comprendido entre 10 m y 20 m, y desde la superficie se encuentra de 2 m a 4 m de profundidad.

El sondeo S5, el más cercano al frente del glaciar, ofrece la resistividad específica más baja, 200.000 Ωm , en su segunda capa geoelectrónica que correspondería a una formación H/D moderadamente rica en hielo, con un espesor de 5 m. Ésta yace sobre otro nivel (tercera capa geoelectrónica) de resistividad específica de 45.000 Ωm , que podría ser interpretado como un horizonte bastante pobre en hielo y que sería un indicador de que la pérdida en hielo por fusión ocurriría, fundamentalmente, en niveles profundos más que en las capas superficiales.

Los S.E.V. longitudinales (S1 y S6) confirman la presencia de una capa bastante rica en hielo en la parte alta y en el centro de la zona de acumulación (800.000 Ωm). La diferencia de resistividades específicas con respecto a otros sondeos puede estar relacionada con una forma ligeramente lenticular de la capa H/D.

El sondeo S1, situado en el área más alta, no permitió identificar claramente el substrato rocoso infrayacente a la formación H/D, al igual que el caso del S.E.V. transversal S2. Una posible explicación sería la existencia de una capa intermedia de derrubios con o sin hielo.

ESTRUCTURA INTERNA DEL GLACIAR ROCOSO DE LAS ARGUALAS



S.E.V.		1ª capa		2ª capa		3ª capa
Tipo S.E.V.	Tipo	ρ_1 ($\Omega\cdot m$)	h_1	ρ_2 ($\Omega\cdot m$)	h_2	ρ_3 ($\Omega\cdot m$)
Transversal	K	10.000 - 25.000	2,6-3,8	$4\cdot 10^5$ - $7\cdot 10^5$	20-10	2.000 - 10.000
Frente	K	20.075	1,7	$2\cdot 10^5$	5	45.000
Longitudinal	K	16.000 - 19.000	2,25 - 4	$8\cdot 10^5$	15	45.800 - 5.000

Resultados de los diferentes modelos obtenidos en el glaciar de las Argualas (1994)

● Estudio geoelectrico del glaciar rocoso de Besiberri

En este estudio geofísico se empleó el aparato geoelectrico modelo SYSCAR R-2, IRIS Instruments, BRGM-OYO perteneciente al Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogramétrica, E.T.S.I. Geodésica, Cartografía y Topográfica de la Universidad Politécnica de Valencia, de corriente alterna de baja potencia.

Con objeto de conocer la adecuación de este aparato, utilizado en Ingeniería Civil pero no probado en glaciares rocosos, se realizaron unas pruebas previas en materiales sueltos de alta resistividad. Así, en abril de 1996, se efectuó un estudio por SEV de una pedrera localizada en la Sierra del Espadán (Castellón), constituida por clastos y bloques ortocuarcíticos triásicos (Buntsandstein). Los resultados fueron positivos y alentadores, al registrar e interpretar tres capas geoelectricas, con una resistividad máxima cercana a los 10.000 Ωm .

En septiembre de 1997 se acometió el primer estudio mediante la ejecución de sondeos eléctricos verticales (SEV), con dispositivo cuadripolar simétrico (AMNB) tipo Schlumberger. Dado el tiempo disponible se realizaron dos SEV: BES1 y BES2, con apertura de semialas de emisión (AB/2) de 175 y 113 m respectivamente, distanciados entre sí 50 m. Ambos fueron longitudinales y con una orientación 340° N.

Las dos curvas geoelectricas de resistividad aparente fueron similares a las obtenidas en Las Argualas: curvas de tres capas geoelectricas, con resistividades aparentes elevadas en la segunda capa geoelectrica.

Tras el análisis de los posibles modelos de interpretación se obtuvieron los resultados que se resumen en la siguiente tabla:

S.E.V.		1ª capa		2ª capa		3ª capa
Nº S.E.V.	Tipo	ρ_1 ($\Omega\cdot m$)	h_1	ρ_2 ($\Omega\cdot m$)	h_2	ρ_3 ($\Omega\cdot m$)
BES1	K	31.367 - 35.394	1	$3,5\ 10^6$ - $5,3\ 10^6$	8 - 11.8	3.569 - 4.472
BES2	K	37.882 - 38.222	1	$5,1\ 10^6$ - $8,0\ 10^6$	11,1 - 18	4.589 - 4.973

Resultados de los diferentes modelos obtenidos el glaciar de Besiberri (año 1997)

Tanto en el sondeo BES1 como en el BES2 se diferencian tres capas geoelectricas. La primera, constituida por clastos y bloques de granodioritas, con un espesor próximo al metro. Por otro lado, la elevada resistividad de la

segunda ($> 10^6 \Omega\text{m}$) hace pensar que se trata de una formación constituida básicamente por hielo, con posibles clastos dispersos. La tercera capa representa el sustrato rocoso.

Comentario final

Los objetivos principales de las investigaciones descritas pueden considerarse plenamente logrados, pues los resultados obtenidos poseen una gran exactitud y validez.

En los casos de los glaciares blancos, los resultados obtenidos permiten aconsejar y señalar como más conveniente el empleo de geo-radar de ultra-alta frecuencia que el de prospección sísmica, por ser la técnica más resolutive en el rango de espesores de hielo y más operativa en condiciones de trabajo propias de campo en estos glaciares.

Sería recomendable y aportaría una valiosa información la realización de sondeos mecánicos en aquellas áreas donde se han registrado reflectores internos, dado que permitiría, por una parte, un mejor ajuste en el análisis de eco-profundidades y en la correlación de reflexiones y, por otra, poder abordar el estudio de la naturaleza de los reflectores internos (R1 y R2) registrados, así como obtener propiedades físicas del hielo e indagar en su cronología.

El método geoelectrico por sondeos eléctricos verticales llevado a cabo resulta ser una herramienta muy efectiva que proporciona una valiosa información sobre la estructura interna de los glaciares rocosos, tanto para los rocosos estrictos como para los negros (semicubiertos). Los valores de las resistividades y espesores obtenidos de las diferentes capas (clastos, hielo y sustrato rocoso) avalan esta aseveración y refrendan la presencia de hielo entre la formación detrítica que constituye el glaciar rocoso. Las resistividades específicas permiten afirmar que se trata de una formación H/D rica en hielo, con un espesor de 10 m a 20 m, que se localiza por debajo de una capa de derrubios sin hielos, a una profundidad de 2 m a 4 m desde la superficie. Además su riqueza en hielo va decreciendo de aguas arriba a aguas abajo, sobre todo en el área del último S.E.V. cercano al frente del glaciar. Esto confirma que en la actualidad predominan los procesos de fusión, y que el origen del hielo se remontaría, al menos, a la Pequeña Edad del Hielo.

ESTUDIO DE LOS APARATOS GLACIARES MEDIANTE TELE-DETECCIÓN

Las técnicas de teledetección facilitan la observación sistemática del territorio en una gran variedad de escalas espaciales y temporales. Reforzando las posibilidades de esta tecnología, durante la pasada década se han puesto en órbita nuevas plataformas y sensores que han mejorado la capacidad de los existentes en cuanto a su resolución espacial, espectral y

radiométrica. En el marco del Programa ERHIN se han aplicado técnicas de teledetección, utilizando las imágenes proporcionadas por el satélite de muy alta resolución QuickBird para la el seguimiento de la superficie de los aparatos glaciares del Pirineo español.

El satélite QuickBird fue lanzado exitosamente el 18 de octubre de 2001 y localizado en una órbita polar a 450 kilómetros de altura sobre la Tierra que completa cada 90 minutos aproximadamente. Actualmente QuickBird es el satélite comercial con mejor resolución espacial, proporcionando imágenes de la superficie terrestre con una resolución de 0,6 metros en su modo pancromático. La siguiente tabla muestras a efectos comparativos algunas de las características de esta plataforma y de las imágenes que proporciona respecto de otros sistemas.

Especificación	QuickBird	Ikonos	Eros 1A
Altitud orbital	279,62 mi	680 km	480 km
Resolución en el nadir (Resolución de los productos)	0,61 m (desde 0,61 m)	0,81 m (1,0 m)	1,8 m (1,8 m)
Ancho escena	16,5 km	11,0 a.m.	12,5 a.m.
Modo Pancromático (Imágenes en escala de grises)	SÍ	SÍ	SÍ
Modo Multiespectral (Imágenes en color)	SÍ (4 bandas en el visible e infrarrojo cercano)	SÍ (4 bandas en el visible e infrarrojo cercano)	NO
Periodo revisita	4,5 a 5 días (A 0,7 m de resolución)	2,5 a 3 días (A 1 m de resolución)	1,8 días (A 1,8 m de resolución)

Comparación características satélites de observación de la Tierra de alta resolución



QuickBird cuenta con un modo multiespectral de adquisición en el que se distinguen cuatro bandas espectrales: tres localizadas en la región visible (Azul, Verde y Rojo) y una banda en el infrarrojo cercano muy sensible a la presencia de vegetación y la actividad clorofílica.

Con un ancho de barrido de 16,5 km, las escalas de trabajo más adecuadas para las imágenes de alta resolución se encuentran entre la 1:5.000 y la 1:10.000, dependiendo de las distorsiones geométricas en la imagen y los procedimientos seguidos en su corrección.

El sensor dispone de un rango dinámico de 11 bits por píxel que proporciona una profundidad espectral de 1.024 valores, mayor que en otros

sensores que le han precedido y mejorando su capacidad de discernir objetos de zonas de sombra.

Las características básicas de los dos modos de adquisición de imágenes del sensor son las siguientes:

MODO PANCROMÁTICO

Resolución: 0,61 metros en el nadir y 0,72 metros a 25° fuera del nadir

Ancho de banda espectral: 450–900 nanómetros

MODO MULTIESPECTRAL

Resolución: 2,44 metros en el nadir y 2,88 metros a 25° fuera del nadir

Cuatro bandas espectrales:

- ≡ Azul: 450–520 nanómetros
- ≡ Verde: 520–600 nanómetros
- ≡ Rojo: 630–690 nanómetros
- ≡ IRC: 760–900 nanómetros

De los tipos de imágenes QuickBird disponibles se ha elegido el producto denominado “Standard”. Estos productos han sido sometidos a las correcciones y tratamientos siguientes:

- ≡ Área mínima de pedido: 64 km²
- ≡ Correcciones radiométricas: respuesta radiométrica relativa entre detectores, relleno de lagunas de no-respuesta; conversión a radiometría absoluta.
- ≡ Correcciones del sensor: geometría interna del detector; distorsión óptica; distorsión de escaneo; variaciones en la tasa de alineamiento; desajustes de registro de las bandas multiespectrales.
- ≡ Correcciones geométricas adicionales: posición orbital de la plataforma, rotación terrestre, curvatura de la Tierra y distorsión panorámica.
- ≡ Información de geolocalización aplicada: efemérides, rotación y alineamiento con el sistema de proyección cartográfico.

Según la propia compañía que opera el satélite, Digital Globe, los productos Standard pueden llegar a tener una exactitud absoluta en geolocalización de hasta 23 metros para el 90% de los casos, excluyendo el efecto de las distorsiones topográficas.

La adquisición de las imágenes QuickBird es programable y se realiza bajo pedido. La compañía italiana Eurimage es distribuidora exclusiva en Europa de las imágenes del satélite QuickBird y se encarga de gestionar las peticiones de adquisición de los usuarios europeos.

El inicio del procedimiento de adquisición tiene lugar con el envío de una petición de adquisición formal a Eurimage con antelación suficiente para que la petición entre en la ventana temporal de interés.

Respecto de dicha ventana temporal, la necesidad de disponer de imágenes de los aparatos glaciares libres de nieve que pudiera enmascarar la verdadera dimensión de los mismos, aconsejaba la adquisición de las imágenes a finales del verano, en las primeras semanas del mes de septiembre.

Las capacidades del satélite permiten visitar una misma zona cada 3 días aproximadamente, con lo que si durante un intento la zona de interés está cubierta por nubes, cabe la posibilidad de que tres días más tarde sea posible “efectuar el disparo” ante la ausencia de nubes.

De acuerdo con estas premisas, en los veranos de 2004 y 2005 se pusieron en marcha los trámites relacionados con la adquisición de cuatro imágenes QuickBird correspondientes a cuatro zonas del Pirineo oscense, en las que se localizan la mayoría de los aparatos glaciares de esta cordillera: Balaitus, Monte Perdido, Posets y Aneto - Maladeta. Para cada zona se definió un polígono de pedido representando un área de interés de 64 km².

En el año 2004, el día 28 de agosto fueron adquiridas las imágenes correspondientes a las zonas del Balaitus, Monte Perdido y Posets, quedando pendiente la zona del Aneto-Maladeta. Para esta zona, la adquisición tuvo lugar el 3 de octubre de 2004. Este ligero retraso fue debido a razones meteorológicas y, fundamentalmente, a un error de interpretación de las coordenadas de pedido por parte del operador.

En el año 2005, el 31 de agosto se adquirieron las imágenes de las zonas de Aneto y Posets, mientras que las de Balaitus y Monte Perdido tuvieron lugar el 15 y 20 de septiembre respectivamente.

Los imágenes adquiridas fueron tratadas para su visualización, realce, medición, recorte, mosaico y corrección geométrica empleando la versión 8.7 del software Erdas Imagine Professional de Leica Inc.

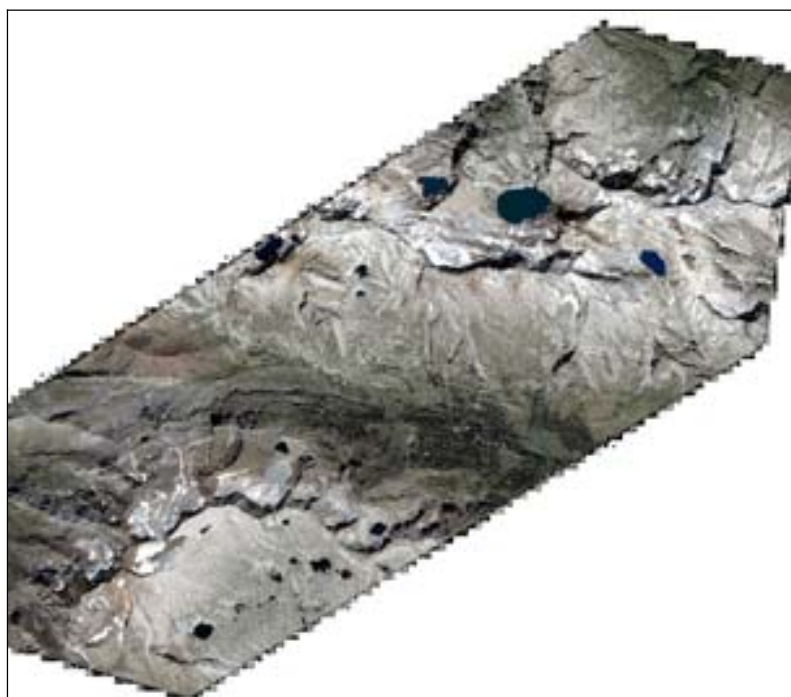
Una vez se ha dispuesto de las imágenes en gabinete se ha llevado a cabo un primer control de la calidad de las mismas consistente en:

- ≡ Coincidencia de la imagen proporcionada con el polígono de pedido del área de interés.
- ≡ Revisión de la cobertura nubosa presente. Estimación en algunos casos de la superficie representada y su porcentaje respecto del resto de la imagen.
- ≡ Revisión de la calidad radiométrica general de la imagen.
- ≡ Realización de pruebas de realce



Previsualización de la imagen correspondiente a la zona de Aneto - Maladeta

Dadas las características geométricas de las imágenes adquiridas, en la mayoría de los casos ha sido necesario la realización de un mosaico a partir de las imágenes originales para la generación de un único fichero en formato img de Erdas para cada una de las zonas de interés.



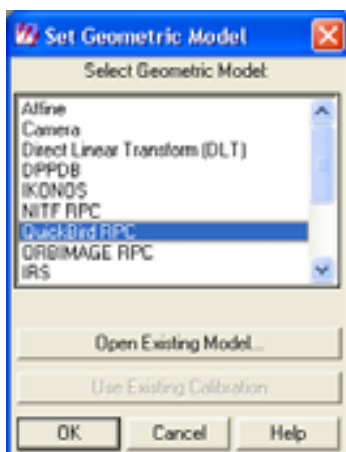
Previsualización del mosaico resultante para la zona de Posets

El procesado de una imagen en un proceso de rectificación digital tiene lugar mediante un procedimiento de ortofotoproyección que reconstruye la geometría de adquisición del sensor para cada una de las líneas de la imagen.

En este caso se ha optado por aplicar un modelo físico, modelos que son rigurosos y requieren el conocimiento del sensor específico para el son han sido diseñados de forma que cada parámetro implicado tiene un significado físico.

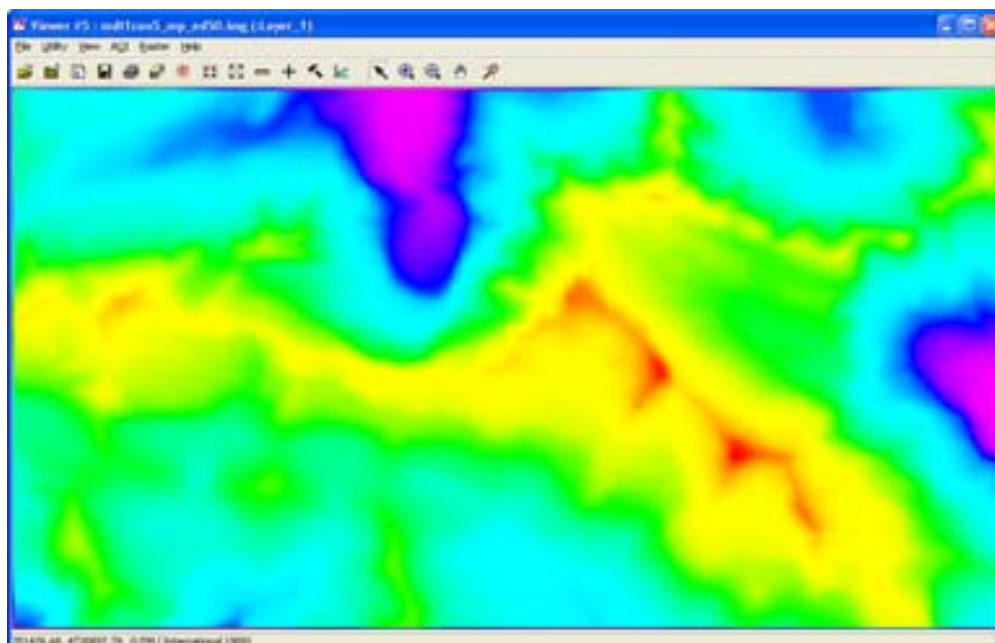
En concreto, se ha aplicado el Modelo de Funciones Racionales, método ampliamente utilizado en los últimos años. Este modelo expresa la relación entre las coordenadas imagen y objeto mediante el uso del ratio de expresiones polinomiales. Los coeficientes de los polinomios son los denominados RPCs, siglas en inglés de Coeficientes Polinomiales Racionales (Rational Polynomial Coefficients).

Para el cálculo de estos coeficientes se utilizan los parámetros del modelo de sensor riguroso, pues su exactitud tiene una influencia considerable en el resultado final, incluso si los coeficientes sólo pueden ser calculados a partir de un número adecuado de puntos homólogos de control del terreno identificados sobre la imagen y una referencia cartográfica adecuada.



En este sentido, las imágenes han sido proporcionadas con su fichero RPC que se obtiene de la aplicación de un modelo de sensor riguroso. Mediante este fichero RPC es posible calcular la posición normalizada de un píxel en la imagen como un ratio de los polinomios de la latitud, longitud y altitud geodésica.

Para la utilización de este método conviene disponer de un Modelo Digital de Elevación (MDE) de resolución aproximada al producto que se pretende obtener. En este caso, se ha utilizado un MDE con un paso de malla de 25 m como el que se muestra en la siguiente figura para la zona de Monte Perdido.



Asimismo, se ha mejorado la calidad de la solución reconociendo una serie de puntos de control homólogos en la imagen y en una serie de ortofotografías digitales a escala 1:5.000 proporcionadas por la Diputación General de Aragón.

Para cada imagen se han identificado un mínimo de cien puntos de control sobre el terreno homogéneamente distribuidos sobre la misma, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Distribución de puntos de control sobre la imagen de Monte Perdido en el año 2005

En todos los casos se ha procurado que el error cuadrático medio (RMS) no fuera superior a los 10-15 metros dadas las considerables distorsiones geométricas de algunas imágenes debidas a lo accidentado del relieve y en algunos casos a la geometría de adquisición con ángulos fuera del nadir en torno a los 15°. El sistema de proyección empleado para la imagen remuestreada y geoméricamente corregida ha sido el UTM con Dátum Europeo de 1950.

Como ya se ha indicado anteriormente, durante el verano de 2004 se obtuvieron a través del programa ERHIN las primeras imágenes del satélite Quick-Bird, las cuales fueron georreferenciadas y corregidas con el fin de poder dibujar y medir las superficies de hielo en cada aparato glaciar. Así mismo se dibujaron y midieron sobre ellas las morrenas de la Pequeña Edad de Hielo (S. XIX) en aquellos glaciares en los que eran claramente identificables.

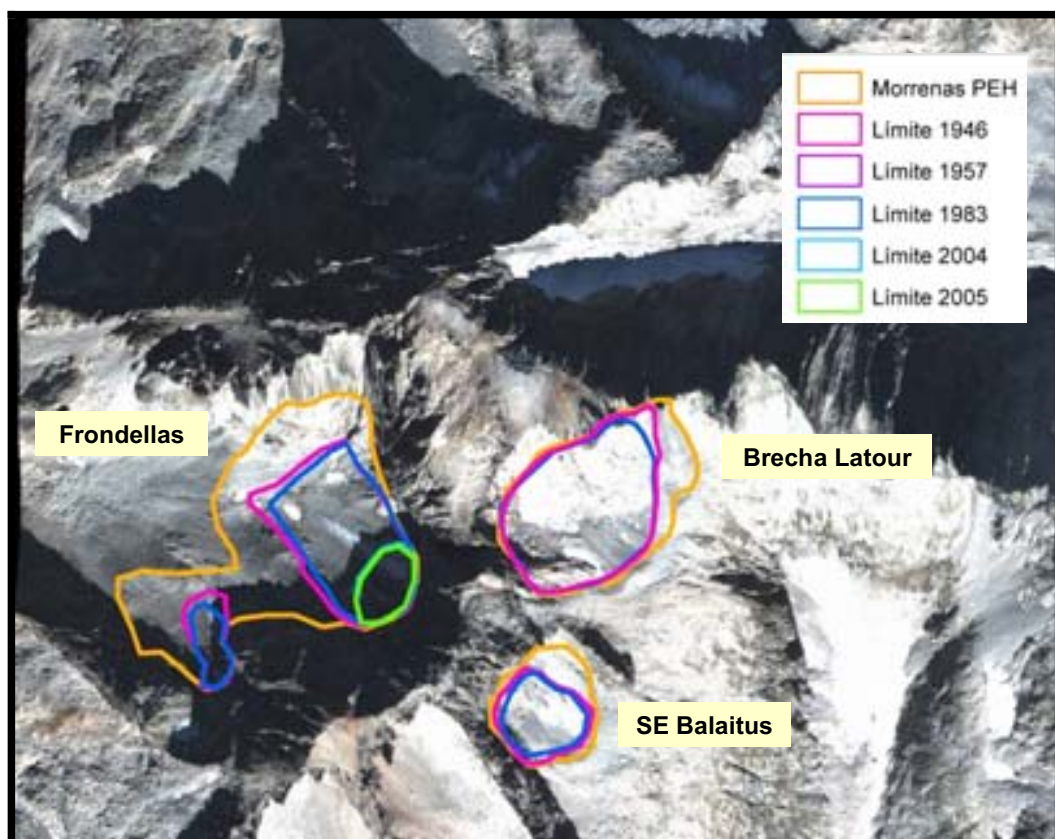
También se obtuvieron imágenes del mismo satélite durante el verano de 2005, procediendo a su corrección y georreferenciación con el fin de poder realizar sobre ellas las correspondientes medidas de superficies y poder compararlas con las de años anteriores.

Sólo se obtuvieron imágenes satélite de aquellos aparatos glaciares en los que todavía existen glaciares activos.

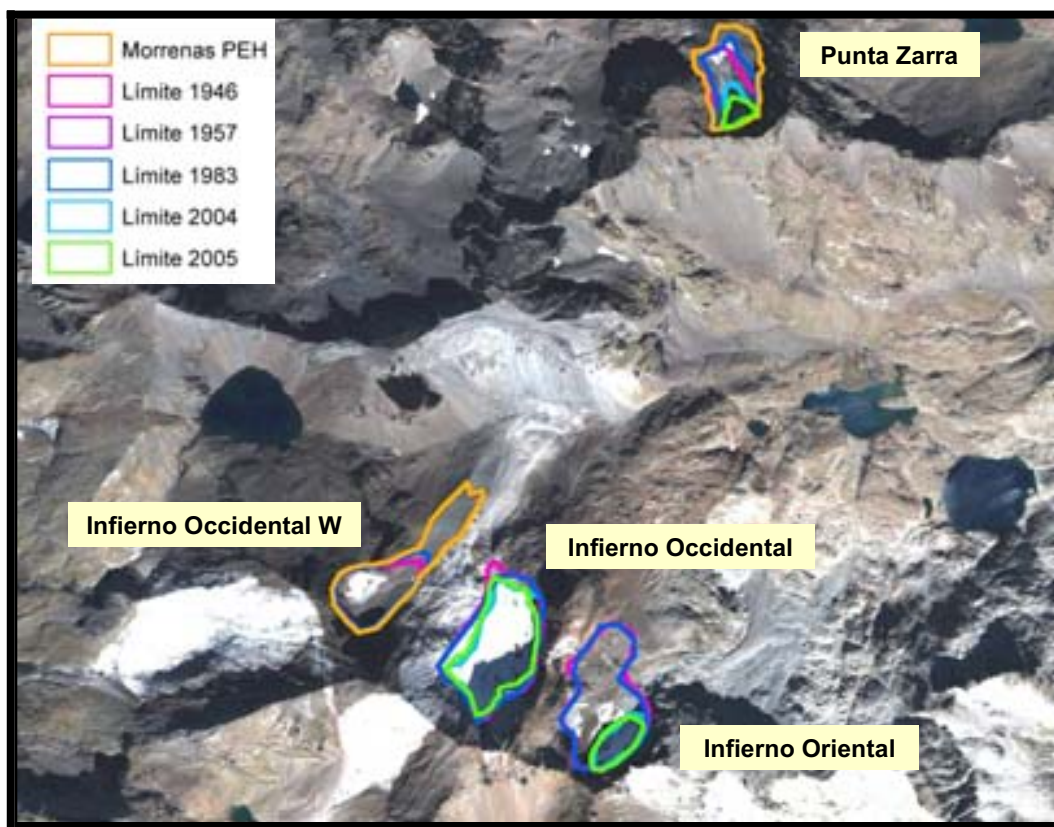
Por otra parte, se ha conseguido dibujar y medir los límites de dichos glaciares en 1946, 1957 y 1983 a partir de fotografías aéreas existentes de aquella época. Estos vuelos fotogramétricos son los siguientes:

- ≡ 1946: Serie A e IGN francés
- ≡ 1957: Vuelo americano
- ≡ 1983: INEGLA. Escalas de vuelo 1:25.000 y 10.000

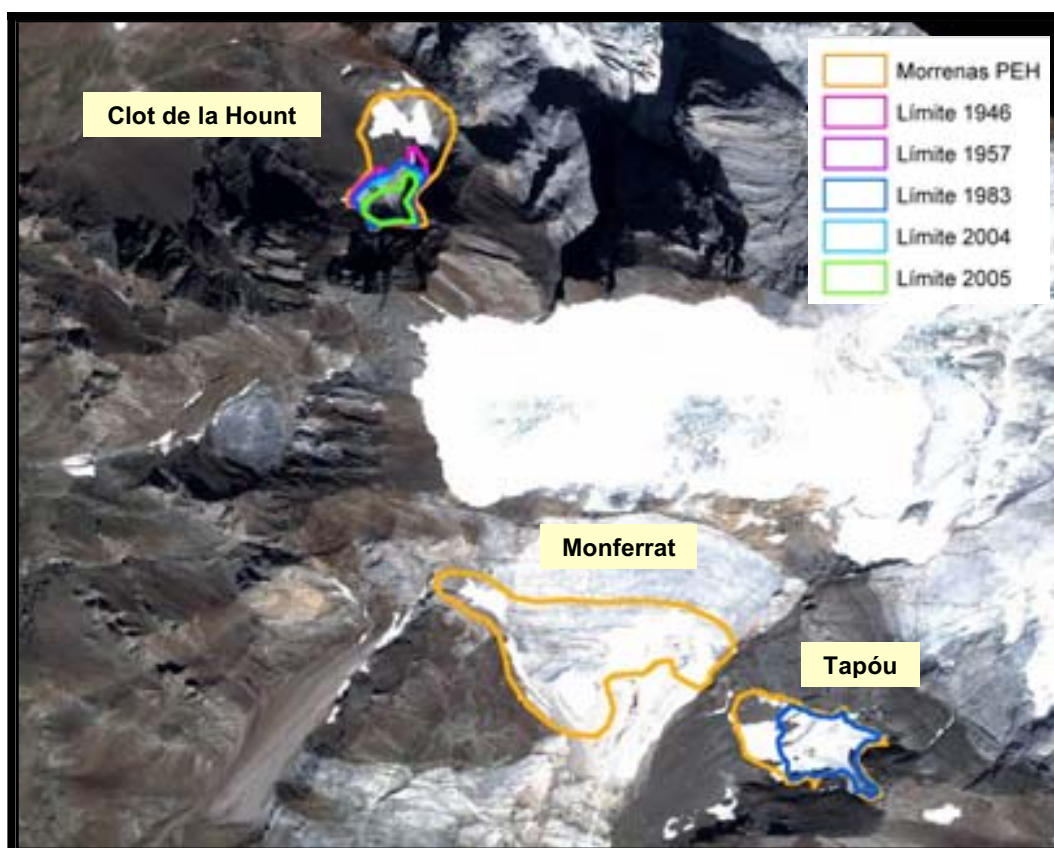
A continuación se presentan las imágenes satélite con los límites de los glaciares en esos años.



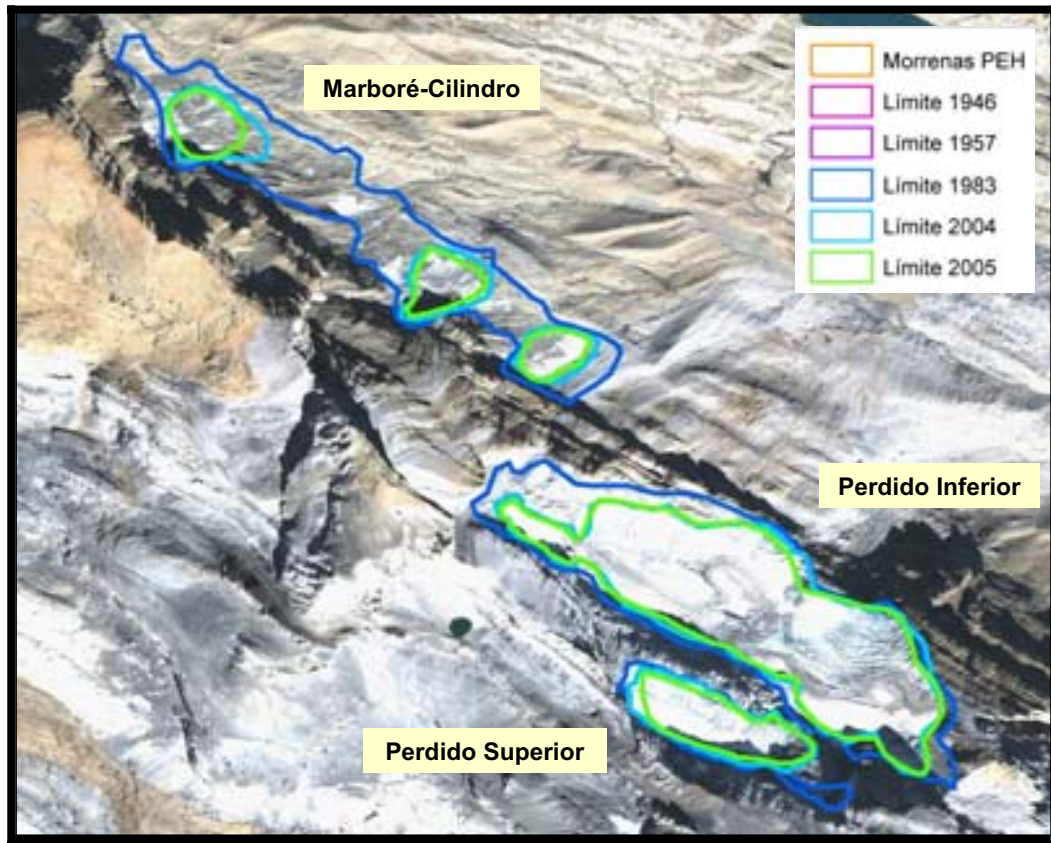
Macizo de Balaitus



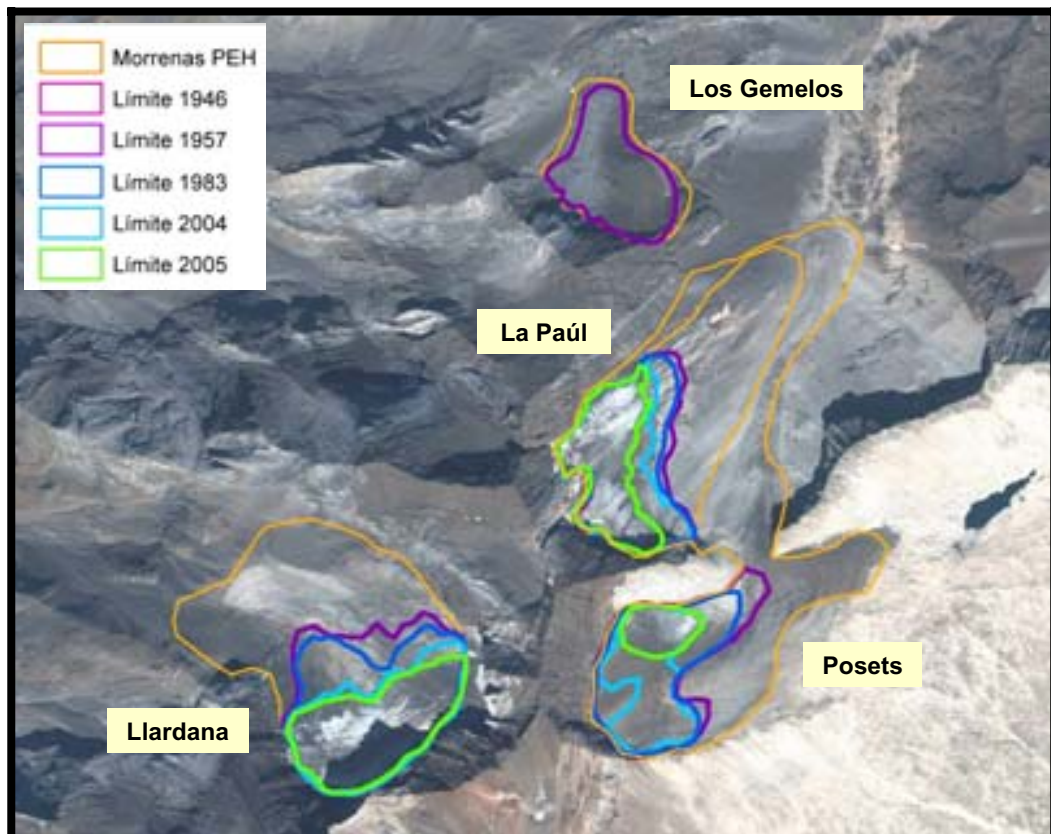
Macizo del Infierno



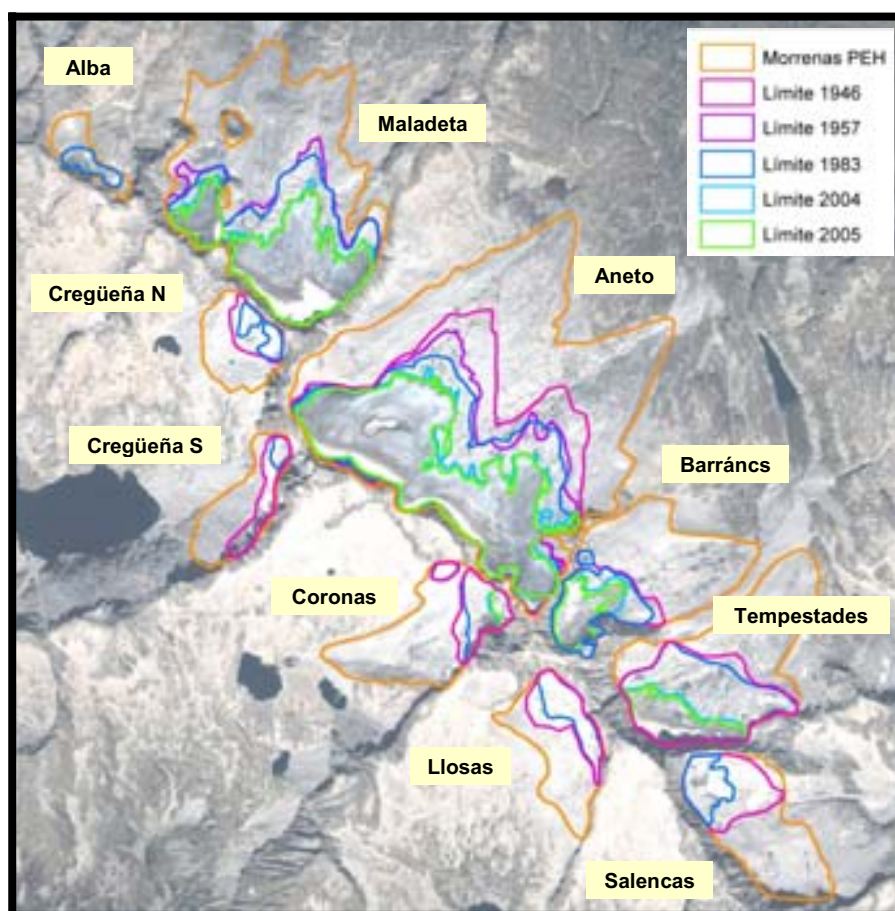
Macizo de Viñemal



Macizo de Monte Perdido

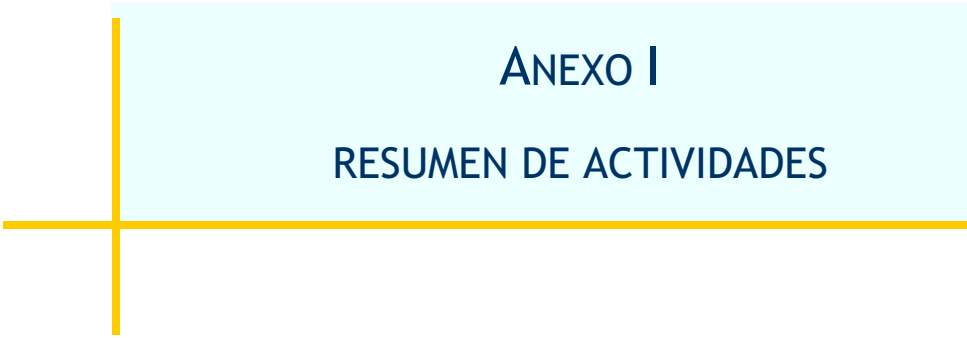


Macizo de Posets



Macizo de Aneto-Maladeta








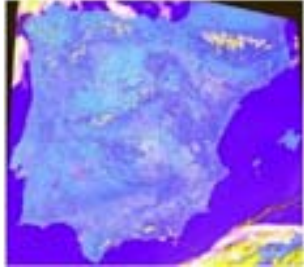

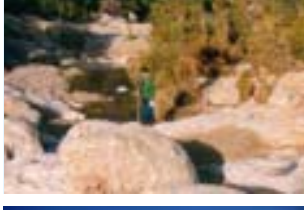

ANEXO I
RESUMEN DE ACTIVIDADES

ANEXO I. RESUMEN DE ACTIVIDADES

A continuación se pasa a relacionar de forma cronológica y por el Organismo encargado de dirigir y ejecutar los trabajos que han sido realizados en el período comprendido entre 1981 y 2007 de todas aquellas actividades que se han llevado a cabo dentro del Programa ERHIN.

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1981	DGOH INEGLA	Estudio glaciares Pirineo (1981/83)	
1983	DGOH	Comienza el estudio y desarrollo del SAIH	
		Creación del programa ERHIN	
1984	DGOH UPV	Estudio y enfoque de los trabajos a realizar en el Pirineo	
		Delimitación de la zona de estudio y división en subcuencas del Pirineo	
		Primer reconocimiento invernal (Huesca y Lérida)	
		Localización de los puntos de control	
1985	DGOH UPV	Selección definitiva de los puntos de control y reconocimiento de campo en verano	
		Primeros estudios para la ubicación de las estaciones de aforo	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1985	DGOH UPV	Instalación de las 30 primeras pértigas en el Gállego y Ribagorzana (otoño 1985)	
1986	DGOH, hidroeléctricas, INM, ATUDEM	Segundo reconocimiento invernal Gerona y Navarra	
		Localización de los restantes puntos de control	
		Primera toma de datos nivales en el Gállego y Ribagorzana (con esquís)	
		Selección definitiva de los puntos de control y reconocimiento de campo en verano (Gerona y Navarra)	
		Instalación de las 78 pértigas restantes (otoño 1986)	



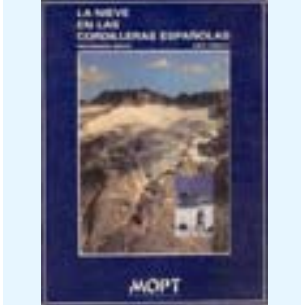



Año	Organismo	Trabajos realizados	
1986	DGOH, hidroeléctricas, INM, ATUDEM	Selección de las ubicaciones definitivas de las estaciones de aforo	
1987	DGOH, hidroeléctricas, INM, ATUDEM	Primera toma de datos nivales completa en el Pirineo mediante helicóptero (tres campañas)	
		Desarrollo del método hidrológico-estadístico	
		Primeros estudios de Teledetección (ASINEL)	
		Inicio de la investigación fenomenológica (INM)	
		Topografía y batimetría de los cauces para los proyectos de estaciones de aforo en el Pirineo	
Asistencia a la Conferencia Ibero-Americana sobre Aprovechamientos Hidráulicos. Lisboa. Ponencia "El programa ERHIN: Evaluación de recursos hídricos procedentes de la innivación en la alta montaña española"			

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1988	DGOH, hidroeléctricas, INM, ATUDEM	Segunda toma de datos nivales completa en el Pirineo (tres campañas)	
		Implantación de las estaciones de aforo en el Pirineo	
		Propuesta de ampliación del ERHIN a la Cordillera Cantábrica y Sierra Nevada	
		Publicación del libro "La nieve en el Pirineo español" por el MOPU	
		Asistencia a las Segundas Jornadas Españolas de Presas. T. II. Sevilla. Ponencia "Métodos y técnicas para la cuantificación de los recursos hídricos procedentes de la innivación en la alta montaña española. El programa ERHIN. Situación actual"	
1989	DGOH, hidroeléctricas, INM, ATUDEM	3ª toma de datos nivales completa en el Pirineo (tres campañas)	
		Selección definitiva de los puntos de control y reconocimiento de campo en verano (Cantábrica y Sierra Nevada)	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1989	DGOH, hidroeléctricas, INM, ATUDEM	Instalación de las primeras pértigas en la Cordillera Cantábrica y de su totalidad en Sierra Nevada (21)	
1990	DGOH, hidroeléctricas, INM, ATUDEM	4ª toma de datos nivales completa en el Pirineo (tres campañas)	
		1ª toma de datos parcial Cordillera Cantábrica (dos campañas)	
		1ª toma de datos nivales completa en Sierra Nevada (tres campañas)	
		Instalación de las pértigas restantes en la Cantábrica (127)	
		Topografía y batimetría de los cauces para los proyectos de estaciones de aforo en la Cantábrica y Sierra Nevada	
		Viaje a Quebec para el estudio de las metodologías aplicadas a la cuantificación de recursos nivales y posible aplicación al programa ERHIN	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1990	DGOH, hidroeléctricas, INM, ATUDEM	Publicación de la 2ª edición del libro "La nieve en el Pirineo español" por el MOPU	
		Asistencia al VI Congreso Internacional. I.A.E.G. Amsterdam. Ponencia "Hydric resources generated by snow melting on the Spanish mountain"	
1991	DGOH	Mediciones nivales en el Pirineo, Cantábrica y Sierra Nevada (tres campañas)	
		Reinstalación de tres pértigas desaparecidas o deterioradas en el Pirineo	
		Recepción de las pértigas de la Cantábrica	
		Primera modelización ASTER en la cuenca del Alto Porma (León)	
El ERHIN asume el control de los glaciares del Pirineo español			

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1991	DGOH	Instalación de 7 balizas de ablación en el glaciar de La Maladeta	
		Control de la evolución de los glaciares del Pirineo español	
		Asistencia a la VII Reunión del Comitato Glaciologico Italiano (CGI). Gressoney (Valle d'Aosta, Italia). Septiembre de 1991. Ponencia "I Ghiacciai dei Pirenei spagnoli"	
1992	DGOH	Mediciones nivales en el Pirineo, Cantábrica y Sierra Nevada (tres campañas en Pirineo y dos en Cantábrica y Sierra Nevada)	
		Reinstalación de la pértiga de La Sagra (Cantábrica)	
		Primeras modelizaciones ASTER en el Pirineo	
		Primeras mediciones del balance de masa del glaciar de La Maladeta	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1992	DGOH	Estudio geofísico por sísmica de reflexión del glaciar de La Maladeta	
		Publicación del libro "La nieve en las cordilleras españolas. Programa ERHIN. Años 1986/87 - 1989/90" por el MOPT	
		Publicación del libro "La nieve en las cordilleras españolas. Programa ERHIN. Año 1990/91" por el MOPT	
		Asistencia a la Reunión Anual de la Societe Hydrotechnique de France. Section de Glaciologie (SHF). Grenoble. Marzo de 1992. Ponencia "Les glaciers du versant sud des Pyrénées"	
		Asistencia a las Jornadas coloquio sobre los glaciares españoles. Madrid y Zaragoza. 28-29 de septiembre de 1992	
1993	DGOH	Mediciones nivales en el Pirineo, Cantábrica y Sierra Nevada (tres campañas en Pirineo y Sierra Nevada y dos en Cantábrica)	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1993	DGOH	Predicción Estacional Probabilista (PEP). Primeros estudios	
		Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta	
		Control de la evolución de los glaciares del Pirineo español. Observaciones morfológicas	
		Asistencia a la Reunión Anual de la Societe Hydrotechnique de France. Section de Glaciologie (SHF). Grenoble. 11-12 de marzo de 1993. Ponencia "Glacier de La Maladeta. Travaux 1991-1992"	
1994	DGOH	Mediciones nivales en el Pirineo, Cantábrica y Sierra Nevada (tres campañas)	
		Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta	
		Control de la evolución de los glaciares del Pirineo español	


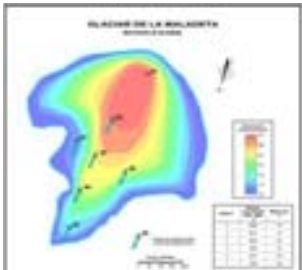
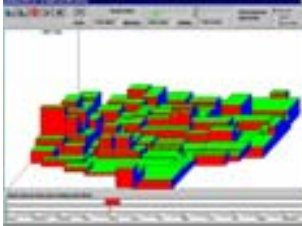




Año	Organismo	Trabajos realizados	
1994	DGOH	Estudio geofísico mediante georradar de los glaciares de La Maladeta y Aneto	
		Estudio geofísico mediante sondeos eléctricos verticales del glaciar rocoso de Argualas	
		Medida del movimiento del glaciar rocoso de Argualas por topografía clásica	
		Implantación de las estaciones de aforo en la Cantábrica y Sierra Nevada	
		Publicación del libro "La nieve en las cordilleras españolas. Programa ERHIN. Año 1991/92" por el MOPT y MA	
1995	Organismos de Cuenca	Desarrollo del ERHIN apoyado por las Confederaciones Hidrográficas	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1995	Organismos de Cuenca	Mediciones nivales en el Pirineo (2 campañas), Cantábrica (2) y Sierra Nevada (1)	
		Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta	
		Control de la evolución de los glaciares del Pirineo español	
		Medida del movimiento del glaciar rocoso de Argualas por topografía clásica	
		Publicación del libro "La nieve en las cordilleras españolas. Programa ERHIN. Año 1992/93" por el MOPT y MA	
		Asistencia a la Reunión Anual de la Societe Hydrotechnique de France. Section de Glaciologie (SHF). Grenoble. 15-16 de febrero de 1995. Ponencia "Contrôle des ressources hydrauliques par fusion nivale" y póster "Travaux de Glaciologie en Espagne"	
		Asistencia a la Conferencia Internacional de Geología ambiental y ordenación del territorio. Granada. Ponencia "Cuantificación de los recursos nivales en Sierra Nevada"	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1995	Organismos de Cuenca	Reunión en Tabescán X Aniversario Programa ERHIN. 28/10/1995	
1996	Organismos de Cuenca	Mediciones nivales en el Pirineo, Cantábrica y Sierra Nevada (dos campañas)	
		Mediciones de urgencia en el Sistema Central (tres campañas)	
		Implantación del modelo ASTER en las Confederaciones del Tajo, Ebro y Duero. Desarrollo de la modelización de varias subcuencas	
		Conexión de los modelos ASTER Tajo a la base de datos del SAIH	
		Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta	
Reinstalación de 5 balizas de ablación en el glaciar de La Maladeta			

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1996	Organismos de Cuenca	<p>Vuelo fotogramétrico del Macizo Aneto-Maladeta y posterior apoyo de campo mediante GPS diferencial</p>	
		<p>Asistencia a la Reunión Anual de la Societe Hydrotechnique de France. Section de Glaciologie (SHF). Grenoble.</p>	
		<p>Asistencia a las V Jornadas Españolas de Presas. Comité Nacional Español de Grandes Presas. Valencia. Ponencia "Aportación del cálculo nival a la seguridad de presas"</p>	
1997	Organismos de Cuenca	<p>Mediciones nivales en el Pirineo y Sierra Nevada (dos campañas). Ninguna en la Cantábrica</p>	
		<p>Implantación del modelo ASTER en la Confederación del Guadalquivir. Modelización de la subcuenca del río Genil vertiente a Canales (Sierra Nevada)</p>	
		<p>Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta</p>	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1997	Organismos de Cuenca	Estudio geofísico mediante sondeos eléctricos verticales del glaciar rocoso de Besiberri	
		Publicación del libro "La nieve en las cordilleras españolas. Programa ERHIN. Año 1993/94" por el MMA	
		Asistencia a la Reunión Anual de la Societe Hydrotechnique de France. Section de Glaciologie (SHF). Grenoble. 6-7 de marzo de 1997. Ponencia "Bilan de masse glaciaire sur le glacier de La Maladeta (Pyrénées espagnoles). Saison 1995/96"	
Asistencia a la 3ª Reunión Internacional de la International Permafrost Association. Procesos biofísicos actuales en medios fríos. Estudios Recientes. Andorra la Vella. Ponencia "Medidas de precipitación nival y de dinámica glaciaria en el Pirineo Español (1987-1997)"			
1998	Organismos de Cuenca	Mediciones nivales en el Pirineo, Cantábrica y Sierra Nevada (dos campañas)	
		Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta	
		Control de la evolución de los glaciares del Pirineo español	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1998	Organismos de Cuenca	Publicación del libro "La nieve en las cordilleras españolas. Programa ERHIN. Año 1994/95" por el MMA	
		Asistencia a la Reunión Anual de la Societe Hydrotechnique de France. Section de Glaciologie (SHF). Grenoble	
		Asistencia al Congreso de Grandes Presas. Rotterdam. Ponencia "The ASTER-ERHIN System in the management of winter flooding. Dam Safety."	
		Asistencia a la I Asamblea hispano-portuguesa de Geodesia y Geofísica. IX Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Almería. Ponencia "Estudios geofísicos desarrollados en glaciares blancos y rocosos del Pirineo español"	
		Asistencia al International Symposium on New Trends and Guidelines on Dam Safety. Organizadas por Spancold (Spanish National Committee Of Large Dams). Barcelona. Ponencia "Reservoir management for the control of flood volume in the hydrographical network of the Ebro"	
1999	Organismos de Cuenca	Comienzo del convenio de colaboración CHE-ENDESA	
	Organismos de Cuenca	Mediciones nivales en el Pirineo, Cantábrica y Sierra Nevada (dos campañas)	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
1999	Organismos de Cuenca	Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta	
		Comienzo del estudio para la instalación de la Casa Glaciares en la CHE	
2000	Organismos de Cuenca	Mediciones nivales en el Pirineo, Cantábrica y Sierra Nevada (tres campañas en Pirineo y dos en Cantábrica y Sierra Nevada)	
		Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta	
		Reinstalación de 5 balizas de ablación en el glaciar de La Maladeta	
		Asistencia a la Reunión Anual de la Societe Hydrotechnique de France. Section de Glaciologie (SHF). Grenoble. 1-2 de marzo de 2000. Ponencia "Surveillance generale des glaciers espagnols. Leur etat critique à la fin du xxème siècle"	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
2001	Organismos de Cuenca	Mediciones nivales en el Pirineo, Cantábrica y Sierra Nevada (tres campañas en Pirineo y una en Cantábrica y Sierra Nevada)	
		Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta	
		Instalación de cuatro Telenivómetros en el Sistema Central (Tajo)	
2002	Organismos de Cuenca	Mediciones nivales en el Pirineo (3 campañas) y en la Cantábrica (1). Ninguna en Sierra Nevada	
		Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta	
		Control de la evolución de los glaciares del Pirineo español	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
2002	Organismos de cuenca	Asistencia a la Reunión Anual de la Societe Hydrotechnique de France. Section de Glaciologie (SHF). Grenoble. 7-8 de marzo de 2000. Ponencia "Dix ans de Mesures de bilan de masse au glacier de La Maladeta"	
		Asistencia a las VII Jornadas Españolas de Presas. Comité Nacional Español de Grandes Presas. Zaragoza. Ponencia "Sistema ASTER-SAIH aplicado a la explotación de embalses en cuentas con marcado comportamiento nival"	
2003	DGOH y CA	El Ministerio vuelve a comandar el desarrollo del ERHIN	
		Ampliación definitiva del ERHIN al Sistema Central	
		Inicio del estudio del manto nival a partir de técnicas de Teledetección	
		Mediciones nivales en el Pirineo (3 campañas), Cantábrica (3) y Sierra Nevada (2)	
		Finalización de la modelización de las cuencas del Pirineo con ASTER, nueva calibración e implantación de la nueva versión en la CHE	
	Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta		

Año	Organismo	Trabajos realizados	
2003	DGOH y CA	Control de la evolución de los glaciares del Pirineo español	
		Inauguración de la Casa Glaciares en la CHE	
		Asistencia al XI Congreso Mundial del Agua de la IWRA. 5-9 de octubre. Madrid. Ponencia “Evolución reciente de los aparatos glaciares del Pirineo español”	
2004	DGOH y CA	Mediciones nivales en el Pirineo (3 campañas), Cantábrica (2), Sierra Nevada (2) y Sistema Central (1)	
		Comienzo de la medida del manto nival mediante teledetección	
		Integración del modelo ASTER en el Sistema de Ayuda a la Decisión de la CHE para realizar previsiones en tiempo real	
		Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta	

Año	Organismo	Trabajos realizados
2004	DGOH y CA	Reinstalación de 2 balizas de ablación en el glaciar de La Maladeta 
		Control de la evolución de los glaciares del Pirineo español mediante Teledetección 
		Asistencia a la Reunión Anual de la Societe Hydrotechnique de France. Section de Glaciologie (SHF). Grenoble. 16-17 de marzo de 2004, Ponencia "Bilan de masse sur le glacier de La Maladeta (Pyrénées espagnoles). Saison 2002-2003" 
		Asistencia a la Balwois 2004 Conference on Water Observation and Information System of Decision Support. 25-29 mayo. Ohrid, República de Macedonia. Ponencia "Hydrological peculiarities of high mountain basins. The case of the spanish Pyrenees" 
2005	DGA	Asistencia a las Jornadas sobre sistemas de ayuda a la decisión ante problemas hidráulicos e hidrológicos en tiempo real. Madrid, 15-17 de junio de 2004. CEDEX. Ponencia "Modelación aplicada a la hidrología nival: evaluación de recursos hídricos procedentes de la nieve en el Pirineo español" 
		Mediciones nivales en el Pirineo (3 campañas), Cantábrica (3), Sierra Nevada (1) y Sistema Central (1) 

Año	Organismo	Trabajos realizados	
2005	DGA	Propuesta de instalación de telenivómetros en el Pirineo	
		Establecimiento de la Red Oficial de control Nivométrico (RON)	
		Calibración de los modelos ASTER e instalación de la nueva versión del programa	
		Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta	
		Control de la evolución de los glaciares del Pirineo español mediante Teledetección	
		Asistencia a la Reunión Anual de la Societe Hydrotechnique de France. Section de Glaciologie (SHF). Grenoble. 9-10 de marzo de 2005. Ponencia "Évolution récent des glaciers des Pyrénées espagnoles"	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
2006	DGA	<p>Mediciones nivales en el Pirineo (3 campañas), Cantábrica (2) y Sierra Nevada (1)</p>	
		<p>Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta</p>	
		<p>Instalación de los primeros telenivómetros en el Pirineo</p>	
		<p>Publicación en formato CD del libro "La nieve en las cordilleras españolas. Programa ERHIN. Años 1995/96 al 2002/03" por el CEDEX</p>	
		<p>Publicación del libro "La nieve en las cordilleras españolas. Programa ERHIN. Años 1995/96 - 1996/97 - 1997/98" por el MMA</p>	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
2006	DGA	<p>Publicación del libro "La nieve en las cordilleras españolas. Programa ERHIN. Años 1998/99 - 1999/2000" por el MMA</p>	
		<p>Publicación del libro "La nieve en las cordilleras españolas. Programa ERHIN. Años 2000/01 - 2001/02 - 2002/03" por el MMA</p>	
		<p>Publicación del libro "La nieve en las cordilleras españolas. Programa ERHIN. Años 2003/04 - 2004/05" por el MMA</p>	
		<p>Asistencia al XXII Congreso Internacional de Grandes Presas. Barcelona. Ponencia "The ERHIN Programme and Reservoir management in areas of high nival precipitation"</p>	
		<p>Asistencia al III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. 25-27 octubre de 2006. Zaragoza. Ponencia "Gestión y previsión de los recursos hídricos almacenados en forma de nieve en las cordilleras españolas"</p>	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
2007	DGA	Campaña de medición nival (Pirineo)	
		Campaña de campo para la calibración de los telenivómetros del Pirineo	
		Instalación de un telenivómetro en la cabecera del Duero-Ebro (Valdecebollas)	
		Medida del balance de masa en el glaciar de La Maladeta	
		Reinstalación de 4 balizas de ablación en el glaciar de La Maladeta	
		Reconocimiento del estado de las pértigas	
		Propuesta de instalación de pértigas en el Sistema Central	

Año	Organismo	Trabajos realizados	
2007	DGA	Propuesta de instalación de telenivómetros en la cordillera Cantábrica, Sistema Central (Duero) y Sierra Nevada	
		Desarrollo de una Base de Datos con toda la información de las mediciones ERHIN (nivales y glaciológicas)	
		Desarrollo de un SIG-Nieves con toda la información gráfica y posterior enlace con la Base de Datos anterior	

ANEXO II

CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DE
LOS DISTINTOS APARATOS GLACIARES DEL
PIRINEO ESPAÑOL

ANEXO II. CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DE LOS DISTINTOS APARATOS GLACIARES DEL PIRINEO ESPAÑOL

EMPLAZAMIENTO DE LOS MACIZOS GLACIARES DEL PIRINEO ESPAÑOL

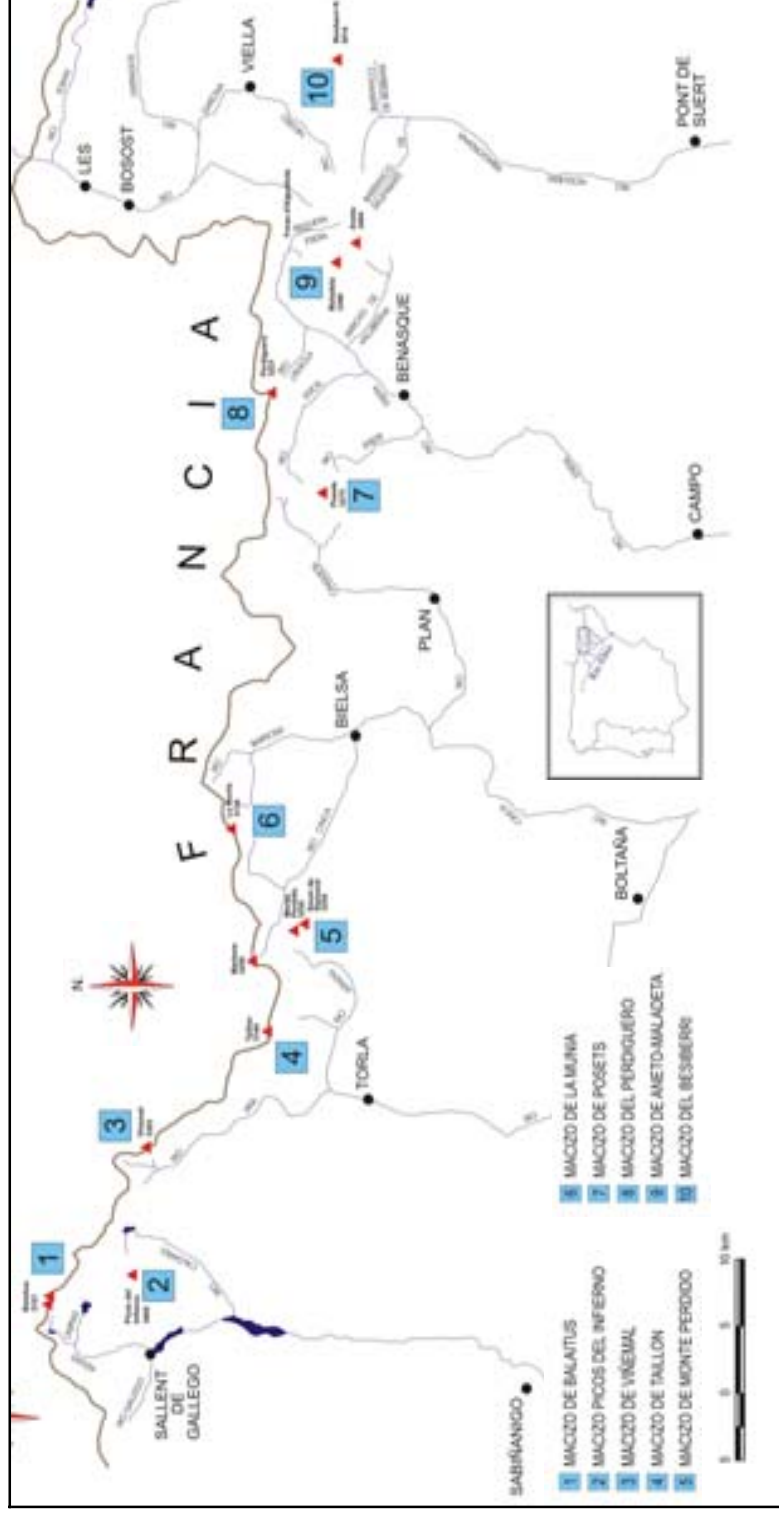


TABLA DE CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS GLACIARES

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	1982					1993					2002					2007				
					Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m) máx. min.	Longitud (m)	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m) máx. min.	Longitud (m)	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m) máx. min.	Longitud (m)	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m) máx. min.	Longitud (m)				
MACIZO 1: BALAITUS																								
1.1	Las Frondellas	Gállego	30 TYN 213 462	NO	Glaciar	8	2900 2765	300	Helero	7	2900 2775	290	Extinto	-	-	-	Extinto	-	-	-				
1.2	Brecha Latour	Gállego	30 TYN 218 462	E	Glaciar	7	2950 2800	250	Helero	6	2940 2835	200	Extinto	-	-	-	Extinto	-	-	-				
1.3	Balaitus SE	Gállego	30 TYN 219 459	SE	Helero	3	2925 2800	130	Extinto	-	-	-	Extinto	-	-	-	Extinto	-	-	-				
MACIZO 2: INFIERNO																								
2.1.A	Infierno Occidental	Gállego	30 TYN 243 407	NE	Glaciar	14	2940 2680	525	Glaciar	10	2920 2700	480	Glaciar	8,5	2900 2720	410	Glaciar	6	2990 2730	270				
2.1.B	Infierno Occidental W	Gállego	30 TYN 240 409	NE	Helero	5	2940 2700	290	Helero	4	2920 2840	150	Extinto	-	-	-	Extinto	-	-	-				
2.2	Infierno Oriental	Gállego	30 TYN 246 405	NE	Glaciar	11	2950 2750	500	Glaciar	10	2920 2780	350	Helero	1,5	2900 2800	100	Helero	1	2940 2830	90				
2.3	Las Argualas	Gállego	30 TYN 235 393	NO	G.Rocoso	13	2725 2600	650	G.Rocoso	13	2725 2600	650	G.Rocoso	13	2725 2600	650	G.Rocoso	13	2725 2600	650				
2.4	Punta Zarra	Gállego	30 TYN 249 423	N	Helero	2	2880 2680	240	Helero	1	2870 2700	200	Helero	0,7	2860 2720	80	Helero	0,4	2810 2760	75				
MACIZO 3: VINEMAL																								
3.1	Clot de la Hount	Cinca	30 TYN 332 401	NO	Glaciar	8	3150 2950	350	Helero	6	3150 2950	300	Helero	2	3150 3000	150	Helero	1	3070 2970	120				
3.2.A y B	Tapóu-Monferrat	Cinca	30 TYN 342 388	SO	Glaciar	12	3010 2780	240	Helero	11	3010 2800	230	Extinto	-	-	-	Extinto	-	-	-				
MACIZO 4: TAILLÓN																								
4.1	Taillón	Cinca	30 TYN 418 309	SE	Glaciar	10	2960 2800	415	Helero	2	2950 2850	180	Extinto	-	-	-	Extinto	-	-	-				
MACIZO 5: PERDIDO																								
5.1	Marboré - Cilindro	Cinca	31 TBH 561 312	NE	Glaciar	35	2975 2680	150	Glaciar	25	2960 2710	100	Helero	8	2950 2760	80	Helero	6	3040 2700	210				
5.2.A	Perdido Superior	Cinca	31 TBH 571 296	NE	Glaciar	10	3175 2950	220	Glaciar	9	3170 3000	200	Glaciar	6	3160 3020	175	Glaciar	4	3230 3110	130				
5.2.B	Perdido Inferior	Cinca	31 TBH 572 299	NE	Glaciar	40	2950 2700	600	Glaciar	35	2930 2720	540	Glaciar	30	2910 2740	400	Glaciar	28	3090 2775	360				
5.3	Soum de Ramond SE	Cinca	31 TBH 580 287	SE	Helero	8	3120 2890	300	Extinto	-	-	-	Extinto	-	-	-	Extinto	-	-	-				
5.4	Soum de Ramond SW	Cinca	31 TBH 574 289	SO	Glaciar	14	3080 2940	300	Helero	5	3060 2980	50	Extinto	-	-	-	Extinto	-	-	-				
MACIZO 6: LA MUNIA																								
6.1	Robliñera	Cinca	31 TBH 658 319	NE	Glaciar	12	2790 2600	525	Helero	8	2790 2690	300	Extinto	-	-	-	Extinto	-	-	-				

Código	Nombre	Cuenca	Coord. UTM	Orient.	1982				1993				2002				2007							
					Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m) máx.	Cotas (m) mín.	Longitud (m)	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m) máx.	Cotas (m) mín.	Longitud (m)	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m) máx.	Cotas (m) mín.	Longitud (m)	Tipo aparato	Superficie (ha)	Cotas (m) máx.	Cotas (m) mín.	Longitud (m)
MACIZO 7: POSETS																								
7.1	Llardana	Cinca	31 TBH 895 255	NO	Glaciar	24	3100	2820	700	Glaciar	22	3090	2870	670	Glaciar	16	3080	2900	400	Glaciar	9	3100	2970	280
7.2	La Paul	Ésera	31 TBH 901 265	NE	Glaciar	13	3100	2940	300	Glaciar	12	3090	2950	260	Glaciar	8,5	3085	2960	200	Glaciar	6	3100	2940	390
7.3	Posets	Ésera	31 TBH 903 260	E	Glaciar	14	3160	3020	550	Glaciar	10	3145	3030	400	Helero	6,6	3130	3075	300	Helero	2	3160	3080	225
7.4	Los Gemelos	Ésera	31 TBH 904 270	NE	Glaciar Rocososo	8	-	-	280	Glaciar Rocososo	8	-	-	280	Glaciar Rocososo	8	-	-	280	Glaciar Rocososo	8	2990	2830	360
						59					52					39,1					25			
MACIZO 8: PERDIGUERO																								
8.1	Literola	Ésera	31 TBH 974 300	SO	Glaciar	10	2950	2830	450	Helero	4	2950	2880	150	Extinto	-	-	-	-	Extinto	-	-	-	-
8.2	Remuñe	Ésera	31 TBH 989 302	SO	S.D	-	-	-	-	Helero	5	2920	2840	120	Extinto	-	-	-	-	Extinto	-	-	-	-
						10					9													
MACIZO 9: ANETO-MALADETA																								
9.1	Alba	Ésera	31 TCH 055 255	NE	Glaciar	1,5	3025	2920	150	Glaciar	1	3025	2950	110	Extinto	-	-	-	-	Extinto	-	-	-	-
9.2 A y B*	Maladeta	Ésera	31 TCH 066 250	NE	Glaciar	75	3180	2720	1.100	Glaciar	65	3170	2775	920	Glaciar	43+8	3165	2820	780	Glaciar	28+5	3165	2850	770
9.3	Aneto	Ésera / Garona	31 TCH 075 236	NE	Glaciar	136	3280	2800	1.200	Glaciar	110	3280	2870	1100	Glaciar	81	3240	2950	820	Glaciar	64	3310	2950	680
9.4	Barrancs	Ésera / Garona	31 TCH 832 300	NE	Glaciar	18	3240	2870	750	Glaciar	17	3240	2900	550	Glaciar	16	3240	2960	380	Glaciar	8	3260	2960	500
9.5	Tempestades	Ésera / Garona	31 TCH 089 223	NE	Glaciar	35	3050	2780	500	Glaciar	30	3050	2840	400	Glaciar	11	3050	2920	300	Glaciar	10	3050	2930	280
9.6	Salencas	Ribagorzana	31 TCH 093 216	E	Glaciar	12	3140	2800	380	Helero	5	3140	2850	200	Extinto	-	-	-	-	Extinto	-	-	-	-
9.7 A y B	Cregüña	Ésera	31 TCH 064 236	SO	Glaciar	15	3020	2920	200	Helero	3	3000	2950	100	Extinto	-	-	-	-	Extinto	-	-	-	-
9.8	Coronas	Ésera	31 TCH 075 228	SO	Glaciar	15	3240	2990	490	Glaciar	8	3240	2990	400	Helero	3,5	3200	3050	180	Helero	1	3240	3150	120
9.9	Llosás	Ésera	31 TCH 080 223	SO	Glaciar	6	3140	3020	150	Extinto	-	-	-	-	Extinto	-	-	-	-	Extinto	-	-	-	-
9.10	La Tallada	Ribagorzana	31 TCH 138 210	N	S.D	-	-	-	-	Helero	10	-	-	300	Extinto	-	-	-	-	Extinto	-	-	-	-
						314					249					163					6			735
MACIZO 10: BESIBERRI																								
10.1	Besiberri	Ribagorzana	31 TCH 203 184	NO	S.D	-	-	-	-	Glaciar Rocososo	6	-	-	735	Glaciar Rocososo	6	-	-	735	Glaciar Rocososo	6	-	-	735

TABLA DE EVOLUCIÓN DE LOS TIPOS DE APARATOS GLACIARES POR MACIZOS

MACIZO	1982					1993					2002					2007					
	Glaciar	SD	G. Rocoso	helero	extinto	Glaciar	SD	G. Rocoso	helero	extinto	Glaciar	SD	G. Rocoso	helero	extinto	Glaciar	SD	G. Rocoso	helero	extinto	
Balaitus	2	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
Infierno	2	0	1	2	0	2	0	1	2	0	1	0	1	2	1	1	0	1	2	1	1
Vihemal	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1
Taillón	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Monte Perdido	4	0	0	1	0	3	0	0	1	1	2	0	0	1	2	2	0	0	1	1	2
La Munia	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Posets	3	0	1	0	0	3	0	1	0	0	2	0	1	1	0	2	0	1	1	1	0
Perdiguero	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
Aneto-Maladeta	9	1	0	0	0	6	0	0	3	1	4	0	0	1	5	4	0	0	1	1	5
Besiberri	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
TOTAL PIRINEO	25	3	2	4	0	14	0	3	14	3	9	0	3	6	16	9	0	3	6	16	16
Total					34					34					34						34