

# Geomorfología glaciar del valle del Ésera y macizo de Maladeta: del pasado al presente de los últimos glaciares

## *Glacial geomorphology of Ésera valley and Maladeta massif: from past to present of the last glaciers*

Ixeia Vidaller<sup>1</sup>, Ana Moreno<sup>1</sup>, Jesús Revuelto<sup>1</sup>, Eñaut Izagirre<sup>2</sup>, Penélope González-Sampériz<sup>1</sup>, Blas Valero-Garcés<sup>1</sup>, Juan Ignacio López-Moreno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IPE-CSIC), Zaragoza, [ixeia@ipe.csic.es](mailto:ixeia@ipe.csic.es), [amoreno@ipe.csic.es](mailto:amoreno@ipe.csic.es), [jrevuelto@ipe.csic.es](mailto:jrevuelto@ipe.csic.es), [pgonzal@ipe.csic.es](mailto:pgonzal@ipe.csic.es), [blas@ipe.csic.es](mailto:blas@ipe.csic.es), [nlopez@ipe.csic.es](mailto:nlopez@ipe.csic.es)

<sup>2</sup> Departamento de Geografía, Prehistoria y arqueología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Vitoria-Gasteiz, [enaut.izagirre@ehu.es](mailto:enaut.izagirre@ehu.es)

**Resumen:** El valle del Ésera se localiza en los Pirineos centrales, y en su cabecera se encuentra el macizo de Maladeta, que alberga algunos de los picos más altos de los Pirineos como el Aneto (3.404 m s.n.m.), y cuenta con la mayor concentración actual de glaciares del sur de Europa. Este valle está compuesto por rocas graníticas en las zonas más altas, y calizas y pizarras en las más bajas. En el paisaje domina el modelado glaciar, como depósitos de morrenas, superficies pulidas y bloques erráticos, marcando las diferentes fases glaciares del Pleistoceno.

El paleolago de Pllan d'Están, está ubicado a 1.840 m s.n.m. y su estudio ha proporcionado información continua sobre las variaciones climáticas y paleoambientales de los últimos 46.700 años. En su origen, era un lago proglaciar, y no fue hasta hace 35.000 años cuando se desconectó del glaciar y comenzó su fase glaciolacustre. Posteriormente, durante el Holoceno (últimos 11.700 años) funcionó como turbera. El contenido espora-polinico de la secuencia confirma esta evolución y muestra los cambios de paisaje vegetal del entorno desde su fase glaciolacustre.

A lo largo del valle se encuentran sucesivas morrenas que indican fases de estabilización glacial. La formada durante el periodo conocido como Oldest Dryas (entre hace 16.000 y 13.000 años), se localiza a 2.000 m s.n.m. y la del Younger Dryas (de hace unos 12.000 años), a 2.300-2.400 m s.n.m. La última expansión glacial se produjo durante la Pequeña Edad de Hielo (PEH), hace 200 años, y se reconoce en el paisaje con las morrenas más grandes, a 2.400-2.600 m s.n.m. En la actualidad, los glaciares están retrocediendo rápidamente, con una fusión acelerada por el calentamiento climático. Los glaciares de este valle han perdido en promedio más de 12 m de espesor en la última década, por lo que están en riesgo de desaparecer muy pronto. Su retroceso causa cambios en el paisaje, como el desarrollo de nuevos lagos o la formación de nuevos suelos y, por lo tanto, la generación de nuevos ecosistemas de alta montaña.

**Palabras clave:** geomorfología glaciar, paleoclima, cambio climático, Pirineos.

**Abstract:** The Ésera valley is located in the central Pyrenees, and at its headwaters is the Maladeta massif, which is home to some of the highest peaks in the Pyrenees, such as Aneto (3,404 m a.s.l.), and has the largest concentration of glaciers in southern Europe. The top of the valley is composed by granitic rocks, and limestone and slate in the lower areas. The landscape is dominated by glacial modelling, such as moraines, polished surfaces and erratic blocks, of the different glacial phases of the Pleistocene.

Pllan d'Están Palaeolake is located at 1,840 m a.s.l. and its study has provided continuous information on climatic and palaeoenvironmental variations over the last 46,700 years. It was originally a proglacial lake, and 35,000 years ago was disconnected from the glacier and began its glaciolacustrine phase. Subsequently, during the Holocene (last 11,700 years) it was a peat bog. The spore-pollinic content of the sequence confirms this evolution and shows the changes in the surrounding vegetation landscape since its glaciolacustrine phase.

Throughout the valley there are successive moraines indicating glacial stabilisation phases. The one formed during the Oldest Dryas (between 16,000 and 13,000 years ago) is located at 2,000 m a.s.l., and the Younger Dryas (around 12,000 years ago), at 2,300-2,400 m a.s.l. The last glacial expansion occurred during the Little Ice Age (LIA), 200 years ago, recognizable in the landscape with the largest and most continuous moraines at 2,400-2,600 m a.s.l.

Today, the glaciers are retreating rapidly, due to climate warming. The glaciers in this valley have lost on average more than 12 m in thickness in the last decade and are at risk of disappearing. Their retreat causes changes in the landscape, such as the development of new lakes or new soils and thus the generation of new high mountain ecosystems.

**Key words:** glacial geomorphology, paleoclimate, climate change, Pyrenees.

# Geomorfología glaciar del valle del Ésera y macizo de Maladeta: del pasado al presente de los últimos glaciares

Ixeia Vidaller<sup>1</sup>, Ana Moreno<sup>1</sup>, Jesús Revuelto<sup>1</sup>, Eñaut Izaguirre<sup>2</sup>, Penélope González-Sampériz<sup>1</sup>, Sergi Pla-Rabés<sup>3</sup>, Blas Valero-Garcés<sup>1</sup>, Juan Ignacio López-Moreno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IPE-CSIC), Zaragoza.

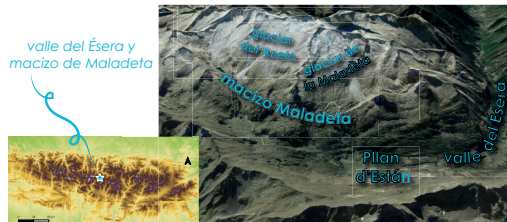
<sup>2</sup> Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Vitoria-Gasteiz.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Barcelona y Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF), Barcelona.

## Introducción

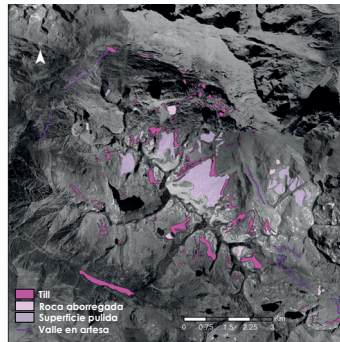
En la cabecera del **valle del Ésera** se encuentra el **macizo de Maladeta**, que alberga algunos de los picos más altos de los Pirineos como el Aneto (3.404 m s.n.m), y cuenta con la mayor concentración actual de glaciares del sur de Europa. El paisaje está marcado por el **modelado glaciar**, lo que ha permitido estudiar la **evolución climática** de la misma, desde el **Último Máximo Glaciar Pirenaico**, hace **60 ka**<sup>[1]</sup>. Aunque la escasez de registros glaciares bien datados impide evaluar con precisión la cronología de las etapas de deglaciación e identificar la respuesta de los glaciares del pasado en los Pirineos a los conocidos cambios climáticos rápidos del hemisferio norte. Esta información se complementa con el **registro lacustre** del paleólogo de **Pilan d'Están**, que caracteriza los cambios climáticos y ambientales e los últimos **46.7 ka**<sup>[2]</sup>.

## Localización



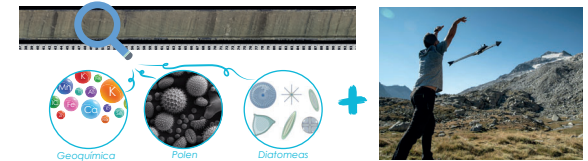
El **granito** es la litología dominante, solo en el **fondo del valle**, afloran **calizas** y pizarras. Las calizas han quedado afectadas por **procesos kársticos** posteriores a la retirada del glaciar, por lo que el **modelado glaciar** se ha conservado sobretudo en las zonas donde aflora el **granito**, distinguiéndose con claridad superficies pulidas, rocas aborregadas y valles en artesa.

## Geomorfología



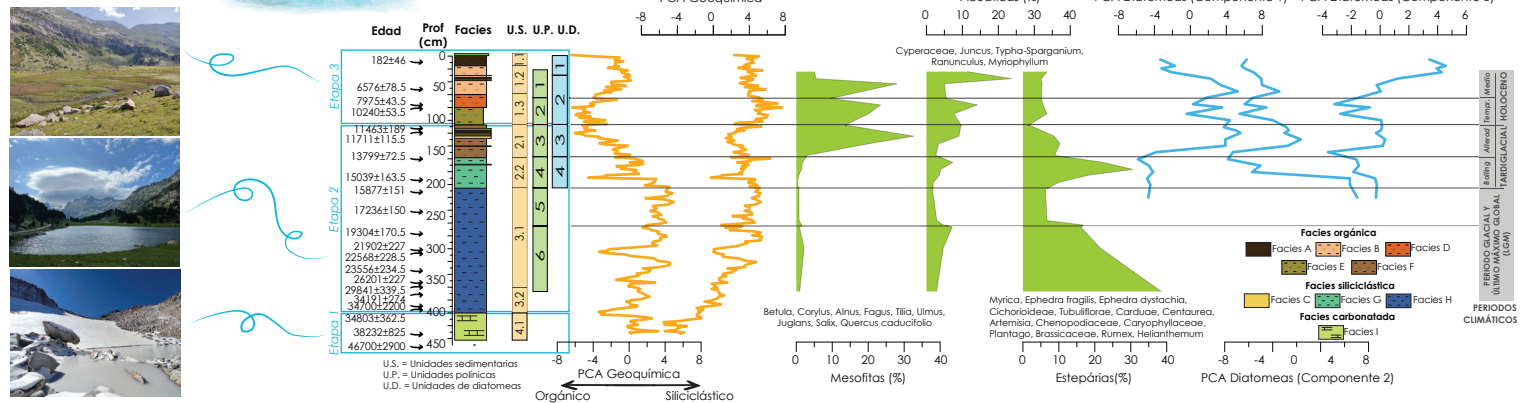
## Metodología

El **registro continuo** de sedimento obtenido en los lagos nos permite analizar el **paleoclima** de la región. En este caso, gracias a la combinación de datos **sedimentológicos**, **geoquímicos**, **polen** y **diatomeas**, datados con **<sup>14</sup>C** y **OSL**, de un sondeo de 4.4 m del paleolago de **Pilan d'Están**.



La monitorización de la **dinámica actual** de los glaciares del macizo de Maladeta se lleva a cabo mediante vuelos de **drón** anuales, siempre al finalizar la época de fusión (septiembre). Se comparan los vuelos año a año para determinar las **pérdidas superficie** y **espesor** de los glaciares.

## Paleoclima



### Etapa 1: lago proglacial y subglacial (46.7 - 34 ka)

La sedimentación lacustre en Pilan d'Están comenzó hace 46.7 ka. El contenido en **materia orgánica** de estos primeros sedimentos era **muy bajo**, y no se conservan indicadores biológicos.

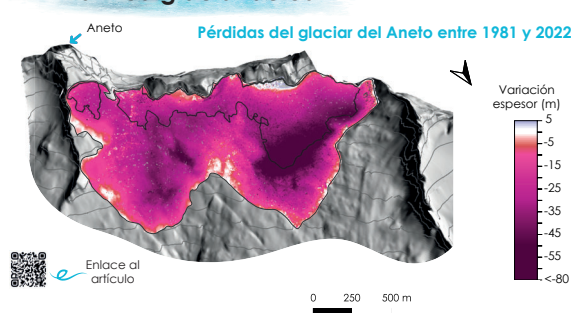
### Etapa 2: lago poco profundo (34-11.7 ka)

Al principio, entre **34 y 14 ka**, el clima era **frío**, como indica la dominancia de polen de **herbáceas esteparias**. Posteriormente, entre **14 y 11.7 ka**, la **temperatura se incrementó** permitiendo el desarrollo de las especies **arbóreas** y **diatomeas**, lo que también se tradujo en un incremento de la **materia orgánica**, aún así prevalecieron las **condiciones áridas**.

### Etapa 3: turbera (11.7ka - actualidad)

Durante el **Holoceno** se desarrolló una turbera, en la que pudieron extenderse las **especies higró-hidrófitas** y **diatomeas**, aumentando considerablemente la **materia orgánica** del sedimento.

## Dinámica glaciar actual

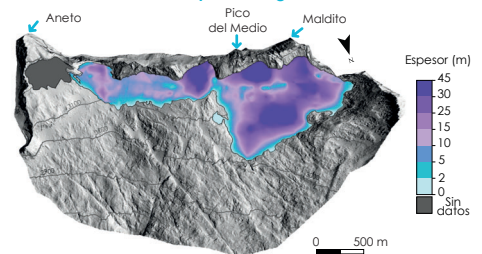


Desde la Pequeña Edad de Hielo (PEH), los glaciares del macizo de Maladeta han retrocedido un **89.3%** (610-65.4 ha)<sup>[3][4]</sup>.

En concreto, el **glaciar del Aneto**, en el periodo **1981-2022**, ha perdido el **64.7%** de su **superficie** y una media de **30.5 m** de **espesor de hielo**<sup>[5]</sup>. Estas pérdidas se han visto incrementadas en las últimas décadas, y especialmente en los últimos años, siendo el año **2022** cuando se ha **cuadruplicado** la media de **pérdida de espesor** de los últimos 40 años.

Actualmente, el **espesor medio** de hielo de este glaciar en **2020**, es de **11.9 m**<sup>[5]</sup>, lo que demuestra su situación crítica, al igual que el resto de los glaciares pirenaicos.

### Espesor del glaciar del Aneto en 2020



## Una mirada al futuro

Con el retroceso de los glaciares se generan nuevos ecosistemas y nuevos paisajes. La retirada del hielo, deja al descubierto **nuevos ibones**, como el **Innominado**, originado hace 7-8 años, en el frente del Glaciar del Aneto.



## Conclusiones

- En los **Pirineos** se produjo una **deglaciación temprana**, aunque hubo avances posteriores del hielo.
- El **Último Máximo Glaciar (LGM)** en el Pirineo fue **frío**, pero **árido**, lo que **impidió** un **avance glaciar importante** como en Europa.
- El periodo **Bølling** fue **árido** y **templado**, mientras que el **máximo de temperatura y humedad** se alcanzó en el **Allerød**, patrón inverso al registrado en Europa<sup>[6]</sup>.
- Desde la **PEH**, los glaciares han **retrocedido continuamente** y están a punto de desaparecer.

<sup>[1]</sup> Lewis et al. (2009): <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.01.001>  
<sup>[2]</sup> Vidaller et al. (en prep.)  
<sup>[3]</sup> Rico et al. (2017): <http://dx.doi.org/10.3989/Pirineos.2017.172004>  
<sup>[4]</sup> Rico et al. (en prep.)  
<sup>[5]</sup> Vidaller et al. (2013): <https://doi.org/10.5194/tc-2022-261>  
<sup>[6]</sup> Moreno et al. (2014): <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.06.030>

