

# 2017: El año del gran retroceso del glaciar de Monte Perdido (Pirineo Aragonés)

ESTEBAN ALONSO-GONZÁLEZ<sup>1</sup>  
JESUS REVUELTO BENEDI<sup>2</sup>  
IBAI RICO LOZANO<sup>3</sup>  
JUAN IGNACIO LÓPEZ MORENO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC.

<sup>2</sup> Centre D'etudes de la Neige. Météofrance.

<sup>3</sup> Dept. Geografía. Universidad del País Vasco

El Pirineo alberga algunos de los glaciares más meridionales de Europa, y éstos han mostrado un retroceso casi continuado desde el final de la Pequeña Edad del Hielo (PEH) a mediados del siglo XIX. Este retroceso que se ha observado en la gran mayoría de las montañas del planeta, se ha visto acelerado desde comienzos de los años 80 (Marshall, 2014). En el Pirineo los glaciares han pasado de cubrir unas 2000 hectáreas en 1850, a 806.5 ha a comienzos de los 80s, y a tan solo 310.33 ha en 2008 (Rico-Lozano et al., 2017). Lejos de estabilizarse en su retroceso, la última actualización del año 2016, indica que la actual superficie glaciada se limita a 242 ha y en algunos de los glaciares más representativos de la cordillera se han identificado claros signos de degradación acelerada, como colapsos en algunos sectores, aparición de afloramientos rocosos, división de masas de hielo dejando al cuerpo principal del glaciar desconectado de las zonas principales de

acumulación (como ha sucedido este año en el glaciar del Aneto), o claros signos de pérdida de movimiento y un progresivo cubrimiento del hielo por material detrítico.

El glaciar de Monte Perdido (Fig. 1), es el tercero en superficie de la Cordillera (37.8 ha) y el que más se ha estudiado en los últimos años gracias a distintos proyectos llevados a cabo por el Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC) en colaboración con otras universidades e instituciones de investigación. En concreto, desde el año 2011, se vienen hacien-

do campañas periódicas a finales de septiembre en las que mediante la técnica de láser escáner terrestre (Revuelto et al., 2014) se obtienen topografías de alta resolución de la superficie helada. Comparando las topografías entre años consecutivos es posible cuantificar con mucha precisión los cambios ocurridos en el volumen del glaciar. Desde el año 2014 también se realizan las mismas mediciones a finales de abril, pudiéndose cuantificar la acumulación de nieve de cada año. Además, en los últimos años se han aplicado



Fig. 1. El glaciar de Monte Perdido en septiembre de 2011.

diversas técnicas geomáticas como GPR (Ground Penetrating Radar) y GBSAR (ground-based SAR interferometry), para estimar el espesor de hielo existente y la velocidad de su movimiento respectivamente.

Los resultados obtenidos durante el periodo 2011-2016 (López-Moreno et al., 2016) mostraron que, desde 2011, el glaciar de Monte Perdido perdía 60 centímetros de espesor de media, una cifra que esconde una elevada variabilidad temporal y espacial. Así, en los cinco años de análisis, hubo dos años en los que se perdieron 1.8 (2011-2012) y 1.7 (2014-2015) metros; mientras que los años 2012-13 y 2013-14, que registraron una innivación muy elevada y veranos frescos, el glaciar permaneció prácticamente estable, o incluso registró ligeros incrementos. A la variabilidad temporal hay que sumarle la espacial. De los 4.3 metros de espesor de hielo que perdió el glaciar de media durante el periodo 2011-2016, se registraron pérdidas de más de 10 metros de espesor en algunos sectores mientras que otras zonas apenas habían sufrido cambios. Esta variabilidad coincide con las mediciones de velocidad de hielo mediante la técnica GBSAR, siendo la zona en la

que menos hielo se ha perdido en los últimos años la que más movimiento registraba (hasta cuatro centímetros diarios), mientras que en el sector donde más hielo se ha perdido, apenas se pudo medir movimiento. Las campañas de GPR han resultado muy problemáticas por lo inclinado de la superficie de hielo y del lecho rocoso (hasta 50° de inclinación) y la gran cantidad de agua circulante por la superficie y el interior de la masa helada. A pesar de ello se han podido identificar sectores con un espesor mínimo de 30 metros de hielo, que pueden llegar puntualmente a los 50 metros en las zonas más favorables.

### Medición del glaciar mediante láser escáner terrestre

La tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging) ha experimentado un gran desarrollo en los últimos años en distintos campos de investigación. Ejemplo de este avance son los láseres escáner terrestres (TLS; Terrestrial Laser Scanner) con tecnología tiempo de vuelo para la adquisición de puntos remotos del terreno, que permiten obtener modelos digitales del terreno (MDT). La posibilidad de adquisición de información tridimensional, la elevada

velocidad en la adquisición de puntos, así como la elevada resolución espacial y su precisión han sido claves para un reciente aumento de sus aplicaciones. Así, son numerosos los estudios en el campo de la geomorfología que muestran la utilidad de estas técnicas LIDAR para analizar diversos procesos dinámicos, como muestran recientes trabajos en caídas de bloques, deslizamientos de laderas, dinámica fluvial o procesos de degradación de suelos, entre otros (Telling et al., 2017). Así mismo, parte de la versatilidad de los TLS reside en la posibilidad de medición en zonas de montaña de difícil acceso gracias al largo alcance de algunos dispositivos, quedando reflejado en investigaciones de monitorización de glaciares y dinámica del manto de nieve en ambientes de montaña (Bhardwaj, 2016).

Actualmente existen numerosos modelos de láser escáner con un amplio espectro de tecnologías de trabajo para distintas aplicaciones, diferenciándose a efectos prácticos por su velocidad de muestreo, distancia de medición y por la longitud de onda con la que trabajan. En la presente investigación se ha utilizado el modelo LPM- 321 de RIEGL

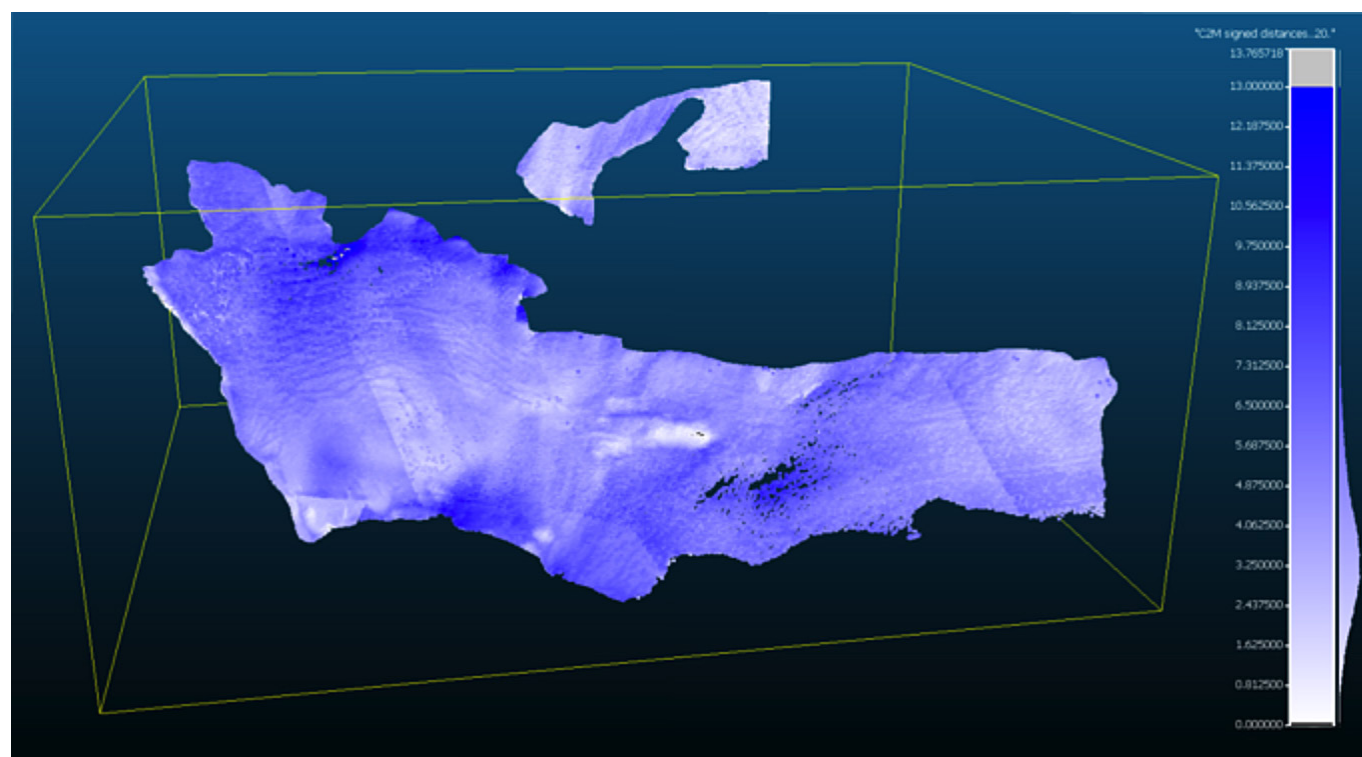


Fig. 2. Acumulación de nieve medida durante invierno y primavera de 2017. Se recomienda consultar la versión digital.

que emplea la tecnología de tiempo de vuelo para determinar la distancia de los distintos puntos de la zona de escaneo y obtener la nube de puntos tridimensional del área deseada. Las especificaciones técnicas de este modelo son las óptimas para el propósito con el que se ha empleado: la distancia máxima a la que puede trabajar es de 6 kilómetros, con una resolución angular límite de  $0.018^\circ$  y frecuencias de muestreo de entre 10 y 1000 Hz. Además, la longitud de onda en la que trabaja es 905 nm, que resulta ideal para no ser absorbida por la superficie del hielo o de la nieve (Revuelto et al., 2013), habiéndose detectado problemas de pérdida de señal únicamente por un elevado ángulo de incidencia entre el haz de luz láser emitida por el dispositivo y la superficie escaneada en distancias superiores a 1500 m o por condiciones meteorológicas adversas.

### Resultados de las campañas del año 2017

El 30 de abril de 2017 se realizó una campaña de medición del manto de nieve acumulado durante el invierno-primavera 2017. La figura 2 muestra el mapa de acumulación, en la que se puede observar una distribución muy desigual del manto de nieve. Así, aparecen zonas con hielo al descubierto, a pesar de lo temprano de la primavera, mientras que otras zonas muestran espesores que llegan a superar los diez metros de espesor. El espesor medio sobre el glaciar es de 3.3 metros, que resulta una cantidad bastante similar a la registrada en 2014 y 2015 (3.4 y 3.1 metros respectivamente) e inferior a los 4.4 metros medidos en 2016.

A pesar de registrar una acumulación de nieve similar a la de años anteriores, cabe destacar que durante el mes de mayo y junio no se

produjeron precipitaciones de nieve significativas. Este hecho desencadena una transformación muy rápida del manto de nieve y un descenso en su reflectividad (albedo), siendo la radiación solar mucho más efectiva para incrementar las tasas de fusión. Además, se registró una temperatura media en la base del glaciar de  $7.1^\circ\text{C}$  para el periodo mayo-septiembre, valor muy similar al registrado en 2015 ( $7.3^\circ\text{C}$ ) que fue considerado uno de los tres veranos más cálidos de los últimos 30 años.

La figura 3 muestra el cambio en la altura de la superficie del glaciar entre finales de septiembre de 2016 y el 2 de octubre de 2017. Durante el último año, el glaciar ha sufrido pérdidas generalizadas en toda su superficie, con un descenso medio de espesor de 2.3 metros, siendo la mayor disminución observada desde el año 2011. Además cabe destacar que el afloramiento rocoso de la parte central del glaciar ha crecido de forma muy notable en el último año, y que existen zonas con pérdidas superiores a los cinco metros que corresponden con diversos colapsos que se han producido en distintos puntos del glaciar, dejando en evidencia la existencia de numerosas cavidades en el interior del hielo que pueden llevar a un deterioro de la superficie de hielo más rápido de lo que se podía esperar. Además, la fotografía de la figura 3 muestra que una parte muy importante de la superficie del glaciar se encuentra cubierta por un manto de derrubios, que puede representar una fuente importante de energía cuando los bloques se calientan durante las horas centrales del día.

La figura 4 muestra el cambio de altura de la superficie de hielo entre el año 2011 y el 2017. La incorporación de este último año al cómputo total desde 2011 ha supuesto que la pérdida media de espesor aumente de los 60 cm a los 140 cm anuales. Además, ya no hay zonas que se puedan considerar estables desde el inicio de la monitorización, registrándose pérdidas de hielo en la totalidad del glaciar. El sector occidental y el glaciar superior resultan las zonas más afectadas, con pérdidas genera-

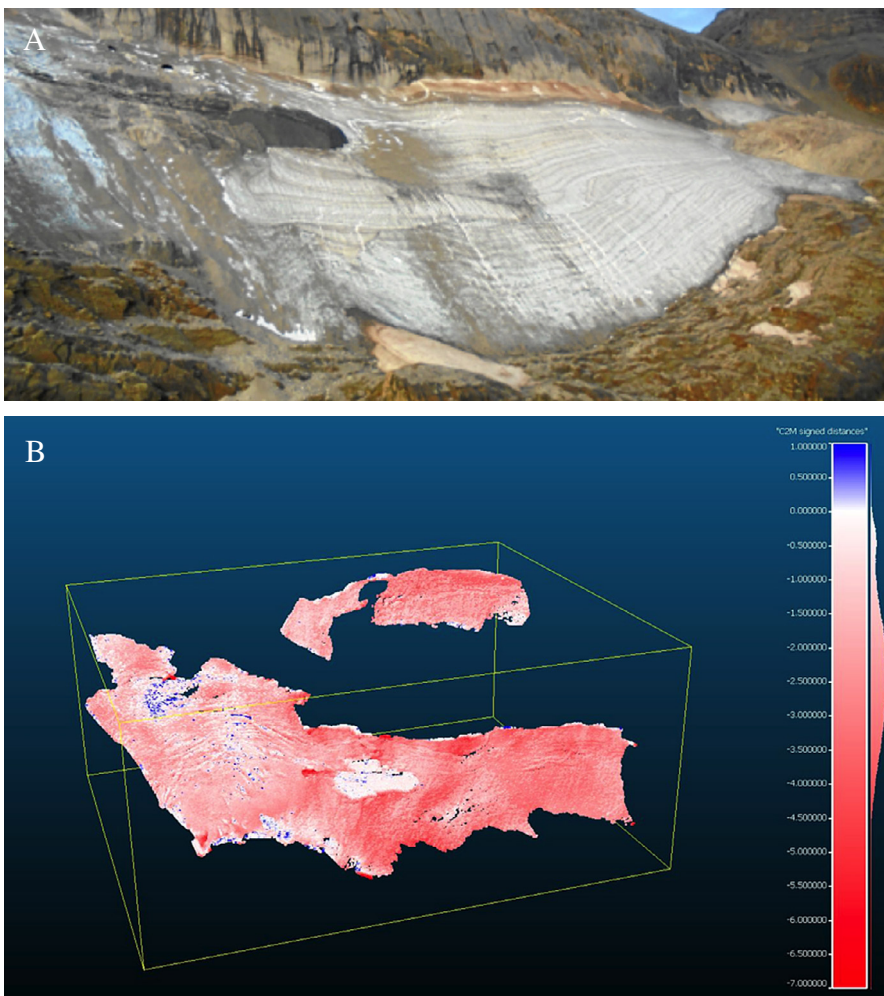


Fig. 3. A. Fotografía de detalle del estado actual (2 de octubre de 2017) del sector central-occidental del Glaciar de Monte Perdido. B. Disminución del espesor de hielo en el glaciar desde finales de septiembre de 2016 hasta el 2 de octubre de 2017. Se recomienda consultar la versión digital.

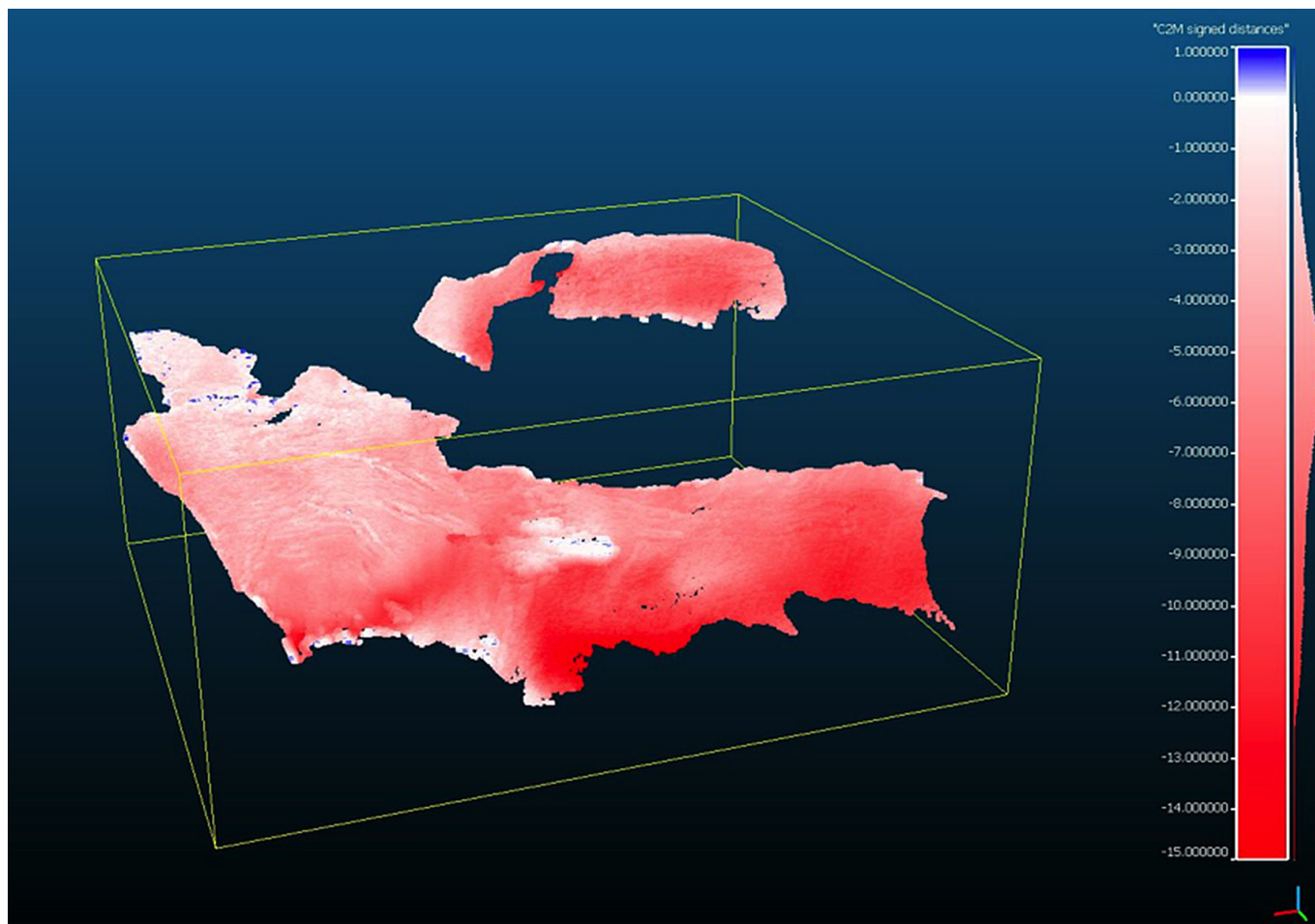


Fig. 4. Cambio en la altura de la superficie del hielo entre el 21 de septiembre de 2011 y el 2 de octubre de 2017. Se recomienda consultar la versión digital.

lizadas que superan los 10 metros, alcanzándose los 15 metros de pérdida de hielo en algunos puntos.

### Conclusiones

El año 2017 ha registrado la mayor pérdida de hielo en el glaciar de Monte Perdido desde el año 2011. Dicha pérdida se ha producido a pesar de registrar una acumulación de nieve similar a años anteriores, y con temperaturas de verano cálidas, pero aun ligeramente inferiores a las del año 2015. Probablemente la ausencia de precipitaciones en forma de nieve durante la segunda mitad de la primavera y el progresivo cubrimiento de derrubios ha supuesto un aporte suplementario de energía respecto a años anteriores. Además, se han observado numerosos colapsos y oquedades dentro del glaciar que pueden estar llevando a una situación de degradación acelerada. La evolución de las pérdidas de hielo durante los últimos seis años, sugiere que el sector

más occidental se encuentra en claro peligro de desaparición, mientras el sector más oriental parece más estable, y podría persistir durante un periodo de tiempo más prolongado

aunque con una extensión muy reducida y con un dinamismo muy inferior al que muestra en la actualidad. ●

### Bibliografía

- Bhardwaj A, Sam L, Bhardwaj A y Martín-Torres FJ. (2016). LiDAR remote sensing of the cryosphere: Present applications and future prospects. *Remote Sensing of Environment*, 177, 125-143.
- López-Moreno, J. I., Revuelto, J., Rico, I., Chueca-Cía, J., Julián, A., Serreta, A., Serrano, E., Vicente-Serrano, S. M., Azorín-Molina, C., Alonso-González, E. y García-Ruiz, J.M. (2016). Thinning of the Monte Perdido Glacier in the Spanish Pyrenees since 1981. *The Cryosphere*, 10, 681-694.
- Marshall, S. (2014). Glacier retreat crosses a line. *Science*, 345 (6199), 872.
- Revuelto, J., López-Moreno, J.I., Azorín-Molina, C., Arguedas, G., Vicente-Serrano, S.M. y Serreta, A. (2013). Application of terrestrial laser scanner techniques for monitoring dynamic geomorphological processes: snow accumulation and ice masses in mountain areas. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 39 (2), 335-357.
- Rico, I., Izaguirre, E., Cañadas-Serrano, E. y López-Moreno, J.I. (2017). Current glacier area in the Pyrenees: An updated assessment 2016. *Pirineos*, 172, e09.
- Telling, J., Lyda, A., Hartzell, P. y Glennie, C. (2017). Review of Earth science research using terrestrial laser scanning. *Earth Science reviews*, 169, 35-68.