

Los glaciares: un recurso educativo dentro y fuera del aula

Glaciers: an indoor and outdoor educative resource

ÁNCHEL BELMONTE RIBAS

Geoparque Mundial de la UNESCO Sobrarbe-Pirineos. Avda. de Ordesa nº79, 22340 Boltaña (Huesca).
E-mail: anchelbr@unizar.es

Resumen Los glaciares son uno de los agentes geológicos externos más espectaculares y con una mayor capacidad morfogenética. Durante las fases frías cuaternarias ocuparon grandes extensiones de la superficie terrestre, pero incluso en las fases interglaciares son parte esencial del paisaje de varias regiones del planeta. La enorme diversidad de geoformas tanto erosivas como deposicionales, la utilidad de los depósitos sedimentarios en reconstrucciones paleoclimáticas y el valor como geoindicadores del cambio climático, entre otras características, invitan a profundizar en su estudio dentro de la Enseñanza Secundaria. El análisis del retroceso glaciar, de los mecanismos de erosión y la observación directa de glaciares y sus morfologías son algunas opciones fáciles de llevar a la práctica tanto dentro como fuera de los centros educativos.

Palabras clave: Cambio climático, Cuaternario, geomorfología, glaciares, recurso didáctico.

Abstract *Glaciers are among the most impressive external geological agents, with a great morphogenetic capacity. During the Quaternary cold phases, glaciers extended over large areas of the Earth's surface. A wide diversity of geoforms, both erosional and depositional, the usefulness of sedimentary deposits in palaeoclimatic reconstructions and their value as climate change geoindicators, among other characteristics, provide good reasons to study them in depth in secondary school. Analysis of Glacier retreat and glacial erosion mechanisms, as well as direct observation of glaciers and their morphologies are some easy options to put into practice both inside the school and outdoors.*

Keywords: Climate change, Quaternary, geomorphology, glaciers, education resource.

INTRODUCCIÓN

En términos climáticos, el Cuaternario se caracteriza por un enfriamiento general (Andersen y Borns, 1997). Durante los últimos dos millones de años se han alternado fases frías y más cálidas, variando notablemente los procesos morfogenéticos que han actuado preferentemente en cada una de esas fases. Los procesos glaciares son, sin duda, uno de los más característicos de este periodo de la historia de la Tierra.

Incluso en una fase interglacial como la actual, el hielo glaciar cubre aproximadamente el 10% de la superficie terrestre. De los 15,8 billones de km² de hielo, el 85% se sitúa en la Antártida y el 11% en Groenlandia estando el resto distribuido principalmente por las grandes cordilleras del planeta (Anderson, 2013). Pese a la menor importancia cuantitativa de los glaciares de montaña, sus efectos sobre el relieve son espectaculares y relativamente

accesibles en comparación con aquellos que acontecen en los casquetes polares.

En la península ibérica, las fases frías ocasionaron la formación de glaciares en los principales sistemas montañosos. Sus huellas se reparten desigualmente en calidad y cantidad, pero en su conjunto constituyen un recurso educativo de primer orden para ser utilizado en la Enseñanza Secundaria desde muy distintos puntos de vista. Con diferentes grados de detalle, los glaciares aparecen explícitamente en el currículo oficial en las asignaturas de Biología y Geología de 1º y 3º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO), así como en Geología y Ciencias de la Tierra y del Medioambiente de 2º de Bachillerato.

A lo largo del presente trabajo se pretende explorar las opciones que los glaciares en general, y sus huellas en particular, plantean para trabajar en ESO y Bachillerato, tanto dentro del aula como fuera de ella, con algunas propuestas concretas.

LOS GLACIARES COMO AGENTES GEOLÓGICOS EXTERNOS

La capacidad morfogenética de los glaciares es enorme. Grandes extensiones de la Tierra, libres hoy de ellos, muestran sin embargo huellas nítidas en el paisaje del paso de estas masas de hielo en movimiento. Sin ánimo de exhaustividad, se realizará un breve repaso a los rasgos más conspicuos de la actividad glaciar y su impronta en el relieve. Para una información más detallada, se remite tanto a trabajos aparecidos en esta misma revista (por ejemplo Rumbal, 2005) como a cualquiera de los manuales de referencia sobre el tema (entre otros Hambrey, 1994; Bennet y Glasser, 2009), manuales de geomorfología en general (Pedraza, 1996) o libros más sencillos pero igualmente rigurosos (Anderson, 2013).

Procesos y formas de erosión glaciar

Los glaciares erosionan fundamentalmente mediante dos procesos: abrasión y arranque, siendo eficaces tanto en rocas homogéneas como en aquellas que presentan discontinuidades. Adicionalmente, actúan mecanismos no glaciares como los debidos a las aguas de fusión o los procesos periglaciares sobre paredes de valles y círcos que han sido verticalizados por la erosión glaciar (Hambrey, 1994).

La abrasión produce sobre el sustrato su rayado y desgaste dando lugar a superficies pulidas y estriadas (Fig. 1). El arranque favorece la eliminación de fragmentos grandes del sustrato, implicando tanto la fractura de la roca bajo el hielo como el arrastre de la roca fracturada (Bennet y Glasser, 2009).

La diversidad de morfológias es elevada, tanto en tipos como en dimensiones (Tabla I), siendo algunas de las más llamativas y fácilmente identificables los círcos glaciares y los valles en artesa (Fig. 2).

Procesos y formas de sedimentación glaciar

De una menor impronta en el paisaje, los sedimentos glaciares permiten sin embargo obtener un gran caudal de información paleoambiental. Suelen

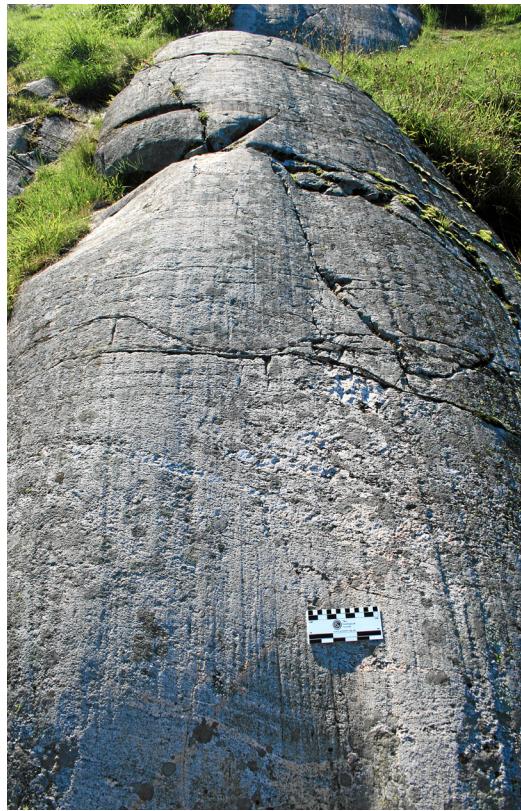


Fig. 1. Superficies pulidas y estriadas por abrasión glaciar (Geoparque mundial de la UNESCO Gea Norwegica, Noruega).

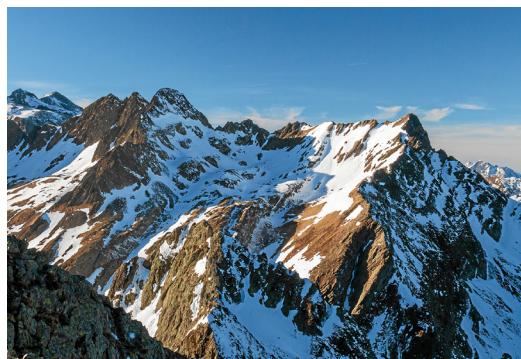


Fig. 2. Circo glaciar en el valle de Benasque (Pirineo oscense).

MORFOLOGÍA	PROCESO DOMINANTE	TIPO DE RELIEVE	ESCALA				
			<1M	1-10M	10-100M	100-1000M	>1000M
Artesas	Abrasión	Lineal					
Estrías							
Superficies pulidas							
Collados de difluencia							
Círcos y cubetas	Abrasión y arranque	Parcialmente lineal					
Umbrales							
Rocas aborregadas							
Fracturas lunadas	Fractura por aplastamiento	No lineal					
Aristas	Erosión por hielo glaciar y periglaciar	Residual					
Nunataks							

Tabla I. Morfologías erosivas glaciares (modificado de Hambrey, 1994).



Fig. 3. Cordones morrénicos de la Pequeña Edad del Hielo (PEH) bajo el glaciar de Tres Serols o Monte Perdido (Geoparque mundial de la UNESCO Sobrarbe-Pirineos, Huesca).



Fig. 4. Grietas y seracs en el glaciar Eyjafjalla (Islandia). El material oscuro es ceniza proveniente del volcán sobre el que se desarrolla el glaciar.

concentrarse en las zonas medias e inferiores de los aparatos glaciares, dando lugar a acumulaciones caóticas y heterométricas de material denominadas till. Si el till adquiere forma de cordón, la morfología se denomina morrena. En función de la posición de ésta respecto a la lengua glaciar, se distinguen laterales, centrales, de fondo y frontales o terminales.

La acreción, la fusión o incluso la sublimación (en zonas polares) son algunos de los procesos que dan lugar a la pérdida de carga de sedimentos por el glaciar y, por tanto, al depósito de los mismos (Fig. 3).

No estrictamente glaciares, pero también ligados a su actividad, los procesos fluvioglaciares y glaciolacustres también generan depósitos de gran utilidad.

ANATOMÍA DE UN GLACIAR

Las morfologías de origen glaciar revisten un interés evidente. Sin embargo, no es menos el que tiene el estudio directo de las masas de hielo, que aunque algo más alejadas de la realidad actual de nuestra geografía, poseen una enorme capacidad de generar asombro y captar la atención del alumnado.

En un glaciar se distinguen dos zonas fundamentales: la de acumulación y la de ablación. La primera es donde la nieve se convierte en hielo, alimentando así el aparato glaciar. La segunda es la que registra una pérdida de masa, ya que el hielo queda expuesto a la insolación al perder la cubierta nival. Ambas zonas están separadas por una línea llamada línea de equilibrio glaciar (ELA, del inglés *equilibrium line altitude*), que indica la zona donde la temperatura media anual es de 0°C.

El balance de masa de un glaciar es la relación entre acumulación y ablación. Es una característica importante para diagnosticar si un aparato está en equilibrio o no con las condiciones ambientales de su entorno.

Una característica básica de los glaciares es su movimiento. El flujo de hielo y la adaptación de éste al sustrato generan tensiones traducidas en deformación dúctil y frágil. Las grietas y los seracs (Fig. 4) son signos externos de este movimiento, y permiten de manera sencilla distinguirlo de las masas de hielo muerto o heleros.

LOS GLACIARES COMO GEOINDICADORES

En el contexto climático actual, los glaciares se convierten en útiles geoindicadores por su sensibi-

lidad a los cambios ambientales. Esto es especialmente evidente en los pequeños aparatos del Pirineo español, los más meridionales de Europa, y que subsisten en el límite de la funcionalidad.

Los estudios sobre el balance de masa de los glaciares proporcionan información fiable sobre la relación entre los aparatos actuales y el clima. Pero también el cálculo de paleoELAs permite reconstruir la evolución del clima en zonas que estuvieron glaciadas en el pasado. Existe diverso métodos de cálculo de las paleoELAs. Se recomienda la lectura del trabajo de Serrano y González (2004), que incluye gran cantidad de información sobre las paleoELAs y su utilidad, además de su aplicación a un caso práctico en la montaña cantábrica.

Para calcular una paleoELA es esencial reconstruir las dimensiones de glaciares que ya no existen, lo que plantea pocas incertidumbres. Reconocer sobre el terreno el máximo de rasgos erosivos y deposicionales incrementa la precisión de las reconstrucciones y el valor de los datos paleoclimáticos inferidos a partir de la paleoELA.

La evolución en el tiempo, desde el máximo glaciar y a lo largo de diferentes fases de retroceso, de la altitud de la ELA permite conocer cómo ha ido ascendiendo la isoterma de 0°, si las precipitaciones invernales eran mayores que la fusión estival, etc.

PROUESTA DE ACTIVIDADES EDUCATIVAS SOBRE GLACIARES

En los epígrafes anteriores se ha mostrado, de manera sucinta, la diversidad de enfoques que los glaciares ofrecen. Las posibilidades de utilizarlos como recurso didáctico dentro del currículo oficial son múltiples. Se exponen a continuación algunas opciones fácilmente realizables.

Actividades para realizar en el centro Dentro del aula

Dentro del aula, y utilizando ordenadores con buena conexión a internet, pueden realizarse búsquedas de distintos **tipos de glaciares** mediante

Google Earth (Fig. 5). Algunas posibilidades se presentan en la tabla II. Una vez localizados, se pueden contrastar sus dimensiones, morfologías, orientaciones, altitudes, o buscar imágenes de ellos.

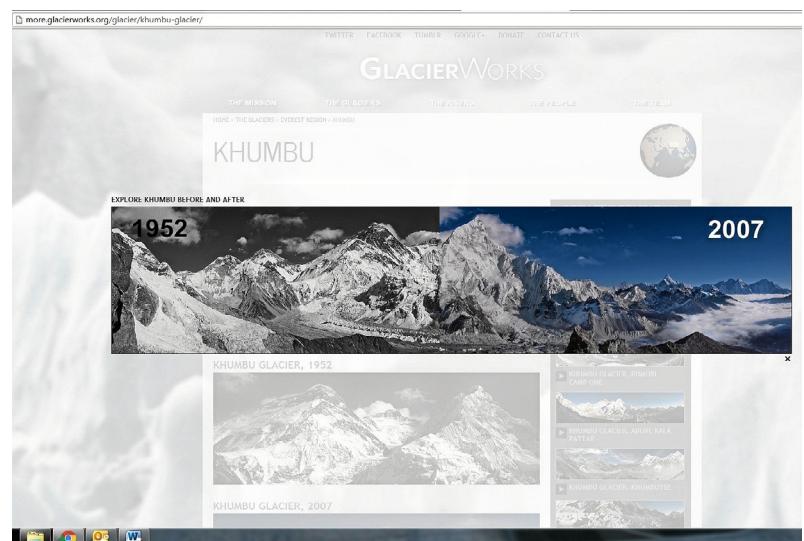
Igualmente, se pueden realizar aproximaciones a los **cálculos del balance de masa** de numerosos glaciares actuales. La página web del World Glaciers Monitoring Service (WGMS) ofrece un elevado caudal de información práctica sobre casi todos los glaciares del mundo y, de una selección de estos, información detallada sobre su balance de masa (wgms.ch/products_ref_glaciers). Existen datos descargables en ficheros Excel para trabajar sobre ellos, graficarlos, etc. La amplia distribución geográfica de los glaciares monitorizados da pie a proponer al alumnado la comparación del comportamiento de los glaciares por zonas, representar los datos sobre mapas y valorar si el comportamiento de los glaciares es homogéneo o no en las distintas cordilleras del mundo.

El retroceso de los glaciares en las últimas décadas es un fenómeno que evidencia el calentamiento global. Los documentos fotográficos son muy abundantes para glaciares de numerosas cordilleras. Existen distintas páginas web donde encontrar esta información pero hay tres muy destacadas. Una de ellas es la extraordinaria página suiza swisseduc.ch/glaciers, donde se encuentra un exhaustivo archivo fotográfico que, entre otras cordilleras, incluye al Pirineo. La página www.grid.unep.ch/glaciers/graphics.php, ofrece, entre otros materiales, información detallada sobre la evolución de varios glaciares, la cual permite analizar su retroceso reciente. Por último, la página more.glacierworks.org contiene imágenes espectaculares sobre los principales glaciares del entorno de algunos picos de más de 8.000 m del Himalaya. Entre otras posibilidades, hay montajes que, de forma muy sencilla, comparan el estado de estos grandes glaciares desde mediados del siglo pasado hasta la actualidad (Fig. 6).

Pese a sus escasas dimensiones, los **glaciares del Pirineo** merecen especial atención (Fig. 7). Actualmente, su labor como agentes morfogenéticos es casi inapreciable. Sin embargo, se trata de los glaciares más meridionales de Europa y sobreviven en una situación muy precaria, en claro desequilibrio con las características ambientales de su entorno, lo que los convierte en uno de los principales



Fig. 5. Glaciar del Lhotse, un glaciar cubierto o negro (imagen de Google Earth). Las lenguas aparecen cubiertas por una gruesa capa de derrumbes. Obsérvese también la presencia de numerosos lagos supraglaciares y un gran lago proglaciar.



geoindicadores del cambio climático en la montaña mediterránea. Todos ellos se encuentran en el Pirineo central, generalmente al abrigo de cumbres de más de tres mil metros y en orientaciones norte o noreste. Los situados en España, todos en la provincia de Huesca, están protegidos bajo la figura de Monumentos Naturales.

Fig. 6. Comparativa del glaciar del Khumbu entre 1952 y 2007 (en more.glacierworks.org).

TIPO DE GLACIAR	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	COORDENADAS
De circo	Glaciar de Lardana (Sobrarbe, Pirineo de Huesca)	42°39'16.31" 0°25'48.49"
Alpino (circo + lengua)	Aletsch (Alpes suizos)	46°29'22.51" 8°03'04.40"
Casquete	Antártida	75°50'27.93" 69°17'55.20"
Casquete y lengua	Skaftafell (Islandia)	64°04'01.69" 16°51'53.25"
Piedemonte	Malaspina (Alaska)	59°55'34.74" 140°.33'08.72"
Negros o cubiertos	Lhotse (Nepal)	27°54'47.85" 86°54'22.41"

Tabla II. Algunos tipos de glaciares y su localización para búsqueda con Google Earth.

Fig. 7. Glaciar de Tres Serols o Monte Perdido (Geoparque mundial de la UNESCO Sobrarbe-Pirineos, Huesca). Fotografía aérea tomada en 2016.



Fig. 8. Elementos necesarios para la simulación de la abrasión glaciar en laboratorio, hielo sin y con sedimentos.



Fig. 9. Resultados obtenidos al frotar el hielo con sedimentos contra una superficie de plástico. Se aprecian las estrías subparalelas entre sí y a la dirección de transporte, así como restos de sedimentos finos sobre la superficie estriada.



Los pirineistas del siglo XIX se vieron rápidamente atraídos por estas masas de hielo, aún impresionantes entonces tras la Pequeña Edad del Hielo (esto mismo ha ocurrido para el conjunto de las montañas españolas, como puede consultarse en el trabajo de González Trueba et al., 2005). Debido a este interés, existen documentos fotográficos precoces y un completo registro de la deglaciación. Los fondos de imágenes, dispersos, pueden encontrarse en distintas páginas de internet buscando autores franceses como Lucien Briet, Eugene Truttat, Alix o españoles como Juli Soler i Santaló o Ricardo Com-

pairé. En tiempos más recientes, Fernando Biarge es el fotógrafo de referencia, responsable de una publicación imprescindible (Biarge, 2002). Los cambios que se observan en estas imágenes son muy expresivos, y contemplan aspectos como la pérdida de espesor y extensión, el biselamiento de los frentes de hielo, la aparición de salideros de clastos o la desaparición de los perfiles convexos.

En la página swisseduc.ch/glaciers, existe una pestaña dedicada a los glaciares del Pirineo con fotografías que ilustran su evolución reciente. Estas imágenes se pueden complementar con una búsqueda en Google Earth de los aparatos existentes y, una vez localizados, realizar un estudio comparativo con datos como su altitud máxima y mínima, su orientación, entorno geográfico y geológico, relación con patrones climáticos actuales (procedencia y cantidad de las precipitaciones, vientos dominantes, etc.).

En el laboratorio

De manera muy sencilla, en el laboratorio escolar se puede hacer una aproximación a los **mecanismos de erosión glaciar por abrasión**. Es importante que los alumnos entiendan que los glaciares no están formados exclusivamente por hielo puro. Los glaciares transportan importantes volúmenes de sedimentos tanto por encima (transporte supraglacial), como por dentro (englacier) y por debajo (subglacial). La existencia de estos sedimentos en el ámbito subglacial es la responsable de la abrasión, ocasionando el pulimento y estriado de las rocas del sustrato.

Para realizar esta práctica, se necesitan vasos de plástico y algo de arena o grava. Se ponen a congelar unos vasos con agua sin más y otros con agua y sedimentos (Fig. 8). Una vez congelados, se retira el plástico y se frota enérgicamente el hielo contra una superficie, por ejemplo, de plástico duro. Conviene proteger la mano que sujetá el hielo con un trapo o similar. Los alumnos observarán que el bloque de hielo puro no provoca ningún efecto en la superficie mientras que el hielo con sedimentos genera estrías subparalelas (Fig. 9) a la dirección de avance del hielo.

Para fuera del aula

Centros de interpretación

En el Pirineo oscense existen dos **centros de interpretación** sobre los glaciares cuya visita merece la pena. El primero de ellos se encuentra en Eriste (Valle de Benasque, Parque Natural de Posets-Maladeta). En su interior existe una pequeña exposición con numerosas propuestas interactivas para conocer cuáles son los glaciares altoaragoneses, su distribución geográfica, características, evolución, estado actual y su valor como ecosistemas e indicadores del cambio climático (Fig. 10). Además de un interesante audiovisual, el valle de Benasque ofrece infinidad de itinerarios para configurar una jornada fuera del instituto dedicada a los glaciares.

El segundo centro se ubica en Senegüé, a escasos kilómetros al norte de Sabiñánigo. El centro se halla cerca de la morrena terminal de Senegüé, formada por el glaciar del Gállego hace unos 30.000 años BP, (es decir, *Before Present*) (Peña et al., 2004). La exposición aborda el fenómeno del glaciarismo pirenaico desde una perspectiva amplia, ahondando en las causas de las glaciaciones y su efecto en distintas partes del mundo. El discurso se centra paulatinamente en el último ciclo glaciar que ha afectado al Pirineo. En el entorno del centro, hay una serie de paneles y pequeños itinerarios a pie que pueden completar la visita.

Salidas de campo

También en lo que a los glaciares respecta, nada sustituye a la **experiencia directa**. Ver un glaciar, o al menos sus efectos en el paisaje, supone la mejor manera no solo de asimilar el conocimiento sino también de acompañarlo de una vivencia motivante y enriquecedora.

En nuestro país, la observación de glaciares no es una actividad sencilla. El más fácil de ver es el más grande: el del pico de Aneto (Valle de Benasque, Huesca). Una sencilla excursión es partir de la Besurta y alcanzar el Forau y Plan de Aigualluts. Dicho recorrido asciende unos 120 metros de desnivel y se realiza en tres horas (ida y vuelta). Desde el cercano ibón de Billamorta se divisa el glaciar de la Maladeta, para llegar al cual sólo se requieren unos 20 minutos de marcha. La época adecuada para ver los glaciares es tras el verano y antes de las primeras nieves (septiembre-octubre en años de innovación normal). A finales de primavera, aunque ambos lugares son accesibles, la nieve cubre los glaciares. Numerosas morfologías erosivas y deposicionales (Copons y Bordonau, 1997) son claramente apreciables a lo largo de estos dos breves itinerarios, permitiendo hilvanar un completo día de geología de montaña sin grandes esfuerzos físicos.



Fig. 10. Centro de Interpretación de los Monumentos Naturales de los Glaciares Pirenaicos en Eriste (Valle de Benasque, Huesca).

Es más sencillo, por su abundancia y posibilidad de recorrerlos durante todo el curso, buscar itinerarios que permitan apreciar morfologías erosivas y deposicionales de origen glaciar. En numerosas zonas de España resulta existen buenos itinerarios con fines didácticos (Gredos, Cantábrica y Pirineos principalmente). El Valle de Ordesa (Fig. 11) o el entorno del Balneario de Panticosa (Huesca) son algu-

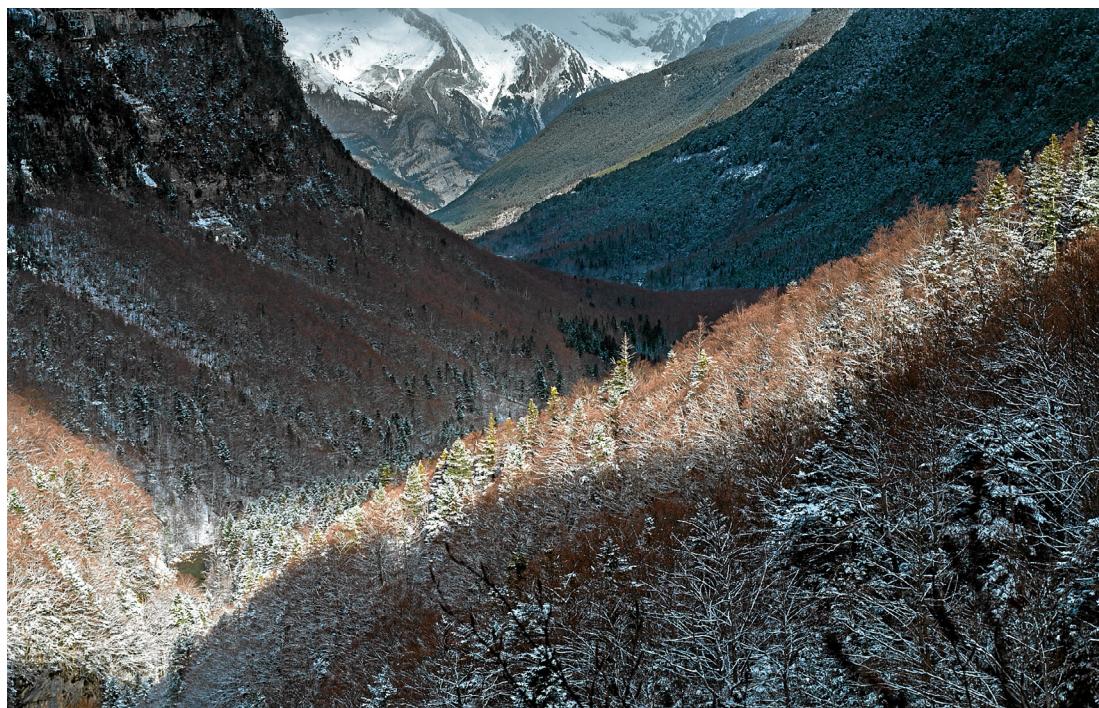


Fig. 11. Valle de Ordesa, con su clara morfología glaciar (Geoparque mundial de la UNESCO Sobrarbe-Pirineos, Huesca).

nas de las excursiones más clásicas en este sentido. Nuevamente, el otoño y el final de la primavera son los momentos más propicios para realizar estas actividades. Entre los itinerarios factibles con alumnos que permiten observar distintas morfologías glaciares en cualquier época del año, destaca la Geo Ruta 8 “Evidencias de la Edad del Hielo. Viu-Sorrosal”. Éste y otros materiales se pueden descargar en www.geoparquepirineos.com.

Los grandes glaciares más cercanos a nuestro país son los de los Alpes. Muchos de ellos son fácilmente observables e incluso visitables sin esfuerzo gracias a remontes mecánicos. El entorno de Chamonix (Francia) o el glaciar del Aletsch (Suiza) son dos ejemplos clásicos. En nuestros centros educativos se realizan viajes de estudios a países como Inglaterra o Italia con, a menudo, un trasfondo histórico-artístico. No es, por tanto, descabellado, proponer un viaje de estudios con un sesgo más científico al corazón de una de las más importantes cordilleras del mundo y de sus espectaculares glaciares.

CONCLUSIONES

Dado que los glaciares son unos agentes geológicos externos fundamentales para entender el relieve de amplias zonas de la superficie terrestre, ahondar en su estudio dentro de la enseñanza reglada es una propuesta oportuna.

Más allá de una aproximación teórica a su papel como agentes morfogenéticos y geoindicadores ambientales, existen diversas opciones de realizar actividades prácticas a fin de conocer en profundidad su funcionamiento, evolución y grado de responsabilidad en el modelado del paisaje en las montañas españolas y de otros lugares del mundo. Asimismo, los glaciares son una pieza clave para valorar el impacto del cambio climático en el medio geológico. Adicionalmente, la posibilidad de trabajar mediante itinerarios de campo estos conceptos, añade el valor de la experiencia directa para potenciar el aprendizaje.

BIBLIOGRAFÍA

- Andersen, B.G. y Borns, H.W. (1997). *The Ice Age world*. Scandinavian University Press, 208p.
- Anderson, D. (2013). *Glacial and periglacial environments*. Hodder Education, 132p.
- Bennet, M.R. y Glasser, N.F. (2009). *Glacial Geology*. Wiley-Blackwell, 385p.
- Biarge, F. (coord.) (2002). *Los glaciares pirenaicos aragoneses. Evolución. Fotografías 1880-1999*. Boletín Glaciológico Aragonés, número extraordinario, 323p.
- Copons, R. y Bordonau, J. (1997). El último ciclo glaciar (Pleistoceno superior-Holoceno) en el macizo de la Maladeta (Pirineos Centrales). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 10(1-2), 55-66.
- González Trueba, J.J.; Martín Moreno, R. y Serrano, E. (2005). El glaciarión de la Pequeña Edad del Hielo en las Montañas Ibéricas. Síntesis y estado actual de conocimiento. *Revista Cuaternario & Geomorfología*, 21 (1-2), 57-86.
- Hambrey, M. (1994). *Glacial environments*. UCL Press, 296p.
- Pedraza, J. (1996). *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Ed. Rueda, 414p.
- Peña, J.L., Sancho, C., Lewis, C., McDonald, E. y Rhodes, E. (2004). Datos cronológicos de las morrenas terminales del glaciar del Gállego y su relación con las terrazas fluvioglaciares (Pirineo de Huesca). En: *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos* (Eds: Peña, J.L.; Longares, L.A. y Sánchez, M.). Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, 71-84.
- Rubial, M.J. (2005). Los glaciares: dinámica y relieve. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 13.3, 230-234.

- Serrano, E. y González, J.J. (2004). El método AAR para la determinación de paleo-ELAs: análisis metodológico y aplicación en el macizo de Valdecebollas (Cordillera Cantábrica). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 30, 7-34. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 10 de septiembre de 2016 y aceptado definitivamente para su publicación el 10 de noviembre de 2016.