

## EL INTERÉS GEOGRÁFICO DE LOS DOCUMENTOS HISTÓRICOS EN LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA DEL FOCO GLACIAR DEL CORRAL DEL VELETA (SIERRA NEVADA, ESPAÑA) DURANTE LA PEQUEÑA EDAD DEL HIELO

A. GÓMEZ-ORTIZ, M. OLIVA\*, F. SALVADOR-FRANCH,  
M. SALVÀ-CATARINEU, J.A. PLANA-CASTELLVÍ

Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona, C/ Montalegre 6, 08001 Barcelona, España.

**RESUMEN.** *La documentación histórica analizada ha ratificado su utilidad en el estudio del origen y evolución del foco glaciar del Corral del Veleta, instalado en el macizo de Sierra Nevada (España). La información obtenida, que abarca escritos desde el siglo XVII hasta mediados del siglo XX, ha ampliado conocimientos auxiliares valiosos de la Pequeña Edad del Hielo. Los nuevos datos aportados han permitido explicar mejor saberes parciales que desde la Geomorfología ya poseíamos de los sistemas naturales y paisajes de la Sierra, en particular de los acontecimientos geomórficos glaciares de sus cumbres. Los resultados obtenidos, desde un enfoque metodológico transdisciplinar, han demostrado que el foco glaciar del Corral del Veleta resultó ser un acontecimiento geomorfológico singular debido a las particulares condiciones ambientales del nivel de cumbres de Sierra Nevada, así como a la favorable configuración morfotopográfica del relieve, altitud, orientación y condiciones climáticas locales del reducto geográfico que cobijó al foco glaciar. De no ser así, difícilmente éste podría haberse desarrollado.*

*The geographical interest of historical documents to interpret the scientific evolution of the glacier existing in the Veleta cirque (Sierra Nevada, Spain) during the Little Ice Age*

**ABSTRACT.** *Historical documents have shown their potential to infer the origin and evolution of the glacier existing in the Veleta cirque, in the massif of Sierra Nevada (Spain). This information encompasses written sources spanning from the 17th to the mid-20th centuries, and provides valuable knowledge about the Little Ice Age. These new data complement the already existing geomorphological knowledge about the natural system and landscape evolution in Sierra Nevada, particularly with regards to glacial geomorphic events in the summit areas. From a transdisciplinary methodological approach, the results show that the Veleta glacier was a singular geomorphic event that owed its existence to the particular environmental conditions of the high lands of Sierra Nevada, besides the favourable morpho-topographical setting, altitude, aspect as well as microclimate conditions prevailing in this area.*

**Palabras clave:** Sierra Nevada, Corral del Veleta, ambiente periglacial, glaciar, documentación histórica, Pequeña Edad del Hielo.

**Key words:** Sierra Nevada, Veleta cirque, periglacial environment, glacier, historical sources, Little Ice Age.

Recibido: 21 de septiembre de 2017

Aceptado: 15 de octubre de 2017

\*Correspondencia: Marc Oliva, Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona, C/ Montalegre 6, 08001 Barcelona, España. E-mail: oliva\_marc@yahoo.com

## 1. Introducción

La Pequeña Edad del Hielo (PEH) –también conocida como Miniglaciación–, periodo temporal que cubre desde el siglo XIV hasta mediados del XIX, se distinguió por cambios sustanciales en las condiciones climáticas a escala planetaria, con un impacto significativo en los ecosistemas de alta montaña de latitudes medias y altas (Grove, 2004). Este intervalo de tiempo se caracterizó por unas temperaturas sensiblemente más bajas que las actuales en el Hemisferio Norte, con un mínimo térmico durante el Mínimo Maunder (1645-1715), y unos índices de humedad oscilantes (Luterbacher *et al.*, 2004; Pauling *et al.*, 2006; Casty *et al.*, 2007). Las causas cabe buscarlas en distintos procesos de forzamiento radiativo inducidos por una menor incidencia de radiación solar sobre la superficie terrestre (Lean *et al.*, 1995; Stuiver *et al.*, 1997), elevada actividad volcánica (Porter, 1986; Bradley y Jones, 1992; Prohom *et al.*, 2003) y menor intensidad de la circulación termohalina del Atlántico Norte (Broecker, 2000), así como mecanismos de retroalimentación como la mayor presencia de hielo marino, duración de la cubierta nival, etc. (Miller *et al.*, 2012). En el caso del Atlántico Norte, el enfriamiento detectado a finales del siglo XIII en altas latitudes se fue trasladando gradualmente hacia latitudes más bajas (Wanner *et al.*, 2011), con un mínimo térmico durante el Mínimo Maunder (1645-1715) (Luterbacher *et al.*, 2001; Shindell *et al.*, 2001).

En los sistemas montañosos de latitudes medias estas condiciones más frías influyeron en la dinámica y evolución de los sistemas naturales, con la expansión del ámbito afectado por procesos geomorfológicos fríos y una redistribución espacial de las especies vegetales (Pauli *et al.*, 2012). En las montañas ya glaciadas, el enfriamiento registrado durante la PEH se tradujo en la expansión de los glaciares existentes y aparición de otros focos (Bradley y Jones, 1992; Holzhauser *et al.*, 2005), así como la extensión del *permafrost* alpino (Oliva *et al.*, 2016). Ello se evidencia en cordilleras de la orla alpina europea, como en Alpes (Bradley y Jones, 1992; Holzhauser *et al.*, 2005) y Pirineos (Copons y Bordonau, 1994; González Trueba *et al.*, 2008), así como en numerosas montañas de Iberoamérica, en especial de los Andes centrales (Espizua y Pitte, 2009; Úbeda *et al.*, 2014), como también en la región patagónica (Harrison *et al.*, 2007; Masiokas *et al.*, 2009).

En las montañas de latitudes medias sin glaciares, en particular en sus tramos de cumbres más elevados, la PEH se caracterizó globalmente, en relación con los ambientes climáticos

actuales, por el predominio generalizado de temperaturas más bajas, mayor humedad e incremento de niviosidad, lo que propició la aparición de focos glaciares en los macizos de las principales cordilleras y la expansión en altura de las condiciones periglaciares (Oliva *et al.*, 2016). El conocimiento que se tiene de ello no es tan amplio como en el caso de las montañas glaciadas, pero los logros habidos son de gran interés científico, sobre todo por lo que respecta a la reconstrucción del paisaje histórico, particularmente cuando la metodología aplicada integra diferentes fuentes de información, técnicas de análisis diversificadas y dataciones cronológicas, como se ha demostrado recientemente en los sistemas montañosos de la Península Ibérica (Oliva *et al.*, 2016b).

En el contexto ibérico, la PEH determinó el aumento del área glaciada en los Pirineos (González Trueba *et al.*, 2008) así como la aparición de pequeños focos glaciados tanto en los Picos de Europa (González Trueba, 2006; Serrano *et al.*, 2011) como en Sierra Nevada (Gómez Ortiz y Plana Castellví, 2006; Gómez Ortiz *et al.*, 2009). A su vez, en aquellas otras montañas sin glaciares pero de altitud considerable con mantenimiento prolongado de temperaturas bajas en sus tramos elevados, las condiciones climáticas imperantes propiciaron un ambiente periglacial caracterizado por la persistencia del frío, la nieve, el hielo en el suelo y el viento que, en combinación, controlaron los procesos biológicos y morfogénicos, tal y como se ha inferido de registros naturales y fuentes documentales (Oliva *et al.*, 2016a).

Por lo que respecta al uso de fuentes documentales como instrumentos auxiliares en la explicación geográfica del significado de la PEH en montañas no glaciadas y, en concreto desde la perspectiva geomorfológica, los estudios que se han ocupado de ello son aún modestos en número, al contrario de lo que sucede con este tipo de información en el caso de la reconstrucción de los procesos geomórficos con repercusión en las formas del modelado, particularmente en el avance y retroceso de los glaciares, como se ha hecho en Alpes (Holzhauser y Zumbühl, 1996; Zumbühl *et al.*, 2008; Nussbaumer y Zumbühl, 2012; Zumbühl y Nussbaumer, 2018) y Escandinavia (Nussbaumer *et al.*, 2011).

La información procedente de la documentación escrita de época ha venido siendo en Geografía una fuente de información valiosa que ha contribuido eficazmente en la construcción doctrinal de nuestra ciencia. Tradicionalmente, en el marco de la Geografía la documentación de época se ha mostrado muy útil en el descubrimiento de la montaña y en la reconstrucción histórica del paisaje, sobre todo para los macizos más elevados. En tal sentido y por lo que respecta a las montañas españolas y algunos macizos iberoamericanos (ej. Araneda *et al.*, 2007), desde mediados del siglo XVII, viajeros, eruditos y científicos empezaron a recorrer estos lugares suministrando información de su medio natural, de sus gentes, de los usos que hacían del suelo y de sus poblaciones, en definitiva del paisaje. Por lo que respecta al conocimiento de la PEH el contenido de la documentación de época, entendida como fuente de información auxiliar en Geografía, está permitiendo abordar temas con resultados valiosos. Quizá uno de los más exitosos es el de la reconstrucción del clima histórico, sobre todo para los tiempos pre-instrumentales a escala continental y regional (Quinn y Nealm, 1992; Brázdil *et al.*, 2005; Garza Merodio, 2014), y más específicamente, por lo que se refiere, a la Península Ibérica

(Barriendos y Martín Vide, 1998; Brázdil *et al.*, 2005; Barriendos y Rodrigo, 2006; Bullón Mata, 2008; Domínguez Castro *et al.*, 2012). Desde la Geografía Física y, en concreto, desde la perspectiva geomorfológica de las montañas españolas el interés que despierta esta fuente de conocimiento en el significado de la PEH en las cumbres de sus principales cordilleras es relevante, en particular para el estudio y alcance espacial de los procesos geomórficos fríos. La utilidad de ello estriba en que los datos y descripciones que recogen estas fuentes de información auxilian eficazmente a otras técnicas específicas de la Geomorfología y Ciencias de la Tierra en su empeño de reconstruir y precisar mejor los ambientes y procesos morfoclimáticos dominantes (Mateo y Gómez Ortiz, 2000; Gómez Ortiz y Plana Castellví, 2006; Martín Moreno, 2010).

El presente estudio, referido al macizo español de Sierra Nevada y del que ya se han obtenido resultados valiosos (p.e. Oliva *et al.*, 2010, 2014a; Oliva y Gómez Ortiz, 2012; Gómez Ortiz y Plana Castellví, 2006; Gómez Ortiz *et al.*, 2013a, 2013b, 2015a), es un ejemplo del modo de operar reseñado. El tema que ahora nos ocupa tiene como objeto analizar el origen y evolución temporal del foco glaciar de la PEH en el Corral del Veleta, así como también determinar los procesos morfogénicos acaecidos hasta su desaparición, lo que supondrá poner de relieve el cometido de la dinámica morfoclimática fría en esta parte extrema del Mediterráneo occidental.

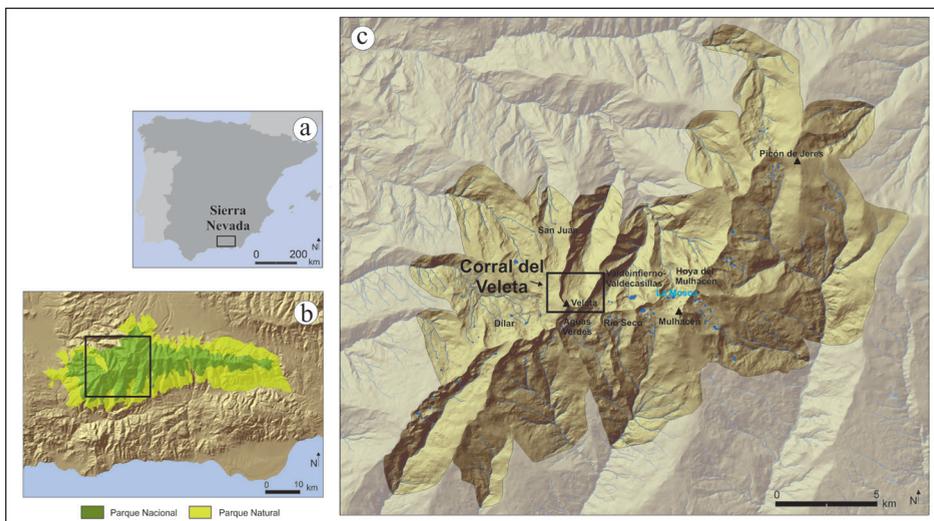
## 2. Materiales y métodos

Para lograr los objetivos descritos se ha asumido una metodología que ha armonizado y contrastado la información procedente de documentos escritos de época, sobre todo a partir del siglo XVIII, aquella otra procedente de registros naturales (análisis sedimentológicos y morfológicos que ya disponíamos, principalmente) y el trabajo de campo en la zona de estudio, auxiliado éste con fotogramas aéreos y diversa cartografía temática. La novedad de este enfoque *multi-proxy*, que combina ante todo técnicas de la Historiografía y Ciencias de la Tierra, puestas al servicio de la Geografía, radica en la complementariedad y suma de resultados lo que facilita un mayor rigor científico de las explicaciones y conclusiones. Además, y por lo que respecta a la documentación escrita, permite precisar mejor en el tiempo los acontecimientos geomorfológicos y disponer de mayor información del paisaje descrito. De ahí la especial atención que merece. Un mayor detalle de los instrumentos de trabajo utilizados y metodología aplicada se refiere a continuación.

### 2.1. Documentación escrita de época

Del macizo de Sierra Nevada (Fig. 1), instalado en el sureste de la península Ibérica (37°N y 3°W), se tiene información general de su geografía desde la presencia de los árabes en Andalucía (Torres Palomo, 1967-1968) y más precisa, por lo que respecta a las cumbres, a partir de mediados del siglo XVII (Bermúdez de Pedraza, 1638) y, sobre todo, del XVIII, al amparo ahora de las ideas de la Ilustración, favorecidas por la corona borbónica española (Titos Martínez, 1991; Cornejo Nieto, 2015). Fue entonces cuando empezó a recorrerse el territorio de

esta montaña y a describirse particularidades de sus cumbres, en especial del medio natural pues hasta la fecha los altos tramos de la Sierra sólo habían sido frecuentados por pastores, manzanilleros y neveros que acudían con la finalidad de aprovechar pastos para el ganado trashumante, recolectar plantas medicinales para uso doméstico y comerciar con la nieve, respectivamente. A partir de ahora y de manera más precisa desde comienzos del siglo XIX, será cuando la descripción transmitida por los autores, apoyada ya por los avances de la botánica y la geología, cuando comenzó a hilvanarse el conocimiento geográfico, geológico y botánico de Sierra Nevada aportándose datos de gran interés, que han permitido reconstruir hoy el significado geográfico y ambiental del paisaje de la Sierra durante la PEH. Esto fue así, entre otras razones, porque muchos de los autores encargados de ello eran eruditos y también científicos procedentes de centros universitarios o de investigación, muchos extranjeros, donde las ciencias naturales y la geografía estaban sólidamente implantadas (Virgili, 2003).



*Figura 1. Localización de Sierra Nevada en: a) la Península Ibérica, b) en el contexto regional, y c) emplazamiento del Corral del Veleta en el tercio occidental del macizo. Fuente: Elaboración propia a partir de MDE-5 m (Instituto Geográfico Nacional).*

Los autores considerados para esta ocasión han sido: Francisco Bermúdez de Pedraza (1638), Francisco Fernández Navarrete (1732), Pedro Murillo Velarde (1752), Antonio Ponz (1797), Simón de Rojas Clemente y Rubio (1804-1809), Charles Edmond Boissier (1839), Pascual Madoz (1849), W.P. Schimper (1849), G. Hellmann (1881), Moritz Willkomm (1882) y J.B. Bide (1893). Entrados en el siglo XX se analizan los textos de Otto Quelle (1908), Hugo Obermaier (1916), Jean Dresch (1937), Luis Solé Sabarís (1942), Luis García Sainz (1947) y Bruno Messerli (1965), además de las compilaciones de M. Pilar Torres Palomo (1967-1968) y Manuel Titos Martínez (1991, 1997).

Las obras seleccionadas y analizadas de los autores referidos son ediciones originales, reediciones *facsimil*, compilaciones y/o transcripciones o traducciones de versiones originales (Fig. 2). Su elección radica en la utilidad de su contenido para la reconstrucción del medio ambiente de Sierra Nevada durante la PEH. Así resulta, sobre todo, cuando el texto está escrito por personas eruditas, naturalistas o científicos. Del texto resaltan las descripciones y narraciones de los territorios y lugares de la montaña explorados, con referencia expresa a particularidades del medio natural (hielos, nieves, aguas, vegetación, topografía, altitudes, etc.), como también al uso o aprovechamiento que hace el hombre de los parajes descritos.



Figura 2. Diferentes obras de referencia consultadas en este artículo: a) *Cielo y suelo granadino* (Fernández Navarrete, 1732); b) *Viaje botánico al sur de España* (Boissier, 1839); c) *El clima de la España cuaternaria y los factores de su formación* (García Sainz, 1947). Fuente: Reproducción a partir de las obras originales.

De cada obra de las reseñadas se han seleccionado y analizado los pasajes más relevantes referidos al medio natural de Sierra Nevada. En cuanto a la metodología empleada para ello debe reseñarse que tras la identificación de cada una de las obras y posterior lectura e interpretación de su contenido, éste se estructuró y clasificó de acuerdo con el tipo de información recogida –literaria y/o gráfica– útil para nuestros objetivos. Posteriormente, esta información, ya depurada, se introdujo en un banco de datos informatizado de consulta permeable y múltiple de acuerdo con descriptores geográficos preestablecidos.

## 2.2. Registros naturales

Para instalar en el tiempo y determinar ambientes morfoclimáticos de los acontecimientos geomorfológicos acaecidos se tuvieron en consideración los resultados que ya poseíamos de análisis estratigráficos y dataciones por radiocarbono ( $C^{14}$ ) de sedimentos lagunares y lóbulos de solifluxión de las cabeceras cercanas de los barrancos de San Juan, Río Seco y laguna de la Mosca (Oliva y Gómez Ortiz, 2012).

### 2.3. Trabajo de campo

En paralelo a esta labor de análisis de información documental y cruce y contrastación de información de registros naturales se ha llevado a cabo un minucioso trabajo de campo de reconocimiento geomorfológico, particularmente reconstruyendo aquellos itinerarios de mayor interés descritos en la literatura de época, sobre todo en niveles de cumbres.

## 3. La PEH y los ambientes ecológicos en las cumbres de Sierra Nevada

Sierra Nevada (37°N y 3°W) es el macizo más elevado de la península Ibérica (Mulhacén, 3479 m, Veleta, 3398 m) y el más meridional de Europa con glaciares pleistocenos y registros datados, los más antiguos en 30 ka (Gómez Ortiz *et al.*, 2013b, 2015b; Palacios *et al.*, 2016). Durante la PEH el ambiente frío periglacial dominante propició modificaciones en los sistemas naturales afectando, en gran modo, a los procesos geomórficos y al reparto y redistribución espacial de las especies vegetales, controlado, todo ello, por la persistencia de la nieve, el frío y el viento (Gómez Ortiz *et al.*, 2012). Datos obtenidos recientemente vienen a mostrar que estos acontecimientos periglaciares debieron instalarse a partir de los 2450 m, en lugar de los 2650 m que es donde actualmente se inician (Gómez Ortiz *et al.*, 2015a). El tramo altitudinal afectado debió suponer un desnivel en torno a 1000 m aglutinando dos ambientes periglaciares diferenciados. Uno inferior, dominando laderas hasta los 2800 m, con generalización de procesos de soliflucción (Oliva, 2009; Oliva *et al.*, 2014), crioreptación y presencia de neveros de fusión tardía. Otro superior, repartido en cumbres cimera y cabeceras de barrancos. Éste, instalado por encima de los 2800 m, se caracterizó por la presencia de pequeños focos glaciares, nichos glacionivales y ventisqueros permanentes. En uno y otro ambiente la vegetación, siempre de carácter crioxerófito, mantuvo una cubierta en disposición abierta o puntual, según altitud y orientación.

Respecto a los registros geomorfológicos más singulares y excepcionales creados durante la PEH en Sierra Nevada hay que resaltar pequeños focos glaciares recluidos en antiguos circos cuaternarios y también depresiones glacionivales. Todos quedaron instalados en zonas de cumbres máximas del espacio periglacial. Esta franja altitudinal debió fijarse en el extremo occidental de la Sierra, que es donde los cordales alcanzan las mayores cotas. Su reclusión quedó establecida en torno a los 3000 m y su reparto mayoritario se dispuso desde el cuenco del Alhorí, en las inmediaciones del Picón de Jeres (3088 m), hasta los Tajos de la Virgen (3213 m), en la cabecera del Dílar. De todos ellos los más duraderos en el tiempo y mayor desarrollo fueron los orientados al norte y noroeste, al estar favorecidos por una adecuada morfotopografía y por los flujos húmedos y vientos del Atlántico, destacando los focos del Corral del Veleta, Valdeinfierno-Valdecasillas y Hoya del Mulhacén (Fig. 3). Así se deduce, como se verá oportunamente, a partir de las descripciones de diferentes autores, entre otros, Rojas Clemente (1804-1809), Boissier (1839) y Madoz (1849).



Figura 3. Concavidades en circos de cumbres de Sierra Nevada donde quedaron instalados focos glaciares durante la PEH (sector Alcazaba-Mulhacén). Fuente: Patronato Provincial de Turismo. Diputación de Granada.

La existencia de focos glaciares históricos en la Sierra igualmente ha sido demostrada recientemente a partir de análisis sedimentológicos llevados a cabo en depósitos cercanos al nivel de cumbres, particularmente en cuencas lagunares (cubetas de sobreexcavación o de cierre morrénico). Los registros más significativos proceden de la laguna de la Mosca (2900 m), en la Hoya del Mulhacén, antiguo circo glaciar instalado al pie del picacho del Mulhacén. El estudio de las propiedades físicas y geoquímicas de los sedimentos acumulados en ella ha mostrado la existencia de tres periodos con sedimentación abundante de arenas y contenidos muy bajos de fracción orgánica, asociándose a la presencia de un foco glaciar que propiciaría aguas de fusión con capacidad de arrastre de material detrítico hasta la laguna. El control geocronológico, a partir de datación por radiocarbono ( $C^{14}$ ) del material analizado, indica secuencias de arrastre entre 2800-2700, 1400-1200 y 510-240 años cal BP (Oliva y Gómez Ortiz, 2012), coincidiendo la última de esas tres fases con la PEH.

#### **4. Los focos glaciares de la PEH de Sierra Nevada no quedaron instalados en medios glaciados**

Al contrario de lo acontecido en Pirineos durante la PEH (García Ruiz *et al.*, 2014; López Moreno *et al.*, 2016), las condiciones climáticas imperantes en Sierra Nevada no propiciaron el desarrollo de un espacio glaciado; es decir, la montaña no incluyó un piso o tramo altitudinal generalizado de nieves permanentes capaz de generar sistemas glaciares. Sin embargo, y al igual que ocurrió en Picos de Europa (González Trueba, 2006; Ruiz Fernández, 2013), el ambiente nevoso y frío dominante periglacial sí facilitó la existencia de condiciones propicias para el desarrollo de aislados focos glaciares de reducidas dimensiones en enclaves particulares al pie de las más altas cumbres septentrionales de la Sierra, principalmente (Gómez Ortiz *et al.*, 2015b). Éstos se distinguieron siempre por quedar encerrados al abrigo de altas paredes y al amparo de orientaciones favorables, ajustada morfotopografía y adecuada climatología local, coincidiendo todas estas circunstancias en el seno de antiguos circos cuaternarios

refugiados en cabeceras de barrancos. Se concluye con ello, que este fenómeno glacial durante la PEH, muy mitigado y restringido, resultó un hecho excepcional por coincidencia de razones morfológicas, climáticas locales y de orientación, todas, muy favorables a la acumulación y mantenimiento de las nieves, lo que explica no solo el desarrollo de los referidos focos glaciares, sino también el de los ventisqueros permanentes en altura y los neveros de fusión tardía, incluso en orientación sur y sureste.

La isoterma de los 0°C anuales, que coincide generalmente con el límite de las nieves permanentes, en Sierra Nevada queda actualmente instalada en torno a los 3400 m (Oliva *et al.*, 2016a), afectando potencialmente sólo a la altiplanicie de la Allanada y del picacho del Mulhacén (ambos sectores sin nieves perpetuas). Sin embargo, este límite altitudinal de nieves sí podría haberse instalado por debajo de tales cotas cimera durante la PEH afectando a mayores espacios, con cierta seguridad entre la segunda mitad del siglo XVII y primeros decenios del XVIII coincidiendo con el episodio frío del Mínimo de Maunder. No obstante, el hipotético manto nival acumulado, convertido en hielo, debió de ser incapaz de generar sistemas glaciares propios de dominio glaciado, aunque sí propiciar en determinados lugares de favorable morfología y orientación, como las concavidades más elevadas de cabeceras de algunos barrancos, a conformar los aludidos focos glaciares históricos.

Sobre esta cuestión de las nieves permanentes Boissier (1839), naturalista suizo buen conocedor de los Alpes y que en 1837 recorrió las cumbres de Sierra Nevada con fines botánicos, nos proporciona datos de gran interés al respecto. Al hacer referencia a la región nevosa de la Sierra, que establece superados los 8000 pies, señala:

En los Alpes a esta altitud (*se refiere a los 8000 pies de Sierra Nevada, aproximadamente 2432 m*), ya se hallan las nieves perpetuas, aquí nada parecido: los puntos culminantes incluso, elevados a 10.000 o 11.000 pies (*aproximadamente 3040 m y 3344 m respectivamente*), están desprovistos de ella a mediados del verano; sin embargo la nieve caracteriza nuestra región, aunque solamente bajo la forma de manchas o montones acumulados en los bajos fondos y pliegues del terreno [Boissier, 1995: 466].

También esgrime en favor de la inexistencia de una franja altitudinal de nieves permanentes en la Sierra, la existencia de vegetación en el piso que él califica de nival y que instala a partir de los 8000 pies. Sobre ello, señala haber localizado 117 especies, algunas repetitivas de franjas altitudinales inferiores. Y otra observación indirecta que refiere sobre este asunto relaciona con el comercio de la nieve:

El más elevado de estos senderos, el que conduce al pie del glaciar, es también el más corto y el más ancho y se llama Portillo del Corral (probablemente se refiera al veredón); los neveros lo siguen para ir a buscar el hielo en el Corral en los años calurosos cuando la nieve ha desaparecido en los demás sitios [Boissier, 1995: 293].

Años después, Schimper (1849), al referirse a las nieves de Sierra Nevada en su estudio sobre la geología, botánica y zoología del sur de España, resalta:

Aunque Mulahacén y Veleta tienen una altitud cercana a los 3665 m no alcanzan ellos la línea de las nieves eternas. La nieve que se encuentra durante todo el verano comienza a una altitud de 3.000 m pero no debe ser considerada como nieve permanente; ellas son montones formados por los vientos o por avalanchas, por eso llevan el nombre de ventilleros (*se refiere a ventisqueros*). Sobre la cumbre de estos dos gigantes de la Sierra Nevada la nieve desaparece desde mediados de junio o a lo más tardar a comienzo de julio, y durante los veranos cálidos toda la nieve que se encuentra permanece en los barrancos inaccesibles, al abrigo del sol, y los neveros de Granada vienen entonces diariamente hasta el corral de Veleta para buscar este elemento refrescante indispensable para los españoles. Es probable que sin la frescura considerable de las noches el corral de Veleta y las nieves de otros barrancos no resistirían el calor que reina en estas alturas durante los meses de julio y agosto [Schimper, 1849: 192].

Más recientemente también se ocupó de este tema el arqueólogo y prehistoriador Obermaier (1916) en su estudio sobre los glaciares cuaternarios de Sierra Nevada. Al definir al foco glaciar del Corral del Veleta lo mostró como “masa de hielo muerta, sin movimientos ni fluctuaciones”. Y al referirse al límite de las nieves perpetuas cuaternarias y actuales, asignó para estas últimas la altitud de 3800-3900 m en cara norte y 3600-3700 m en cara sur. En ambos casos muy por encima de los cordales más cimeros de la Sierra. El cálculo lo hizo teniendo en cuenta la cota establecida para el límite cuaternario nevadense, al que sumó 1200 m, como valor medio de referencia para los Alpes (Obermaier, 1916: 68 y 69).

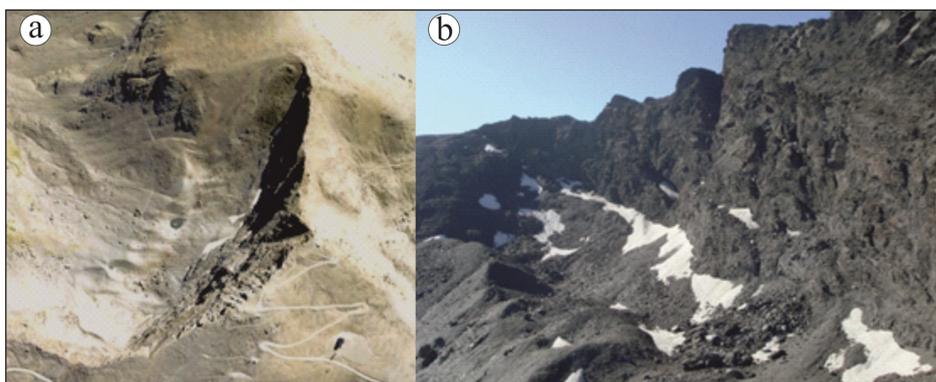
## **5. Resultados. Singularidad del Corral del Veleta y excepcionalidad de su foco glaciar histórico**

De los diferentes focos glaciares que se desarrollaron en Sierra Nevada durante la PEH, el cobijado en el cuenco del Corral del Veleta fue el más significativo, extenso y duradero, debido a las particularidades que lo diferenciaron de otros casos. El foco glaciar quedó instalado en el extremo occidental de la Sierra, encerrado en la parte más elevada de la cabecera del valle del Guarnón. Su desarrollo se debió a las particulares condiciones morfotopográficas y microclimáticas del Corral. El estudio geomorfológico de campo, el análisis de los fotogramas aéreos y la interpretación de los registros morfológicos, unidos a la información de las descripciones que hicieron viajeros y científicos de época, confluyen en otorgar a las formas de relieve, altitud, orientación y climatología locales cometidos decisivos en el origen y desarrollo del referido foco glaciar.

El Corral del Veleta (3100 m), coronado por el picacho del Veleta, formó parte del circo que alimentó al glaciar cuaternario del valle del Guarnón. Su morfoestructura está armada en bancos de micaesquistos feldespáticos con buzamiento al SW, fuertemente fracturados. Forma un cuenco de geometría elíptica limitado por un robusto muro de paredes verticales de más de 250 m de salto que se prolongan desde el Veredón, que da acceso al interior del Corral, hasta el collado de los Machos (3299 m). La base del Corral, de geometría cóncava y de 550 m de longitud por 140 de anchura media, está rellena de un manto caótico de rocas limitado transversalmente por una morrena que lo aísla del valle (Fig. 4).

La particular morfología que define al Corral del Veleta, su altitud y fijación geográfica privilegiada en línea de cumbres resultaron muy favorables a la acumulación

y mantenimiento de la nieve durante la PEH. Hecho que vino favorecido, además, por su orientación NNE que supuso sobrealimentación nival por efecto eólico, limitación de insolación en su interior y nulidad de ella durante la estación fría. Estas circunstancias permitieron acumulación abundante de nieve, mantenimiento de ella en su interior y evolución hacia hielo compacto. De no haber coincido todas estas circunstancias de naturaleza geomorfológica y climática este foco glaciar no habría tenido la magnitud y duración alcanzadas en el tiempo. De ahí su excepcionalidad en el conjunto de Sierra Nevada. Los hielos alojados en el Corral colmarían el surco que se interpone entre la pared del Picacho y la morrena que lo aísla del valle. Es muy probable que los hielos, durante su máximo desarrollo, desbordaran este cuenco en su extremo occidental hacia el surco del valle, de acuerdo con la orientación máxima de la pendiente del lecho (Quelle, 1908).



*Figura 4. Corral del Veleta: a) imagen aérea vertical; b) panorámica oblicua desde Los Lastrones. Fuente: a) Google Earth, 2016 y b) foto de los autores (agosto, 2014).*

### *5.1. La atención que presta la documentación histórica al relieve, a los hielos y a las nieves permanentes del Corral del Veleta*

La información que se recoge en los libros de época acerca de la configuración morfológica del Corral del Veleta es notable y, en la mayoría de los casos, para hacer notar la existencia de nieves permanentes en su interior. Siempre se resalta el particular relieve que lo distingue insistiéndose en las altas y empinadas paredes que lo delimitan. También en lo escabroso que resulta su acceso por lo encerrado que se presenta. Pero lo más recurrente en las descripciones que se hacen del lugar, como se ha señalado, es a la nieve que alberga en su interior cuya presencia se asocia a la precipitación directa, como es lógico, pero insistentemente también a aquella otra procedente del barrido que hace el viento sobre las repisas de las laderas occidentales del Veleta.

De las primeras alusiones referidas al relieve del Corral del Veleta hay que señalar las de Fernández Navarrete (1732), que aluden a su geometría y contorno:

Inmediato al Picacho del Veleta está el Corral así llamado por la forma que tiene de un Corral de doscientas varas de largo y ciento de ancho, cuyas paredes están hechas de los mismos

tajos y el suelo, bien profundo, va en disminución como un embudo [Fernández Navarrete, 1732, transcrito de Gil Albarracín, 1997: 337].

Pero sobre todo resaltan las del presbítero Ponz (1797), a raíz del viaje que hizo a Sierra Nevada por indicación del Marqués de la Ensenada en 1754. De la descripción que hace del Corral del Veleta conviene reseñar dos ideas clave. La primera, referida a la observación tan ajustada que hace de la morfotopografía, y la segunda, a la justificación que esgrime en favor del hielo, como hecho excepcional en la Sierra (Fig. 5):

Dexado este sitio (*Picacho del Veleta*) pasamos á registrar el propinquo llamado corral de Veleta, nombre ajustado á sus proporciones, por ser una profundidad ancha y cerrada de tajos muy peynados sin entrada por parte alguna, caxon ambicioso de nieve, que se cree guarda la primera que cayó después del Diluvio, reducida a piedra, pues estando descubierto hacia el Norte, aquí es yelo lo que es nieve en otros lugares; y nunca se derrite mas que la superficie que es lo que el sol le descubre [Ponz, 1797, v. 28: 110].

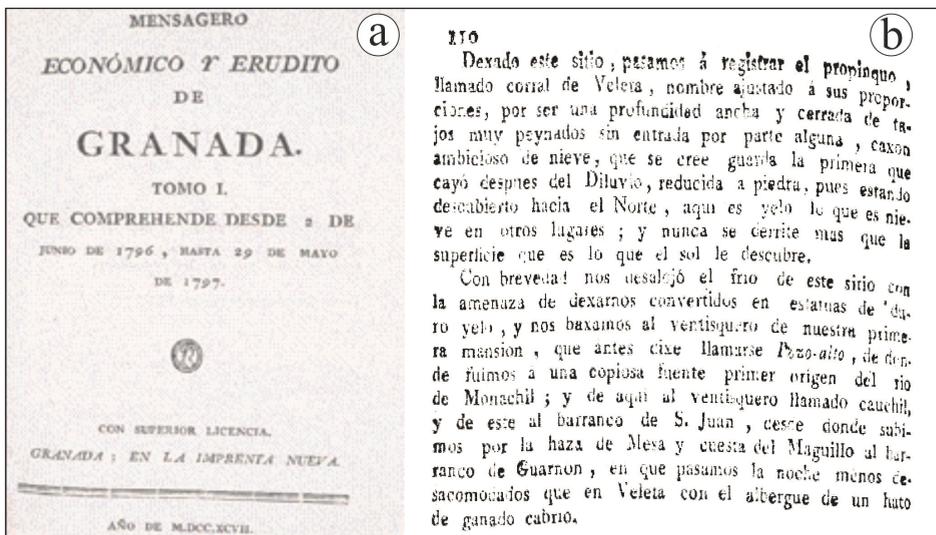


Figura 5. Publicación de Antonio Ponz (1797) “Mensajero económico y erudito de Granada”: a) portada; b) página 110 del texto original de Ponz relativo a la descripción del Corral del Veleta. Fuente: Reproducción de los autores a partir de la obra original.

Hay una tercera idea clave de importancia también notable en esta descripción de Ponz y es la subordinación que hace del hielo al relato bíblico, de acuerdo con las ideas imperantes en geología durante estos tiempos (Capel, 1984-1985, 1985, 1989; Virgili, 2003).

Igualmente interesa la cita de Murillo Velarde (1752) incluida en su Geografía Histórica del Reino de Granada, sobre la perpetuidad e interés económico de las nieves del Corral:

Allí hizo la naturaleza (*referido a Sierra Nevada y al Corral del Veleta*) un pozo perpetuo, de donde se provee todo el año de nieve no sólo una ciudad tan populosa (*alude a*

*Granada*), sino que se lleva de allí a otras parte de Andalucía, sin que haya miedo de que jamás se acabe; y este es uno de los mayores regalos de la ciudad, y que aún los rigores del estío los hace más suaves que en otras partes de España [Murillo Velarde, 1752: 88].

En sentido similar y también por lo que se refiere a la configuración topográfica del Corral y naturaleza de sus nieves, Tomás López, en su “Diccionario Geográfico e Histórico” (publicado a partir de 1776) y refiriéndose a la localidad de Güejar-Sierra, en cuyo término municipal se incluye el Corral del Veleta, refiere la información que al respecto obtiene del presbítero del lugar:

El tercer barranco es el nombrado de Guadarnón, por cuya cabecera tiene el corral de Veleta, llamado así no porque haya hecho algún corral la manufactura, sino porque el conjunto de cerros y colinas puestos por la misma naturaleza, forman a manera de un corral de grande profundidad con un depósito de nieve que se puede regular desde qué años, ni para cuantos hay allí, porque la expresada nieve está ya petrificada o cristalizada la más, dividiéndose los nevazos de todos los años por las piedras y brocín que meten los aires del verano [recogido de Titos Martínez, 1997: 63].

### *5.2. Nuevos enfoques sobre los hielos y nieves del Corral: la confirmación de foco glaciar*

Instalados ya en el siglo XIX, la información que se tiene del Corral del Veleta y de sus nieves resulta más precisa y completa, pues a partir de ahora los autores que se ocupan del tema tienden a acompañar a la descripción de un intento de explicación que resultará en el tiempo cada vez más preciso y completo (Fig. 6). Este modo de operar derivó del progreso operado en las ciencias a lo largo de la Ilustración y en el caso de las naturales y, en particular de la geología, por el avance que experimentó en ideas, principios y métodos de trabajo, como respuesta a la corriente de pensamiento del actualismo de Charles Lyell (Virgili, 2003). En tal sentido, conviene señalar, además, el conocimiento progresivo que se fue acumulando de los glaciares a raíz de los escritos de Saussure, Charpentier y Agassiz y de las campañas de reconocimiento realizadas en los Alpes y más tarde en los Pirineos.



*Figura 6. De izquierda a derecha: Simón de Rojas Clemente (1777-1827); Edmond Boissier (1810-1885); Moritz Willkomm (1821-1895) y Bruno Messerli (1931-....). Fuente: Wikipedia y Google Images, consultado en 2016.*

Por lo que se refiere a Sierra Nevada y para los primeros decenios del siglo XIX interesa referir al naturalista y botánico Rojas Clemente (1804-1809) que aportó, entre otros muchos descubrimientos biogeográficos de la Sierra, nuevos datos sobre la climatología de sus cumbres y de la persistencia de sus hielos y nieves. Pero quizá lo más sobresaliente y novedoso de sus aportaciones fue el método de trabajo que utilizó en las observaciones de campo. En tal sentido, resulta muy significativo el análisis del objeto de estudio, que lo contempla desde un enfoque globalizado:

Noto de paso que todas las altas cumbres de Sierra Nevada están peladas no porque deje de caer en ellas la nieve, sino porque la arrojan de ellas los vientos fuertes a que están expuestas, así muy cerca de ellas, como a 100 varas o menos más abajo (*así se observa en el Mulhacén y Veleta*), ya se hallan grandísimos ventisqueros perpetuos. [...] lo que apoyo en la observación de las plantas, principalmente del *Geranium* [Rojas Clemente (1804-1809), transcrito de Gil Albarracín, 2002: 951].

Relato de gran interés al poner de relieve la acción de los vientos dominantes sobre las altiplanicies, que las limpia de nieve acumulándola a sotavento, contribuyendo con ello a generar enclaves con sobrealimentación nival, como sucedió en el Corral del Veleta. También insistió en ello durante los primeros decenios del siglo XIX Madoz (1849), en su “Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar” al referirse a Sierra Nevada. Acerca del Corral del Veleta insiste en la idea clave de su alimentación, atribuyendo buena parte de ella a la acción del viento, como ya señalará Rojas Clemente (1804-1809). La descripción de Madoz dice así:

Los parages que en estas dos elevadas montañas, Mulhacén y Veleta, y en sus inmediaciones, se hayan cubiertos de perpetuas y endurecidas nieves, cuyas capas o estratificaciones se pueden contar fácilmente en muchas de sus quebradas, se llaman en el país corrales; el más considerable de todos ellos es el nombrado de Veleta, el cual por su situación entre el pico de su nombre y el de Mulhacén presenta la figura de un gran circo, en cuyo centro brotan las primeras aguas del Genil. La nieve, acopiada por los vientos, que encierra el grandísimo depósito de este corral está tan petrificada, que tiene la consistencia del mármol más duro y cuesta trabajo hacer en ella la más pequeña incisión aún con una herramienta muy fina. No es posible saber la cantidad de nieve que allí está reconcentrada con el transcurso de los siglos; pero tampoco fuera aventurado el suponer, que se haya todavía en su fondo el primer copo que dirigió a aquél punto la mano del Omnipotente, sino es que infiltrada la nieve por la tierra, busca su difícil salida hacia el Genil [Madoz, 1849, tomo XIV: 384].

La primera vez que los hielos del Corral del Veleta se consideraron como glaciares se debió a Boissier (1839), durante su viaje a Sierra Nevada en 1837, ya citado. Lo que ahora interesa del autor es la información precisa que proporciona el autor de la unidad del Veleta y, en particular de su Corral, sobre todo la referida a la disposición de su relieve, a los hielos y nieves y sobre todo del “glaciar en miniatura” que alberga en su interior:

Lo primero que llama la atención al llegar al Veleta y al aproximarse con precaución a su borde septentrional, es un circo de casi 2000 pies de profundidad que se abre al noreste; sus paredes están casi siempre cortadas en vertical y en el fondo se percibe un pequeño glaciar

muy inclinado: es el lugar llamado Corral del Veleta [...]. El glaciar tiene una pendiente muy inclinada, su altura perpendicular tiene 200 a 300 pies, su ancho más o menos 600 pasos y está atravesado por numerosas grietas transversales de apenas unas pulgadas de ancho [...]. Tiene la peculiaridad de ser el único en toda la Sierra y el más meridional de Europa: debe su formación a su posición, en el fondo de un circo abrigado y dominado en todas partes por las altas cumbres donde las tormentas barren la nieve en invierno [...]. Su altura media es de 9000 pies y presenta en miniatura todos los caracteres de los glaciares alpinos, hendiduras, hielo impuro, morrenas fangosas en su base y sus laterales, por fin riachuelos de aguas turbias que escapan en su extremidad por varias cavernas excavadas en el hielo [Boissier, 1839, versión de 1995: 287 y 294].

Años más tarde y por parte de Schimper (1849) también se informa del Corral del Veleta. En este caso, además, e igualmente por primera vez, de la existencia de un glaciario cuaternario regional en Sierra Nevada, aunque con poca fortuna pues lo fundamentó sólo en la naturaleza de los depósitos de conglomerados terciarios del valle del Genil y de la Alhambra, interpretándolos como morrenas, cosa errónea. Acerca de las observaciones que hizo del Corral del Veleta, de sus hielos y de las condiciones de su mantenimiento fueron de gran interés por los nuevos datos aportados:

La cima (*se refiere al picacho del Veleta*) se eleva 3570 m por encima del nivel del mar, conforma un pequeño promontorio inclinado hacia el SW, bordeado al NE por un precipicio a pico de una profundidad de al menos 600 m y a su pie la sombra del barranco del Veleta colmado de nieves y de hielos eternos. Este barranco conforma un circo abierto al este que se denomina corral (*glaciar*) del Veleta [Schimper, 1849: 191].

Instalados en el séptimo decenio del siglo XIX se dispone de nuevo de una descripción muy ajustada de la dimensión de los hielos y nieves del Corral. Se debe a Hellmann (1881), fruto de su visita a la Sierra en 1876 y recogida en su trabajo sobre el glaciario del sur de Europa. Al referirse al Corral del Veleta resulta muy preciso en las mediciones de sus hielos: 580 m de este a oeste y 250 m de sur a norte. Otorga a la masa una inclinación de 25° hacia el norte, al pie de la ladera de los Machos y de 20° también hacia el norte, en el extremo más occidental del vasar donde reposa. En cuanto a su dinamismo subraya que el glaciar se encuentra durante los últimos años en proceso de retroceso. Por su parte, años después, Willkomm (1882), botánico y naturalista alemán que recorre buena parte de la Península Ibérica herborizando y clasificando especies, insistía también en la presencia de este foco glaciar del Veleta, atestiguándolo así:

Muy pegado al borde del vertiginoso abismo podía estudiar el colosal valle de circo prolongado al sur, en cuyo ángulo más al fondo, justo debajo de los despeñaderos gigantes del Picacho, se veía la nítida silueta del helero del Veleta [...]. Por encima del glaciar del Veleta se veía un enorme ventisquero aún más inclinado, que llega a una pared muy escabrosa, de una altura de casi 500 metros [Willkomm, 1995: 115].

Por su parte, Bide (1893), montañero del Club Alpino Francés, realizó a finales del siglo XIX dos travesías por las cumbres de Sierra Nevada, de las que reseñó en el Anuario del referido club aspectos geográficos de gran interés de los cordales cimeros y collados, en particular de la predominancia de neveros y ventisqueros permanentes. También aportó

excelentes gráficos y esquemas de determinados sectores así como un croquis orográfico del extremo occidental de la Sierra en el que resalta cordales y arterias fluviales. En éste, además, la situación y dominio espacial del foco glaciar del Corral del Veleta, que ocupa el fondo de su cuenco que se establece entre la pared del Corral y la morrena transversal que lo aísla del valle. Además, acompaña un dibujo en perspectiva, realizado desde los Lastrones (Bide, 1893: 305 y 314). De estos últimos documentos gráficos hay que resaltar su interés glaciológico, pues son los primeros de este tipo que precisan este hecho (Fig. 7).

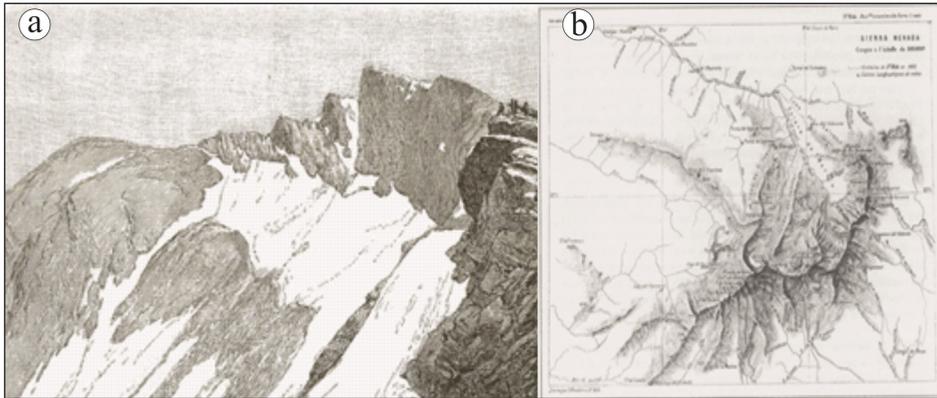


Figura 7. a) Visión panorámica del Corral del Veleta desde Los Lastrones; b) esquema orográfico de los cordales cimeros de Sierra Nevada y localización del foco glaciar del Corral del Veleta (Bide, 1893). Fuente: reproducción a partir de la obra original.

### 5.3. La paulatina desaparición del foco glaciar del Corral del Veleta

Todo parece indicar que a partir de finales del siglo XIX la masa glaciar alojada en el Corral del Veleta tendería a entrar en un proceso de merma generalizado, de manera tal que durante el cuarto decenio del siglo XX la presencia de hielos glaciares en superficie ya sería puntual, no la de sus nieves que continuarían persistiendo. Así parece desprenderse de la información escrita que se posee. La razón principal de ello podría residir en la tendencia climática imperante de unas temperaturas medias más elevadas y menor precipitación nival y, como consecuencia, el establecimiento de unas condiciones menos favorables al mantenimiento permanente de nieves y ventisqueros en las cumbres de la Sierra. Esta singularidad del Corral del Veleta contrasta con lo que aconteció en el resto de circos glaciados durante la PEH en Sierra Nevada. Así, por ejemplo, en el caso de la Hoya del Mulhacén, las condiciones morfotopográficas dominantes –base del circo instalada 150 m por debajo del Corral del Veleta, y orientación NW– llevaron a la paulatina desaparición de sus hielos a finales del mínimo radiativo conocido como Mínimo de Maunder, hacia 1710 (Oliva y Gómez Ortiz, 2012).

A lo largo del siglo XIX el foco glaciar debió mantener una superficie relativamente constante, pues apenas entrados en el siglo XX, la referencia de Quelle (1908), procedente

de su tesis doctoral en la que incluye información y datos novedosos del glaciario cuaternario de Sierra Nevada, parece confirmarlo:

El glaciar del Veleta debe su existencia única y exclusivamente al hecho de que está orientado hacia el norte, al abrigo de sus altas paredes. [...]. El borde inferior del glaciar yo mismo lo establecí en 2835 metros. En la pared del circo glaciar, por encima de los 2850 metros se encuentra nuestro glaciar que asciende con diversos ángulos de inclinación. [...]. Sus dimensiones son reducidas. En el borde inferior su anchura era de 540 metros pero su longitud y anchura parecen variar mucho de un año para otro [...]. En pleno verano su superficie aparece totalmente desnuda de nieve. En todas partes se pueden ver bandas de suciedad y grietas que recorren el glaciar alcanzando en algunas zonas 8 cm de ancho. En las grietas se reconoce claramente la estructura granulosa del hielo [Quelle, 1908: 12-13].

Más adelante en su tesis también Quelle da información de las morrenas que contornean al hielo glaciar deduciéndose que éste se encuentra encerrado entre ellas:

Las morrenas laterales y frontales presentan un magnífico desarrollo. La morrena lateral oriental, que presenta una altura de 6 metros es la más importante [...]. La morrena frontal estaba totalmente encharcada lo que, como es lógico, me dificultó mucho el atravesarla [Quelle, 1908: 13].

Instalados en el siglo XX los hielos glaciares recluidos en el Corral debieron tender a reducir dimensión y a restringirse, cada vez más, hacia oriente, en dirección al declive de la ladera de los Machos y, al tiempo, a quedar cubiertos bajo espesos mantos de bloques y rocas procedentes de desprendimientos de la pared norte del picacho del Veleta. Entrada la segunda década del referido siglo las referencias al foco glaciar del Corral se debaten en admitir a las masas heladas alojadas en su seno como de glaciares o de ventisquero permanente. Sí hay unanimidad entre los autores en asumir que se encuentran inmovilizados los cuerpos helados, sin movimientos. Obermaier (1916), prehistoriador alemán instalado en el Museo Nacional de Historia Natural de Madrid, en su excelente trabajo sobre “Los glaciares cuaternarios de Sierra Nevada” es tajante al respecto:

A esta deducción de que el ventisquero del Corral del Veleta es una masa de hielo muerta, sin movimientos ni fluctuaciones, se llega según las observaciones meramente limitadas a los fenómenos meteorológicos y biológicos de los tiempos actuales [Obermaier, 1916: 67].

Por su parte Dresch (1937) al referirse en su trabajo pionero sobre las formas glaciares y nivales de Sierra Nevada y del Atlas informa del Corral del Veleta la presencia de un *nevé* testimonial al pie del picacho del Veleta, donde el hielo en parte cristalizado y agrietado, no muestra trazas de movimiento. En semejantes términos el geólogo Solé Sabarís se expresó en 1942, a raíz de una excursión científica que se hizo a Sierra Nevada con ocasión de la celebración en Granada de la 2ª Reunión de Estudios Geográficos:

[...] por coincidir la época de la excursión con el momento de máximo retroceso de la nieve y por ser el actual un año de precipitaciones níveas mínimas, se pudieron sacar fotografías muy demostrativas de los pequeños neveros del Corral del Veleta, comprobando que no se trata de verdaderos glaciares [Solé Sabarís, 1942: 720].

En contraposición a estas últimas afirmaciones contrastan estas otras que emitió García Sainz en 1947, en las que en su trabajo sobre el clima de la España cuaternaria reafirma la naturaleza de los restos de hielos glaciares que observa en el Corral del Veleta, que compara con aquellos otros del Pirineo central:

[...] el pequeño glaciar del Veleta, formado por capas de hielo y de neviza, como los actuales neveros del Pirineo [...]. La misma superposición estratigráfica de capas de nieve y de hielo azulado que se observa en los glaciares actuales en el Pirineo, se presenta en el este del Penibético [García Sainz, 1947: 118-119].

Llegada la década de los sesenta no parece probable que el hielo descrito por García Sainz fuera ya visible, pero si neveros permanentes aunque de dimensión variable. En tal sentido Messerli (1965) afirma la existencia en verano de “manchas perennes de nieve y nevé” [...] “hoy ya no puede hablarse de glaciar, en cambio no dudamos de su existencia a principios del siglo XX” [Messerli, 1965: 68 y 138]. Tras la información de Messerli (1965), no se tienen noticias destacadas de la evolución del foco glaciar del Corral del Veleta. Fue a partir de agosto de 1995 cuando de nuevo se tuvieron. Entonces, a raíz del análisis geomorfológico que por primera vez pudimos hacer de la base del Corral, que se mostró sin hielo y nieve (Fig. 8), se comprobó la total desaparición de restos glaciares. Sin embargo, controles de campo efectuados y completados con rastreo geofísico permitieron plantear la hipótesis de la presencia de ellos y *permafrost* bajo el manto de bloques que recubría la superficie del Corral (Gómez Ortiz *et al.*, 1996). Trabajos posteriores, iniciados en 1997, vinieron a confirmar la hipótesis, que fue ratificada en 1999 con la extracción de testigo helado, tras prospección mecánica. Desde entonces, la monitorización continuada que se viene haciendo del hielo glaciar relicto y *permafrost* subyacentes ha venido a mostrar su continuada degradación y paulatina pérdida de volumen.



Figura 8. El Corral del Veleta en la última semana de agosto de 1995. Se observa la inexistencia de nieve en la concavidad, hecho excepcional durante el último tercio del siglo XX. Fuente: autores.

## **6. Discusión y conclusiones**

La documentación histórica aportada ha mostrado su utilidad en el estudio del origen y evolución del foco glaciar del Corral del Veleta, instalado en las cumbres de Sierra Nevada durante la PEH. La información y datos suministrados a partir del contenido de las obras consultadas durante el periodo de los siglos XVII-XX, han venido a sumar nuevos conocimientos para explicar, precisar y situar mejor en el tiempo saberes parciales que ya poseíamos desde la Geomorfología de los sistemas naturales y paisajes de la Sierra.

El desarrollo y permanencia del foco glaciar estudiado y de aquellos otros que también existieron de la misma época en Sierra Nevada, fue un hecho excepcional, pues su desarrollo no se dio en un espacio generalizado de nieves permanentes, sino que quedaron inscritos y localizados en enclaves muy favorables al acopio y mantenimiento de la nieve, en la franja periglaciaria que dominó el nivel de cumbres de la Sierra. En el caso del foco glaciar del Corral del Veleta su origen y desarrollo se debió a la coincidencia de una serie de circunstancias de diferente naturaleza pero de ámbito local: particular morfotopografía, precisa orientación y propicias condiciones climáticas, pues sin el concurso de todas ellas no hubiera podido tener la dimensión lograda y su persistencia en el tiempo lo que viene a confirmar que la presencia de focos glaciares y nichos glacionivales en Sierra Nevada fue un acontecimiento geomorfológico excepcional.

Acerca de la evolución temporal del foco glaciar y basándonos, sobre todo, en el análisis de la información documental de época analizada, debe admitirse su existencia, como mínimo, desde mediados del siglo XVII, que es cuando comienzan a ofrecerse datos genéricos de su presencia y más precisos de las características de los hielos, de su longitud y anchura a partir de la primera mitad del siglo XVIII. Sin embargo, hay que reconocer que el origen de su formación podría ser de tiempos muy anteriores, si se tienen en cuenta las informaciones procedentes de fuentes árabes: “Allí se encuentra nieve de muchos años que, ennegrecida y solidificada, parece piedra negra, pero cuando se rompe se halla en su interior nieve blanca” (Muhammad b. Abi Bakú al-Zuhri en 1137, citado en Torres Palomo, 1967-1968: 68). El máximo desarrollo del foco glaciar, que fue definido como tal por Boissier en 1839 y que podría haberse dado durante el Mínimo de Maunder, supondría la colmatación del cuenco del Corral del Veleta con frente volcado hacia el valle, cubriendo el espacio comprendido desde el declive de la ladera de los Machos, a oriente, hasta el inicio del veredón que asciende a las Posiciones, a occidente. La masa de estos hielos, encajados entre la morrena cuaternaria que cierra el Corral y las paredes del picacho del Veleta que lo circundan, mantendrían flujo dominante con dirección este-oeste, impuesta por la inclinación topográfica. El frente máximo, instalado en su extremo occidental, debió rebasar el cuenco del Corral y volcar hacia el valle.

A finales del siglo XIX la reducción del foco glaciar sería ya muy efectiva, tendiendo los hielos a quedar encerrados en el Corral y arrinconados progresivamente, hacia el referido declive de los Machos y, al tiempo, buena parte de ellos sepultados bajo paquetes de bloques desprendidos de las paredes del picacho del Veleta. Este proceso de reclusión hacia oriente debió ser rápido, pues en pleno siglo XX, en 1916, se califican como “masa de hielo muerta sin movimiento ni fluctuaciones” [Obermaier, 1916: 67]

y en 1947 se dice de ellos: “La misma superposición estratigráfica de capas de nieve y de hielo azulado que se observa en los glaciares actuales en el Pirineo, se presenta en el este del Penibético” [García Sainz, 1947: 119]. Instalados en 1965 la desaparición de los hielos glaciares debería ser prácticamente total a la luz de la observación que hace Messerli: “hoy ya no puede hablarse de glaciario, en cambio no dudamos de su existencia a principios del siglo XX” [Messerli, 1965: 68 y 138].

En la actualidad, no existen vestigios visibles de hielos glaciares relictos en superficie, como aún sucedía en 1947 y probablemente también en 1965, pero si restos de ellos y *permafrost* bajo los espesos paquetes de rocas que cubren el tercio oriental de la base del Corral, desde su lagunilla hasta el declive de los Machos. Estudios recientes de su estado físico y reparto espacial han mostrado su degradación y disminución continuada (Gómez Ortiz *et al.*, 2014). El origen de estos acontecimientos radica en el predominio de unas condiciones climáticas adversas que tienen como respuesta la menor duración de la nieve en el suelo en las cumbres de Sierra Nevada, sobre todo al final del estío. Esta realidad, que se viene constatando desde hace ya décadas en el comportamiento de los neveros de fusión tardía en verano, se refleja en que cada vez más tienden a desaparecer o reducir dimensión y refugiarse en altitudes máximas de cumbres (Gómez Ortiz *et al.*, 2012). Su explicación está relacionada con el comportamiento de las condiciones climáticas actuales, subordinadas a la tendencia al incremento que vienen mostrando las temperaturas veraniegas, particularmente (Pérez Luque *et al.*, 2015; Oliva *et al.*, 2016) y a la tendencia en la merma de las precipitaciones níveas que se registran a lo largo del periodo frío (Santos Milheiro, 2017).

En cuanto a la paulatina degradación y reducción del hielo glaciario relicto y *permafrost* atrapados en el Corral del Veleta, se explica por la eficacia de la temperatura del aire durante la estación cálida, decisoria cuando el suelo está libre de nieve. En tales circunstancias la onda térmica de radiación exterior penetra y se propaga en el interior del suelo alcanzando el techo de los cuerpos helados que degrada y reduce volumen a lo largo del tiempo, constatado desde 1999 (Gómez Ortiz *et al.*, 2014).

## Agradecimientos

Al proyecto de investigación CSO2012-30681 de la Dirección General de Investigación Científica y Técnica (Ministerio de Economía y Competitividad. Gobierno de España). También al Parque Nacional de Sierra Nevada y a CETURSA. El presente estudio se incluye en el programa investigador del Grupo de Investigación Consolidado “Paisatge i paleoambients a la muntanya mediterrània” de la Universidad de Barcelona (SGR 2014-373). Marc Oliva agradece el apoyo del Programa Ramón y Cajal del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad.

## Referencias

Araneda, A., Torrejón, F., Aguayo, M., Torres, L., Cruces, F., Cisternas, M., Urrutia, R. 2007. Historical records of San Rafael glacier advances (North Patagonian Icefield): another clue

- to 'Little Ice Age' timing in southern Chile? *The Holocene* 17 (7), 987-998. <https://doi.org/10.1177/0959683607082414>.
- Barriendos, M., Martín Vide, J. 1998. Secular Climatic Oscillations as Indicated by Catastrophic Floods in the Spanish Mediterranean Coastal Area (14th-19th Centuries). *Climatic Change* 38, 473-491. <https://doi.org/10.1023/A:1005343828552>.
- Barriendos, M., Rodrigo, F.S. 2006. Study on historical flood events of Spanish rivers using documentary data. *Hydrological Sciences Journal* 51 (5), 765-783. <http://doi.org/10.1623/hysj.51.5.765>.
- Bermúdez de Pedraza, F. 1638. *Historia eclesiástica de Granada*. Edición facsímil en: Publicaciones de la Universidad de Granada, Granada, 1989.
- Bide, J.B. 1893. Deuxième excursion dans la Sierra Nevada. *Annuaire du Club Alpin Français* 20, 276-305.
- Boissier, Ch.E. 1839. *Voyage botanique dans le midi de l'Espagne pendant l'année 1837*. Versión castellana en: Boissier, Ch.E. *Viaje botánico al sur de España durante el año 1837*. Fundación Caja de Granada y Universidad de Málaga, Granada, 1995.
- Bradley, R., Jones, P.D. 1992. *Climate since 1500 AD*. Routledge, Londres, 679 pp.
- Brázdil, R., Pfister, C., Wanner, H., Storch, H. von, Luterbacher, J. 2005. Historical climatology in Europe. The State of the Art. *Climatic Change* 70, 363-430. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5924-1>.
- Broecker, W.S. 2000. Was a change in thermohaline circulation responsible for the Little Ice Age? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97 (4), 1339-1342. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.4.1339>.
- Bullón Mata, T. 2008. Evolución de las temperaturas invernales en la segunda mitad del siglo XVI en un sector del Sistema Central Español. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 48, 311-325.
- Capel, H. 1984-1985. Religious beliefs, Philosophy and scientific theory in the origin of Spanish Geomorphology, 17th-18th centuries. *Organon* 20-21, 219-229. Número especial sobre "La pensée géographique", Polish Academy of Science, Varsovia.
- Capel, H. 1985. *La Física Sagrada. Creencias religiosas y teorías científicas en los orígenes de la geomorfología española*. Ediciones del Serbal, Barcelona, 223 pp.
- Capel, H. 1989. The history of science and the history of the scientific disciplines. Goals and branching of a research program in the history of geography. *Geocrítica, Cuadernos Críticos de Geografía Humana* 84, 5-59.
- Casty, C., Raible, Ch.C., Stocker, T.F., Wanner, H., Luterbacher, J. 2007. European pattern climatology 1766-2000. *Climate Dynamics* 29, 791-805. <https://doi.org/10.1007/s00382-007-0257-6>.
- Copons, R., Bordonau, J. 1994. La Pequeña Edad del Hielo en el macizo de la Maladeta (Alta cuenca del Ésera, Pirineos centrales). En: C. Martí Bono, J.M. García Ruiz (Eds.), *El glaciario pirenaico: Nuevas aportaciones*. Geofoma Ediciones, Logroño, pp. 111-124.
- Cornejo Nieto, C. 2015. La circulación del conocimiento en la creación del discurso geográfico de Sierra Nevada en el siglo XIX. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 41 (1), 231-248. <https://doi.org/10.18172/cig.2638>.
- Domínguez Castro, F., Trigo, R.M., Vaquero, J.M. 2012. The first meteorological measurements in the Iberian Peninsula: evaluating the storm of November 1724. *Climatic Change* 118 (2), 443-455. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0628-9>.
- Dresch, J. 1937. De la Sierra Nevada au Grand Atlas, formes glaciaires et formes de nivation. *Mélanges de Géographie et d'Orientalisme offerts à E. Gautie*. Tours, pp. 194-212.

- Espizua, L.E., Pitte, P. 2009. The little ice age glacier advance in the Central Andes (35 S), Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3), 345-350. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.10.032>.
- Fernández Navarrete, F. 1732. *Cielo y suelo granadino*. Transcripción, edición, estudio e índices en: Gil Albarracín, A. 1997. Editora G.B.G., Almería-Barcelona.
- García Ruiz, J.M., Palacios, D., Andrés, N., Valero Garcés, B.L., López Moreno, J.I., Sanjuán, Y. 2014. Holocene and 'Little Ice Age' glacial activity in the Marboré Cirque, Monte Perdido Massif, Central Spanish Pyrenees. *The Holocene* 24 (11), 1439-1452. <https://doi.org/10.1177/0959683614544053>.
- García Sainz, L. 1947. *El clima de la España cuaternaria y los factores de su formación*. Secretariado de Publicaciones Universidad de Valencia. Valencia.
- Garza Merodio, G.G. 2014. Caracterización de la Pequeña Edad de Hielo en el México central a través de fuentes documentales. *Investigaciones geográficas* 85, 82-94. <https://doi.org/10.14350/rig.41883>.
- Gómez Ortiz, A., Schulte, L., Salvador Franch, F. 1996. Contribución al conocimiento de la deglaciación reciente y morfología asociada del Corral del Veleta (Sierra Nevada). *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 21, 543-558.
- Gómez Ortiz, A., Plana Castellví, J.A. 2006. La Pequeña Edad del Hielo (*Little Ice Age*) en Sierra Nevada a través de los escritos de época (siglos XVIII y XIX) y su relación con el progreso de la Geografía física y Geomorfología española. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 42, 71-98.
- Gómez Ortiz, A., Palacios, D., Schulte, L., Salvador Franch, F., Plana Castellví, J.A. 2009. Evidences from historical documents of landscape evolution after Little Ice Age of a Mediterranean high mountain area, Sierra Nevada, Spain (eighteenth to twentieth centuries). *Geographiska Annaler* 91A, 279-289. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2009.00370.x>.
- Gómez Ortiz, A., Oliva, M., Salvador Franch, F., Salvà Catarineu, M., Milheiro Santos, B., Plana Castellví, J.A., Espinar Moreno, M., García Ruiz, A.L., Sánchez Gómez, S., Serrano Giné, D. 2012. El paisaje reciente de Sierra Nevada, documentos escritos de época y significado geográfico de la Pequeña Edad del Hielo. *Nimbus* 29-30, 305-319.
- Gómez Ortiz, A., Oliva, M., Salvà Catarineu, M., Salvador Franch, F. 2013a. The environmental protection of landscapes in the high semiarid Mediterranean mountain of Sierra Nevada National Park (Spain): historical evolution and future perspectives. *Applied Geography* 42, 227-239. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.02.006>.
- Gómez Ortiz, A., Palacios, D., Palade, B., Vázquez Selem, L., Salvador Franch, F., Tanarro, L., Oliva, M. 2013b. La evolución glacial de Sierra Nevada y la formación de glaciares rocosos. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 61, 139-162.
- Gómez Ortiz, A., Oliva, M., Salvador Franch, F., Salvà Catarineu, M., Palacios, D., Sanjosé, J.J., Tanarro, L., Galindo Zaldívar, J., Sanz de Galdeano, C. 2014. Degradation of buried ice and permafrost in the Veleta cirque (Sierra Nevada, Spain) from 2006-2013. *Solid Earth* 5, 979-993. <https://doi.org/10.5194/se-5-979-2014>.
- Gómez Ortiz, A., Oliva, M., Salvador Franch, F., Plana Castellví, J.A., Sánchez Gómez, S., Espinar Moreno, M. 2015a. Ambientes periglaciares en Sierra Nevada durante la Pequeña Edad del Hielo. Interés científico de la información de los libros de época (siglos XVII-XIX). En: *Una visión global del Cuaternario*. XIV Reunión Nacional de Cuaternario, AEQUA-Universidad de Granada, Granada, pp. 136-140.
- Gómez Ortiz, A., Palacios, D., Oliva, M., Salvador Franch, F., Salvà Catarineu, M. 2015b. The deglaciation of Sierra Nevada (Spain): synthesis of current knowledge and new contributions. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 41 (2), 409-426. <https://doi.org/10.18172/cig.2722>.

- González Trueba, J.J. 2006. Topoclimatical factors and very small glaciers in Atlantic mountain of SW Europe: Little Ice Age glacial advance in Picos de Europa (NW Spain). *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 39, 115-125.
- González Trueba, J.J., Martín Moreno, R., Martínez de Pisón, E., Serrano, E. 2008. Little Ice Age glaciation and current glaciers in the Iberian Peninsula. *The Holocene* 18 (4), 551-568. <https://doi.org/10.1177/0959683608089209>.
- Grove, M. 2004. *Little Ice Age. Ancient and modern*. Routledge, Londres.
- Harrison, S., Winchester, V., Glasser, N. 2007. The timing and nature of recession of outlet glaciers of Hielo Patagónico Norte, Chile, from their Neoglacial IV (Little Ice Age) maximum positions. *Global and Planetary Change* 59 (1), 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.020>.
- Hellmann, G. 1881. Der südlische Gletscher Europa's. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde* 16, 362-367.
- Holzhauser, H., Zumbühl, H.J. 1996. To the history of the Lower Grindelwald Glacier during the last 2800 years –palaeosols, fossil wood and historical records– new results. *Zeitschrift für Geomorphologie. N.F. Suppl.-Bd.* 104, 95-127.
- Holzhauser, H., Magny, M., Zumbühl, H.J. 2005. Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years. *The Holocene* 15, 789-801. <https://doi.org/10.1191/0959683605hl853ra>.
- Lean, J., Beer, J., Bradley, R. 1995. Reconstruction of solar irradiance since 1610. Implications for climate change. *Geophysical Research Letters* 22 (23), 3195-3198. <https://doi.org/10.1029/95GL03093>.
- López Moreno, J.I., Revuelto, J., Rico, I., Chueca Cía, J., Julián, A., Serreta, A., Serrano, E., Vicente Serrano, S.M., Azorín Molina, C., Alonso González, E., García Ruiz, J.M. 2016. Thinning of the Monte Perdido Glacier in the Spanish Pyrenees since 1981. *The Cryosphere* 10 (2), 681-694. <https://doi.org/10.5194/tc-10-681-2016>.
- Luterbacher, J., Rickli, R., Xoplaki, E., Tinguely, C., Beck, C., Pfister, C., Wanner, H. 2001. The Late Maunder Minimum (1675-1715) - A key period for studying decadal scale climatic change in Europe. *Climatic Change* 49 (4), 441-462. <https://doi.org/10.1023/A:1010667524422>.
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M., Wanner, H. 2004. European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500. *Science* 303, 1499-1503. <https://doi.org/10.1126/science.1093877>.
- Madoz, P. 1849. *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*. Tomo XIV (voz Sierra Nevada), pp. 379-386. Edición facsímil, volumen de Granada. Editoriales Andaluzas Unidas-Ámbito, Valladolid, 1987, 302 pp.
- Martín Moreno, R. 2010. La Pequeña Edad de Hielo en el Alto Teide (Tenerife, islas Canarias). *Ería. Revista de Geografía* 83, 331-342.
- Masiokas, M.H., Luckman, B.H., Villalba, R., Delgado, S., Skvarca, P., Ripalta, A. 2009. Little Ice Age fluctuations of small glaciers in the Monte Fitz Roy and Lago del Desierto areas, south Patagonian Andes, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3), 351-362. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.031>.
- Mateo García, M., Gómez Ortiz, A. 2000. Oscilaciones climáticas en el Holoceno Histórico. La Pequeña Edad de Hielo en el valle del Madriu. En: J.L. Peña, M. Sánchez Fabre, M.V. Lozano (Eds.), *Procesos y formas periglaciares en la montaña mediterránea*. Instituto de Estudios Turolenses, Teruel, pp. 81-96.
- Messerli, B. 1965. *Beiträge zur Geomorphologie der Sierra Nevada (Andalusien)*. Juris Verlag, Zürich.
- Miller, G., Geirsdóttir, A., Zhong, Y., Larsen, D.J., Otto-Bliesner, B.L., Holland, M.M., Bailey, D.A., Refsnider, K.A., Lehman, S.J., Southon, J.R., Anderson, C., Björnsson,

- H., Thordarson, T. 2012. Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea-ice/ocean feedbacks. *Geophysical Research Letters* 39, L02708. <https://doi.org/10.1029/2011GL050168>.
- Murillo Velarde, P. 1752. *Geografía Histórica. Edición del Reino de Granada*. En: *Geografía de Andalucía*. Biblioteca de la Cultura Andaluza, Editoriales Andaluzas Unidas, Sevilla, 1988.
- Nussbaumer, S.U., Nesje, A., Zumbühl, H.J. 2011. Historical glacier fluctuations of Jostedalbreen and Folgefonna (southern Norway) reassessed by new pictorial and written evidence. *The Holocene* 21 (3), 455-471. <https://doi.org/10.1177/0959683610385728>.
- Nussbaumer, S.U., Zumbühl, H.J. 2012. The Little Ice Age history of the Glacier des Bossons (Mont Blanc area, France): a new high-resolution glacier length curve based on historical documents. *Climatic Change* 111 (2), 301-334. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0130-9>.
- Obermaier, H. 1916. Los glaciares cuaternarios de Sierra Nevada. *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales (Geología)* 17, 1-68.
- Oliva, M. 2009. *Reconstrucció paleoambiental holocena de Sierra Nevada a partir de registres sedimentaris*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Oliva, M., Gómez Ortiz, A., Schulte, L., Salvador Franch, F. 2009. Procesos periglaciares actuales en Sierra Nevada. Distribución y morfometría de los lóbulos de solifluxión en los altos valles nevadenses. *Nimbus* 23-24, 133-148.
- Oliva, M., Gómez Ortiz, A., Schulte, L. 2010. Tendencia a la aridez en Sierra Nevada desde el Holoceno Medio inferida a partir de sedimentos lacustres. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 52, 27-42.
- Oliva, M., Gómez Ortiz, A. 2012. Late Holocene environmental dynamics and climate variability in a Mediterranean high mountain environment (Sierra Nevada, Spain) inferred from lake sediments and historical sources. *The Holocene* 22 (8), 915-927. <https://doi.org/10.1177/0959683611434235>.
- Oliva, M., Gómez Ortiz, A., Salvador Franch, F., Salvà Catarineu, M. 2014. Present-day solifluction processes in the semiarid range of Sierra Nevada (Spain). *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 46 (2), 73-78. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-46.2.365>.
- Oliva, M., Gómez Ortiz, A., Salvador Franch, F., Salvà Catarineu, M., Ramos, M., Palacios, D., Tanarro, L., Pereira, P., Ruiz Fernández, J. 2016a. Inexistence of permafrost at the top of Veleta peak (Sierra Nevada, Spain). *Science of the Total Environment* 550, 484-494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.150>.
- Oliva, M., Serrano, E., Gómez Ortiz, A., González Amuchástegui, M.J., Nieuwendam, A., Palacios, D., Pellitero, R., Pérez Albertí, A., Ruiz Fernández, J., Valcárcel, M., Vieira, G., Antoniades, D. 2016b. Spatial and temporal variability of periglaciation of the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews* 137, 176-199. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.196>.
- Palacios, D., Gómez Ortiz, A., Andrés, N., Salvador Franch, F., Oliva, M. 2016. Timing and new geomorphologic evidence of the last deglaciation stages in Sierra Nevada (southern Spain). *Quaternary Science Reviews* 150, 110-129. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.08.012>.
- Pauli, H., Gottfried, M., Dullinger, S., Abdaladze, O., Akhalkatsi, M., Benito Alonso, J.L., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B., Fernández Calzado, R., Ghosn, D., Holten, J.I., Kanka, R., Kazakis, G., Kollár, J., Larsson, P., Moiseev, P., Moiseev, D., Molau, U., Molero Mesa, J., Nagy, L., Pelino, G., Puscas, M., Rossi, G., Stanisci, A., Syverhuset, A.O., Theurillat, J.P., Tomaselli, M., Unterluggauer, P., Villar, L., Vittoz, P., Grabherr, G. 2012. Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336, 353-355. <https://doi.org/10.1126/science.1219033>.
- Pauling, A., Luterbacher, J., Casty, C., Wanner, H. 2006. Five hundred years of gridded high-resolution precipitation reconstructions over Europe and the connection to large-scale circulation. *Climate Dynamics* 26 (4), 387-405. <https://doi.org/10.1007/s00382-005-0090-8>.

- Pérez Luque, A.J., Pérez Pérez, R., Bonet, F.J. 2015. Evolución del clima en los últimos 50 años en Sierra Nevada. En: R. Zamora, A.J. Pérez Luque, F.J. Bonet, J.M. Barea Azcón, R. Aspizua (Eds.). *La huella del cambio climático en Sierra Nevada: Retos para la conservación*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía, Granada, pp. 22-24.
- Ponz, A. 1797. Relación del viaje que desde Granada hizo á Sierra Nevada D. Antonio Ponz a influxo del Excmo. Sr. Marqués de la Ensenada. En: *Mensajero económico y erudito de Granada*, Granada, vol. 25-30.
- Porter, S.C. 1986. Pattern and forcing of northern hemisphere glacier variations during the last millenium. *Quaternary Research* 26, 27-48. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(86\)90082-7](https://doi.org/10.1016/0033-5894(86)90082-7).
- Prohom, M., Esteban, P., Martín Vide, J., Jones, P.D. 2003. Surface atmospheric circulation over Europe following major tropical volcanic eruptions, 1780-1995. Volcanism and the Earth's Atmosphere. *Geophysical Monographs* 139, pp. 273-281.
- Quelle, O. 1908. *Beiträge zur Kenntnis der spanischen Sierra Nevada*. Tesis doctoral. Universidad Friedrich-Wilhelm, Berlin.
- Quinn, W., Neal, V. 1992. The historical record of El Niño events. En: R. Bradley, P. Jones (Eds.). *Climate since A.D. 1500*. Routledge, Londres, pp. 623-648.
- Rojas Clemente y Rubio, S. de. 1804-1809. *Viaje a Andalucía. Historia Natural del Reino de Granada (1804-1809)*. Transcripción, edición, estudio e índices en: A. Gil Albarracín 2002. Editora G.B.G., Barcelona.
- Ruíz Fernández, J. 2013. *Las formas de modelado glacial, periglacial y fluviotorrencial del Macizo Occidental de los Picos de Europa (Cordillera Cantábrica)*. Tesis doctoral, Universidad de Oviedo, Oviedo.
- Santos Milheiro, B. 2016. *Cubierta nival y temperaturas de superficie en Sierra Nevada a través del tratamiento digital de imágenes de satélite*. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Schimper, W.P. 1849. Sur la géologie, la botanique et la zoologie du midi de l'Espagne. *L'Institut. Journal Universel des Sciences* 806, 189-192.
- Serrano, E., González Trueba, J.J., Sanjosé, J.J., Del Río, L.M. 2011. Ice patch origin, evolution and dynamics in a temperature high mountain environment: the Jou Negro, Picos de Europa (NW Spain). *Geographiska Annaler* 93A (2), 57-70. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2011.00006.x>.
- Shindell, D.T., Schmidt, G.A., Mann, M.E., Rind, D., Waple, A. 2001. Solar forcing of regional climate change during the Maunder Minimum. *Science* 294, 2149-2152. <https://doi.org/10.1126/science.1064363>.
- Solé Sabarís, L. 1942. 2ª Reunión de Estudios Geográficos. *Estudios Geográficos* 9, 687-726.
- Stuiver, M., Braziunas, T.F., Grootes, P.M., Zielinski, G.A. 1997. Is there evidence for solar forcing of climate in the GISP2 oxygen isotope record? *Quaternary Research* 48 (3), 259-266. <https://doi.org/10.1006/qres.1997.1931>.
- Titos Martínez, M. 1991. *Textos primitivos sobre Sierra Nevada (1754-1838)*. Caja General de Ahorros de Granada, Granada.
- Titos Martínez, M. 1997. *Sierra Nevada, una gran historia*. Universidad de Granada, Cetursa-Sierra Nevada, SA., Granada.
- Torres Palomo, M.P. 1967-1968. Sierra Nevada en los escritos árabes. *Miscelanea de Estudios Árabes y Hebraicos XVI-XVII*, pp. 57-88.
- Úbeda, J., Campos, N., Giráldez, C., García, E., Quirós, T., Palacios, D. 2014. Evaluación del enfriamiento del clima durante la pequeña edad del hielo en los Andes Centrales deducido de la altitud de la línea de equilibrio de glaciares actuales y pasados. *Boletín del Colegio de Geógrafos de Perú* 1, 19 pp.

- Virgili, C. 2003. *El fin de los mitos geológicos. Lyell*. Nívola, Madrid, 318 pp.
- Wanner, H., Solomina, O., Grosjean, M., Ritz, S., Jetel, M. 2011. Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews* 30 (21-22), 3109-3123. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.07.010>.
- Willkomm, M. 1882. *Aus den Hochgebirgen von Granada*. Versión castellana en: M. Willkomm, M. 1993. *Las Sierras de Granada*. Caja General de Ahorros de Granada y Sierra Nevada 95, Granada.
- Zumbühl, H.J., Nussbaumer, S.U. 2018. Little Ice Age glacier history of the Central and Western Alps from pictorial documents. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 44 (1), 115-136. <https://doi.org/10.18172/cig.3363>.
- Zumbühl, H.J., Steiner, D., Nussbaumer, S.U. 2008. 19th century glacier representations and fluctuations in the central and western European Alps: An interdisciplinary approach. *Global and Planetary Change* 60 (1-2), 42-57. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.08.005>.