



REAL ACADEMIA DE DOCTORS

El conocimiento glaciar de Sierra Nevada

•

Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari electe

Excm. Sr. Antonio Gómez Ortiz

Doctor en Geografia

A l'acte de la seva recepció, 27 d'abril de 2004, i

discurs de contestació de l'acadèmica de número

Excma. Sra. Maria Teresa Anguera Argilaga

Doctora en Filosofia i Lletres (Psicologia)

Barcelona

2004

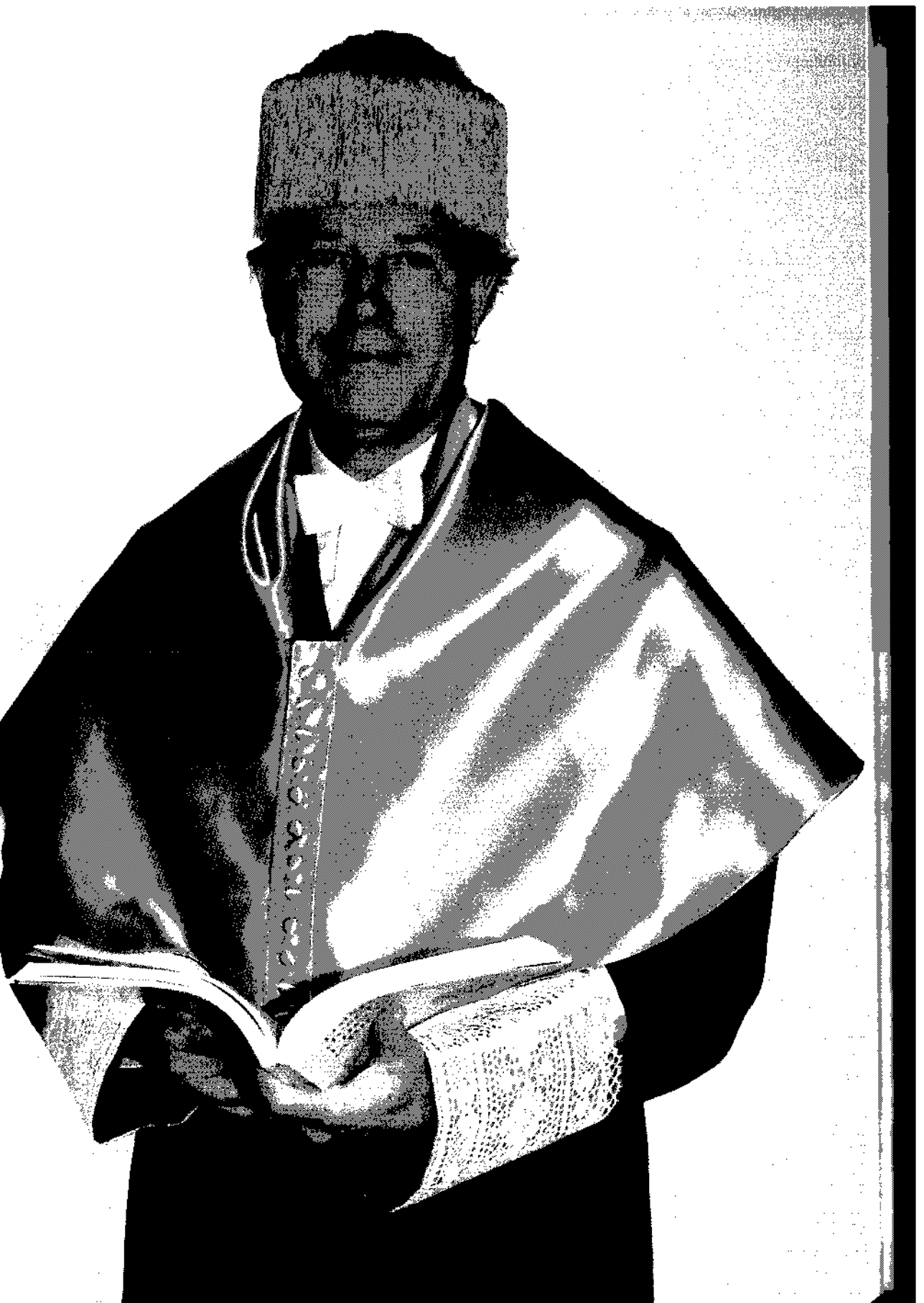
Dr. Antonio Gómez Ortiz

El conocimiento glaciar de Sierra Nevada.

De la descripción ilustrada del siglo XVIII a la explicación científica actual

REAL ACADEMIA DE DOCTORES

-Publicacions-



Excelentísimo Señor Decano-Presidente,
Excelentísimos Señores Académicos,
Ilustrísimas Autoridades,

Señoras y señores,
Queridos amigos:

Deseo que mis primeras palabras en este solemne acto de ingreso en la Real Acadèmia de Doctors sean de gratitud y reconocimiento a tan docta Institución. No quiero disimular que la distinción que me concede la Real Academia de Doctors me llena de satisfacción.

Pero debo apresurarme a decir que este honor no hubiera sido posible sin el eficaz concurso de otras muchas personas con las que deseo, desde ahora, igualmente compartirlo. Particularmente con toda mi familia -con mi esposa e hija, especialmente-, con los amigos y con los más próximos colegas y colaboradores. Pero también, y de manera particular, con los que ya no se encuentran entre nosotros. Me refiero, en primer lugar, a mi padre, que desde su sabiduría y sencillez supo inculcarme el sentido de la responsabilidad y el amor por el trabajo bien hecho. Igualmente mi recuerdo es para el Profesor Salvador Llobet Reverter, que con su magisterio supo introducirme en el apasionante mundo de la investigación. A ellos, hoy también deseo mostrarles mi gratitud.

El tema que he elegido para mi ingreso en la Reial Acadèmia de Doctors he querido centrarlo en una de las líneas de investigación que más tiempo ha venido ocupando mi quehacer científico durante estos últimos años. Me refiero a la acción morfológica de los procesos fríos en las montañas, parcela disciplinar en la que me inicié de la mano de Salvador Llobet en el año 1975, que fue cuando comencé a estudiar los resultados morfológicos del glaciario en el Pirineo Oriental.

Consciente de la amplitud temática propuesta he decidido acomodar el discurso en las formas de modelado de origen frío de Sierra Nevada, montaña andaluza por la que siento un especial apego. Este interés comenzó a fraguarse hace ya décadas, en concreto en 1980, aunque no fue definitivo hasta 1989, que es cuando comenzamos a afrontar el levantamiento geomorfológico detallado de los relieves glaciares y periglaciares del núcleo de cumbres de la Sierra.

Dos grandes cuestiones van a atenderse en este discurso, ambas contempladas desde la perspectiva de la Geografía física. Una, mostrar como los entendidos y científicos han venido explicando a lo largo del tiempo el significado paleoambiental que las crisis frías cuaternarias han tenido en la formación del paisaje de cumbres. Y otra, subrayar la relevancia de esta Sierra como modelo para el estudio de los procesos fríos actuales en el arco montañoso mediterráneo. De ahí el título del discurso: *El conocimiento glaciario de Sierra Nevada (de la descripción ilustrada del siglo XVIII a la explicación científica actual)*.

INTRODUCCIÓN

1. Sierra Nevada, montaña mediterránea singular

Sierra Nevada es la montaña andaluza por excelencia, pues a su considerable volumen y altitud, que incluye los puntos más elevados de la Península Ibérica -Mulhacén, 3482 m; Veleta, 3398 m; Alcazaba, 3366 m; etc.-, hay que añadirle cinco de los seis pisos bioclimáticos que, en el mejor de los casos, pueden albergar las montañas mediterráneas. En nuestro caso, desde el inframediterráneo, instalado en los tramos más bajos de los barrancos alpujarreños, al crioromediterráneo de sus altas cumbres. Estas condiciones altitudinales y bioclimáticas otorgan a Sierra Nevada una extraordinaria riqueza de paisajes, en ocasiones singulares y únicos.

La Sierra, como acostumbra a nombrarse, se reparte entre las provincias de Almería y Granada y se dispone en sentido este-oeste a lo largo de unos 80 km, desde Ohanes, en la provincia de Almería, hasta las cercanías de la ciudad de Granada. En línea recta y a partir de su cordal máximo dista menos de 40 km del mar Mediterráneo. En su conjunto Sierra Nevada forma parte del Sistema Bético y configura una unidad morfoestructural bien delimitada de su Zona Interna.

Fundamentalmente la Sierra está construida a partir de una sucesión apilada de mantos de corrimiento que incluyen series de rocas de diferente naturaleza y edad. Entre éstas destacan, por formar los tramos medios y altos, las series metamórficas del basamento paleozoico bético (micasquistos y pizarras del Nevado-Filábride, la denominada *lastra* de los lugareños), y abrazando a estas series se disponen otras carbonatadas del Trias, entre las que destacan las calizas y dolomías del Alpujárride (el denominado *calar* de las gentes del lugar) (Díaz de Federico et al., 1980).

Unas y otras series litológicas se ofrecen muy tectonizadas incluyendo, además, importantes contactos mecánicos y dislocaciones que pueden explicarse a partir de la reciente construcción tectónica de la Sierra. Geológicamente se trata de una montaña joven, pues su actual volumen y configuración morfoestructural se ha venido construyendo a partir de los últimos tiempos de la era Terciaria (desde el Tortoniense, hace unos 10-11 millones de años) (Sanz de Galdeano, 1999). Tales acontecimientos tectónicos han tenido una importancia considerable en la neotectónica de

fractura, cuyos resultados resultan muy visibles en las formas locales, entre ellas, la organización de la red fluvial de cabecera, como ocurre, por ejemplo, en el cuenco del Goterón, en el valle de Trevélez.

En cuanto a la identificación orográfica regional, hay que señalar su nítida delimitación. Por el oeste y norte, se despega del valle de Lecrín y de las depresiones de Granada y Guadix; por el sur y este, se deslinda de las sierras de Lújar, Contraviesa y Gádor a través de los surcos fluviales del Guadalfeo y Andarax y, por el noreste y este, la aísla el río Nacimiento de las sierras de Baza-Filábres (fig. 1).

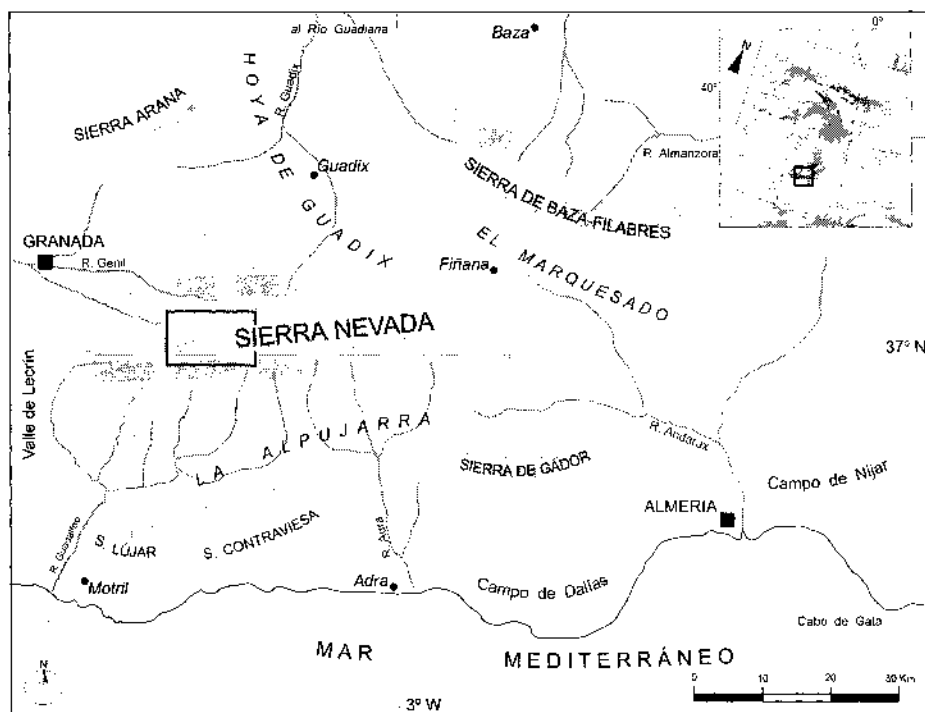


Figura 1. Identificación regional de Sierra Nevada. En recuadro el área más afectada por el glaciarismo cuaternario

La disposición transversal de la Sierra -a lo largo del paralelo 37° de latitud norte- y su considerable volumen y altitud han dispuesto que la red fluvial que la surca se organice radialmente, a partir del nivel de cumbres. Así, los barrancos que se orientan hacia el sur, Lanjarón,

Poqueira, Trevélez (organizados en torno al Guadalfeo) y Adra y Andarax, sobre todo, tributan aguas directamente al mar Mediterráneo. En cambio, aquellos otros que se canalizan hacia el norte, Dílar, Monachil, Alhama, Verde, etc., (ahora jerarquizados por el Genil y Fardes), lo hacen hacia el Guadalquivir. Todos son barrancos cortos, angostos, empinados y tortuosos, caracterizados por un régimen de caudal muy irregular, propio mediterráneo, lo que les otorga una extraordinaria capacidad de arrastre.

En su conjunto, Sierra Nevada mantiene formas de relieve poco energías, pues las lomas que definen los interfluvios de los barrancos - como unidades mayores- se dilatan ganando cota de forma relativamente regular. Sin embargo, hay que señalar los contrastes que se detectan entre la vertiente norte y la sur, cuyo origen es tectónico. Casas Morales (1943) cuando estudió el glaciario del Marquesado se refirió a esta disimetría en los siguientes términos: *"La vertiente mediterránea es convexa, y la atlántica cóncava. Aquella está cargada de espaldas, y ésta desciende más rápida. En la una predomina la loma, y en la otra, el tajo. Por eso se ha dicho que Sierra Nevada mira al norte. La tectónica viene en nuestro auxilio: Sierra Nevada es un gran branquianticlinal echado hacia el noroeste. La mano que empujó vino del Africa"*.

Sin embargo, por encima de los 2500 m y, sobre todo, en el tercio más occidental de ella, a partir del puerto de Trevélez (2812 m), la morfología resulta más agresiva, más alpina. La causa de este cambio está relacionada con la acción mecánica de los glaciares que surcaron la Sierra durante los periodos fríos cuaternarios. A ellos se debe la mezcolanza de formas, sobre todo erosivas, que caracterizan a estos tramos cimeros, donde el substrato desnudo conforma cresterías y puntales rocosos que tienden a presidir circos de paredes empinadas y anchas cabeceras de valle tapizadas de pedreras. Sin lugar a dudas el ramal más occidental de la Sierra, entre el puntal del Goterón (3075 m) y el picacho del Veleta (3398 m), es donde esta amalgama de formas tiende a concentrarse de manera más nítida.

Sierra Nevada, especialmente en sus niveles de cumbres, es una reserva biológica, geomorfológica y geológica de gran interés. Para el estudioso es, ante todo, un espacio privilegiado donde el medio biofísico incluye ecosistemas y formaciones geológicas y geomorfológicas singulares que, por su alto valor y significado científico, deben protegerse

y conservarse. Esta riqueza de su medio natural, evidenciada ya en los escritos de los científicos que a lo largo del siglo XIX la recorrieron, fue en su tiempo un sólido puntal para que sus espacios más elevados fueran catalogados como Reserva de la Biosfera del Programa MAB de la UNESCO (1986), Parque Natural por la Junta de Andalucía (1989) y, recientemente, también Parque Nacional por el Gobierno de España (1999) (foto 1).



Foto 1. Nivel de cumbres de Sierra Nevada, sector Alcazaba-cerro de los Machos (agosto 2003)

Pero Sierra Nevada no es sólo naturaleza, a pesar de que sea ésta quien predomine. Sierra Nevada también es presencia humana. Y la mejor prueba de ello es la impronta que el hombre, a través del tiempo, ha dejado en su paisaje. Aunque en esta ocasión no debe ser motivo fundamental ocuparse de tales hechos, si es necesario, aunque sea de pasada, referirse a ellos.

En efecto, la Sierra, desde antiguo dió cobijo a núcleos de población diseminados que tendieron a trepar las lomas. El poblamiento definitivo y su consolidación en el territorio se realizó durante la época musulmana, pues de entonces proceden la mayor parte de los pueblos, como sucede con los de las antiguas *tahas* de la Alpujarra, desde levante, en el valle del Andarax (Canjajar, Laujar, etc.), hasta poniente, en el barranco de Poqueira (Capileira, Pampaneira, Bubión, etc.). Ellos son, sin duda, la mejor muestra de la humanización de la Sierra, pues a su alrededor se ha venido desarrollando a lo largo del tiempo un sistema social y económico particular, mezcla de una cultura musulmana y otra cristiana, introducida ésta a partir de la toma de Granada en 1492.

Y ha sido esta forma de ser y de hacer de los hombres la que ha dejado una marcada impronta aún visible en el paisaje de la Sierra y cuyo mejor reflejo coincide en el aprovechamiento de la tierra. En tal sentido, subrayar, sobre todo, la huella dejada por el sistema agrícola, particularmente el que se vino adoptando desde la presencia árabe, basado, sobre todo, en el dominio de la arboricultura y en el uso del agua (Villegas Molina et al., 1995). Ello explica el abancalamiento que presentan las lomas, en ocasiones hasta cotas muy altas, y la densa red de acequias que tienden a surcarlas, lo que, en su conjunto, otorga al paisaje alpujarreño una fisionomía particular muy distinta a la que presentaría esta parte meridional de la montaña si la mano del hombre no hubiera intervenido.

LOS GLACIARES DE SIERRA NEVADA. TEMA DE ESTUDIO GEOGRÁFICO

1. Interés geográfico del glaciario de Sierra Nevada

La particularidad morfológica del nivel de cumbres de Sierra Nevada reside en el excelente y significativo conjunto de formas glaciares y periglaciares que cubre. Éstas, en su conjunto, propician a esta parte de la montaña un aire alpino, reflejado, particularmente, en la energía con que se presenta el relieve. Llegar a la explicación científica de este hecho, sistematizando ideas y aportando y entrelazando nuevos datos a lo largo del tiempo, ha sido el fruto de muchas décadas de estudio por parte de los hombres de ciencia que a través de los tiempos han ascendido a la Sierra para descubrirla.

Los glaciares de Sierra Nevada y las formas a que éstos dieron lugar en los valles empezaron a descubrirse y a conocerse con cierto detalle a inicios del siglo XX, aunque desde la segunda mitad del siglo XIX ya se venían apuntando ideas acerca de la existencia de sus huellas. La razón de este relativo retraso en el despertar por la morfología glaciar nevadense, si lo comparamos con las primeras referencias de los Alpes o los Pirineos – que son del primer tercio del siglo XIX –, reside en que, hasta esos años, el objeto de estudio preferente que se hace de la Sierra es su particular vegetación, con especies propias de diferentes latitudes.

Estas circunstancias debieron ser las razones por las que renombrados botánicos y naturalistas comenzaron a ocuparse del tema a partir del tránsito de los siglos XVIII y XIX, entre los que destacaron Rojas Clemente (1804); Boissier (1837); Willkomm (1847); etc. Su labor fue excelente y desbordó con creces el objeto de estudio. En tal sentido, hay que reseñar que son ellos, con sus atinadas observaciones, sobre todo desde las que hiciera Boissier en el primer tercio del siglo XIX, los primeros en indicar la existencia de masas heladas en la Sierra, conformando, excepcionalmente, en el Corral del Veleta un diminuto glaciar.

Como se expondrá oportunamente las huellas glaciares nevadenses se confirman definitivamente durante los últimos decenios del siglo XIX que es cuando los eruditos que visitan la Sierra asocian las lagunas de los circos y las formas que dibujan las cabeceras de los barrancos al trabajo

mecánico de las masas de hielo cuaternarias. Sin embargo, el análisis particular de las formas deposicionales y erosivas y su distribución y encuadre en los valles debió esperar hasta finales del primer decenio del siglo XX con las observaciones de Quelle (1908) y, particularmente, las de Obermaier (1916).

El interés que ha despertado el glaciario de Sierra Nevada deriva, particularmente, de la latitud en la que se instala la montaña y de su inclusión en la región mediterránea, de ahí que sea conocido como el más meridional de Europa. También, porque los resultados de los distintos sistemas morfogénicos desarrollados a lo largo del Cuaternario marcan el tránsito entre ambientes de montañas de latitudes medias, centroeuropeas propiamente dichas, y aquellos otros ambientes tropicales, en este caso representados por la cordillera del Atlas. Todos estos hechos han venido a otorgar a los glaciares nevadenses una determinada singularidad, bien reflejada en el dominio del espacio glaciado y en las formas construidas.

En efecto, la acción glaciario predominante en Sierra Nevada se refugió en los niveles de cumbres, bien superados los 2500 m, tal como se detecta a lo largo de los 23 km que conforman el cordal cimero, que se extiende entre el cerro del Caballo (3011 m) y el Picón de Jeres (3088 m). Es a ambos lados de esta línea de cumbres donde se instalan las morfologías más espectaculares de la Sierra y las que otorgan al macizo ese aire alpino que antes comentábamos, particularmente en su fachada nororiental, sobre todo en el tramo puntal de la Alcazaba-picacho del Veleta, que por su exposición a la influencia de los flujos atlánticos recibió mayor acopio de nieves. Sin embargo, hay que subrayar que los glaciares que surcaron los barrancos de Sierra Nevada mantuvieron medidas muy modestas y se dispusieron bien individualizados. Escasamente rebasaron los 10 km de longitud y siempre se acomodaron a los moldes de los barrancos, al contrario de lo acontecido en los Alpes y algunos sectores del Pirineo donde las masas de hielo lograron rebosar circos e interfluvios consiguiendo, en algunos casos, salir del núcleo de la montaña (fig. 2).

Por lo que respecta al descubrimiento periglaciario de Sierra Nevada, sistema morfogénico asociado también a ambientes fríos pero caracterizado por la actuación temporal del hielo-deshielo, nieve y aguas

de fusión, no se tiene noticia de él hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XX, al igual que sucedió en el resto de la Península Ibérica.

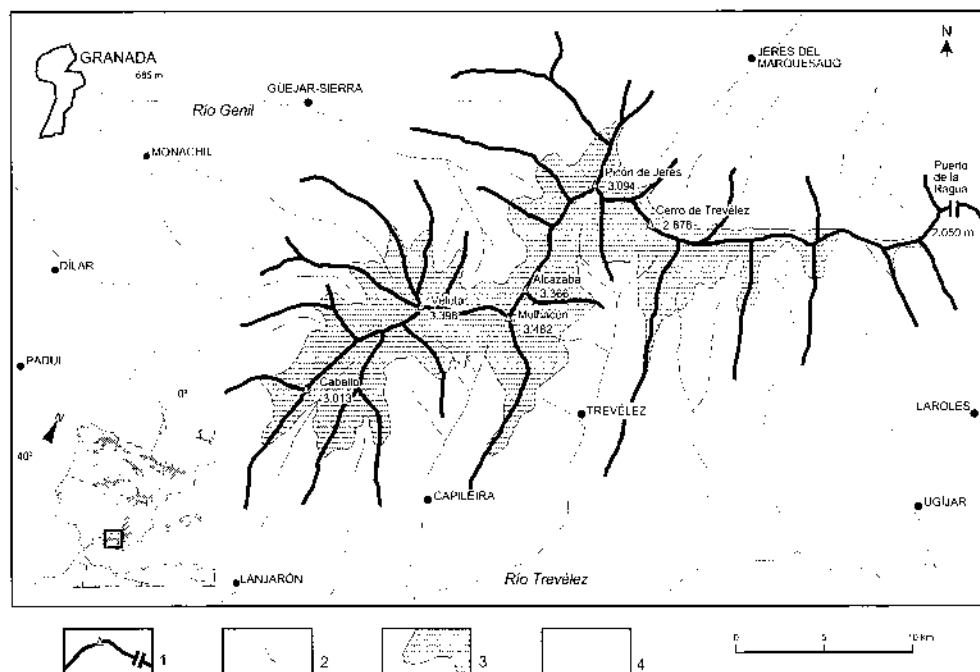


Figura 2. Nivel de cumbras de Sierra Nevada y determinación de la zona glaciada
1. Línea de cumbras, pico, collado; 2. Red de barrancos; 3. Tramos de montaña instalados por encima de los 2500 m; 4. Área glaciada

Durante los tiempos pleistocenos la morfogénesis periglacial mantuvo un espacio mucho más desarrollado y generalizado que el glacialismo, pues su repercusión morfológica en el paisaje afectó a montañas relativamente bajas, como ocurrió en diferentes unidades prepirenaicas o en no pocos macizos litorales gallegos y cántabros, por ejemplo. Lo mismo aconteció en las montañas andaluzas, como lo demuestran muchos de los modelados de ladera de las sierras de Gádor, Contraviesa y Lújar, tan cercanas a Sierra Nevada.

Acerca de la propia Sierra la eficacia de la morfogénesis periglacial resultó relevante, en particular en el modelado de las lomas. Una de las

referencias más tempranas a esta actuación temporal del hielo-deshielo, nieve y aguas de fusión se debe a Hempel (1958) que sitúa las formas fósiles más bajas en Sierra Nevada entre 800-1000 m, coincidentes con el dominio de los glaciares en altura. Sobre dinámica periglacial actual, con resultados eficaces por encima de los 2700 m, las primeras citas son de Dresch (1937), aunque la afirmación más rotunda se debe a Soutadé y Baudière (1970), que establecen relaciones de dependencia entre procesos fríos y vegetación en las cabeceras de los barrancos de Dílar, Monachil y San Juan.

2. Conocimiento del glaciario nevadense: etapas significativas

La historia precisa del conocimiento glaciario de Sierra Nevada, sobre todo su instalación en el tiempo y resultados morfológicos, aún está por concluir. A pesar de ello sí pueden establecerse etapas significativas en el progreso de este conocimiento. Se trata de dos y en cada una de ellas se detectan, a su vez, periodos diferenciados secuenciados cronológicamente y muy entroncados con el progreso de la ciencia en general.

La primera etapa, que podría calificarse de descriptiva, comienza en los primeros decenios del siglo XIX y abarca sin grandes cambios conceptuales hasta finales de ese siglo y tránsito del XX. Se caracteriza por el relato general del paisaje de Sierra Nevada al que se subordina todo lo relativo a nieve e hielo y formas asociadas. Es lógico que así sea, pues el desarrollo de la ciencia en estos tiempos, que podría prolongarse hasta el tercer-cuarto decenio del siglo XIX, no puede aún valorar y explicar el resultado particular del trabajo mecánico de los glaciares en el conjunto general del paisaje. Sólo en los Alpes y de la mano de científicos centroeuropeos, particularmente, este ejercicio intelectual comienza a vislumbrarse.

A partir del tercer-cuarto decenio del siglo XIX y hasta el término del mismo, -periodo de tiempo aún inmerso en el pensamiento romántico como lo demuestran los relatos de los estudiosos que visitan Sierra Nevada-, el conocimiento glaciario conoce un progreso significativo, pues los escritos incluyen descripciones relativas a la acción mecánica de los hielos, aunque sin conformar un discurso específico y sistemático, en oposición a lo que ya se confirma en los estudios referidos a los Alpes y

Pirineos. En un primer momento estas referencias se deben a viajeros que acceden a la Sierra con la finalidad de describir sus riquezas naturales o paisajísticas pero, sobre todo, a científicos formados en universidades centroeuropeas movidos por intereses botánicos, faunísticos, mineralógicos o geográficos. Sus descripciones son muy precisas mostrando, siempre, una especial atención al Corral del Veleta, y, particularmente, al pequeño glaciar que alberga.

En un segundo momento de esta primera etapa, instalados ya en la segunda mitad del siglo XIX, el avance científico glaciar de Sierra Nevada tiende a consolidarse en un ambiente de opiniones contrastadas. La razón de esta tímida consolidación deriva, en gran manera, del progreso que se opera en el conocimiento de los valles de los Alpes y de los Pirineos, pues buena parte de estos científicos que los estudian visitan la Sierra y comienzan a entrever la acción del glaciario cuaternario, del que toman como referencia la morfología de las lagunas de los corrales y la morfología de las cabeceras de barrancos (Mac-Pherson, 1875; Penck, 1894, etc.).

La segunda etapa que caracteriza el avance del descubrimiento glaciar de Sierra Nevada tiende a ser eminentemente explicativa y abarca lo acontecido a lo largo del siglo XX y nuestros días. Ahora, el rasgo distintivo es la interpretación morfológica a partir de la reconstrucción de los acontecimientos acaecidos en el transcurso del tiempo y, paralelamente, su representación cartográfica. La figura que definitivamente marcó este rumbo fue Hugo Obermaier, con su trabajo de 1916 (fig. 3).

Durante esta etapa igualmente podrían diferenciarse dos periodos en los que objetivos, enfoques, metodologías y técnicas de estudio tienden a variar. Las razones de ello derivan de la permeabilidad que se opera, progresivamente, entre ciencias. La década de 1960 podría marcar el paso de uno a otro periodo y la figura clave estaría representada por Bruno Messerli (1965). Hasta entonces, las investigaciones tienden a la localización de huellas glaciares en los fondos de barrancos, para de esta forma determinar sus extensiones. También preocupa la cronología de los hechos y el intento de correlacionarlos con las glaciaciones alpinas. En el transcurso del segundo periodo, que abarca hasta nuestros días, la

temática se diversifica aunque se afronta desde perspectivas globales de dinámica del paisaje de regiones frías, por lo que se opera desde visiones pluridisciplinarias. Por lo que respecta a la acción glaciaria se completa su análisis y reconocimiento "in situ", al tiempo que se cartografía en detalle prácticamente la totalidad de su dominio en la Sierra, aunque no se solventa su cronología precisa. Y por lo que respecta a la dinámica periglaciaria, hasta entonces tratada de manera muy superficial, en el mejor de los casos, interesan, primero, las formas, y más recientemente, la morfodinámica de los procesos actuales y su significado en la evolución dinámica del paisaje de cumbres. Asimismo se descubren restos morfológicos de la Pequeña Edad del Hielo y el mantenimiento de *permafrost* profundo en el Corral del Veleta. Es a lo largo de este segundo periodo cuando se despliega nuestro interés por la Sierra.



Figura 3. *Hugo Obermaier (1877-1946)*

EL DESCUBRIMIENTO DEL PAISAJE DE SIERRA NEVADA Y EN PARTICULAR EL DE SUS HIELOS Y GLACIARES EN LA LITERATURA DE ÉPOCA

Sierra Nevada, como entidad geográfica, ha venido acaparando la atención desde que viajeros, geógrafos y poetas árabes, allá por el siglo XII, empiezan a darnos cuenta de su paisaje a través de noticias puntuales y casi siempre enmarcadas en relatos de contenido descriptivo. Fue a partir de mediados del siglo XVIII y de la mano de los viajeros ilustrados, cuando se empieza a tener información más precisa de ella, pues comienzan a resaltarse aspectos significativos o relevantes, particularmente de sus riquezas y de los beneficios que ellas pueden aportar a las personas.

Entrado el siglo XIX, e imperante el pensamiento romántico, Andalucía y, particularmente, Granada y su Sierra, sobre todo la Alpujarra, son objeto de especial atractivo, pues en torno a ellas se crea una aureola de misterio y encanto moruno (Titos Martínez, 1990). La información sobre la Sierra va en aumento y tiende ahora a cubrir multitud de aspectos temáticos de su paisaje, de sus gentes y de sus costumbres. Y lo mismo ocurre con su cartografía, bien reflejada en multitud de mapas, algunos de intencionado contenido temático (Titos Martínez et al., 1995). Se trata, sobre todo, de descripciones minuciosas en las que el rigor y la precisión ocupan lugar destacado, siempre a partir de detalladas observaciones a partir del trabajo de campo. Entre los autores más relevantes y para lo que nos interesa, destacan los naturalistas centroeuropeos impregnados de las teorías actualistas.

La aportación española, aunque menor, también es de interés a partir de la segunda mitad del siglo XIX y tiene lugar como respuesta a la cercanía de objetivos de una serie de instituciones fuertemente influenciadas por el progreso que experimentan las ciencias naturales en centroeuropa. Nos referimos a la Comisión Nacional del Mapa Geológico de España, creada en 1849; a la Sociedad Española de Historia Natural, instaurada en 1871; a la Sociedad Geográfica de Madrid, fundada en 1876 y a la Institución Libre de Enseñanza, constituida en 1876, preocupada, ésta, sobre todo, por la educación y el progreso de la ciencia. Hay que resaltar que todo este despliegue de intereses, muy fecundo durante los últimos

decenios del siglo XIX, permitió conocer relativamente bien la Sierra, al menos en sus aspectos más generales, tanto físicos como humanos, pues la montaña, en sentido genérico, es entendida no sólo como paisaje singular, sino como lugar de trabajo y como escuela (Martínez de Pisón, 1995), en la que coinciden los fines de la Geografía y del Naturalismo (Gómez Mendoza et al., 1992).

1. La información procedente de crónicas y libros de viajeros previos a la Ilustración

Hasta mediados del siglo XVI, de pleno en la Ilustración, la información que se tiene de Sierra Nevada es incompleta, pues los autores se refieren a ella resaltando aspectos muy genéricos. Sólo se dan detalles de interés de las poblaciones que hay en sus laderas, de la Alpujarra, especialmente señalando pueblos, usos del suelo y cultivos. De los tramos altos del macizo, que no parece que fuera visitado con atención -y menos sus cumbres- se refiere su instalación en el territorio del Al-Andalus, su nieve permanente y frío intenso, sus ríos que nacen y descienden hacia Granada, sus muchas plantas, algunas únicas y con poderes curativos, etc.

1.1. Referencias en escritos árabes

De las noticias más antiguas que se tienen de Sierra Nevada hay que considerar las procedentes de las crónicas árabes aunque no proporcionan una información precisa de la montaña como unidad biofísica, pues generalmente se trata de descripciones o alusiones que acompañan a relatos o crónicas con otros fines específicos, generalmente informando de un territorio conquistado, refiriendo trayectos de comunicación o distancias entre ciudades, subrayando condicionantes estratégicos de las poblaciones, etc. Pero a pesar de ello, y dentro de las limitaciones, resultan útiles pues subrayan la particularidad de la Sierra como entidad orográfica diferenciada, a veces tomándola como sinónimo del reino de Granada, por inscribirse en él.

Los estudios de escritos árabes acerca de Sierra Nevada escasean. Uno de los que ofrece más información es el de Torres Palomo (1967-1968), que

recopila información relativa a la Sierra desde el siglo VIII al XV y de quien tomaremos algunas citas.

Sierra Nevada es nombrada por Plinio y también por San Isidoro como monte *Solarius* o monte *Solorio* (derivación de *Sol Oriens*), refiriéndose a que en sus cumbres brilla el Sol antes de que éste asomara por el horizonte (Titos Martínez, 1997). Los textos árabes la denominan unas veces *Yabal al-Taly* y otras *Yabal Sulayr*. *Yabal al-Taly* es un topónimo descriptivo que significa Monte de la Nieve o Sierra Nevada, mientras que *Yabal Sulayr* o simplemente *Sulayr*, es la traducción latina de *Solarius-ris*, Monte del Sol (Torres Palomo 1967-1968).

Una de las referencias más antiguas de autores árabes se debe a Ibn al-Faqih al-Hamadani, que en el año 903 y mencionando a la ciudad de Córdoba señalaba: *"En Córdoba se goza de una temperatura agradable, incluso no hay necesidad de usar trajes de lino en el verano. Tiene manantiales y pozos y cerca de ellos la nieve cae sobre el monte Sulayr, que queda a cuatro días de marcha de Córdoba"*.

También de este tiempo es la referencia de Ahmad al-Razi que en su "Descripción de al-Andalus" cita a la Sierra como articuladora del distrito de Elvira y como origen de muchos ríos. Precisa estas ideas en los siguientes términos: *"El distrito de Elvira está dotado de numerosas ventajas. Se encuentra en él un monte llamado Sulayr, conocido también con el nombre de Sierra Nevada porque la nieve lo cubre durante todo el año: cuando una capa desaparece es reemplazada por otra. Si se visita esta montaña durante la época de calor se encuentran en ella lugares agradables para descansar y gran abundancia de flores, fuentes naturales y plantas medicinales (...). La ciudad de Granada está atravesada por un río que se llama Falum y hoy se llama Genil. En una montaña que se encuentra en el distrito de Elvira nace otro río llamado Darro, en el que se recogen granos de oro fino. Recibe afluentes que bajan de Sierra Nevada ..."*.

Por su parte el geógrafo Al-Idrisi, en 1154, nos facilita la siguiente información de la Sierra: *"Esta villa -se refiere a Granada- está atravesada por un río que se llama Darro. Al mediodía corre el río de la nieve, que se llama Genil y tiene su origen en el Monte Sulayr o Sierra Nevada. La longitud de esta cadena es de dos días de marcha. Sus cumbres alcanzan gran altura, permaneciendo allí la nieve tanto en invierno como en verano. Guadix y Granada están al norte de esta montaña cuya vertiente sur se divisa desde el mar a una*

distancia de una mayrà aproximadamente. Y en la parte inferior de dicha vertiente, hacia el mar, estan Berja y Dalías, de las que ya hemos hablado".

De lo referido hasta ahora se desprende una constante en los escritos árabes y es la insistencia en resaltar la presencia permanente de nieve en la Sierra y las bajas temperaturas que la dominan. Este hecho cobra especial significado en el escrito de Muhammad b. Abi Bakr al-Zuhri, que visitó la ciudad de Granada en 1137: *"Y esta montaña es una de las maravillas del mundo porque no se ve limpia de nieve en invierno ni en verano. 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. En la cumbre de esta montaña las plantas no crecen ni los animales pueden vivir; pero su falda está salpicada de poblados, muy próximos, en un espacio de seis días de marcha, habiendo gran abundancia de plantas y frutas (...). Nadie puede subir a esta montaña ni andar por ella, salvo en la época de calor, cuando el Sol está en el signo de Escorpión, siendo entonces posible su acceso (...). Al pie de esta montaña, hacia el occidente, está la ciudad de Granada -Dios, ensalzado sea, la conserve-, que es una de las ciudades más bellas de la tierra".*

En términos semejantes se suceden los escritos árabes a lo largo de estos tiempos, acaso, como apunta Torres Palomo (1967-1968), porque unos autores transcriben los datos de otros. Un ejemplo es la referencia del geógrafo e historiador Ibn Abd al-Muncim al Himyari, en su obra escrita a fines del siglo XIII o comienzos del XIV. Se refiere a Sierra Nevada de esta forma: *"Esta cadena montañosa puede verse desde la mayor parte del territorio de Al-Andalus, y se la ve también desde la orilla opuesta, en el país de los bereberes. En este macizo existen notables variedades de árboles frutales. Las aldeas situadas en sus laderas producen seda de excelente calidad y se cosecha un lino superior al de Fayyum. La longitud de esta cadena es de dos días de marcha. Sus cumbres alcanzan gran altura, permaneciendo allí la nieve tanto en invierno como en verano".*

Estas ideas repetitivas relativas a la Sierra se reproducirán una vez tomada la ciudad de Granada por los Reyes Católicos, en 1492. Así, un escrito procedente de Ahmad b. Ali al-Mahalli, fechado en 1553 y relativo al occidente musulmán, la describe así: *"En la cumbre de esta montaña las plantas no crecen ni los animales pueden vivir, pero su falda esta salpicada de poblados, muy próximos, alcanzando los cultivos una extensión de diez jornadas de marcha y abundando las frutas, nueces, castañas y manzanas. En ningún país*

se da una producción mayor de seda (...). En ella se dan el espliego, el turbit, el mahlab alcuqab y otras plantas muy útiles. No tiene acceso esta montaña más que por tres lugares especiales y cuando se sube por alguno de ellos y se ha llegado a la cumbre, se divisa desde allí la tierra de Tremecén, etc.(...). Sopla en ella un viento helado que mata a todos aquellos sobre los que pasa. Ya murieron muchas personas en pleno verano a causa de la crudeza del frío. Al pie de esta montaña, hacia occidente, está la ciudad de Granada que se cuenta entre las ciudades más bellas”.

1.2. Referencias en escritos que narran la rebelión morisca granadina

La información que se tiene de la Sierra durante los siglos XVI y XVII procede, fundamentalmente, de las crónicas historiográficas que describen la rebelión de los moriscos en la Alpujarra. De entre ellas destaca la "Guerra de Granada", de Hurtado de Mendoza, publicada en 1627, y la "Historia de la rebelión y castigo de los moriscos del Reyno de Granada", de Marmol y Carvajal, datada en 1600.

Ambas obras son, particularmente, crónicas militares que incluyen, además, hechos sociales de los moriscos. Desde la óptica geográfica continúan siendo descriptivas pero usando un lenguaje más ajustado. En lo fundamental la aportación que hacen estriba en una mayor precisión locacional de los accidentes geográficos, sobre todo en lo relativo a ríos y delimitaciones, siempre desde la identificación entre Sierra Nevada y la Alpujarra. El siguiente párrafo, de Hurtado de Mendoza, resume bien lo dicho: *"Alpujarra llaman a toda la montaña sujeta a Granada, como corre de levante a poniente, prolongándose entre tierra de Granada y la mar, diez y siete leguas en largo, y once en lo ancho, poco más o menos: estéril y áspera de suyo, sino donde hay vegas; pero con la industria de los moriscos (que ningún espacio de tierra dejan perder) tratable y cultivada, abundante de frutos y ganados y crías de sedas”.*

Otra referencia en estilo similar exenta de contenido bélico y con predominio del geográfico, procede de Henríquez de Jorquera, que a mediados del siglo XVII escribió los "Anales de Granada". Refiriéndose a la Alpujarra y a sus pueblos indica: *"Las Alpujarras que caen a las espaldas de Granada son unas montañas a la marina, sirviendo de tapete a nevada Sierra a la parte de Levante y del Oriente; los antiguos la llamaron Orospeña, los árabes Xolair; todas sus vertientes corren al mar. Llámase tierra del Sirgo por la mucha*

seda que en ella se cría (...). Es tierra fertilísima de muchos regalos de cazas y lindas aguas y su descripción se irá poniendo en su lugar en cada taa como se sigue" (citado en Titos Martínez, 1997).

2. Las noticias en libros de viajeros ilustrados

El pensamiento ilustrado en España cubrió de lleno el siglo XVIII. La Ilustración significó, ante todo, un cambio de actitud intelectual que afectó positivamente al conjunto de la sociedad. Por lo que respecta a las ciencias, sobre todo a las denominadas "útiles", -pues estaban llamadas a mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales y proporcionar mejor bienestar a la población, (Anés, 1975)-, el avance logrado fue muy significativo, pues durante el último tercio del siglo XVIII y primeros años del XIX, España se incorpora de pleno a la Revolución Científica europea, iniciada en el siglo XVII.

La idea utilitaria y reformista de los ilustrados llevó a la Administración del Reino a comisionar a científicos y a estudiosos a diferentes regiones del país para que dieran cuenta de la realidad. Por lo que respecta a Sierra Nevada supuso redescubrirla, lo que significó adentrarse en ella inventariando y describiendo todo aquello que resultaba valioso y de utilidad. Esta nueva forma de hacer aportó un mejor conocimiento de la montaña, pues se tendió a valorar no sólo sus bellezas paisajísticas, sino sus recursos naturales y fuentes económicas. Los escritos que dan cuenta de ello son abundantes y han sido recogidos en la obra de síntesis de Titos Martínez (1997), de la que a continuación ofrecemos algunas notas.

Por lo que respecta a nuestro particular interés geográfico una importante referencia se debe a Pedro Murillo Velarde (1752) que en su "Geografía Histórica", en el volumen I, da cuenta de la Sierra resaltando sus nieves permanentes: *"La Sierra Nevada está entre Granada y el Mar Mediterráneo: llámase así, porque nunca le falta nieve en lo que llaman el Picacho del Veleta. Hay tanta abundancia en lo más riguroso de el Estio, como en lo más helado del Invierno ..."*. Resalta también este autor sus aguas, plantas medicinales, árboles y frutos, animales y aves, y minerales. Y destaca al respecto: *"Fuentes de aguas muy saludables, con las que se curan muchas*

enfermedades, unas dulces, otras agrias, unas frigidísimas, otras calientes, y otras templadas...".

Una nueva información valiosa de la Sierra se recoge en el "Diccionario Geográfico-Histórico" de Tomás López y Vargas Machuca que, incompleto, pues su autor falleció antes de concluirlo, comenzó a publicarse a partir de 1776. Por lo que respecta a la provincia de Granada se incluye información de más de 33 pueblos de Sierra Nevada, de acuerdo con el cuestionario que previamente Tomás López había remitido a los párrocos de los pueblos solicitándoles datos de los asuntos más relevantes de su municipio. Las respuestas dan cuenta de las particularidades del territorio y casi siempre inciden en cuestiones administrativas, geográficas, económicas, históricas y culturales, enriquecidas, en su mayoría, por la detallada cartografía que la acompaña. Respecto al medio natural de Sierra Nevada escasas novedades se aportan respecto a lo dicho por anteriores autores, quizá mayor precisión en cuanto a la abundancia de aguas y fuentes y persistencia de nieves en altura. Así se desprende, por ejemplo, de las respuestas que en 1795 ofrece el cura de Güejar Sierra que al enumerar los barrancos del Genil subraya: *"El Guadarnón -se refiere al Guarnón-, que tiene como cabeza el Corral del Veleta, llamado así 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 cuántos 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"* (fig. 4).

De esta época también es el documento de Antonio Ponz (fig. 5), que visita la Sierra en 1754 a instancia del Marqués de la Ensenada con el fin de suministrarle información detallada de cuantas cosas pudiera observar. Sin duda, la descripción que realiza es de las más completas hasta el momento, especialmente, por la riqueza de datos y observaciones precisas que hace a lo largo del viaje que le ocupó la inspección de la cara norte y oeste del macizo. De su trabajo interesa resaltar lo relativo a la configuración del territorio y, en particular, a la organización de los barrancos y a las lagunas, sobre todo la de Bacares. Y por lo que respecta a los usos del suelo, las referencias a las plantas y al poblamiento vegetal son también de sumo interés. Una de las descripciones de mayor relevancia por su contenido geomorfológico glaciar, primera hasta

entonces, es la dedicada al Corral del Veleta, del que apunta: "Dexado este sitio (se refiere al picacho del Veleta) pasamos á registrar el propinquo llamado corral del 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".

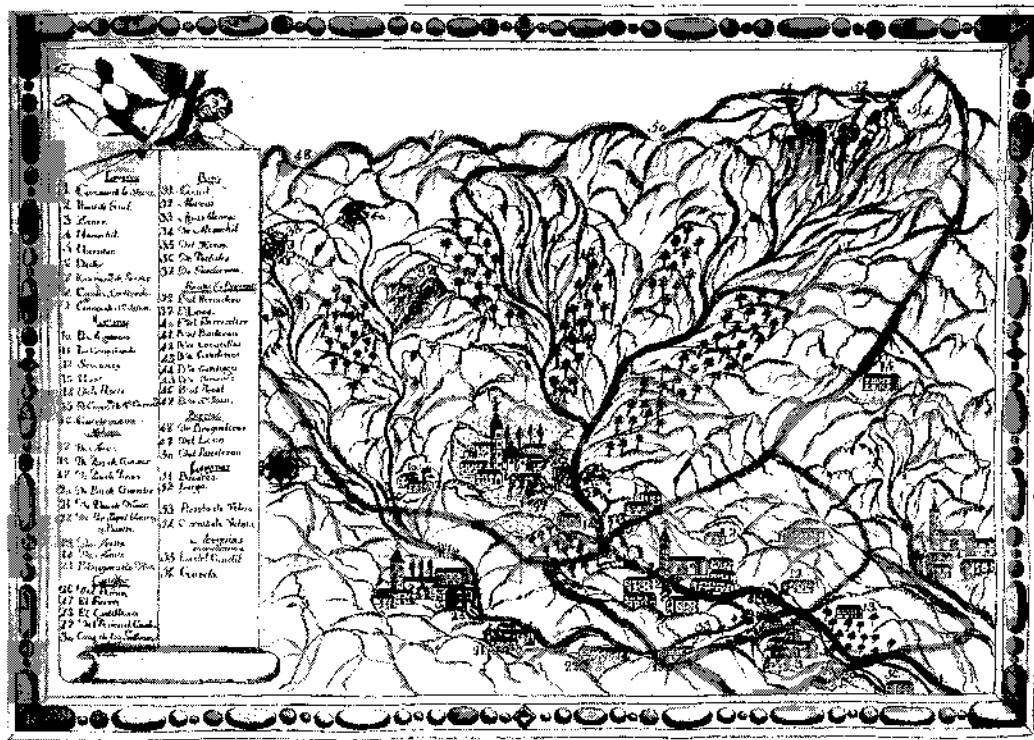


Figura 4. Panorámica de los barrancos del Genil (Tomás López y Vargas Machuca, 1795)

El pensamiento ilustrado español en su afán explorador de nuevas tierras y riquezas favoreció de manera muy particular el estudio de la botánica, lo que se materializó con la creación del Real Jardín Botánico de Madrid, instaurado en 1755 y que tuvo como finalidad la catalogación y el mejor conocimiento de la flora nacional y ultramarina, pero también asumió como meta el descubrimiento de nuevas plantas que posibilitaran

mejorar remedios terapéuticos, renovar la agricultura nacional y permitieran su manufacturación y comercialización. En tal sentido, Sierra Nevada, por su situación, altitud, volumen orográfico y rica flora, se convirtió en objeto de estudio botánico preferente. Este objetivo supuso, paralelamente, otros descubrimientos de diferente índole, entre los que hay que incluir los geológicos y geomorfológicos y, entre estos últimos, los hechos glaciares, como se demostrará a lo largo del siglo XIX por parte de naturalistas españoles y extranjeros.



Ant. Ponz

Figura 5. Antonio Ponz, ilustrado protegido del Marqués de la Ensenada.

Uno de los primeros hombres de ciencia que asume esta tarea fue Simón de Rojas Clemente y Rubio, discípulo de Antonio José Cavanilles, que por indicación del marques de Godoy afronta la redacción de la "Historia Natural del Reino de Granada", donde se incluye la exploración

de Sierra Nevada. La transcripción completa de la obra es reciente y se debe a Antonio Gil Albarracín (2002). Desde nuestra particular preocupación los viajes que Rojas Clemente hace a la Sierra durante los años 1804 y 1805 resultan de sumo interés, pues nos acercan a la geografía física de la montaña de la mano de la botánica. De su contenido, amalgama de información de hechos físicos, naturales y humanos, pues se trata de un cuaderno de viaje con anotaciones de itinerarios, destacan dos informaciones relevantes: las medidas altitudinales de las principales cimas del macizo, acaso las más ajustadas hasta entonces, y la estratificación de la vegetación en altura, lo que supone, ésto último, un importante acontecimiento de carácter bioclimático, posiblemente pionero o coetáneo al realizado por Humboldt en el Chimborazo, en 1802 (Capel 2002). En tal sentido subrayar que Rojas Clemente reconoce en Sierra Nevada seis zonas bioclimáticas o geográfico-botánicas instaladas altitudinalmente entre la playa de Castell Ferro y la cima del Mulhacén. De ellas, las dos más elevadas las calificó como zona frigidísima (2424-2758 m) y zona glacial (2758-3555 m), esta última definida por las nieves perpetuas (Quesada Ochoa et al. 1996).

Acerca de las condiciones climáticas de las cumbres de la Sierra, Rojas Clemente aporta observaciones de alto interés que permiten deducir los ambientes morfogenéticos fríos reinantes: *"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 estan expuestas, así muy cerca de ellas, como a 100 varas o menos más abajo (así se observa en Mulhacén y Veleta), ya se hallan grandísimos ventisqueros perpetuos. No puedo dudar que la nieve última que toman por Otoño los Neveros de Granada (excepto en rarísimo año después de un Invierno en que apenas nevó) está 500 varas, o más, más baja que la notada en el último resultado, lo que apoyo en la observación de las plantas, principalmente del Geranium. Así, el verdadero límite de las nieves perpetuas o permanentes en el Norte de Sierra Nevada será aproximadamente a 2800 varas sobre el nivel del mar"* (transcrito de Gil Albarracín, 2002, p. 951). Si consideramos como válidas estas medidas resultaría que los neveros permanentes o de fusión muy tardía se localizarían, aproximadamente, a partir de los 2300-2375 m, lo que supondría admitir para la cara norte de Sierra Nevada la generalización en altura de los procesos morfogénicos fríos a partir, también, de esas cotas.

3. El descubrimiento glaciar de Sierra Nevada

El siglo XIX resultó definitivo para el descubrimiento científico del glaciario de Sierra Nevada, pues en su transcurso se explica su existencia y se sientan, aunque de manera tímida pero firme, una serie de principios glaciológicos básicos, particularmente a partir de la segunda mitad, que es cuando empieza a discutirse el origen de las lagunas y la formación conglomerática de la Alhambra. Este avance se canalizó de la mano de científicos formados en universidades centroeuropeas o bajo su influencia y supuso un progreso cualitativo respecto a las descripciones ilustradas anteriores. Ahora, el relieve de Sierra Nevada, sobre todo el de sus cumbres, donde cabeceras de barrancos coinciden con circos –algunos, además, con lagunas-, tiende a asociarse al trabajo mecánico de agentes externos, en especial al de masas glaciares.

3.1. Primeras descripciones científicas: la aportación romántica de botánicos, geólogos y geógrafos a lo largo del siglo XIX

Durante la primera mitad del siglo XIX Sierra Nevada es explorada por célebres botánicos que en sus campañas de reconocimiento y recolección tienden a completar los conocimientos que se tenían de la flora de la montaña. Sus descripciones, de estilo y fondo claramente romántico, interesan porque son excelentes relatos del paisaje, al dar cuenta precisa de los sectores y ambientes que herborizan suministrando, además, información relativa a las condiciones climáticas y formas de relieve. Los itinerarios que hacen cubren prácticamente todos los pisos bioclimáticos de la Sierra, aunque resultan predilectos los que incluyen los barrancos del Guarnón, Genil y Monachil. Ello explica que el picacho del Veleta, por su situación estratégica y cumbre emblemática, muy visible desde la ciudad de Granada, fuera destino obligado y numerosas las referencias a su entorno y a su pequeño glaciar.

De entre los botánicos que ascienden a la Sierra durante estos años destacan dos, acaso, junto con el ya referido Simón de Rojas Clemente y Rubio, los de mayor relevancia en el conocimiento vegetal de Sierra Nevada hasta bien entrado el siglo XX. Se trata de Charles Edmond Boissier y Moritz Willkomm (fig. 6). En esta ocasión interesa particularmente Boissier pues a él se debe la primera descripción científica del diminuto glaciar del Corral del Veleta, que se comentará más adelante.



Moritz Willkomm

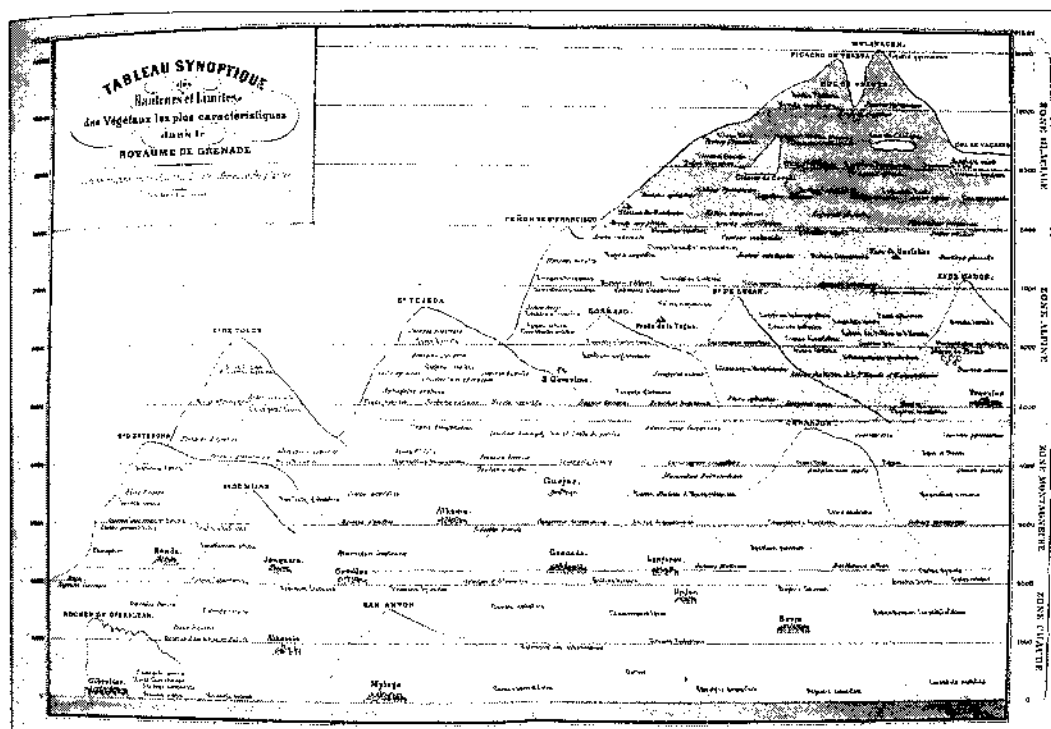
Figura 6. Moritz Willkomm, botánico que inspeccionó Sierra Nevada durante la segunda mitad del siglo XIX.

La aportación que hace Willkomm, "Dos años en España y Portugal" (1847) y "Las Sierras de Granada" (1882), acerca de la huella glaciaria de la Sierra es tímida, aunque no sucede así en cuanto a la descripción física del conjunto de ella, que integra en el contexto de los sistemas montañosos del sureste de la Península. Resalta el contraste que ofrecen sus vertientes y el predominio de los gneises y esquistos micáceos que arman las cumbres. Respecto al origen glaciario de sus formas es poco novedoso, aunque insiste en la cantidad de lagunas que encuentra, siempre abrazadas por céspedes. Y acerca del Corral del Veleta subraya: "Tuve que renunciar al plan de alcanzar el glaciar del Veleta e investigarlo, pues ello habría requerido unas tres horas como mínimo". Sin embargo, en su escrito de 1882 sí se refiere a él, aunque lo hace a partir de las vistas que le proporciona el

ascenso por el barranco del Guarnón: *"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 gigantescos 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 m ..."*.

Por lo que respecta al trabajo de Boissier, "Viaje botánico al sur de España durante el año 1837" (1845), es quizás el más completo en su género hasta bien entrado el siglo XX (fig. 7). Hay que subrayar la valiosa información que suministra relativa al marco físico de la Sierra y al humano y antropológico de los pueblos de la Alpujarra. En cuanto a aspectos geomorfológicos la información que ofrece, particularmente la referida al Corral del Veleta y a su glaciar, resulta precisa en terminología y en conceptos morfológicos. Por lo detallado de su relato se desprende que Boissier inspeccionó "in situ" el seno del Corral del Veleta, pues incluso refiere el camino que siguió hasta llegar a su base, que resulta ser el mismo que hacían los neveros en sus recogidas de nieve durante los estíos, cuando ésta escaseaba en cotas más bajas.

Acerca de las descripciones glaciares que hace Boissier de Sierra Nevada hay que hacer notar que las focaliza en la cabecera del valle del Guarnón, en el Corral del Veleta, a pesar de haber recorrido la casi totalidad del nivel de cumbres de la Sierra, pues sus escritos dan testimonio de haber visitado el Mulhacén y su hoya, la Caldera y el valle de Poqueira, Siete Lagunas y Bacaes, Picón de Jeres, entre otros. Sobre el Corral del Veleta informa de su estructura, litología y configuración y de manera más precisa y detallada del pequeño glaciar que cobija: *"El glaciar tiene una pendiente muy inclinada, su altura perpendicular sólo tiene 200 a 300 pies, su ancho más o menos 600 pasos y está atravesado por numerosas grietas transversales de apenas una pulgada 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 se escapan en su extremidad por varias cavernas excavadas en el hielo"*.



del circo, el único que existe en la Sierra y el más meridional que se halla en Europa. Su sólida nieve es de un color verde azulado y muy semejante á la de los Pirineos; tiene grietas profundas verdinosas, cuyas bases y bordes son bastante cenagosos; tiene además hendiduras cavernosas donde el agua forma riachuelos en miles direcciones, que se reúnen al fin en una pequeña laguna en la que nace el río Genil".

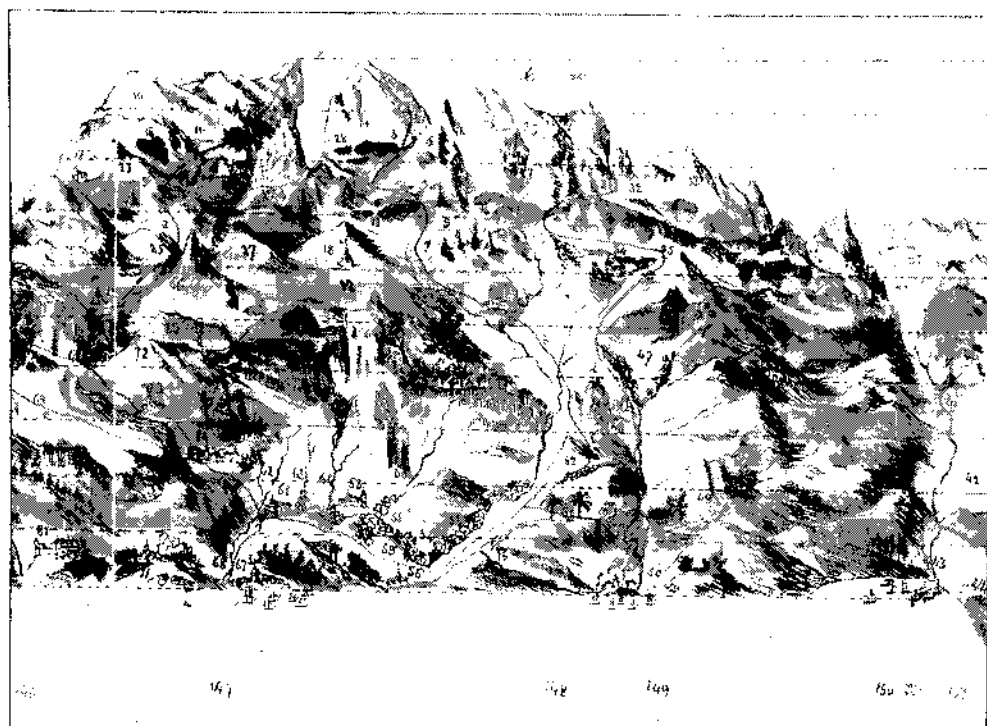


Figura 8. Panorámica idealizada de Sierra Nevada en la que se distingue el hielo del Corral del Veleta (Pfendler, 1849)

Sin embargo, su coetáneo Madoz matiza la información relativa a la exclusividad de glaciario alojado en el Corral del Veleta en su "Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico" (1849), dejando entrever la existencia de otros hielos fuera del ámbito del referido Corral. Al respecto señala: "Los parages que en estas dos elevadas montañas, Mulahacen y Veleta, y

en sus inmediaciones, se hallan 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 Mulahacen 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 en el transcurso de los siglos; pero tampoco fuera aventurado el suponer que se halla todavía en su fondo el primer copo que dirigió á aquel punto la mano del Omnipotente". La descripción de Madoz, a pesar de poseer menor contenido científico que la de Boissier, igualmente interesa a los estudiosos pues delata la existencia de focos glaciares históricos en otros parajes instalados en la cara norte de la Sierra, probablemente en los cuencos distribuidos entre el Mulhacén y el Veleta "cubiertos de perpétuas y endurecidas nieves, cuyas capas o estratificaciones se pueden contar fácilmente en muchas de sus quebradas". El autor podría aludir a los corrales de Valdeinfierno. Estas observaciones nos conducen a valorar la posibilidad de otros enclaves con nieves perpétuas. Al respecto resultan también interesantes las notas que Simón de Rojas Clemente hiciera en 1805 donde afirma: "Desde lo alto de este Puerto –se refiere al puerto de Maitenaveíamos a nuestra izquierda y muy inmediato el gran ventisquero eterno que llaman el Alholí" (citado en Gil Albarracín, 2002, p. 687).

3.2. El decisivo progreso: geólogos y geógrafos sientan las bases científicas de la existencia de un glaciario actual y pasado.

A lo largo de la segunda mitad del siglo XIX las referencias a la acción glacial de Sierra Nevada resultan más precisas y completas, pues cobra cada vez más interés la discusión, hasta el momento nunca planteada, acerca de la acción heredada de las fases frías cuaternarias. Los responsables de estos planteamientos son ahora geólogos y geógrafos alineados en los principios que fundamentan el actualismo y la noción de evolución geológica no catastrofista propugnada por Lyell. El actualismo, que podía entreverse ya en Hutton, en el tránsito del siglo XVIII al XIX y que se asume bien avanzado éste, significó que ideas, teorías y principios relativos a la acción modeladora de los agentes externos conformara un

corpus doctrinal sólido. Su implantación fue bien acogida en las universidades centroeuropeas y supuso que la Geología entrara en una etapa de madurez y la Geomorfología comenzara a diseñarse con entidad propia.

En esta línea de desarrollo conceptual el estudio de los ríos y de las montañas, y en éstas los glaciares y los volcanes, adquirieron especial relevancia (Martínez de Pisón, 1995), a lo que contribuyó positivamente, y por lo que respecta al descubrimiento científico de las montañas, la labor exploradora de los clubes alpinos, en particular los suizos (el Club Alpino Suizo, CAS, fue creado en 1863) y franceses que eligen como tema prioritario la exploración de los glaciares de los Alpes (Martí Henneberg, 1994) y de los Pirineos. Esta decisión conllevó vínculos de colaboración estrecha entre montañismo y ciencia, reflejado muy bien en lo que ha venido en denominarse excursionismo científico, a todo lo largo de la segunda mitad del siglo XIX.

Por lo que respecta a España, la aparición de los centros excursionistas y de las sociedades científicas, con fines próximos, es más tardía (Sociedad Española de Historia Natural, 1871; Sociedad Geográfica de Madrid, 1876; Asociación Catalanista de Excursiones Científicas, ACEC, 1876; Sociedad de Alpinismo "Diez Amigos Limited", 1898; etc.) pero igualmente interesante por su aportación al descubrimiento científico de la montaña, pues en sus filas se integraron naturalistas de diferente procedencia y lugar de trabajo que se sintieron atraídos por descubrir y explicar las formas de relieve de las montañas y, sobre todo, su origen y evolución. Esta permeabilidad de objetivos cristalizó sólidamente en la Institución Libre de Enseñanza, la cual, desde su creación, en 1876, supo armonizar educación, ciencia y progreso.

Hay que resaltar que todo este despliegue de intereses, muy fecundo durante los últimos decenios del siglo XIX, permitió adentrarse bien en el estudio de las montañas españolas, al menos en sus aspectos más genuinos, tanto físicos como humanos, pues la montaña, es entendida no sólo como paisaje singular, sino como lugar de trabajo y como escuela (Martínez de Pisón, 1995), en la que coinciden los fines de la Geografía y del Naturalismo (Gómez Mendoza et al., 1992). A partir de estos presupuestos el progreso que se opera en el conocimiento del glaciario

hispano resulta considerable pues éste despertará un notable interés entre investigadores extranjeros y los propios españoles. En la explicación de este interés podrían converger diferentes hechos:

a) El trabajo de la Comisión Nacional del Mapa Geológico de España (creada en 1849), que cristalizó en explorar el territorio y describir su fisiografía en las Memorias explicativas provinciales.

b) El interés que se despliega en Europa por describir la acción morfológica de los glaciares y los límites inferiores de las nieves permanentes continentales, lo supuso contemplar a España, por su fijación latitudinal, en referencia obligada.

c) La irrupción en España, ya apuntada, del excursionismo científico, sobre todo, en la explicación de la montaña, por lo que toma como ejemplo la filosofía y finalidades de los clubes alpinos de Suiza y Francia.

Una de las primeras y más destacadas personalidades en practicar este excursionismo científico fue el ingeniero de minas Casiano del Prado que en el ámbito glaciológico y sin estar plenamente alineado a la corriente del actualismo y a la noción de evolución geológica no catastrofista, contribuyó a presentar a los glaciares como eficaces agentes modeladores del relieve. Sus trabajos sobre el posible origen glaciario de sedimentos en valles de montañas, como en Picos de Europa, en 1857, y Sierra de Guadarrama, en 1864, lo convierten en el primer científico español que aporta datos sobre la glaciología de las montañas hispanas (Martí Henneberg, 1994).

Por lo que respecta a Sierra Nevada las referencias más tempranas a la acción de los glaciares cuaternarios se hallan recogidas en la obra que Obermaier (1916) dedicó a la Sierra y a la que nos referiremos más adelante. En ella señala que Schimper (1849) fue el primero en hacer notar la existencia de un glaciario cuaternario para el conjunto de Sierra Nevada, atribuyendo los conglomerados de la Alhambra a depósitos morrénicos del Genil, tema, éste último, que fue motivo de debate y controversia hasta bien entrado el siglo XX.

Posteriormente a Schimper las citas a la acción glaciar nevadense se suceden aunque casi siempre se trata de referencias inmersas en estudios generales y, frecuentemente, tomadas de otros autores, lo que supone una afirmación del hecho glaciar, aunque con escasas aportaciones novedosas. Quien ofrece valiosos datos es Mac-Pherson (1875) que analiza diferentes valles de la Sierra. En el de Lanjarón, sitúa el paso de una masa helada procedente de Tajos Altos y cerro del Caballo con abandono de carga glaciar a 700, 900 y 1000 m de altura y registros de pulimento glaciar en el roquedo del valle. Respecto al avance máximo de los glaciares lo sitúa a 600-700 m, por lo que también otorga origen glaciar a los conglomerados de la Alhambra.

Tras la aportación de Mac-Pherson se suceden opiniones a favor y en contra de glaciaciones en Sierra Nevada generándose, incluso, situaciones singulares, como la de Hellmann (1881), que reconoce al diminuto glaciar del Corral del Veleta, ofreciendo datos muy precisos de él y, sin embargo, duda, como igualmente lo hace Drasche (1879), de la existencia de glaciaciones anteriores. En semejante discurso también hay que incluir a Rein. Este catedrático de Geografía de la Universidad de Bonn en su obra "Aportación al estudio de Sierra Nevada" (1899) se muestra contrario al trabajo mecánico de los hielos en los valles en forma de caldera y señala: *"Tras haber estudiado el resultado de la acción del agua sobre los blandos materiales de los taludes, que a menor escala produce efectos similares, y tras haber constatado la labilidad de los esquistos micáceos y arcillosos de Sierra Nevada, creo personalmente que los corrales nacen por la acción erosiva del agua. Por otra parte aún no se han encontrado aquí huellas de glaciares, pues el hielo del Gualnón admitiría otra posible interpretación"*. Y sobre éste su opinión la expresa en los siguientes términos *"Se le ha creído resultado de la Era glacial, modesto remanente de un gigantesco glaciar que en un tiempo cubriera todo el valle del Genil y que almacenara las grandes masas pétreas a la salida del mismo, donde se une a la altiplanicie. Las observaciones que hasta ahora han realizado los geólogos en el Glaciar del Veleta son insuficientes para establecer sin lugar a dudas su origen y constitución"*.

Por estas mismas fechas Rute (1889) y Bide (1893) se muestran más prudentes al describir el Corral del Veleta, del que dan constancia de su pequeño glaciar, sin entrar en polemizar acerca de su origen. Acaso Rute es algo más explícito cuando afirma: *"Mas abajo se reúne el Genil al sombrío Gualnón que baja desde el Corral del Veleta, glaciar sin duda alguna, resto de*

otros glaciares que trabajaron en aquella parte las vertientes del Genil, y que, de la gigantesca brecha abierta al pie de las tres pirámides, arrastraron los escombros que forman hoy el manto de aluviones del Cerro del Sol que mide poco más de cien metros de espesor". De la obra de Bide, miembro del Club Alpino Francés, interesa destacar la cartografía a 1/100000 que aporta de la parte culminante de la Sierra, en la que incluye la masa helada del Corral del Veleta cuya extensión tiende a desbordar el límite inferior del cuenco (fig. 9).

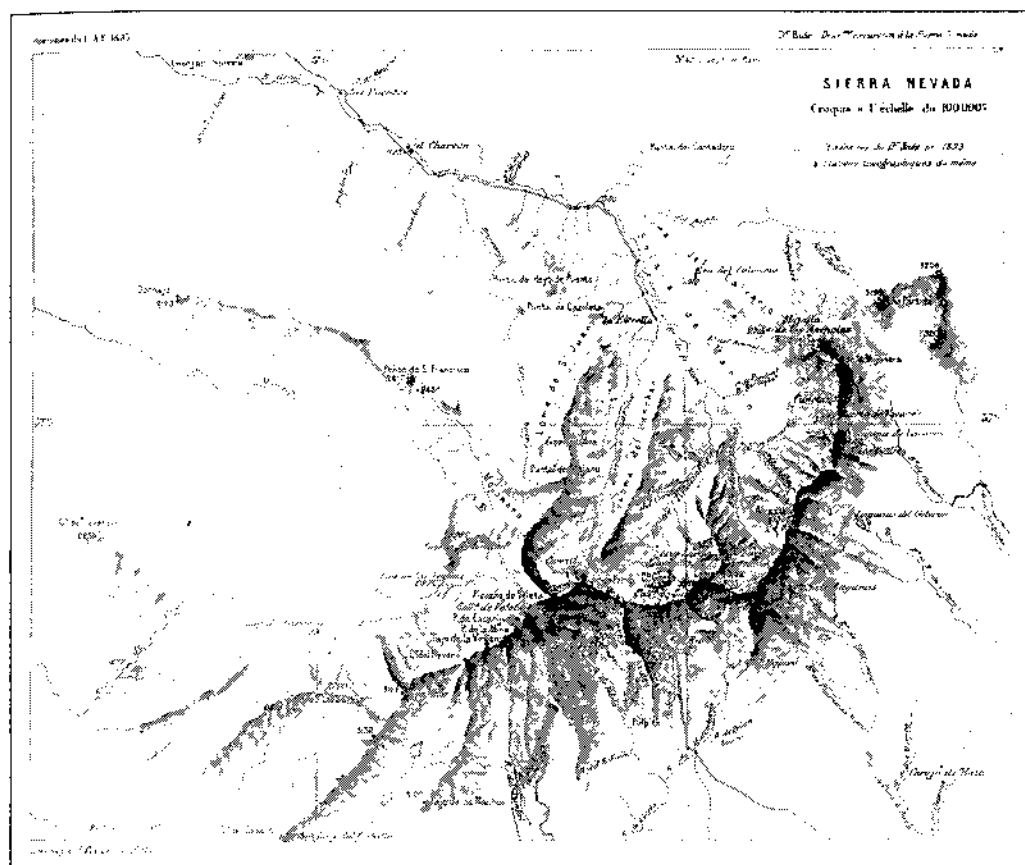


Figura 9. Croquis orográfico a escala 1/100000 en el que se resalta el glaciar del Corral de Veleta (Bide, 1893)

La contribución que por esta época hace Penck (1894) acerca de los glaciares cuaternarios de la Sierra resulta puntual y viene a confirmar ideas ya asumidas. En tal sentido subraya un glaciario generalizado capaz de haber dado origen a las lagunas de cabecera, en oposición a la idea de que éstas fueran de sima por la ausencia de terrenos calizos en las cumbres. Asimismo pone en entredicho el origen glaciar de los conglomerados de la Alhambra, posición en la que igualmente se alineó Hoernes (1905), al otorgarles un origen Neógeno, Vindovoniense. Este hecho vino a suponer una restricción del empuje de los glaciares y su reclusión en el interior de la montaña.

En el tránsito del siglo XIX al XX se opera un relevante avance en el conocimiento glaciológico de Sierra Nevada, probablemente el de mayor interés hasta entonces. Se debió a la tesis doctoral de Otto Quelle (1908), "Beiträge zur kenntnis der Spanischen Sierra Nevada" (versión española, "Aportaciones al conocimiento de Sierra Nevada", en proceso de traducción) y en particular al capítulo denominado *Actuales características de la innivación y límite climático de las nieves perpetuas en Sierra Nevada*. Su contenido es novedoso, especialmente, por el suministro de nuevos datos e interpretaciones que se presentan.

Influenciado por Penck, Quelle muestra una particular preocupación por establecer los límites inferiores de las nieves permanentes en Sierra Nevada, distinguiendo la cuaternaria y la actual. La cota cuaternaria la fija en 2850 m para carta norte y en 2950 m para cara sur. Estos cálculos los obtuvo a partir de la fijación más elevada de los restos de morrenas y de las paredes de los circos, que las sitúa entre los 2750 m y los 3000 m. Para la actualidad el límite inferior lo establece en 3350-3450 m y 3550-3650 m, para cara norte y sur, respectivamente.

Quelle atribuye una glaciación cuaternaria para el conjunto de la Sierra, de la que describe huellas morfológicas en las cabeceras de los barrancos del nivel de cumbres. Así se expresa: "*En Sierra Nevada sólo hay formas típicas de la alta montaña en la región de las cumbres. Su presencia se debe exclusivamente a la sucesiva aparición de circos de acumulación. Como es en estos circos donde se encontraban la mayoría de los heleros perennes, también se originaron en ellos los pequeños glaciares de Sierra Nevada. Estos circos son, junto a las lagunas glaciares, los pequeños depósitos de morrenas y las rocas*

aborregadas que hay en sus alrededores, la herencia que han dejado en esta sierra las glaciaciones cuaternarias".

También muestra Quelle, como lo hicieron antes otros autores (Richter, Penck, Benrat, etc.), particular interés por las lagunas, pues las considera prueba auténtica e irrefutable de la acción glaciár. Ello le lleva a describir con cierto detalle las de Vacares, Goterón, Siete Lagunas, la Caldera, Río Seco, Yeguas, etc. Y de ellas viene a decir: *"Todas las lagunas de alta montaña de Sierra Nevada que he visto se encuentran en fondos de circo glaciár con forma de artesa y se alimentan exclusivamente de los desagües de los numerosos heleros que hay en las paredes de los circos. Las lagunas son casi totalmente redondeadas u ovaladas y tienen poca extensión. Las más grandes son la laguna de las Yeguas y la laguna de la Caldera. Pero las lagunas pierden constantemente extensión porque se encuentran en periodo de cegado"*.

Asimismo Quelle se ocupa del glaciár del Corral del Veleta. Tras indicar lo que de él apuntan Boissier, Willkomm, Hellmann, Rein y Bide, subraya, quizá es el primero en hacerlo, su originalidad y significado ambiental al remarcar: *"El glaciár del Veleta debe su existencia única y exclusivamente al hecho de que está orientado hacia el norte al abrigo de sus altas paredes, por lo que no puede ser tomado como punto de referencia para establecer el límite de nieves perpétuas actuales"*. También indica del pequeño glaciár su punto más bajo, que lo sitúa en los 2835 m, y su anchura, que la cifra en 540 m.

EL GLACIARISMO NEVADENSE, EL MÁS MERIDIONAL DE EUROPA. SISTEMATIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO Y AVANCES SIGNIFICATIVOS A LO LARGO DEL SIGLO XX

Durante el siglo XX el progreso del conocimiento morfológico glaciar de Sierra Nevada ha sido muy notable, lo que ha permitido conocer con detalle su acción modeladora en los niveles de cumbres, en cabeceras de barrancos y surcos. También ha resultado notorio el avance del significado del periglaciario, que comenzará a intuirse en las cumbres de la Sierra a finales del tercer decenio del siglo, aunque bajo la denominación de procesos de nivación.

En la actualidad, se han inventariado, diferenciado y cartografiado con bastante precisión las huellas erosivas y deposicionales de los sistemas glaciares en los surcos de los barrancos y en sus cuencas receptoras. También se tiene conocimiento claro del origen de las formas que definen las altiplanicies, de las que igualmente se ha elaborado su cartografía geomorfológica, como igualmente ha sucedido con la distribución altitudinal de las formas periglaciares heredadas, aunque esto último muy recientemente. Pero lo que aún continúa siendo incógnita por dilucidar, pues tan sólo se disponen de ideas generales e hipótesis de trabajo en las que se investiga, es en lo referente a las condiciones paleoambientales que dieron lugar a todas estas formas y a su inclusión cronológica cuaternaria, temas, ambos, aún pendientes también por esclarecer, en mayor o menor medida, en el resto de las cadenas montañosas glaciadas de la Península Ibérica.

1. La aportación de Hugo Obermaier

Sin lugar a dudas el punto de partida del progreso que se opera a lo largo del siglo XX parte del trabajo que hizo Hugo Obermaier en el año 1916 ("Los glaciares cuaternarios de Sierra Nevada"), pues resulta ser el estudio más completo y el que mayores novedades aportó hasta ese momento. Y lo es también por su enfoque metodológico y su carácter explicativo e interpretativo, además de ofrecer una sugestiva información gráfica, la primera que contempla el conjunto de la zona glaciada (fig. 10).

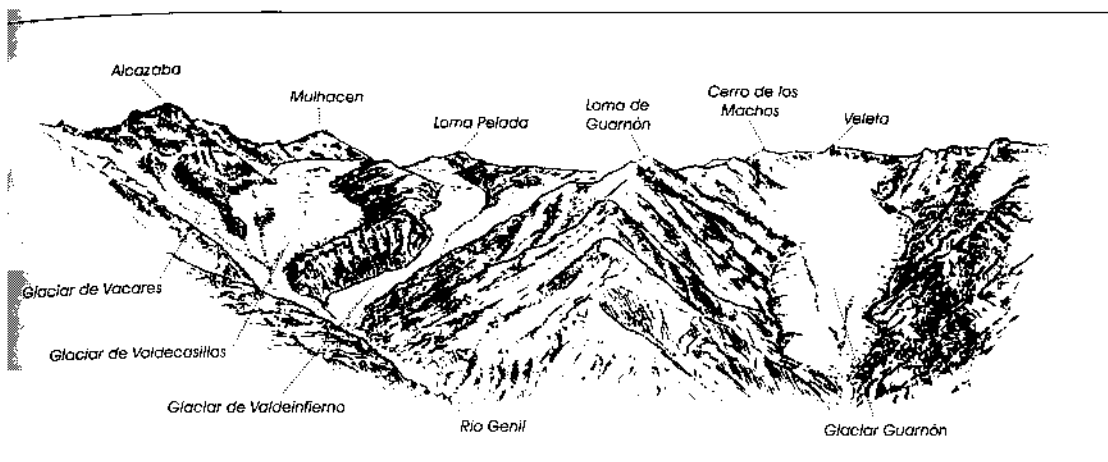


Figura 10. Glaciares de la fachada norte de Sierra Nevada (Obermaier, 1916)

Obermaier, prehistoriador de formación, se interesa por la cultura del hombre prehistórico y las condiciones ambientales en las que éste se desarrolló. Tal interés cristalizó en su tesis doctoral, que defendió en 1904 en la Universidad de Viena, cuyo tema versó acerca de la distribución del hombre en Europa central durante las glaciaciones ("Die Verbreitung des Menschen während des Eiszeitalters in Mitteleuropa"). Desde entonces su dedicación a la Prehistoria fue en progreso, alcanzando prestigio y renombre universal, particularmente desde que publicara la primera edición de "El hombre fósil", en 1912.

La dedicación de Obermaier al estudio del glaciario de Sierra Nevada, al igual que al de otras montañas españolas (Picos de Europa, Pirineos, Gredos, Guadarrama, etc.), fue fortuita y transitoria y se inscribe en la labor que desarrolló entre 1914 y 1919 sobre temas del Cuaternario en el seno de la Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas del Museo Nacional de Ciencias Naturales (Gómez Ortiz, 1997). Su dedicación al estudio de los glaciares fue de gran provecho hasta el punto de que sus resultados contribuyeron en alto grado a la consolidación de la geomorfología glacial en España, particularmente por la metodología y técnicas de trabajo que introdujo. En tres años recorrió los principales macizos españoles y de todos ellos aportó información muy valiosa, pues conociendo los escritos glaciáricos de Sierra Nevada -particularmente de Mac Pherson y Quelle- precisó ideas establecidas,

generó nuevos datos y ofreció visiones de síntesis con ajustados esquemas geomorfológicos.

No es de extrañar esta fecunda labor en tan corto tiempo si tenemos en cuenta la sólida formación que también poseía Obermaier en Geología y Geografía física. Formado bajo la tutela de Penck y Brückner en la Universidad de Viena, colaboró estrechamente con ambos en campañas de reconocimiento de morfología glaciar en los Alpes y Pirineos, lo que debió suministrarle no sólo el afianzamiento de principios y conocimientos teóricos, sino también dominio de técnicas de trabajo y experiencia de campo, sobre todo en lo relativo a observación y explicación de las formas de relieve, tal como pudo ponerlo en evidencia en 1906 en sus trabajos sobre la vertiente norte del Pirineo (cuenca del Garona y curso inferior del Ariège).

El estudio que Obermaier hace de los glaciares de Sierra Nevada lo lleva a cabo en colaboración con Juan Carandell y el trabajo de campo le ocupa el verano de 1915. Él desea demostrar "la intensidad y extensión del fenómeno glaciar cuaternario en Sierra Nevada y fijar el límite de las nieves perpetuas en aquella época", de acuerdo con el plan de trabajo que Penck había establecido para la Europa central y mitad norte de la Península Ibérica. Obermaier concibe su investigación, al igual que hizo en otras montañas glaciadas españolas, como una pieza más -clave por su contenido- dentro del complejo engranaje que permite explicar la evolución del paisaje y del hombre cuaternario. Es importante resaltar este principio pues Obermaier, como prehistoriador que es, no focaliza su interés en el descubrimiento del hecho glaciar propiamente dicho, sino que su preocupación última es acumular datos válidos que le permitan explicar con más rigor y precisión las condiciones ambientales en las que el hombre primitivo se desarrolló. Enfoque disciplinar muy en la línea de los naturalistas alemanes que, ante todo, resuelven temas específicos aunque sin perder de vista las relaciones del conjunto y el marco general en el que se presentan. Así podría interpretarse cuando afirma: "*... surgen relacionados con el glaciario los problemas que plantea el estudio del clima y de la fauna ibérica durante el cuaternario, y correlativamente el estudio histórico-natural y etnológico del hombre primitivo, del cual fue la Península Ibérica una de sus moradas*".

Han transcurrido casi 90 años desde que Obermaier realizara su estudio sobre los glaciares cuaternarios de Sierra Nevada y buena parte de sus ideas y aportaciones mantienen plena vigencia, como también algunos interrogantes por él planteados. Acerca de lo más sobresaliente y relevante de su obra en su día ya nos ocupamos (Gómez Ortiz, 1997; Gómez Ortiz et al., 2003). De todas formas ahora conviene reseñar:

a) Admite un glaciario cuaternario en las cumbres de Sierra Nevada, aunque circunscrito a los surcos de los barrancos (fig. 11), de acuerdo con la opinión de Quelle (1908) y en total desacuerdo con la concepción de Drasche (1879), que negaba todo rastro glaciario en la Sierra. También se muestra crítico con las ideas de Schimper (1849) acerca del origen glaciario de la formación conglomerática de la Alhambra al no admitir tal origen, pues de ser así las lenguas glaciares canalizadas y retenidas en el interior de los barrancos deberían haber alcanzado el llano.

b) Realiza un análisis preciso de la morfología de casi todos los barrancos glaciados, planteándose el avance máximo de los glaciares, que en vertiente instala en 1950 m, frente a los 2278 m. en vertiente sur, como cotas medias. Una de las razones de tal disimetría y magnitud la atribuye muy atinadamente a la influencia de la trayectoria de los flujos húmedos portadores de nieve, y lo expresa así: *"... las distintas condiciones climatológicas que en la época cuaternaria dominarían y que actualmente caracterizan a ambas vertientes en proporción parecida; la vertiente Sur de la Sierra Nevada, no solamente esta ahora y estuvo antes dominada por la mayor insolación (...) en cambio la vertiente septentrional que da frente a la región granadina, se hallaba sometida a un régimen climatológico más riguroso; y por poca que fuera la diferencia, este factor, con los naturales del relieve, multiplicaba los efectos con la mayor progresión de los glaciares que vamos a estudiar"*.

c) La hipótesis que mantiene Obermaier, aún hoy no resuelta, es la relativa al número de glaciaciones que debieron afectar a Sierra Nevada. Por entonces Penck ya había establecido su cronología alpina y Obermaier no rehuye de ella cuando denota preocupación constante por establecer una temporalización en las generaciones de morrenas que analiza. Así, habla de "morrenas del máximum", refiriéndose a las más antiguas de la última glaciación. Relata también morrenas de retroceso de la misma glaciación, pero de periodos en los que las masas de hielo tendieron a recluirse hacia cabecera. E, igualmente, cita espesos cúmulos de bloques

d) En cuanto al pequeño glaciar de Corral del Veleta Obermaier es tajante y escueto. Lo define como: *"el ventisquero del Veleta es una masa de hielo muerta, sin movimientos ni fluctuaciones"*. No va más allá en sus comentarios, lo cual sorprende dada la meticulosidad con que trata la acción glaciar en los barrancos. Sin embargo, la fijación altitudinal de este cuenco le sirve para determinar el nivel de nieves permanentes actual, que estima en los 3600-3700 m para la cara norte y en 3800-3900 m para la cara sur. En virtud de este dato viene a decir: *"Como quiera que las máximas alturas de la Sierra no alcanzan los 3500 m y son pocas las que exceden a los 3400 m, resulta que no llega la gran cordillera a penetrar en la región de nieves perpetuas; prueba irrefutable de la que no pasan de la categoría de compactos ventisqueros las manchas de nieve que perduran años tras año en los abrigos de la región alpina"*. El método que emplea para proponer tales altitudes es sumar la constante de 1200 m (ya empleada en los Alpes) al nivel de nieves perennes cuaternarias. En razón a esta constante enuncia la hipótesis de que en virtud del volumen montañoso y altitud del Alto Atlas sus altas cumbres también debieron estar afectadas por glaciares cuaternarios. Años más tarde tal hipótesis fue demostrada por de Martonne (1924) y Dresch (1937).

2. Desde Jean Dresch (1937) hasta René Lhenaff (1977): 40 años de sólidas aportaciones.

Desde la decisiva aportación de Obermaier hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XX, los sistemas naturales de Sierra Nevada continuaron siendo objeto de estudio, resultando significativos los avances operados. La etapa más productiva coincide en los cuarenta años que transcurrieron entre el escrito de Dresch (1937), sobre Sierra Nevada y el Atlas marroquí y el de Lhenaff (1977), acerca de la geomorfología centrooccidental de las Béticas. A lo largo de estas décadas investigadores españoles y extranjeros continuaron interesándose por el tema añadiendo nuevos datos e ideas. La figura más destacada durante esta época sería Bruno Messerli (1965), que dedicó su tesis doctoral al glaciario cuaternario de Sierra Nevada y al que dedicaremos atención particular. También hay que señalar para esta productiva etapa la irrupción del conocimiento periglacial tanto en lo relativo a modelados heredados, como actuales. Como se verá oportunamente figuras singulares en tal sentido fueron Soutadé & Baudière (1970) y Serve (1972).

En su conjunto, el progreso científico asumido durante estos cuatro decenios podría enmarcarse en las siguientes actuaciones centrales:

a) Se asumen ideas y conceptos ensayados en otras montañas glaciadas, lo que supuso perfilar con mayor precisión y rigor resultados morfológicos ya obtenidos o ligeramente vislumbrados en la Sierra, en particular los relativos a formas relacionadas con procesos nivales y periglaciares así como a la inestabilidad del manto nival por efecto eólico en determinadas áreas (Dresch, 1937; García Sainz, 1942; etc.).

b) Se descubre que el espacio glaciado cubre mayor superficie que el tenido en consideración hasta entonces, pues se identifican nuevas morfológicas asociadas a focos glaciares reducidos y arrinconados en cabeceras de barrancos. Estos hallazgos coinciden en fachada norte, a partir del Picón de Jeres en dirección al cerro del Chullo (Casas Morales, 1943, 1947, etc.).

c) Se inicia una etapa de reflexión y ensayo orientada a fijar en el tiempo los acontecimientos morfogenéticos de las crisis climáticas cuaternarias, en gran manera, enmarcada en la cronología alpina de Penck (Paschinger, 1957; Hempel, 1960; Messerli, 1965; Lhenaff, 1977; etc.).

2.1. La irrupción de nuevas ideas y conceptos relativos al modelado de regiones frías

La primera aportación significativa después de la obra de Obermaier (1916) se debe a Dresch (1937) (fig. 12). Este autor, de gran experiencia en el Pirineo y en las montañas áridas del arco mediterráneo, suministra nuevos conceptos e ideas al glaciario de la Sierra, particularmente preguntándose si las formas de erosión y acumulación creadas acaso no marcan un tránsito entre los países de erosión normal -se refiere a los instalados en latitudes medias propiamente dichas- y la frontera del desierto.

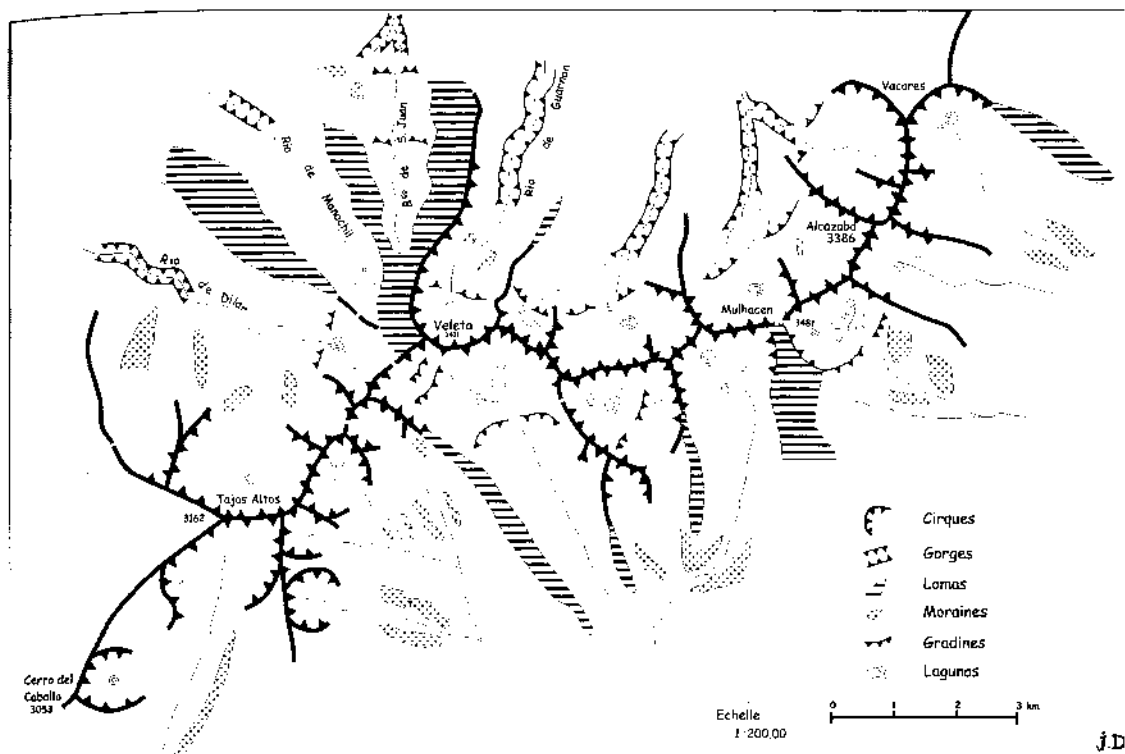


Figura 12. Esquema de las formas glaciares del núcleo cimerio de Sierra Nevada (Dresch, 1937)

Dresch fundamenta los datos y resultados que ofrece de la Sierra a partir del intento de armonizar la información procedente de la estructura del edificio, los ciclos de erosión antiguos y la acción glacial y nival cuaternarias. Las conclusiones a las que llega, referidas al sector que analiza -nivel de cumbres, entre el puntal de Vacares y el cerro del Caballo-, vienen a reafirmar ideas ya emitidas por otros autores acerca de la focalización de los glaciares en los barrancos. Sin embargo, añade que en ningún momento las masas heladas que los surcaron supusieron modificación significativa del relieve anterior, ni tampoco que llegaron a conformar casquete tipo *feld* suspendido. También subraya la madurez de formas que ofrecen las cumbres y las lomas, que explica aludiendo al resultado de la acción de sistemas de erosión antiguos así como a la influencia de la nivación actual.

Quizá la aportación más sobresaliente de Dresch radique en el cometido morfogénico de la nivación, pues es el primer autor que contempla la acción de la nieve en la explicación de algunos procesos y formas de modelado de cumbres de la Sierra, lo que supone adelantarse algunas décadas a conceptos e ideas asociadas a la dinámica periglacial, que comenzará a tenerse en consideración en España a partir del sexto decenio del siglo XX. Al respecto, las observaciones que realiza del sector occidental del picacho del Veleta, en la cabecera del Dílar, por debajo de los Tajos de la Virgen, resultan elocuentes, pues llama la atención acerca de la existencia de glaciares de piedras (posiblemente podría referirse a glaciares rocosos) colmando cavidades y abundante desagregación de rocas enmascarando al substrato desnudo que lentamente tienden a colmar nichos, circos y lagunas, hecho, por cierto, ya apuntado por Quelle en 1908. En otro orden de cosas Dresch también es novedoso y preciso en su atinada intuición al referirse a la eficacia del barrido de la nieve por la acción del viento. Hace notar la importancia que debió tener la sobrealimentación nival en el desarrollo del glaciar del Guarnón y el papel decisivo que hoy juegan los vientos del oeste en los procesos morfogénicos sobre las lomas.

Acerca del viento, García Saniz (1943), de nuevo insiste a raíz del estudio que hace del valle del Dílar, el sistema glaciar de mayores dimensiones de la Sierra, cuya envergadura atribuye a la favorable orientación que mantuvo respecto a las trayectorias ciclónicas del Atlántico, tal como hoy también se detecta. Del glaciar del Dílar, señala además García Sainz, que debió estar afectado durante el Cuaternario por dos glaciaciones diferentes, aspecto ya vislumbrado por Obermaier (1916), de las que cree haber localizado registros sedimentarios de la penúltima crisis, rissense, a 2100 m, y de la última, würmiense, a 40 m por encima de la anterior y distanciada de aquella 1 km.

García Sainz, refiriéndose igualmente al clima que debió acontecer durante el Cuaternario en Sierra Nevada, responsable de los glaciares que en ella se desarrollaron y que califica de subtropicales, mantiene un discurso semejante al que iniciara Dresch acerca de los flujos húmedos atlánticos, aunque no llegó a citarlo. Del glaciario nevadense García Sainz afirma: *“Los glaciares del Penibético no cubrieron toda la bóveda tectónica que forma Sierra Nevada, ya que, dominando el nivel de los hielos, sobresalían las*

crestas de los antiguos valles pliocenos a modo de "nunatacks", como indica Obermaier. El casquete de hielo o "islandsis" que cubrió el Pirineo, no se presentó en el Penibético: su situación descentrada con relación a la influencia máxima atlántica de aquella época daba lugar a que los glaciares que cubrieron este gran anticlinal fueran de tipo subtropical, y no alpino, como el del Pirineo: el paisaje glaciar de esta última cadena fronteriza era intermedio entre los glaciares de características subtropicales y aquellos polares, distinto, por consiguiente, al paisaje glaciar Penibético".

García Sainz también se ocuparía del Corral del Veleta, aunque lo hizo en 1947 en una obra general sobre el clima cuaternario de España. En contra de la opinión de Obermaier (1916), señala que en el Corral del Veleta se alberga un verdadero glaciar formado por capas de hielo y neviza y que su instalación por debajo del límite actual de nieves perpetuas se debe a factores locales entre los que sobresalen la particular morfología del cuenco, bien encajado y abierto al noreste, y la sobrealimentación nival.

2.2. Incremento del espacio glaciado

El conocimiento glaciar de Sierra Nevada hasta la cuarta década del siglo XX se había centrado en su sector más occidental, pues nadie había explorado las huellas de los barrancos y cabeceras del ramal oriental, particularmente la fachada encarada hacia el Marquesado del Zenete, que aún mantiene cotas elevadas con valores medios por encima de los 2800 m en su extremo más occidental. Esta exploración la realizó Casas Morales (1943, 1947), ofreciendo sus resultados en sendos trabajos descriptivos muy detallados dedicados a las cabeceras del río Guadix, entre el Picón de Jerez y el cerro del Chullo, a lo largo de un cordal de unos 20 km de longitud.

La aportación de Casas Morales, muy influenciada en estilo expositivo y método de trabajo por la obra de Obermaier, interesa, ante todo, por la identificación espacial de los cuencos emisores y registros morfológicos. En total señala 15 focos, entre circos y nichos glacionivales. De entre ellos sobresale la interpretación y esquema geomorfológico del glaciar colgado del Alhorí-Corazón, el más extenso e importante de los estudiados. De él destaca la emisión de diferentes generaciones de morrenas y el entalle

erosivo a distintas cotas, no descartando la existencia de que esta unidad glaciar fuera afectada por una penúltima glaciación. Respecto al avance máximo de los hielos opina que podrían haber alcanzado la Haza del Toril, a 1750 m de altitud, por encima de Jeres del Marquesado. Acerca del resto de focos emisores subraya sus menguadas dimensiones y diluidas formas deposicionales, más notorias conforme nos acercamos al puerto de la Ragua y al cerro del Chullo. La razón que esgrime la fundamenta, sin citarlo, en el reducido espacio glaciado que debió desarrollarse hacia oriente: *"A medida que desciende el eje de cumbre hacia Levante, asciende el límite orográfico o línea isoquiona de las nieves perpetuas, hasta converger exactamente en el cerro del Almirez, con la consiguiente desaparición del fenómeno"*.

2.3. Intento de establecer una cronología relativa alpina

A mediados del siglo XX, y de la mano de Paschinger, el conocimiento de las huellas glaciares de Sierra Nevada se enriquece con ideas nuevas. En efecto, este autor en un corto artículo titulado "Las formas glaciares de la Sierra Nevada. España" (1957), resalta la existencia de morrenas de gran altitud instaladas a partir de los 2800-2900 m colmando concavidades en los circos. Pone de relieve sus formas juveniles y la abundancia de bloques de cantos agudos que las conforman, resaltando las diferentes series instaladas en los circos de Valdeinfierno y, sobre todo, del Dílar.

Lo más relevante del discurso de Paschinger es que atribuye tales formaciones a una glaciación tardía, posterior al Würm, y que, ante la falta de pruebas palinológicas y la similitud de formas que mantienen con las analizadas en cabeceras de valles alpinos cree verosímil relacionarlas con el *Spätglazial* de los Alpes (*Schlern* y *Gschnitz* o *Daun*). La hipótesis que plantea es de gran interés pues por primera vez se afronta el tránsito paleoclimático y paleogeográfico entre la última glaciación y el Holoceno. En realidad, Paschinger está refiriéndose al Tardiglaciar, bien documentado, aunque años más tarde en los Pirineos, y posteriormente perfilado en la propia Sierra Nevada, a partir de la información palinológica que suministró la turbera de Padul (Menéndez Amor & Florschütz, 1964).

Los datos de Paschinger fueron precisados en 1960 por Hempel en un trabajo dedicado a establecer límites geomorfológicos altitudinales en Sierra Nevada. Los resultados obtenidos por este autor, amparados en el análisis de formas, sobre todo erosivas para el glaciario y deposicionales para el periglaciario (como se verá más adelante para estas últimas), le llevó a establecer cotas significativas en la distribución cronológica pleistocena de los procesos fríos, lo que le permitió plantear la existencia de cambios climáticos cíclicos a lo largo del Cuaternario.

Los umbrales de cotas que estableció Hempel para determinar la dinámica glaciaria a lo largo del Pleistoceno en la vertiente norte de la Sierra los fijó a partir del grado de evolución de los circos. De esta manera distinguió tres niveles:

Inferior (2100-2150 m), en el que los circos se definen por concavidades redondeadas y sin formas de acumulación morrénica, aunque con señales de solifusión reciente. Este nivel pertenecería a la glaciación más antigua.

Medio (2400-2500 m), de formas más frescas, lo que podría explicarse por una evolución más joven, aunque no actual pues los ventisqueros que aún perduran en la Sierra quedan muy por encima de tales cotas. El origen de este nivel correspondería con la glaciación würmiense.

Superior (2750-2850 m), caracterizado por las formas más enérgicas. Su inclusión en el tiempo coincidiría con el avance máximo tardiglaciario.

Años más tarde, Lhenaff (1977) también se ocuparía de este tema, pues en su tesis doctoral sobre las Cordilleras Béticas centro-occidentales dedica atención particular al glaciario de Sierra Nevada, sobre todo a su instalación temporal en el Cuaternario, que asocia a fases relictivas caracterizadas por el predominio de un clima frío y seco, en consonancia con los resultados de la turbera de Padul (Menéndez Amor & Florschütz, 1964; Florschütz et al. 1971). De los valles que analizó, Dílar y San Juan (fig. 13), señala huellas de la glaciación würmiense y, sobre todo, del Tardiglaciario, que en el caso de la cabecera del Dílar reconoce formas deposicionales hasta la cota de los 2600 m.

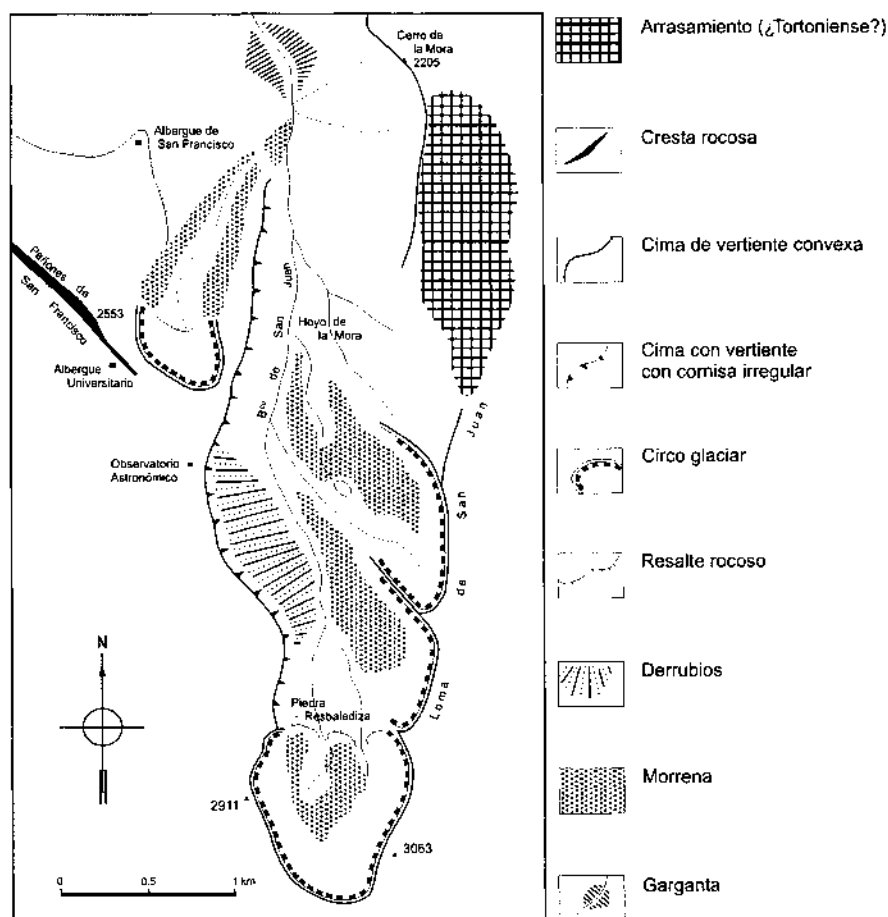


Figura 13. Cabecera del Barranco de San Juan, morfología glaciar y periglacial (Lhenaff, 1977)

En cuanto a restos rissiens, Lhenaff se muestra muy crítico con los autores que defienden su existencia. Respecto a los restos localizados por Messerli (1965) en los valles del Dílar y Monachil, como se verá oportunamente, duda de su autenticidad, pues desconfía de los argumentos sedimentológicos que esgrime dicho autor en su favor. Lo justifica indicando que los datos procedentes de la sedimentología y grado de desgaste de los sedimentos del depósito, fundamento de la argumentación, no son suficientes si se tiene en consideración la fragilidad y escasa resistencia del sustrato del núcleo central de la Sierra. También se muestra dudoso con la existencia de la glaciación antigua que defiende

Hempel (1960) y que éste relaciona con el avanzado grado de evolución que muestran los circos del nivel de 2100-2150 m. Las reservas que esgrime al respecto radican en que la morfología no es argumento inequívoco, pues cabría la posibilidad de que tales circos se trataran de antiguos nichos de nivación muy evolucionados.

3. Los progresos de Bruno Messerli

Bruno Messerli es uno de los científicos que más ha contribuido al progreso del conocimiento glaciario de Sierra Nevada durante la segunda mitad del siglo XX, pues el estudio que llevó a cabo, su tesis doctoral ("Beiträge zur Geomorphologie der Sierra Nevada (Andalusien)", 1965), probablemente resulte de los más completos y acertados (fig.14).

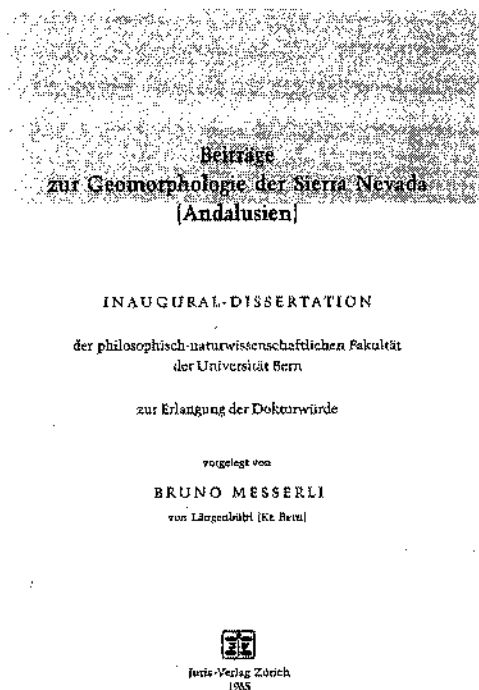


Figura 14. Tesis doctoral de Bruno Messerli (1965)

Messerli afronta su investigación cuando en la universidad española la Geografía comienza a configurarse con entidad propia, particularmente en temas regionales. Esta favorable situación de nuestra ciencia explica la buena acogida que tuvo entre los geógrafos de la Universidad de Granada, en particular con Joaquín Bosque Maurel que le facilitó información y materiales de trabajo de gran interés, además de acompañarle a la Sierra en varias ocasiones.

En la actualidad Messerli es de las personalidades que mejor ha descrito las montañas, sus paisajes y su evolución, aspecto este último al que dedica mayores esfuerzos. Su experiencia y trabajos así lo denotan. Particularmente y por lo que respecta al mundo árido y semiárido, que es el que interesa, resaltan los dedicados a las montañas del borde septentrional de África y Próximo Oriente (Líbano, Anatolia). Igualmente destacan sus aportaciones referidas a los Andes y altiplano de la Región de Atacama, en las que ha mostrado la influencia de los cambios paleoclimáticos cuaternarios en la definición del paisaje actual. La personalidad y prestigio científico de Bruno Messerli ha sido reconocida internacionalmente y fruto de ello, entre otras nominaciones, fue su nombramiento como Rector de la Universidad de Berna y, recientemente y para el periodo 1996-2000, Presidente de la Unión Geográfica Internacional.

El estudio que llevó a cabo Messerli sobre la morfología de Sierra Nevada fue de los primeros en su trayectoria científica. Se ocupa en él, fundamentalmente, de la huella glaciaria, aunque no descuida el desarrollo de la morfodinámica periglaciaria. En su conjunto denota madurez científica y sólido conocimiento del comportamiento de los procesos fríos a lo largo del Cuaternario en montaña, bagaje científico, probablemente, consolidado de la mano de Paschinger, con quien tuvo ocasión de realizar diferentes viajes de estudio por montañas glaciadas. Igualmente denota el trabajo un conocimiento preciso del territorio, a juzgar por la meticulosidad con que analiza los barrancos de la Sierra, labor que sustentó –quizá por primera vez– a partir del vuelo nacional de 1956-1957 (el llamado “vuelo americano”) del Servicio Geográfico del Ejército (foto 2).

La obra de Messerli incluye, además, sendos capítulos de gran interés dedicados a la estructura geológica y al clima del macizo, enriquecidos con interesantes gráficos, esquemas y tablas. Acerca de la estructura geológica sobresale la interpretación que hace del núcleo de cumbres, del que ofrece un sugestivo esquema de síntesis y en el que se resalta la trama de fallas y fracturas de diferente rango, muchas de ellas, como señala en el texto, conductoras de la erosión lineal. También resalta la fragilidad del substrato y la eficacia con que actúa la neotectónica en el derrumbe de cornisas. Respecto al clima subraya su singularidad regional, pues lo fija entre el clima oceánico y el continental. Y también su particularidad local, al establecer diferencias entre vertientes y entre valles. Destaca la variabilidad del régimen de precipitación mostrando la escasez de nieve por debajo de los 1000 m (sólo el 3% del total de precipitación), frente al 25% de los Alpes, en la misma cota. Igualmente se preocupa del viento llegando a conclusiones similares a las de García Sainz (1947) en el sentido de otorgar un cometido relevante a los de componente oeste, responsables de los ventisqueros en exposición oriental.

La visión que ofrece Messerli de la morfología del nivel de cumbres de la Sierra es novedosa en sus líneas generales, pues por primera vez se afronta la complementariedad del trabajo glaciar y periglaciar, aunque nuestro autor ofrece un análisis más detallado del glaciario. Hay que destacar, sin embargo, la importancia que otorga a los procesos fríos no glaciares en el modelado de laderas, en particular a los movimientos en masa de carácter gelifluidal o soligelifluidal. Respecto a la actividad pleistocena establece el límite inferior de tales procesos en torno a los 700 m, en vertiente norte. Y por encima de los 2700 m en la actualidad. Entre 2000 y 2700 m describe lóbulos fijos con orlas de xerófitos. Observaciones, todas ellas, muy en consonancia con las de ya hiciera Hempel (1960).

El estudio de las formas glaciares resulta de gran interés y novedad, pues compone el núcleo del trabajo. Sin duda resalta la interpretación de los hechos, siempre amparados en la perspectiva de un glaciario de altura de montaña árida encerrado en la red de barrancos. La mejor prueba de ello, por su interés interpretativo y capacidad de síntesis, es el espléndido croquis geomorfológico que ofrece del conjunto cimero de la Sierra en el que fija formas erosivas y deposicionales, de éstas diferenciando generaciones temporales de morrenas.



Foto 2. Foto aérea del llamado "vuelo americano" (1956-1957) que recoge diferentes barrancos de la cabecera del río Genil.

Respecto a la cronología de las morrenas mantiene la idea de su escalonamiento constructivo en el tiempo, identificando testigos del Riss, Würm y Tardiglaciár. La argumentación que esgrime Messerli para marcar diferencias entre restos del Riss y Würm es, ante todo granulométrica y sedimentológica, criticada, años más tarde por Lhenaff (1977), tal como ya apuntamos. Localiza testigos rissenses en los valles

del Dílar y Monachil, como ya apuntara García Sainz (1943), pues ambos valles podrían haber tenido mayor desarrollo de lenguas debido a su óptima orientación a los flujos del oeste.

Respecto a la glaciación Würm, Messerli hace notar que es la más extendida y visible en la Sierra señalando longitudes máximas de lenguas entre 6 y 9,5 km y fijación de restos entre 1450 y 2000 m. Las referencias morfológicas al Tardiglacial las sitúa siempre en los niveles de cumbres, pues fija la ELA (límite de nieves permanentes) entre 2800-2900 m, de ahí la persistencia en hacer notar glaciares rocosos por encima de tales cotas. La atención que presta al Corral del Veleta no resulta tan precisa y ajustada como para los glaciares cuaternarios. Insiste en su particular ubicación y en la juventud y frescura de los modelados que alberga. Sobre su fijación altitudinal señala que se establece 600 m por debajo de la ELA actual que fija entre 3600-3700 m.

4. La irrupción del conocimiento periglacial

La morfogénesis periglacial cuaternaria en Sierra Nevada fue demostrada de manera inequívoca hace pocas décadas y por lo que respecta a procesos actuales recientemente. Las primeras noticias se encuentran en Dresch (1937), cuando se refiere a la evolución de las planicies culminantes de la Sierra y a sus coladas de bloques, aunque las enmarca en las ideas de formas de nivación. Fue Hempel (1960) quien acuñó definitivamente para la Sierra el concepto periglacial al identificar altitudinalmente generaciones de formas pleistocenas y actuales diferenciadas (lóbulos solifluidales fijos y terracitas escalonadas, respectivamente). Esta idea supuso reconocer en Sierra Nevada la singularidad de los procesos fríos, independientemente de que existiera o no espacio glaciado, en línea semejante a lo descrito por Raynal (1956) en el Alto Atlas.

Sin embargo, aún existen lagunas acerca del conocimiento periglacial de la Sierra, pues los escasos investigadores que han venido ocupándose del tema, casi siempre en obras de carácter general, han descrito formas y procesos, pero en contadas ocasiones han llegado a plantear la explicación detallada de los acontecimientos y su instalación en el tiempo, al contrario de lo que ha sucedido con el glaciario.

Las razones de este proceder, que podrían ser extensibles al resto de montañas españolas, radican, sobre todo, en el reciente arraigo del sistema morfogénico periglaciario en la literatura geomorfológica de nuestro país y en la juventud de este tipo de estudios (sirva de ejemplo que el primer texto específico escrito en castellano es de mediados del siglo XX (Floristán, 1953) y que los primeros trabajos de reconocimiento de formas son posteriores a la celebración del V Congreso de INQUA –Barcelona, Madrid, 1957-) (Gómez Ortiz et al., 1997). También debieron influir en este tardío despertar las reticencias que han venido imperando tradicionalmente entre investigadores, en el sentido de admitir procesos fríos con resultados morfológicos en montañas que no cobijaron glaciares, como fueron la mayoría de las nuestras. El debate comenzó a superarse a mediados de la década de los setenta (Llobet, 1978-1979; Ulrich Brosche, 1978) y hoy puede ya afirmarse que ha sido superado (Peña Monné, 1998; Gómez Ortiz et al., 2001).

Durante la década de 1960-1970 el interés por las formas de modelado periglaciario de Sierra Nevada se centró, ante todo, en determinar su área de expansión. Por ello los esfuerzos residieron en fijar el límite altitudinal inferior pleistoceno y actual. Respecto a la determinación de los límites inferiores pleistocenos Hempel (1960) fue quien dedicó mayor atención. En sus observaciones distingue diferentes generaciones de formas. Las más antiguas las identifica como paquetes de derrubios solifluidales fósiles, pues se manifiestan densamente recubiertos por *Juniperus sabina*. La cota máxima de avance la establece entre los 800-1000 m. Y en cuanto a procesos actuales los instala a partir de los 2100 m, y de manera muy notable por encima de los 2700 m, en la pared noroeste del Veleta, que es donde los suelos festoneados por *Festuca indigesta* conforman los micromodelados más generalizados. Ambos límites periglaciares los asimila con los detectados por Büdel (1951) en el sur de Italia y Sicilia.

También se ocupó del tema Messerli (1967) que estableció el límite inferior de la solifluxión pleistocena, en vertiente norte, en los 700 m y por encima de los 2700 m localizó formas recientes de gelisolifluxión tal como ya apuntamos. Por su parte Ulrich Brosche (1978) se dedicó a determinar el límite inferior de los procesos fríos actuales en un artículo dedicado a la Península Ibérica, considerando como tales las formas inequívocas de solifluxión, tal como lo había señalado Höllermann (1967). En los

apartados dedicados a Sierra Nevada Ulrich Brosche establece el descenso máximo de la solifluxión contenida entre 2300-2500 m, a juzgar por las guirnaldas de césped que cubren las laderas. Y respecto a la solifluxión libre entre 2800 y 3000 m, y algo más baja, en torno a los 2650-2700 m, si se toma como referencia la formación de suelos poligonales.

La década 1960-1970 significó para Sierra Nevada la certificación de la existencia en sus barrancos y lomas de la dinámica periglaciaria pasada y actual, aunque no aún su tipología y zonificación de procesos y formas en altura. Para ello habrá que esperar algunos años más. Sin embargo, sí comienza a explicarse también en esta década la génesis de las geoformas actuales desde una óptica integradora, lo que exige interpretar la dinámica evolutiva del conjunto del paisaje a partir de una perspectiva global, de acuerdo con los planteamientos de la Teoría General de Sistemas. En tal sentido, los primeros en plantear este enfoque fueron Soutadé & Baudière (1970) y Serve (1972), éste último comparando comportamientos fitogeomorfológicos entre Sierra Nevada y Pirineo Oriental.

El método de trabajo que emplean estos autores es interdisciplinar y parten del principio de que la evolución del paisaje de las altas lomas y cumbres de Sierra Nevada depende, primordialmente, de las relaciones dinámicas que se establecen entre vegetación y procesos mecánicos en el suelo, pues ellas son las responsables de la construcción de formas de modelado actual. En realidad, lo que vienen a mostrarnos, y es esa su gran aportación, es la dialéctica que se opera entre elementos estabilizadores (el vegetal) y elementos desestabilizadores (movimientos de la fracción mineral derivados de la energía liberada por procesos mecánicos). Este enfoque conceptual integrador, ya validado por todos ellos en el Pirineo Oriental, lo aplican a las cabeceras de los barrancos de San Juan, Monachil, Dílar y declives del edificio del Mulhacén mostrando que, en su conjunto, la morfodinámica fría actual del paisaje genera grupos de formas definidas por la relación entre planta y mineral, aunque controladas por el comportamiento local del clima, sobre todo del viento, hielo en el suelo y disponibilidad de agua edáfica.

EL PANORAMA ACTUAL DEL CONOCIMIENTO: ENFOQUE GLOBAL O INTEGRADO Y MÉTODOS PLURIDISCIPLINARES

Después de que Bruno Messerli publicara en 1965 su tesis doctoral sobre el glaciario de la Sierra y de que Lhenaff se interesara en 1977 por las formas de relieve glaciares de las cabeceras del Dílar y Monachil el progreso del conocimiento del glaciario y periglaciario de Sierra Nevada ha ido paulatinamente incrementándose e igualmente perfilándose con mayor rigor su significado en la evolución del paisaje de cumbres, particularmente desde la explicación morfológica y ambiental. Hay que subrayar que los resultados más relevantes obtenidos proceden de la labor ininterrumpida de un sólido equipo de trabajo con sede central en la Universidad de Barcelona y que desde 1989 ha tenido a Sierra Nevada y, particularmente a los sistemas naturales de sus niveles altimontanos, como objeto de estudio preferente.

Sin embargo, es oportuno añadir a esta labor reciente de la Universidad de Barcelona anteriores aportaciones de interés. Entre ellas hay que resaltar la de Martín-Vivaldi (1982) sobre el valle de Monachil; la aproximación al glaciario de la Sierra, de Soria Mingorance et al. (1984, 1985) y la tesis doctoral de Sánchez Gómez (1990), sobre geomorfología-suelos del valle de Lanjarón. Desde otra perspectiva, ahora en el ámbito de la planificación territorial, el medio físico de Sierra Nevada también ha sido contemplado y con particular atención su morfología, por lo que la huella glacial y la morfodinámica periglacial, en mayor o menor grado según autores e intencionalidad del estudio, se han tenido en consideración en la explicación de la potencialidad y dinámica del paisaje (Pezzi et al., 1978; Jiménez Olivencia, 1991; etc.).

El sólido avance experimentado en el conocimiento de los procesos y formas de medios fríos en Sierra Nevada hay que interpretarlo en el contexto del progreso que experimenta la geomorfología española a partir de 1980, pues es por estos años cuando enfoques, métodos y técnicas sufren una profunda renovación. Las causas de estas nuevas perspectivas a las que se abre nuestra ciencia hay que explicarlas desde diferentes hechos convergentes: a) El contacto con el exterior, a través de programas de actuación internacionales –visitas a centros de excelencia e

intercambios de experiencias-, así como a la participación activa en eventos científicos; b) La mayor comunicación entre las disciplinas, lo que ha supuesto trasvases de ideas y métodos entre especialistas de áreas afines tanto en el ámbito nacional como internacional; c) La implantación del Plan Nacional de I+D que ha permitido no sólo la creación y consolidación de grupos de trabajos pluridisciplinarios e interuniversitarios, sino también la existencia de una fuente de financiación para asumir proyectos novedosos y competitivos.

Paralelamente a todo ello y por lo que respecta al desarrollo reciente y particular de los estudios glaciares y, en mayor medida, periglaciares, habría que añadir, además, otros hechos más precisos que, en su conjunto, y a lo largo de estas últimas décadas igualmente han venido a contribuir a la creación de un ambiente muy favorable hacia la investigación en medios fríos. Sin lugar a dudas, la fundación de la Sociedad Española de Geomorfología (SEG), en 1997, pues en torno a ella se han focalizado los avances geomorfológicos en España, difundidos en sus Reuniones Nacionales. Así ocurrió también con la aparición, en 1997, de la revista *Cuaternario y Geomorfología*, auspiciada y patrocinada por la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (AEQUA) y la propia SEG. Y lo mismo sucedió con la creación de IPA-España, en 1994, miembro de la *International Permafrost Association*, desde donde proceden las principales aportaciones (fig. 15).

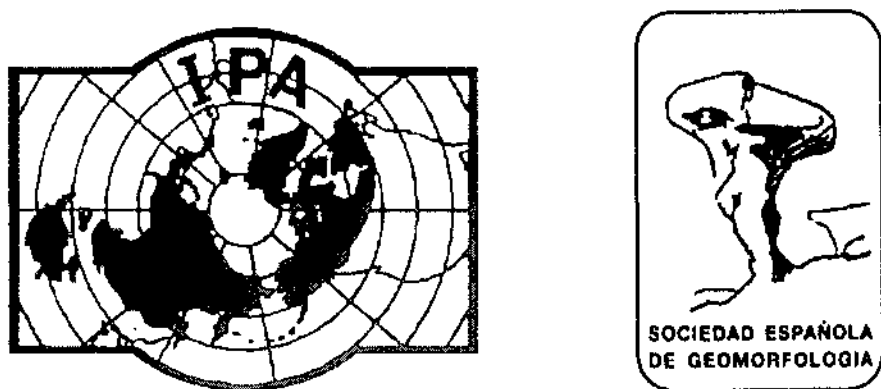


Figura 15. La Sociedad Española de Geomorfología (SEG) y el Grupo de trabajo IPA-España canalizan la mayor parte de la investigación española en temas de regímenes fríos.

1. Hacia una explicación plural de la morfogénesis fría

A partir de la década de los años ochenta del siglo XX los estudios geográficos de glaciario y periglaciario en España comienzan a contemplarse desde una perspectiva global e integradora, particularmente en los trabajos procedentes de geógrafos físicos. Este enfoque significó asumir como marco de referencia inicial la definición de región fría a partir del conjunto de procesos de carácter biofísico que la caracterizan. Esta perspectiva supuso, sobre todo en su aplicación a los espacios montañosos, diferenciar tramos o pisos altitudinales morfogenéticos a lo largo de los tiempos, con resultados diversificados y supeditados a las condiciones ambientales dominantes.

Por lo que se refiere a Sierra Nevada las ideas del escalonamiento morfogenético ya se vislumbraron con Hempel (1960) y Ulrich Brosche (1978), aunque ninguno de ellos explicitará con claridad la coexistencia diferenciada entre morfodinámica glaciaria y morfodinámica periglaciaria. Hasta entonces lo que vino interesando a los autores que se ocuparon del tema fue demostrar el predominio de condiciones climáticas antiguas responsables del desarrollo de glaciares y de sus formas asociadas (p.e. García Sainz, Lhenaff). O bien evidenciar condiciones climáticas frías, antiguas o recientes, causantes de determinados modelados periglaciares de ladera. Acaso, uno de los primeros en interpretar globalmente la acción morfogenética fría fue Messerli, al asociar los modelados de ladera a importantes paquetes gelifluidales o soligelifluidales contruidos en paralelo a la acción glaciaria o inmediatamente después de ella.

Pero fue a partir de 1980, como antes se indicó, cuando se inició el cambio de enfoque en la explicación de las formas de modelado de la alta montaña, al ser entendida ésta como unidad orográfica que incluye una multivariiedad de ambientes biofísicos dinámicamente entrelazados. El principio de partida que facilitó asumir estas ideas fue admitir que el comportamiento diferenciado del clima en altura también suponía la existencia de morfogénesis diferenciadas, tal como ya lo demostró décadas anteriores Troll (1960, 1967) cuando se refirió al Himalaya.

Partiendo de esta visión conceptual, la montaña durante las crisis climáticas frías cuaternarias pudo albergar, de acuerdo con su instalación latitudinal y altitud ambientes periglaciares, ambientes glaciares o ambos.

En el caso de las montañas andaluzas ésto se puso de relieve a partir del estudio de sus modelados de ladera (Gómez Ortiz et al., 1993). Al respecto, el caso de Sierra Nevada resulta ejemplar, pues debido a su considerable altitud y volumen, durante el Pleistoceno incluyó ambientes fríos con resultados morfológicos diferenciados, de acuerdo con la fijación temporal del límite de nieves perpetuas. Así se explica que las partes más altas de la Sierra incluyeran durante determinados tiempos un dominio variable de hielos permanentes con morfogénesis glaciár, en el que los sistemas glaciares esculpirían cabeceras de barrancos. Pero también, y junto a aquel dominio, otro también variable de hielos temporales con morfogénesis periglaciár, responsable del modelado de laderas llegando a afectar hasta cotas relativamente bajas, como ocurrió en torno a los 1100 m en las cercanías de Laroles (Gómez Ortiz, 1980).

Este enfoque, que por nuestra parte ya fue aplicado al Pirineo Oriental y al Principado de Andorra (Gómez Ortiz, 1980a, 1996), nos ha permitido demostrar la variabilidad espacio-temporal de la dinámica glaciár y/o periglaciár en Sierra Nevada. Y sólo desde tal enfoque es posible explicar la multivariiedad de formas de relieve de origen frío que la caracterizan y singularizan en el conjunto de las montañas andaluzas.

2. Las formas de relieve de Sierra Nevada. Nuevas ideas y nuevos hallazgos glaciares y periglaciares

En los últimos apartados se ha pasado revista particularmente al devenir del conocimiento glaciár de Sierra Nevada y para ello se ha referido a los autores de mayor relieve, insistiendo en sus aportaciones y en lo que significaron sus resultados en el pensamiento científico de la época. A continuación lo que interesará será resaltar los últimos y más significativos avances alcanzados por lo que se analizarán los planteamientos, las ideas, los métodos y técnicas asumidos. Como antes se señaló, el progreso operado ha estado impulsado por investigadores de la Universidad de Barcelona a los que hay que añadir, a partir de 1997, otros procedentes de las Universidades de Madrid-Complutense, Alcalá de Henares, Extremadura, Granada y Almería. Todos ellos, trabajando en equipo y de acuerdo a un macroprograma establecido, son los responsables, en mayor o menor medida, de lo que a continuación resaltaremos (Gómez Ortiz et al., 2002).

Los registros morfológicos cuaternarios que caracterizan las cumbres de Sierra Nevada denotan importantes procesos morfogénicos fríos acaecidos durante el Pleistoceno. Los datos más evidentes de estos acontecimientos se reflejan en las formas glaciares que entallan los tramos más elevados de la montaña y también en los espesos paquetes de derrubios de origen periglacial que tienden a modelar las lomas hasta cotas bajas. De no haber sido así la morfología predominante de la Sierra en su dominio cristalino mantendría formas muy evolucionadas, propias de un macizo arrasado. Sin embargo, hay que señalar que la dinámica de los glaciares resultó restringida, pues las masas heladas entraron en fusión muy pronto, una vez rebasada la línea de nieves permanentes. Debe hablarse, por tanto, de un glaciario acantonado en altura y de fusión precoz, propio de montañas secas, más cercano al que afectó al Alto Atlas que aquel otro que modeló el Pirineo o los Alpes.

No sucedió lo mismo con la morfogénesis periglacial o crionival, pues ésta tuvo en el macizo un desarrollo espacial mayor, afectando, también con cierto interés, otras unidades orográficas de las Béticas, mucho más modestas en altura (Gómez Ortiz et al., 1994). En el caso de Sierra Nevada sus efectos resultan patentes a lo largo de las lomas, desde las cotas cimeras, tapizadas por extensos pedregales (*mer de roches*, coladas y lóbulos de piedras), hasta el fondo de barrancos, donde son visibles espesos paquetes de *grèze* y *groïzes*, lo que otorga, al conjunto de ellas, una fisonomía de perfiles cóncavo-convexos. Incluso en la actualidad las condiciones climáticas continúan generando procesos morfogénicos fríos, traducidos, sobre todo, en una eficaz gelifración y soligelifluxión.

El glaciario en Sierra Nevada ocupó una superficie restringida fijada, preferentemente, en el sector más occidental del macizo, allí donde los cordales superan sobradamente los 3000 m (Picón de Jeres, Vacares, Alcazaba, Mulhacén, Veleta, Cartujo, Caballo, etc), por lo que el espacio glaciado cubrió una franja que osciló entre los 600-700 m en vertiente sur, y 800-1000 m en vertiente norte (según autores y períodos de tiempo). Fuera de esta demarcación espacial los sistemas glaciares debieron ser muy puntuales y focalizados asemejándose más a nichos glacionivales o nivoperiglaciares. Así sucedió a partir del cerro Pelado (3144 m) en dirección al puerto de La Ragua. Primero, con entalles y emisión de material morrénico, tal como sucede en los ventisqueros del Gallo y de las

Cabras, orientados hacia el Marquesado. Luego, con bordes difuminados y material de fondo amorfo, como se aprecia en los cuencos del puerto del Lobo y del Hornillo, encarados hacia la Alpujarra.

El glaciario de Sierra Nevada, distribuido en sistemas de valle y de circo, quedó relegado a las cotas más altas. A grandes rasgos los determinantes que así lo condicionaron fueron (Gómez Ortiz & Salvador Franch, 1998):

- a) El volumen y altitud del macizo, que limitó el espacio glaciado.
- b) El relieve preexistente, que subordinó la instalación de las cuencas de alimentación.
- c) La morfoestructura y litología, que facilitó el desarrollo de determinadas formas erosivas y deposicionales.
- d) La orientación de la montaña, que determinó la influencia de los flujos húmedos atlánticos o mediterráneos en vertientes.

La morfodinámica glaciaria creó, ante todo, formas erosivas, tanto en vertiente norte como en sur. En cuanto a formas deposicionales éstas escasean debido a la pronunciada pendiente de los barrancos y a la eficaz acción de las aguas de fusión y dinámica de laderas. Se trata, por tanto, de un relieve definido por el esculpido, a pesar de incluirse en un paisaje de formas mayores evolucionadas. De manera general, y por lo que respecta al espacio glaciado, éste se caracteriza por los siguientes rasgos morfológicos:

- a) Eficaz influencia de la tectónica y de la litología locales en la creación de formas erosivas, tanto en circos como en valles.
- b) Cuencas de alimentación individualizadas y bien delimitadas aunque con escasos portillos de transfluencia glaciaria.
- c) Surcos glaciares muy empinados y sólo entallados en U en los tramos más cercanos a las cabeceras.
- d) Niveles de cumbres diferenciados en los que alternan agudas cresterías ("crestones") y *hörner* ("puntales") con planicies erosivas.
- e) Diferentes generaciones de sedimentos morrénicos esparcidos a lo largo de los cauces glaciares, más numerosos en la vertiente sur que en la norte.

f) Profusión de glaciares rocosos colmatando las partes más elevadas de los circos.

g) Eficaz morfodinámica postglaciar, particularmente afectando a laderas.

3. Dinámica glaciaria: morfología de barrancos y cabeceras

Los sistemas glaciares de Sierra Nevada quedaron siempre encerrados en los moldes que impusieron los surcos de los barrancos, por lo que son éstos los que denotan las más nítidas morfologías, particularmente en cabecera. De no haber sido así, la angostura que ofrecen, de manera clara en la fachada alpujarreña, por debajo de los 2200 m, se hubiera prolongado hasta cabecera, pues no hay que olvidar que el edificio de Sierra Nevada alcanza su actual volumen y altitud en estos últimos 8 millones de años (Sanz de Galdeano et al. 1999).

Desde una visión morfológica los sistemas glaciares nevadenses podrían clasificarse en dos grandes tipos, aunque con diferencias si se analizan con precisión (tabla 1 y fig. 16).

Tabla 1. Sistemas glaciares en Sierra Nevada

Tipología	Modalidad	Variedad	Ejemplos
Valle	De lenguas convergentes		Genil, Poqueira, Trevélez
	De lengua individualizada	Circo confundido en valle	Monachil, Guarnón, San Juan, Lanjarón
		Circo resaltando del valle	Dílar, Vadillo, Maitena, Valdeinfierno
Circo	Con morrenas fuera del ámbito del circo		Siete Lagunas, Dúrcal, Alhorí, Lagunillos, Río Chico
	Con morrenas en los márgenes del circo		Cornavaca, Puerto de Trevélez, Hoya de la Mora
	Con escombros glaciares mal diferenciado en el circo		Ventisquero del Gallo, Chorrillo, Peñón Negro, Nigüelas

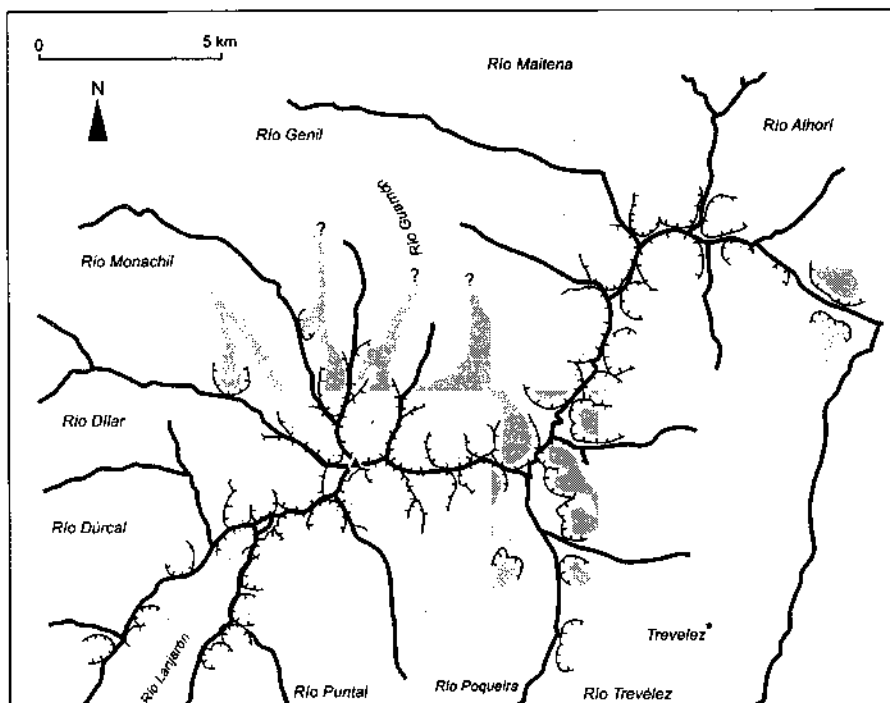


Figura 16. Dominio glaciado de Sierra Nevada (Gómez Ortiz et al., 1996).

3.1. Los sectores de circos

Los circos de Sierra Nevada quedaron instalados en las antiguas cabeceras de los barrancos, allí donde la concavidad preexistente fue propicia para el almacenamiento de las nieves. Estas concavidades fueron los últimos reductos donde el hielo quedó retenido a lo largo del Tardiglaciario y también, en algunos casos, durante la Pequeña Edad del Hielo. En su seno se albergan los más importantes cúmulos de glaciares rocosos. La configuración de los circos denota su acusada individualización, pues escasean los tipos complejos definidos por la coalescencia de unidades. A lo sumo, delgadas aristas rocosas, "raspones" y algunos *hórner* ("puntales"), tienden a delimitarlos, lo que atestigua que cada sistema glaciar quedó encerrado en su respectivo dominio prefluvial, reduciendo, de esta forma, los antiguos rellanos erosivos culminantes. Así sucede, por ejemplo, a ambas vertientes del cordal Puntal de la Caldera-Cartujo (raspones de Río Seco, raspones de la Virgen, etc.).

En cuanto a las dependencias de las formas elaboradas y la tectolitología hay que señalar importantes datos. La estructura local del edificio ha jugado un papel capital en la morfología resultante pues el trabajo erosivo de las masas de hielo cargadas de escombro se ajustaron bien a las morfoestructuras. Muchos circos lo demuestran. Así sucede en Veleta, Río Seco, Goterón, Dilar, Juntillas, etc. donde contactos litológicos o líneas tectónicas han favorecido la creación de fuertes desniveles, cubetas de sobreexcavación, o densas mallas de estrías y acanaladuras (fig. 17). Sin lugar a dudas uno de los enclaves más notorios es el paraje del circo del Veleta donde las fracturas que atraviesan el roquedo, con dirección NNW-SSE y NE-SW, han sido explotadas eficazmente por la carga subglaciar, dando lugar a importantes disecciones y pequeñas lagunas (las Cabras), algunas instaladas en repisas estructurales ("vasares"), como la de Aguas Verdes; dispositivo morfológico que también se repite en vertiente norte, en las lagunas Larga y de la Mosca. Otro enclave interesante es el circo del Goterón donde las fracturas que atraviesan el sustrato han condicionado la red de drenaje y los bruscos desniveles que las aguas deben sortear.

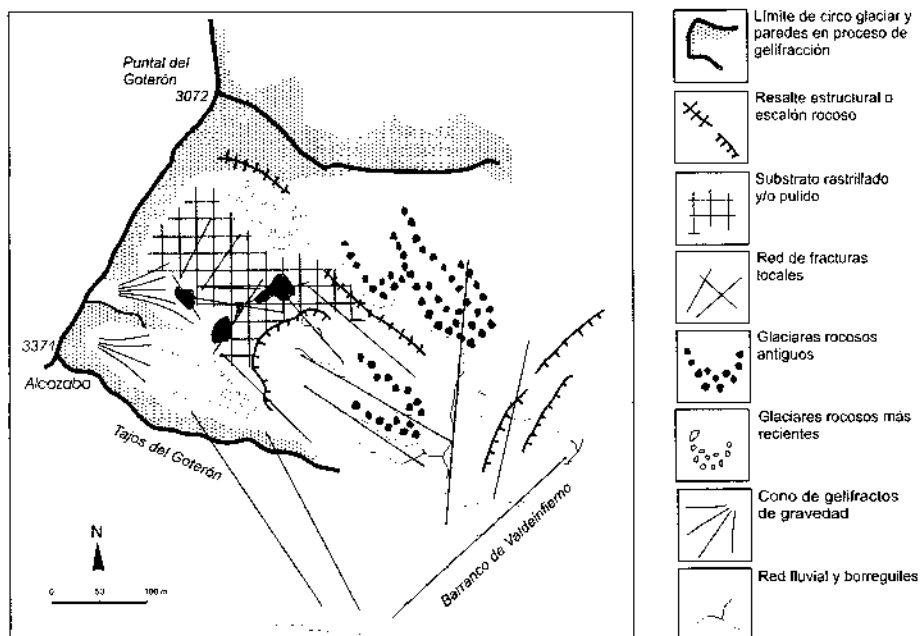


Figura 17. Morfología del cuenco del Goterón (Gómez Ortiz, 1991).

Acerca de las formas deposicionales que caracterizan a los circos hay que subrayar, ante todo, los glaciares rocosos que colman sus fondos. Se trata de caóticas acumulaciones de bloques construidas durante los episodios más tardíos del glaciario würmiense (Tardiglaciario), a partir de los 15000 BP, y se asocian a unas condiciones climáticas áridas y de frío intenso (Pons & Reille, 1988; Esteban Amat, 1995, 1996). La mayoría de estas construcciones se instalan por encima de los 2800 m, que es donde podría haber quedado situado el nivel de nieves permanentes durante el Tardiglaciario (Messerli, 1965). Los mejores modelos de glaciares rocosos se detectan en la cabecera del Dílar (Cascajar del Cartujo), donde se identifican diferentes generaciones atribuibles, probablemente, a episodios diferenciados del Tardiglaciario (Lhenaff, 1977; Sánchez Gómez et al., 1990b). También hay excelentes formaciones en Siete Lagunas, aguas arriba de los borreguiles que colman la repisa basal del circo.

En la actualidad las paredes de los circos están sometidas a importantes procesos de gelifracción, muy favorecidos por las condiciones del roquedo, pues a la propia estructura del edificio, extremadamente tectonizado, hay que sumar la friabilidad de la roca (micasquitos muy laminados) y la descompresión a la que están sumidas estas paredes, como respuesta a la desaparición de los hielos glaciares würmienses. Todo ello explica la abundancia de clastos que tienden a invadir las zonas más bajas de los cuencos, particularmente visibles en los corrales de la vertiente norte (Veleta, Mulhacén, Valdeinfierno, etc.)

3.2. Los surcos de barrancos

Los surcos de barrancos fueron los principales cauces por donde avanzaron los hielos, aunque algunas de estas masas lo hiciera a lo largo de las lomas sin alcanzar los valles colectores, como ocurrió con los glaciares de circo (Cornavaca, Siete Lagunas-Peñón Negro, etc.). Sin embargo, el trayecto recorrido por las lenguas siempre fue reducido. En buena parte se debió a la fusión temprana de las masas heladas, determinada no sólo por la latitud de la Sierra, sino también por la reducida magnitud de las cuencas de alimentación. Ello explica que la morfología en U de los valles pronto desaparezca y tempranamente adquiera formas angostas y encajadas.

Los valles, sobre todo en vertiente sur, presentan sucesivas rupturas de pendiente en su trazado longitudinal. Generalmente coinciden con contactos litológicos o dislocaciones estructurales acentuadas por la sobreexcavación del hielo. El tránsito circo-valle también se identifica por bruscos desniveles en los que el substrato aparece pulido y rastrillado como respuesta a la acción mecánica de la carga de fondo. No resulta extraño, por tanto, detectar entalles erosivos a diferente altura (Mulhacén, Río Seco, Veleta), gargantas subglaciares, valles tributarios colgados (Veleta), e incluso asimetrías en el perfil transversal del mismo (Lanjarón, Guarnón). Al respecto, el valle de Lanjarón es uno de los casos más significativos, pues la morfología que presentan sus vertientes deriva del binomio estructura-erosión (Lhenaff, 1977; Sánchez Gómez et al., 1990), destacando la predominancia de formas erosivas en las vertientes occidentales y deposicionales en las orientales. La explicación radica en el buzamiento que ofrecen los micasquitos que componen el substrato (generalizado al WSW) y en la acción modeladora de los pequeños cuencos glaciares colgados sobre la vertiente izquierda del valle (Caballo, etc.). La conjunción de tal binomio justifica, además, detalles morfológicos significativos como son, por ejemplo, la profusión de resaltes estructurales y la prolongada hombrera que entalla la vertiente derecha, desde laguna Cuadrada hasta Peñón Colorado, por debajo de Tajos Altos, frente a las acumulaciones de origen gelifluidal instaladas en la vertiente izquierda.

En cuanto a los registros deposicionales de origen glaciar abandonados en los valles hay que distinguir el *till* de fondo que se ofrece en estructuras indiferenciadas, removido por procesos fluvio-torrenciales o nivo-periglaciares, y las morrenas que se escalonan en vertientes o tienden a cerrar el lecho de los barrancos. La mayor profusión de estas formas, no muy numerosas en su conjunto, se localizan en los valles meridionales y en aquellos otros septentrionales de menor pendiente y abiertos (Juntillas, San Juan, Monachil y Dílar). La escasez de morrenas en Sierra Nevada se atribuye, principalmente, a tres hechos: a) la fragilidad del roquedo y escasa coherencia de los depósitos construidos; b) la pronunciada pendiente de las vertientes ($>25^\circ$); c) la agresividad de los procesos morfogénicos postglaciares. La interacción de todos ellos supuso que apenas retirados los hielos de los barrancos las morrenas creadas, muy incompetentes por su mala consolidación, pronto se desestabilizaran por la energía de las aguas de fusión y la eficacia de los procesos de ladera

postglaciares. Así sucedió de forma extrema en Guarnón, Valdecasillas y Valdeinfierno, a juzgar por la inclinación topográfica que caracteriza a cada una de estas unidades glaciares.

Los depósitos morrénicos sólo han mantenido formas originales cuando quedaron instalados en tramos dotados de poca inclinación, como sucedió en los glaciares colgados esculpidos en las lomas, o en aquellos otros de valle dotados de vertientes o *talweg* abiertos. En tales casos es fácil distinguir diferentes generaciones, como sucede aguas arriba de la Hoya del Capitán, en los barrancos de Río Seco y Naute; en Siete Lagunas, por debajo de Chorreras Negras; en Prados de Cornavaca; en Dílar, en las inmediaciones de la laguna de la Mula; en la Hoya de la Mora; en San Juan, frente al Mojón del Trigo; etc.

En su conjunto, las acumulaciones morrénicas conforman edificios de dimensiones reducidas compuestos por una amalgama de bloques y cantos empastados en abundante matriz menuda y colgados, en ocasiones, en vertientes, como en el valle de San Juan, donde se aprecian bien visibles en su topografía hasta cinco segmentos. También configuran pequeños cordones frontolaterales que tienden a cerrar la salida de aguas en los barrancos, tal como ocurre en la confluencia de Río Seco y Mulhacén, en las inmediaciones de Las Tomas (fig. 18). En otros casos, los depósitos morrénicos quedan retenidos en los declives de las lomas, pues el desarrollo de las masas heladas no llegó a entrar en contacto con sus respectivos glaciares colectores. Así sucede ahora en el sistema de Siete Lagunas y en Cornavaca, donde se distinguen sucesivas generaciones de arcos, probablemente, de los más interesantes de la Sierra.

La falta de dataciones absolutas no nos permite fijar en el tiempo la instalación de los edificios morrénicos de Sierra Nevada por lo que sólo podemos distinguirlos en relación al lugar que ocupan en su particular espacio glaciado, aunque como señalaremos oportunamente, somos de la opinión de que algunos restos podrían pertenecer a glaciaciones antiguas. Por ahora, sólo nos limitaremos a señalar distinciones morfológicas y sedimentológicas. Atendiendo a ellas cabe señalar (tabla 2) (Gómez Ortiz et al. 1998): a) Morrenas externas, instaladas en los márgenes del máximo empuje glaciar; b) Morrenas internas, fijadas en el seno de los circos y atribuibles a las últimas fases del Würm; c) Morrenas intermedias,

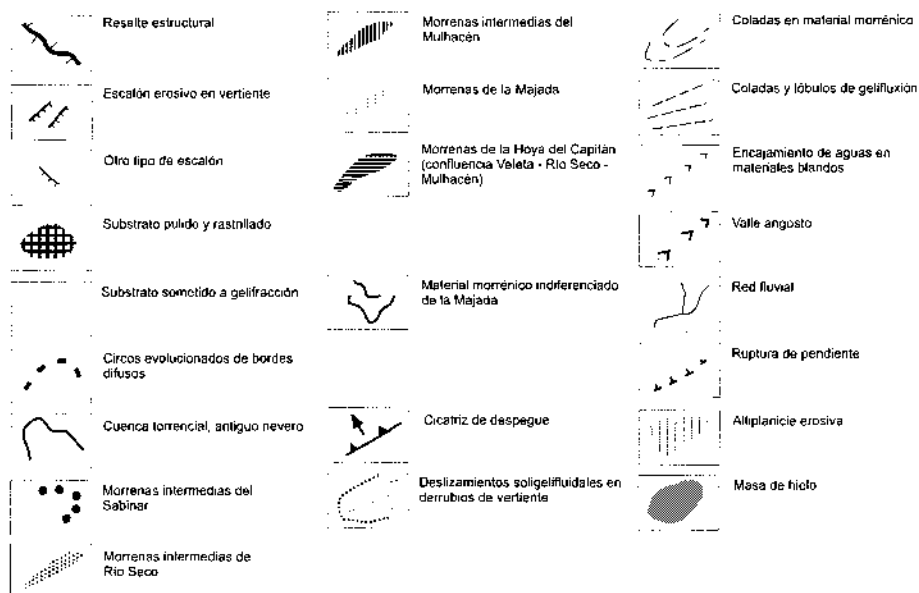
repartidas entre las anteriores, pudiendo corresponder a diferentes pulsaciones de avance, estabilización o retroceso.

Tabla 2. Registros morrénicos identificados en vertiente sur (cota altimétrica)

Sistema glaciar	Morrenas externas (m)	Morrenas intermedias (m)	Morrenas internas (m)
Lanjarón *	1800	1900, 2300, 2625	2800
Toril	1850	2000	
Poqueira **			
Veleta	1980	2550, 2750	3150
Río Seco	1980	2300, 2750, 2820	3050
Mulhacén	1980	2300, 2600, 2950	3036
Siete Lagunas	2400	2550, 2650, 2970	3130

*Se ha localizado material morrénico (presumiblemente de glaciación antigua –prewürmienne-) envuelto en depósito de ladera a 1400 m.

** La mitad del Veleta, Río Seco y Mulhacén se fusionaron en la Hoya del Capitán (1980 m). Por debajo de este parajeaín se detectan morrenas a 1704 m y 1747 m, presumiblemente de glaciaciones antiguas –prewürmienes-.



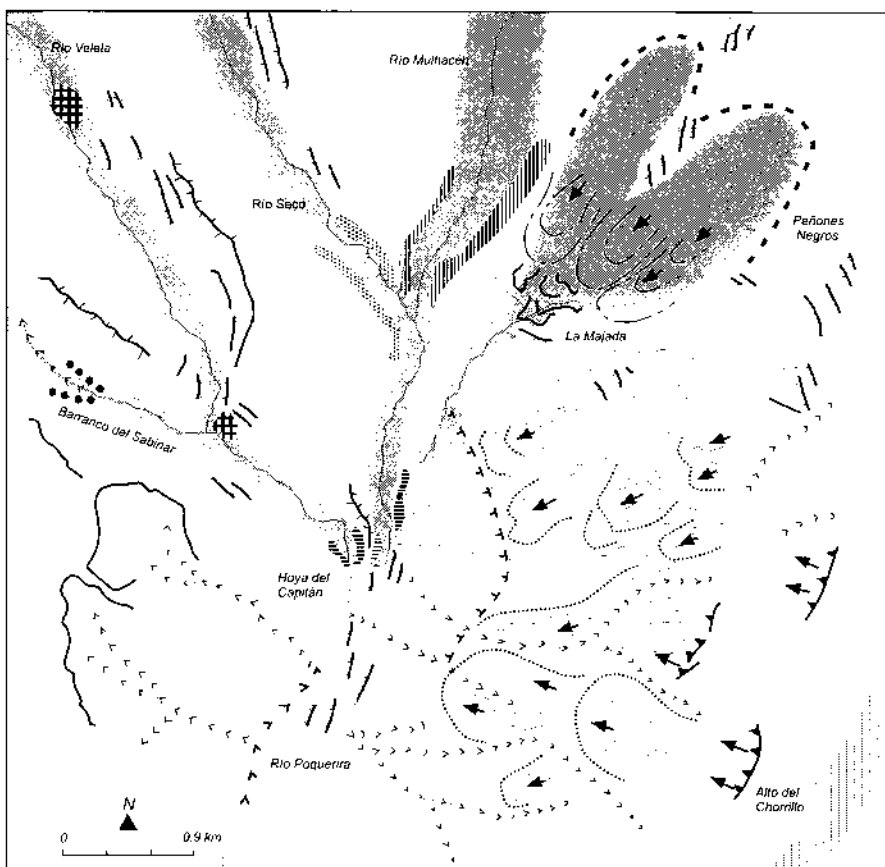


Figura 18. Morfología de la Hoya del Capitán, barranco de Poqueira (Gómez Ortiz et al. 2002).
(Véase leyenda en página anterior)

4. Dinámica periglacial: formas desarrolladas

En una visión global, los modelados que caracterizan a Sierra Nevada a partir de los tramos medios de sus lomas, generalmente por encima de los 800-1000 m, tienen un origen periglacial. En tal sentido, tal como se refirió oportunamente, hay que subrayar la eficacia morfogénica de los procesos fríos periglaciares a lo largo de todo el Pleistoceno. Unas veces creando formas propias (figuras geométricas en altiplanicies, glaciares rocosos en cuencos de alimentación glaciár, depósitos tipo *groize* o *grèze* a lo largo de laderas, etc. En otras, remodelando formas ya elaboradas, tal como

ocurrió con algunos segmentos de morrenas que fueron desdibujados por procesos gelifluidales (valle de San Juan, Peñón Negro, etc.).

De entre los grandes tipos de formas representativas reseñadas, por su significado morfológico y paleoambiental merecen destacarse las figuras geométricas, los glaciares rocosos y los depósitos tipo *groize*.

4.1. El modelado de las altiplanicies cimeras: figuras geométricas heredadas

El relieve de los niveles cimeros se presenta, por lo general, enrasado y apenas retocado por los hielos, pues el retroceso de las paredes de los circos no siempre logró conectar cuencas yuxtapuestas aunque sí aisló pináculos que han venido actuando a manera de *hörn* (Alcazaba, 3371 m; Puntal de Vacares, 3146 m, etc.). De estos enrasamientos, cuyo origen primitivo son jirones de superficies de erosión preglaciares, existen buenos retazos en la línea de partición de aguas entre la cuenca del Guadalquivir y Guadalfeo. En realidad, se trata de superficies de crioplanación que se labraron durante los periodos fríos pleistocenos por la acción combinada de la crioclastia, que aniquiló o redujo resaltes rocosos (*tors*), y la geliflución, que extendió los productos liberados a lo largo y ancho de las planicies preexistentes; ello explica el mar de cascajos (*mer de roches*) que tiende a recubrir el suelo.

Desde la óptica geomorfoclimática lo más interesante de estas superficies son las figuras geométricas ("terreno configurado" en terminología de Washburn) que en ellas se instalan (tabla 3), tal como se observa en la Allanada del Mulhacén (3410 m), Picón de Jeres (3090 m), cerro de los Machos (3320 m), Lanjarón (3120 m), etc. En la mayoría de ocasiones se trata de estructuras flotantes, siempre de dimensiones métricas (en perímetro, anchura y ejes), dispuestas en coalescencia y alternando figuras cerradas (círculos o polígonos de piedras) y abiertas (suelos estriados), de acuerdo con el valor de la pendiente topográfica en las que se inscriben. Los límites de estas formas las conforman lajas de micasquitos de bordes romos, de medidas pluridecimétricas, enderezados y con escasa matriz envolvente, aunque toda la fracción está asentada en gruesos paquetes de gravas y finos con determinado grado de edafización. Los sectores centrales de los círculos y las bandas de los ejes

de las estrías, que nunca muestran perfil convexo, se definen por lajas de menor tamaño y mayor abundancia de matriz, donde arraigan líquenes y algunas especies propias del piso crioromediterráneo (*Arenaria imbricata*, *Festuca clementei*, *F. pseudoeskia*, etc.)

Tabla 3. Superficies principales de erosión culminantes y modelados

Altiplanicie/paraje	1	2	3	4	5	6	7	8
Caballo	M	15,8	0,8 0,4	3013 2900	2940	WNW	14,1	ABE
Tajos Altos	M	38,7	1,5 0,5	3003 2920	2940	NW	5,5	ABE
Lanjarón-Elorrieta	M	33,7	1,0 0,2	3100 2890	3080	SW	19,1	ADE
Cañar	M	47,7	1,7 0,3	3081 2980	3020	NW	6,1	ABCE
Cerro de los Machos	M	9,4	0,4 0,4	3320 3160	3240	N	10,1	ABD
Allanada del Mulhacén	M	32,3	0,7 0,3	3440 3380	3400	S	8,5	ABD
El Cuervo	M	16,1	1,5 0,2	3152 3100	3100	S	3,4	ABC
La Atalaya	M	26,2	1,5 0,1	3158 3100	3100	S	3,8	ABE
Jeres-Cerro Pelado-Horcajo	M	96,4	3,5 1,2	3182 3100	3100	S	2,3	ABCE
Las Albardas	M	236,9	4,5 1,5	2919 2860	2900	S	1,2	ABCE

1. Substrato (M. micasquistos); 2. Superficie (ha); 3. Longitud y anchura máximas (km); 4. Cota más alta y cota más baja (m); 5. Altitud media dominante; 6. Orientación dominante; 7. Inclinación media (%); 8. Modelados significativos (A. Terraza de crioplanación; B. Tors; C. Mer de roches; D. Figuras geométricas; E. Coladas y lóbulos de piedras).

Uno de los enclaves más significativos donde estas formas pueden identificarse es en el collado del Cerro de los Machos (3299 m), entre el picacho del Veleta (3394 m) y el cerro de los Machos (3329 m). Se trata de un reducto de perfil casi plano bien expuesto a los vientos. Durante los periodos glaciares no debió actuar como collado de transfluencia a juzgar por la inexistencia de pulimento y estriado en bloques y resaltes rocosos del substrato. Las figuras geométricas de este paraje se inscriben en las zonas más bajas del collado, mostrando dimensiones de hasta 1,60-2 m de diámetro y 7,25 m de circunferencia para los círculos de piedras. Por lo que respecta a los suelos estriados se han medido longitudes en tramos

continuos de hasta 23,30 m y separación de hileras entre 2-3,60 m. La anchura de los ejes en unas y en otras estructuras abarca de 0,4 a 0,9 m, mostrando los bloques ejes de medidas extremas de 0,3 a 0,9 m. En cuanto a la profundidad del enraizamiento de las paredes es muy variable, pero siempre supera los 40 cm. El tránsito entre círculos y estrías lo condiciona la pendiente. Los primeros, abundan cuando la inclinación es inferior a los 7 grados; los segundos, cuando se incrementa por encima de los 11 grados. Entre una y otra magnitud la configuración geométrica es elipsoide (foto 3).



Foto 3. *Detalle de figura geométrica tipo flotante en el collado del Cerro de los Machos (3299 m) (agosto 2002)*

La presencia de estas estructuras coronando las planicies cimerales permite admitir la ausencia de capa de hielo recubriendo el suelo durante su formación, lo que significaría plantear la hipótesis de que el glaciario de Sierra Nevada en algún tiempo de su historia no fue de casquete tipo *ffeld*, al menos durante la glaciación más reciente (würmiense), por lo que tanto los círculos de piedras como los suelos estriados se desarrollaron sobre superficies antiguas en las que la actividad glacial sería inexistente o muy restringida, construyéndose, por

tanto, por encima del nivel de hielos permanentes. Así debería ser, sobre todo, si se tiene en consideración la presencia de horizontes edafizados antiguos (Bw, C) por debajo del manto clástico seleccionado (Simón et al., 1994, 1996), mucho más evolucionado que aquellos otros desarrollados sobre las morrenas del máximo empuje glaciar (Sánchez Gómez, 1990a). Esta hipótesis, además, vendría avalada por la morfología dominante que presentan las planicies y que se resuelve en un grueso tapizado de bloques (*mer de roches*), aunque salpicado, en ocasiones, por pequeños *tors*.

El fundamento inicial de esta interpretación se apoya en la dinámica atmosférica regional, particularmente en la deflación que llevarían a cabo los vientos del cuarto cuadrante –observación ya referida, sobre todo, por Desch (1937) y García Sainz (1947),- sobre las cumbres de la Sierra durante los períodos fríos, pues su persistencia y violencia favorecerían que los suelos permanecieran desprovistos de una capa de hielo permanente propiciando, en cambio, la existencia de un *permafrost* en profundidad e intensos procesos periglaciares en su techo (capa activa), entre los que destacarían los movimientos de convección. De no ser así el flujo de las masas heladas, tipo casquete, habría desmantelado y barrido los suelos que hoy encontramos. Este mecanismo de deflación contribuiría a explicar, también, los sistemas glaciares de la vertiente mediterránea y muchos de sus modelados, pues en buena parte se deben a fenómenos de sobrealimentación nival por efectos eólicos.

4.2. Glaciares rocosos (*rock glaciers*)

Son las formas deposicionales que mejor caracterizan a los circos. La mayor parte de ellas están instaladas en el seno de las antiguas cajas de alimentación glaciar. Morfológicamente se trata de amontonamientos caóticos de bloques de diferente tamaño, de aristas definidas y sin matriz rellenando intersticios, al menos en las zonas más elevadas del depósito. En función de la topografía del reducto adquieren formas muy variadas que, por lo general, se resuelven en una mezcla de festones, lóbulos y lenguas. Desde el punto de vista morfogenético la literatura los clasifica como formas de tránsito entre la dinámica glaciar y periglacial (Tricart & Cailleux, 1967).

Por lo que respecta a Sierra Nevada referencias precisas a su existencia se encuentran a partir de Messerli (1965) y Lhenaff (1977). Estos autores los consideran como los registros más tardíos de los últimos tiempos pleistocenos. A grandes rasgos los glaciares rocosos de Sierra Nevada los conforman tres tipos de estructuras simples, de acorde con la morfología del receptáculo donde quedan inmersos: de *formas lobuladas y coalescentes*, cuando se instalan en fondos de caja de circo amplia (Cascajar del Cartujo. Valle del Dílar); de *formas arqueadas y superpuestas* (tipo *croissant*), si están inscritas a lo largo de canales estrechos (Vacares); y de *formas festoneadas o cordadas*, si permanecen fijadas al pie de cantiles y paredes de fuerte pendiente (valle de San Juan). Sin embargo, la realidad es más compleja, pues en un mismo receptáculo resulta normal la imbricación de alguno de los modelos señalados.

Las formas descritas y sus correspondientes variaciones se reparten por toda la Sierra, situándose entre los 2500 m (glaciar Río Seco) y los 3070 m (Corral del Veleta), aunque la mayor parte de ellos se instalan a partir de los 2800 m. que es donde podría haber quedado establecida la línea de nieves permanentes. Adquieren especial relevancia en vertiente norte, donde se detectan los más desarrollados y espectaculares, como sucede en el circo central de la cabecera del Dílar, en los Torcales del Dílar (Cascajar Negro). La concavidad, abierta al NE, está colmada por una amalgama de cuatro generaciones sucesivas de lóbulos que se prolongan durante 1,2 km, desde la cota 2850 m hasta la de 2600 m y con anchura máxima de 600 m. En cambio, en vertiente meridional los glaciares rocosos resultan más modestos, particularmente, por las dimensiones que cubren y morfologías que ofrecen. Se inscriben en casi todas las cavidades de los circos y en aquellas otras labradas en las paredes de los valles glaciados, aunque con supremacía en orientación este o sureste, tal como se aprecia en los surcos del Lanjarón, Cornavaca, Veleta, Río Seco, Mulhacén, Siete Lagunas, Goterón, Vacares, etc.

En la actualidad, ninguna de estas estructuras sedimentarias presenta evidencias de funcionalidad, pues se trata de formas relictas sometidas a un lento proceso de fosilización a partir de la intensa gelifracción que afecta a las paredes que los enmarcan. Sin embargo, es necesario matizar esta afirmación para el Corral del Veleta, al menos para su extremo más oriental, donde una mezcolanza de arcos empotrados y encajados que

finalizan en glaciar rocoso incipiente están dotados de cierto dinamismo, pues observaciones recientes han mostrado la existencia de *permafrost* en profundidad.

Los glaciares rocosos de Sierra Nevada parece que fueron elaborados durante el Tardiglacial (a partir de 14000 BP), coincidiendo con unas condiciones climáticas muy frías y secas, con abundante presencia de taxones estépico -*Artemisias* y *Chenopodiaceae*- atribuibles a las pulsaciones del Dryas, tal como se deduce de los análisis polínicos llevados a término en la turbera de Padúl (Pons & Reille, 1988). En cuanto a su origen y evolución, nosotros los hemos identificado como morrenas internas, es aún tema a debatir pues faltan observaciones y análisis minuciosos que expliquen sus estructuras y morfologías (Gómez Ortiz, 1991). Por lo general se aboga por una acción combinada de hechos: a) régimen climático frío y seco; b) sustrato friable con fuerte pendiente; c) receptáculo cóncavo y amplio de base, asentado en *permafrost*; d) régimen adecuado de avalanchas de nieve e hielo intersticial entre bloques.

4.3. Modelado de laderas: depósitos tipo *groize* y *grèze*

Los declives de las lomas, por debajo de los 2800-2900 m como cotas medias, se ofrecen conformando perfiles cóncavo-convexos, labrados en gruesos paquetes de derrubios de medidas centimétricas, envueltos en abundante material menudo de cantos, gravas y elementos finos. Se trata de depósitos de vertiente tipo *groize*, aunque en algunos sectores la estructura tiende a configurar derrubios ordenados (*grèze*) y en otros derrubios asistidos, en terminología de Tricart. Su formación se llevaría a efecto al tiempo que los glaciares colmaban valles y cuencos y, probablemente, se debería mantener durante los períodos fríos tardiglaciares, aunque ahora afectando a los niveles altos de la montaña. La extensión que cubren estos depósitos periglaciares en la Sierra es muy amplia, de forma tal que son ellos quienes mejor definen los modelados de las laderas, dada la cota tan baja a la que se han encontrado, tanto en la vertiente de la Alpujarra como en la del Marquesado (Gómez Ortiz et al., 1994).

En el núcleo central de la Sierra los más potentes paquetes los hemos detectado en el valle de Trevélez, en dirección al fondo del valle, siempre

por debajo del dominio de las coladas y lóbulos de piedras, como ocurre a partir del Pandero del Mulhacén e inmediaciones del Alto del Chorrillo. En la loma de las Albardas adquieren especial significado, sobre todo por la regularidad que ofrecen las laderas. En vertiente norte existen importantes depósitos en la loma del Dílar, donde, además, se han detectado crioturbaciones en el seno de la formación. En todos los casos se trata de paquetes esponjosos, ricos en fracción fina lo que ha resultado muy favorable para generar deslizamientos por procesos soligelifluidales, tal como se aprecia en la topografía sinuosa que caracteriza los alrededores del Mirador de Trevélez y los declives del Cascajar Negro, en dirección al valle de Poqueira. En la actualidad, una landa de xerófitos espinosos tiende a recubrirlos (piornos, juniperus, festucas, etc.).

En cuanto a la génesis de los depósitos hay que señalar la imbricación de procesos, todos propios de ambientes fríos. Los clastos que componen las estructuras proceden del desmenuzamiento mecánico de la roca, muy propicia por su alta vulnerabilidad, dada la estructura y tectonización del propio edificio (Sanz de Galdeano, 1997). En cuanto a su desplazamiento ladera abajo y configuración topográfica, resulta de la coincidencia de mecanismos gelifluidales y arroyamiento nival. En apoyo a estas ideas hay que tener en consideración la abundante liberación de finos que proporciona la alteración de los micasquitos, hecho que favorece la sobresaturación de la masa por efecto de las aguas de fusión, potenciándose, de esta forma, su desplazamiento. En esta migración también hay que considerar la presencia de *permafrost* a determinada profundidad cuyo comportamiento físico, a manera de plano inclinado impermeable, facilita el mejor tránsito de la masa suprayacente proporcionando a la ladera laxas sinuosidades en perfil cóncavo-convexo, como sucede en el interfluvio Poqueira-Lanjarón.

Los depósitos de ladera descritos nunca forman masas compactas, pues la ausencia de carbonatos en las rocas originales así lo impone, al contrario de lo que sucede en cercanas montañas calcáreas afectadas también por estos procesos fríos (Sierra de Gádor). Ello significa que las aguas de arroyada o fusión nival actuales propicien importantes incisiones y abarrancamientos, con los consiguientes arrastres hacia el fondo de los barrancos, pues a la incoherencia de los depósitos hay que añadir su baja tasa de recubrimiento vegetal, al menos en los lugares

estudiados. También en la actualidad los procesos fríos continúan afectando a estas acumulaciones detríticas configurando rellanos de vertiente rematados por orlas de festucas, microfiguras geométricas flotantes, coladas o lóbulos, etc.

5. Evolución morfológica cuaternaria

La reconstrucción precisa de los acontecimientos paleogeomorfológicos cuaternarios de las cumbres de Sierra Nevada aún está por hacer, pues se desconoce el detalle de la evolución de los procesos desencadenantes, íntimamente asociados a los paleoclimas que debieron sucederse a lo largo del Pleistoceno y Holoceno. Las grandes formas del relieve debieron sucederse en los últimos 8 millones de años, con importantes movimientos de surrección del macizo durante el Pliocuatnario (Sanz de Galdeano, 1998), aunque el modelado resultante, las formas de detalle, se construyeron a lo largo del Pleistoceno, muy subordinado, esto último, a los diferentes sistemas morfoclimáticos imperantes.

Sobre la sucesión de climas fríos y cálidos que han debido afectar a Sierra Nevada la información que se tiene es escasa y siempre deriva de los resultados que han proporcionado las diferentes secuencias polínicas de la turbera de Padul (785 m), principalmente (Flörstchütz et al. 1971; Pons & Reille, 1988). En su conjunto, las columnas bioestratigráficas estudiadas, apoyadas en un buen número de dataciones de C14, muestran la existencia de taxones propios de períodos fríos (vegetación esteparia de *Artemisia* y *Chenopodiaceae-Amaranthaceae*) y cálido-húmedos (bosques de *Fagus*, *Juglans*, *Quercus*, etc.) alternantes, asimilables, en altura, a periodos glaciares e interglaciares. En cuanto a dataciones absolutas de los diferentes acontecimientos, éstas abarcan, de forma no continuada, el tramo 46440-4500 BP.

Teniendo en consideración estos hechos y a la vista de los registros glaciares detectados en cabeceras de barrancos y fondos de valle, Sierra Nevada ha debido estar afectada por más de un período glacial a lo largo del Pleistoceno, aunque sus restos más evidentes y desarrollados (formas erosivas y deposicionales) parecen coincidir con el würmiense alpino. La dificultad que entraña encontrar testigos anteriores, sobre todo sedimentos, radica en la propia morfología de la Sierra, particularmente

en la acusada pendiente de sus laderas y en el encajamiento de sus barrancos que en absoluto han facilitado el mantenimiento de depósitos antiguos.

Los autores que con anterioridad se han ocupado de este mismo tema también apoyan la existencia de más de una glaciación y un último periodo frío reciente y, nosotros, además, la denominada Pequeña Edad del Hielo (Gómez Ortiz et al., 1996). En tal sentido, Hempel (1960) distingue dos glaciaciones y el Tardiglacial y para ello se basa en las alturas de los circos y en sus definiciones morfológicas. Messerli (1965) igualmente admite dos glaciaciones (Riss y Würm) y el Tardiglacial. Por su parte Lhenaff (1977) contempla la posibilidad del Riss y apoya sin reservas la existencia del Würm y Tardiglacial. Más recientemente y por lo que se refiere al valle de Lanjarón, Sánchez Gómez (1990a), señala que este enclave debió estar afectado por cuatro periodos fríos o impulsos glaciares, seguidos de fases edafogénicas.

La cuestión, como indicábamos, no está zanjada, aunque sí parece existir una coincidencia de criterios en admitir glaciaciones antiguas y otra más reciente, independientemente del número de episodios o fases que ellas pudieran incluir. Tal como en apartados anteriores ya señalamos y ante la falta de registros datados que nos permitan situar en el tiempo los acontecimientos glaciares-interglaciares, nosotros abogamos por distinguir en la Sierra diferentes fases morfoclimáticas que, instaladas a lo largo del Pleistoceno reciente, han dado lugar a morfologías significativas. Lo más relevante de ellas son las diferentes generaciones de morrenas que lograron distribuir a distintas cotas del espacio glaciado (externas intermedias e internas) y también determinados entalles erosivos a diferentes alturas dentro de un mismo valle también glaciado, hecho muy significativo en Río Seco. Los sistemas glaciares de la vertiente sur de la Sierra son los que ofrecen mayores testimonios de este tipo de formas y las causas de que ésto sea así se debe a que los surcos de los barrancos, en comparación con los de la vertiente norte, son menos empinados y climáticamente siempre han permanecido en condiciones de mayor sequedad. En cuanto a registros morrénicos el sistema del Poqueira (confluencia del Naute-Río Seco-Mulhacén) es el que muestra los mejores testimonios de morrenas externas, intermedias y de altura o internas.

La construcción y ubicación espacial de todas ellas, y por derivación al conjunto de edificios morrénicos de Sierra Nevada, responde a fases o episodios glaciares concretos, muy de acuerdo con la potencia y extensión que presentarían las masas heladas. Los análisis morfológicos y sedimentológicos llevados a cabo en las diferentes generaciones de morrenas muestran diferencias sensibles, de acuerdo con el lugar que ocupan dentro del valle glaciado (altura sobre el *talweg* y distancia a cabecera), lo que permite afirmar una construcción escalonada en el tiempo. Al margen de la existencia de glaciaciones antiguas y en un intento de correlacionar cronológicamente los datos de Padul con los acontecimientos morfológicos en las cumbres de la Sierra, y siempre desde planteamientos hipotéticos, las calificadas como morrenas externas podrían haberse elaborado durante el Pleniglacial (posterior a los 46440 BP -Pons & Reille, 1988-) y las intermedias y las internas a lo largo de la deglaciación.

Durante la formación de las morrenas externas el glaciario en la Sierra coincidiría con su máxima extensión, lográndose la confluencia de algunas lenguas (sistemas del Poqueira, Trevélez, cabecera del Genil, etc.) y la construcción de focos glacionivales con formación de arcos al este del cerro de Trevélez, en dirección hacia el puerto de la Ragua, e incluso en macizos cercanos de menor altura (Sierra de Gádor). Fuera del ámbito glaciado la morfogénesis periglacial tapizaría las vertientes con mantos de clastos tipo *groize*, preferentemente, hasta cotas relativamente bajas (1100 m en las inmediaciones de Laroles). Incluso estas condiciones periglaciares dejarían huellas morfológicas en montañas cercanas a la costa (Schulte et al., 1999).

La deglaciación a partir del Pleniglacial (*würmiense*) debió caracterizarse por la secuencia de episodios de avance, retroceso y estabilización, lo que supondría para las masas heladas abandonar carga en los tramos medios de los valles, y en aquellos sistemas glaciares de lenguas confluentes -como el del Poqueira- la individualización y reclusión de éstas a los respectivos surcos de sus barrancos. A esta etapa corresponderían las morrenas intermedias.

En cuanto a las morrenas internas, fijadas en los márgenes de los circos (La Caldera, Hoya del Mulhacén, Corral del Veleta, Dílar, etc.) hay que

relacionarlas con la extensión mínima de los hielos, arrinconados, ahora, a sus cuencas de alimentación. Estos registros morrénicos corresponden, muy probablemente, a las fluctuaciones climáticas tardiglaciares que se manifiestan en la secuencia polínica de Padul, datada entre 15000 y 10000 BP (Pons & Reille, 1988) y también detectada en Pirineo Oriental (Jalut 1974).

En líneas generales la reconstrucción de los acontecimientos glaciares en Sierra Nevada parece estar definida, al menos en el ámbito de los valles. Sin embargo, parece oportuno, de nuevo tratar el tema de las planicies que coronan sus cumbres, antiguos retazos de superficies erosivas de edad preglaciar. No parece probable que durante el würmiense alpino se generaran sobre ellas casquetes tipo *fjeld* a juzgar de la existencia de figuras geométricas. A lo sumo y en el mejor de los casos, siempre que la orientación y la topografía local lo permitieran, se desarrollarían capas de hielo dotadas de fuerza erosiva muy limitada incapaz de excavar en profundidad, tal como se evidencia a partir de los análisis edafológicos de la cabecera del valle de Lanjarón, donde los suelos ofrecen mayor grado de evolución que aquellos otros instalados sobre las morrenas más externas del referido valle (Sánchez Gómez, 1990). A partir de este hecho, que también se confirma en otros enclaves de la Sierra (Simón Torres et al., 1998), puede afirmarse que la morfodinámica sobre las planicies cimerales durante el würmiense sería más periglacial que glacial.

Respecto al período Tardiglacial-Pequeña Edad del Hielo los acontecimientos geomorfológicos acaecidos en las altas cumbres se desconocen o difícilmente pueden reconstruirse por ahora, pues la información que podría ofrecernos la secuencia de Padul finaliza en 4500 BP, lo que supone graves inconvenientes para rehacer los procesos que debieron sucederse. Hay información, sin embargo, a partir de 1700-1500 BP, que es cuando empiezan a formarse los borreguiles altimontanos de Sierra Nevada (Esteban Amat, 1995). Los análisis polínicos llevados a cabo a partir de las columnas bioestratigráficas obtenidas señalan cambios temporales en los grupos de taxones herbáceos y arbóreos, asimilables a pequeñas pulsaciones climáticas. De entre ellas destaca la pulsación instalada entre 350 BP y 130 BP (subzona RIO-Cb), centrada de lleno en la denominada Pequeña Edad del Hielo -siglos XV-XIX- (Esteban Amat,

1995). Sobre esta pulsación fría, bien documentada en los relatos de viajeros que visitan la Sierra a partir de 1754, nos referiremos a continuación.

6. El glaciario histórico: la Pequeña Edad del Hielo

Un dato de interés para la reconstrucción del clima histórico de esta parte del Mediterráneo la facilita el hecho de que durante la llamada Pequeña Edad del Hielo se desarrollaran en las cimas de Sierra Nevada reducidos focos glaciares, particularmente en el Corral del Veleta. La presencia de ellos, junto al avance que experimentaron los glaciares de los Alpes y los Pirineos centrales, así como las manifestaciones morfológicas de clima frío localizadas en Andorra (Mateo et al., 1998) y Picos de Europa, permiten asumir la idea de que el enfriamiento generalizado del clima, a lo largo de los siglos XVI-XIX, llegó a afectar al extremo más meridional del continente europeo.

Aparte del Corral del Veleta, tales condiciones climáticas también debieron generar hielos capaces de introducir modificaciones en las formas de relieve en otros corrales, como sucedería, por ejemplo, en la Hoya del Mulhacén. La razón por la que los hielos cobraron mayor desarrollo y significado geomorfológico en el Corral del Veleta se debió, sobre todo, a su particular configuración topográfica y exposición bien encarada a la influencia atlántica, observaciones que ya hicieran Boissier (1839) y Quelle (1908). Acerca de la existencia del glaciar existen documentos escritos que lo atestiguan, particularmente de viajeros y científicos que, a partir de mediados del siglo XVIII, acceden a las cumbres de la Sierra y dan testimonio de sus observaciones y descubrimientos (García Navarro, 1996). En tal sentido, los escritos de Ponz, 1754; Boissier, 1839; Hellmann, 1881; Rein, 1899; Rute, 1889; etc., algunos de ellos referidos en capítulos anteriores, resultan de un gran interés para la reconstrucción del diminuto glaciar, pues describen con cierta precisión el estado en el que lo encuentran indicando de él, además, determinadas características físicas (fig. 19).

Morfológicamente el Corral del Veleta –que coincide en la cabecera del barranco del Guarnón–, se caracteriza, ante todo, por el formidable tajo que delimita su cuenco, pues se trata de una pared vertical con desnivel

superior a los 300 m. También se distingue por su prolongada concavidad basal, ovalada y orientada de este a oeste, de longitud en torno a 600 m, de levante a poniente, y anchura entre 175-250 m, de sur a norte. En cuanto al modelado que lo define sobresalen las formas deposicionales construidas desde el Tardiglaciario a nosotros. Los más recientes depósitos han debido elaborarse a lo largo del Holoceno, Pequeña Edad del Hielo y tiempos actuales, a juzgar por la frescura de sus formas, mezcolanza de modelados, dinamismo de procesos, ausencia de niveles edafizados y rastro vegetal, etc., a lo que debe añadirse la información que ofrecen los viajeros y científicos que a partir del siglo XVIII visitan el Corral, pues sus relatos permiten determinar la superficie cubierta por los hielos y reconstruir y situar en el tiempo acontecimientos morfológicos en ocasiones con cierto detalle. La extensión que debió cubrir el glaciar se desconoce, pero es posible que colmara todo el cuenco y su extremo más occidental desbordara hacia el valle.

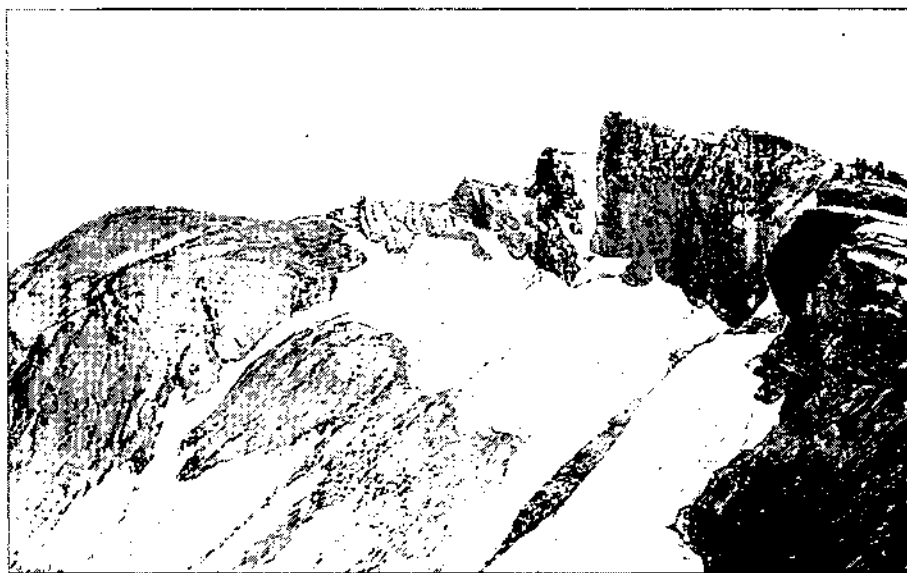


Figura 19. Grabado del Corral del Veleta en el que se puede deducir el glaciar histórico de la Pequeña Edad del Hielo (Bide 1893)

Acerca de la deglaciación del Corral del Veleta ya nos hemos pronunciado (Gómez Ortiz et al., 1996) señalando que debió hacerse de manera paulatina aunque abarcando estados temporales en los que la

masa de hielo tendió a sufrir oscilaciones de avance-retroceso. Estas fluctuaciones y su reclusión cada vez más hacia el extremo más oriental del cuenco (al amparo del cerro de los Machos), explican la amalgama de modelados esparcidos en su fondo, pudiéndose asociar éstos a cinco estados de la masa helada a lo largo del Holoceno. Puede asegurarse que los cuerpos sedimentarios de tres de estas cinco generaciones de morrenas son anteriores a la Pequeña Edad del Hielo (Schulte, 1999). En cuanto a los dos más recientes, representados por segmentos morrénicos de borde sinuoso que reposan sobre escombros glaciares más antiguos, el más interno y cercano en el tiempo a nosotros, podría coincidir con la extensión del hielo descrita por Hellmann en 1876 (1881) y, probablemente, relacionable con la formación de morrenas de nevero en Andorra, en 1820 (Mateo et al., 2000) y el avance de los glaciares en los Alpes, en 1850 (Pfister, 1984; Röthlisberger, 1986).

El hielo glaciar en este reducto perduró hasta mediados del siglo XX colmando su sector más oriental, a partir de la vertical del *couloir*, extendiéndose por el fondo y bordes adyacentes. Esto sucedería, presumiblemente, desde los primeros decenios del presente siglo, a juzgar por las observaciones de algunos autores de la época que ya hablan de hielo inmovilizado o simple ventisquero (Obermaier, 1916; Sermet, 1942; Solé Sabarís, 1942, García Sainz, 1947.). Lo cierto es que a partir de entonces la masa helada glaciar quedó arrinconada y atrapada y, progresivamente, recubierta por escombros detríticos procedente, ante todo, de desprendimientos y derrumbes del tajo (fig. 20).

7. El mantenimiento de *permafrost* en Sierra Nevada

En el Corral del Veleta tiende a mantenerse año tras año la nieve debido a su particular configuración y orientación. Fue durante el mes de agosto de 1995 cuando el interior de su cuenco y tras un invierno relativamente seco, éste apareció libre de nieves, lo que permitió cartografiar y analizar una serie de modelados de construcción reciente cuya génesis nos llevó a plantear la hipótesis de la existencia de masas heladas profundas (*permafrost*) en el sector más oriental del cuenco. Sondeos geoelectrónicos preliminares también ratificaron la hipótesis que fue perfilada con nuevos datos en 1998 (Terradat-LTD & ETH, 1998), que detectaron resistividades eléctricas superiores a los 560000 Ohm/m. Sin

embargo, no fue hasta 1999 cuando pudo extraerse un testigo de hielo, que se obtuvo gracias a sondeos mecánicos (Gómez Ortiz et al., 1999) (foto 4).

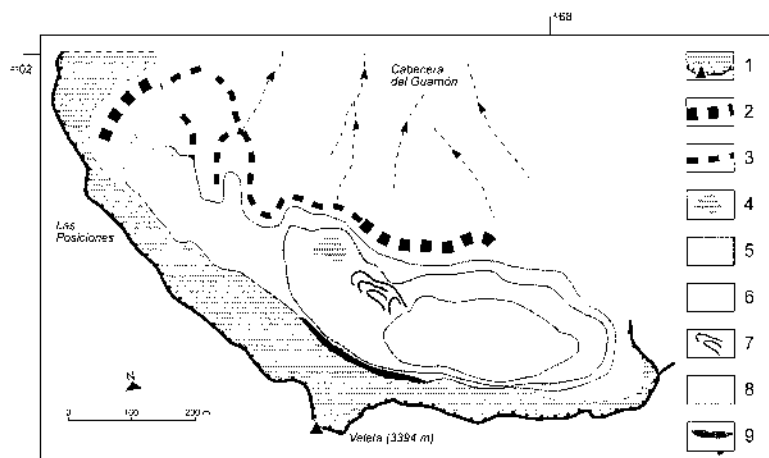


Figura 20. Evolución de la masa helada del glaciar histórico del Corral del Veleta (Gómez Ortiz, 2001). 1. Pared del Corral y picacho del Veleta; 2. Morrenas tardiglaciares; 3. Morrenas holocenas; 4. Actual laguna; 5, 6, y 8. Dominio de la masa helada y retroceso a partir de mediados del siglo XIX; 7. Actual glaciar rocoso en formación; 9. Masas de hielo permanentes adosadas a las paredes.

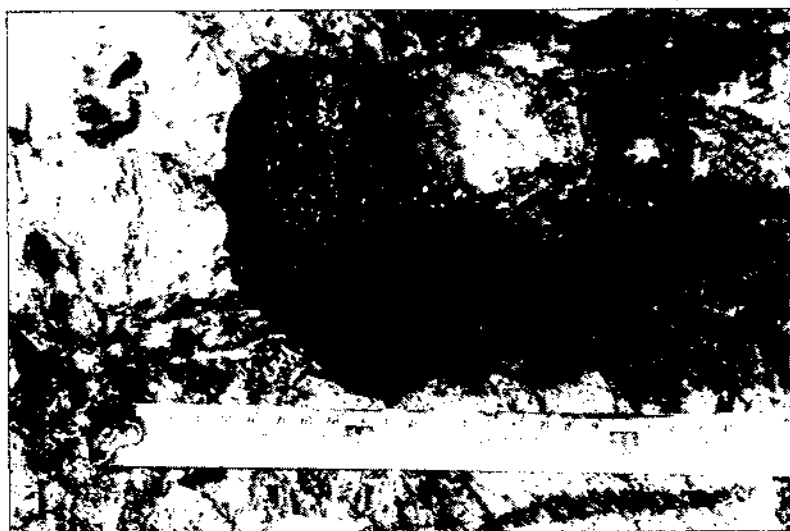


Foto 4. Testigo de hielo obtenido en el techo del permafrost (Corral del Veleta, 3125m) (julio 1999)

El mantenimiento de masas heladas profundas en el Corral del Veleto, cubriendo de manera irregular su mitad más oriental, entre su lagunilla y el declive del cerro de Los Machos, ratifica el desarrollo del pequeño glaciar que existió durante la Pequeña Edad del Hielo y del que ya nos hemos ocupado. Su desaparición a partir del sexto decenio del siglo XX no significó la fusión íntegra de los hielos sino su enmascaramiento bajo los cúmulos de bloques y aludes de nieve que paulatinamente suministra la pared del Corral. De esta manera los hielos superficiales del glaciar se convirtieron en masas heladas profundas de bloques e hielos (*permafrost*) y que en la actualidad tienden a retrasar su fusión gracias al eficaz aislante térmico que le proporciona el paquete clástico suprayacente procedente de la pared (Gómez Ortiz et al., 2000).

Las repercusiones morfológicas de la existencia de nieves duraderas y de *permafrost* en el cuenco del Corral ha supuesto la formación de nuevos modelados con funcionalidad muy activa entre los que sobresalen morrenas de nevero, coladas de bloques, glaciares rocosos, *debris flows*, deslizamientos, lóbulos de gelisolifluxión y pozos de piedras. Oportunamente nos referiremos a todos ellos.

Fuera del enclave del Corral del Veleto también se han realizado prospecciones conducentes a la localización de *permafrost*, aunque los resultados obtenidos no han sido definitivos. Así ha ocurrido en el collado del Cerro de Los Machos (3320 m) y en la Allanada del Mulhacén (3440 m). También se han hecho experiencias en el Corral del Mulhacén, en los taludes detríticos de su tajo, donde se han detectado niveles de hielo amorfo atrapado entre los lechos de clastos.

8. Procesos morfogénicos fríos arrinconados en las cumbres

La desaparición del glaciarismo en Sierra Nevada no ha supuesto la suspensión de procesos fríos, pues las condiciones climáticas actuales en los niveles de cumbres aún supone la existencia de una morfodinámica de ambientes periglaciares o, mejor, crionivales. En el conjunto de la Península Ibérica, la Sierra, junto con los tramos supraforestales del Pirineo axial, conforma verdaderos reductos de regiones frías.

Las experiencias que hemos llevado a cabo durante estos años en el extremo más occidental de la Sierra, han venido a demostrar que, a partir de los 2700 m, en vertiente sur, la evolución de los sistemas naturales está controlada por procesos biofísicos y, en particular, subordinados a la acción combinada del frío y del hielo en el suelo. Ello explica que biocenosis –sobre todo el binomio planta/suelo- y formas de modelado se encuentren supeditadas al juego dialéctico entre morfogénesis-edafogénesis (Raynal, 1981; Soutadé & Baudière, 1979; Gómez Ortiz et al., 1998), pues en su conjunto estos medios fríos de montaña están sumidos permanentemente en una inestabilidad latente que tiende a traducirse en desplazamientos de materia de las partes altas a las bajas. Se comprenderá, pues, que desde estas ideas la explicación de la morfogénesis periglacial o crionival ha de hacerse a partir de perspectivas integradoras.

8.1. Morfodinámica de procesos y formas. Ideas clave

Los tramos más elevados de Sierra Nevada afectados por procesos fríos (incluidos en el denominado piso crioromediterráneo, Rivas Martínez, 1992) engloba un área que abarca desde el cerro del Caballo (3013 m) hasta el cerro del Chullo (2609 m) incluyendo, por tanto, la línea de cumbres y buenos tramos de sus lomas adyacentes, en una franja de unos 700 m de desnivel en sus extremos más occidentales. En tales tramos, la morfogénesis predomina sobre la edafogénesis, pues las acciones mecánicas en el suelo, derivadas, principalmente, de la combinación frío-hielo-sequedad, restringen o anulan, en ocasiones, la elaboración de horizontes edáficos, por lo que la cubierta vegetal resulta muy escasa y de carácter xerófito. Dos son las series de vegetación más significativas en estas partes de la montaña. Desde las altas cumbres en dirección a los fondos de valle se localizan: a) serie crioromediterránea, conformada por un pastizal de gramíneas y nanocaméfitos; b) serie oromediterránea nevado-filábrica, con predominio de la asociación *Genisto baeticae-Juniperetum nanae*, aunque incluyendo, geotopos ("borreguiles") de caracteres higrófilos debido a la elevada tasa de humedad que ofrecen los suelos.

Una de las principales causas de la eficacia de los procesos fríos en la Sierra es la deficitaria tasa de humedad que albergan los suelos, de

manera particular durante aquellas épocas del año más propicias para la germinación de las plantas. Sin embargo, el volumen de precipitación es, en conjunto, considerable, aunque muy mal repartido desde el punto de vista bioedáfico (tabla 4).

Tabla 4. Valores termopluviométricos del observatorio de Sierra Nevada-Albergue Universitario (2510 m). Período 1973-1977; 1984-1987; 1990-1992.

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	Año	%
TMe	12,0	13,0	14,0	15,0	21,0	24,0	27,0	27,2	23,5	19,0	19,0	13,0	27,2	
T	2,2	3,6	1,7	0,5	5,3	9,5	15,2	15,1	10,6	4,6	1,6	0,9	4,4	
Tme	20,0	19,5	17,8	15,8	14,0	5,0	1,0	0,5	5,0	11,0	15,0	19,0	20,0	
D +	2,9	1,8	2,7	4,5	16,4	27,1	31,0	30,8	27,7	18,8	11,2	5,4	180,3	49,4
D + -	15,0	11,4	16,8	17,6	13,4	2,8	0,0	0,2	2,1	10,4	13,2	14,7	117,6	32,2
D -	13,1	15,0	11,5	7,9	1,3	0,1	0,0	0,0	0,2	1,8	5,6	10,9	67,3	18,4
Pt (mm)	77,8	116,8	86,4	70,7	47,6	63,1	9,5	5,4	30,4	83,5	84,4	100,1	775,7	100,0
DPt	9,0	10,5	7,3	8,3	8,7	6,7	1,8	1,8	2,5	7,5	10,5	6,3	80,7	100,0
Pn (mm)	55,3	85,0	55,7	50,5	18,4	0,2	0,0	0,0	4,6	13,3	51,7	36,2	371,1	47,2
DPn	7,0	8,3	6,3	6,7	2,3	0,3	0,0	0,0	0,3	1,3	6,0	4,3	42,6	52,8

TMe: Temperatura máxima extrema; T: Temperatura media; Tme: Temperatura mínima extrema;

D +: Número de días sin helada; D + -: Número de días de hielo-deshielo; D -: Número de días de helada continua;

Pt: Precipitación total; DPt: Número de días de precipitación; Pn: Precipitación en forma de nieve; DPn: Número de días de precipitación en forma de nieve.

La morfodinámica periglaciaria actual en las altas cumbres de Sierra Nevada se constata a partir de diferentes indicadores:

a) *Climáticos*, entre los que sobresalen el ritmo térmico (ciclos de hielo deshielo), acción del viento, humectación-deseccación, nieve y aguas de fusión.

b) *Biológicos*, reflejados en la existencia de especies vegetales adaptadas a condiciones ecológicas extremas, propias del piso prioromediterráneo.

c) *Geomorfológicos*, representados por una amalgama de formas de modelado, producto de la combinación de diferentes procesos biofísicos y morfogénicos. En conjunto, la Sierra ofrece una amplia gama, tal como se recoge en el tabla 5.

Tabla 5. Procesos y formas periglaciares actuales

Porción de espacio preferencial	Situación preferencial	Procesos principales		Geoforma y afinidad biogeomórfica
		Meteorización	Evacuación	
Circo glaciar	Cabeceras de barrancos	Gelifracción	Avalanchas, caída libre, deslizamientos	Morrenas de "nevé", conos, coladas de bloques, <i>rock glaciers</i>
Valles glaciares (paredes rocosas)	Tránsito a los circos	Gelifracción	Caída libre	Conos y taludes de bloques (litófilos)
"Borreguiles"	Fondos de circo y de barrancos	Físico/químico	Gelisolifluxión	Lóbulos vegetalizados con <i>carex</i> , <i>ranunculus</i> y <i>sphagnum</i>
Vertientes (lomas)	Altiplanicies (>3000m)	Gelifracción, crioeolización y crioturación mantienen las formas heredadas (figuras geométricas, "mer de roches"), recubiertas muy puntualmente por pastizal psicroxerófilo (<i>Festuca indigesta</i> , <i>F. pseudoeskia</i>).		
	Tramos altos (2900m-3400m)	Gelifracción, criocolización, crioturación y arroyada nival mantienen las formas heredadas (coladas y mantos de piedras), salpicadas de pastizal psicroxerófilo (<i>Festuca indigesta</i>) y cnebral rastrero (<i>Genista baetica</i>)		
	Tramos medios (2500m-2900m)	Gelifracción Humectación-desección Crio-eolización	Gelituración Gelifluxión Arroyada nival Crio-reptación	Coladas y lóbulos de piedras, rellanos de vertiente, terracitas, figuras geométricas, etc. (<i>Festuca indigesta</i> , <i>Arenaria pungens</i> , <i>Genista baetica</i> , etc.).

De los procesos más efectivos y, probablemente, el de mayor dimensión espacial, es la gelifracción, pues afecta a todo el roquedo sin protección vegetal. Con certeza se desconocen los ciclos de hielo deshielo efectivos en las superficies de las rocas, pero una idea bastante ajustada puede proporcionarla la temperatura del aire proyectada en altura (tabla 6). La eficacia de esta acción mecánica radica en dos hechos interdependientes. Uno, el derivado de la estructura litológica (del edificio y de la roca específica), que se caracteriza por un alto grado de metamorfismo y tectonización. Otro, las condiciones climáticas de la montaña, muy variables localmente, que son las que garantizan cambios de estado físico del agua en el roquedo. En este sentido, interesa destacar los ciclos de hielo-deshielo, sobre todo, durante la estación fría y más cuando afectan a espacios orientados al sur, a los expuestos a una desneveación repetitiva y a aquellos otros sumidos a una fusión precoz de la nieve.

Igualmente los contrastes térmicos que sufren las rocas sin el concurso del hielo resultan procesos efectivos, pues suponen cambios de volumen continuados, particularmente durante la estación cálida. Probablemente,

por sí solos no generen liberación de detritus pero deben contribuir a que la gelifracción actúe con mayor virulencia. Al respecto, no hay que olvidar que la radiación solar en Sierra Nevada es muy alta en los meses del estío y muy considerable la amplitud térmica (en superficie de la roca y en el suelo) dada la nitidez de la atmósfera y la escasa humedad relativa del aire (en ocasiones del 0%).

*Tabla 6. Proyecciones térmicas a diferentes cotas y distribución media anual
Estación de referencia: IRAM (2860 m.). Periodo: 1990-1995 (Mateo García, 1995)*

Cota (m)	Días con temperatura +/- (hielo-deshielo)			Días con temperatura permanentemente negativa	Días sin helada	
	congelante	fundente	total		$m > 6^{\circ}\text{C}$	$m < 6^{\circ}\text{C} / > 0^{\circ}\text{C}$
2600	90	59	149	62	119	35
2700	86	55	141	77	113	34
2800	87	46	133	91	108	33
2900	87	38	125	106	100	34
3000	74	34	108	129	94	34
3100	52	34	86	158	87	34
3200	46	35	81	170	80	34
3300	40	35	75	183	73	34
3400	36	35	71	193	76	34

El resultado más eficaz de la gelifracción es el desmoronamiento del edificio rocoso generando bloques o el propio desmenuzamiento de éstos, como sucede en las paredes de circos o rebordes empinados de barrancos. Tanto en un caso como en otro se trata del proceso geomórfico más activo que alimenta los taludes de las cornisas y que da lugar a las acumulaciones caóticas de bloques instaladas al pie de aquéllas. En el caso de los circos su avance tiende a fosilizar los antiguos glaciares rocosos (Hoya del Mulhacén, Veleta, Cascajar del Cartujo, Cornavaca, etc.) o a invadir lagunas (Caldera, Caballo, Vacares, Juntillas, etc.).

También en el seno de los circos, al pie de sus paredes limítrofes y en cabeceras de barrancos, la nieve es un agente destacado en la creación y evolución de formas, particularmente cuando su estado físico propicia avalanchas. En tal sentido, los canales abiertos en el sustrato, casi siempre explotando discontinuidades estructurales, son los conductos de salida de las nieves, pero también del canturrial elaborado durante los periodos pre y postnavales. Los Raspones de Río Seco presentan un

modelo muy ilustrativo al respecto, aparte del *coulloir* del Veleta. También la nieve actúa como agente pasivo en la migración de clastos, muy eficaz cuando conforma placas rellenando concavidades, como sucede con los neveros adosados a paredes rocosas. En tales casos actúa a manera de plano inclinado, al facilitar el deslizamiento de los bloques caídos por gravedad y que, en su descenso, alimentan las pequeñas orlas detríticas (morrenas de *nevé*) instaladas en las partes distales de la masa helada, tal como se aprecia en el interior del Corral del Veleta, en su sector más oriental y en la Hoya del Mulhacén.

Fuera de los bordes de circo y de los cantiles de los barrancos, los procesos que tienden a movilizar los materiales de las laderas son varios. Aúnan esfuerzos gelisoliflucción, crio-reptación y deslizamiento, cuando las pendientes son propicias. En cambio, si se trata de superficies niveladas, el resultado morfológico es conducido por la geliturbación, el hielo intersticial y el *pip krake*.

El desplazamiento sobre superficies inclinadas sólo afecta a los niveles superiores de la formación detrítica menuda. Sin embargo, éste se encuentra muy restringido, acaso anulado, en los altos niveles, allí donde las megacoladas y macrolóbulos de piedras, de medidas pluridecimétricas, tapizan de manera continua los suelos (Pandero del Veleta, etc.). En los análisis y observaciones de campo que venimos llevando a cabo desde 1990 (cabecera de Lanjarón, 3150 m; y Pandero del Mulhacén, 3200 m) no hemos detectado movimiento alguno en estos bloques. La hipótesis que mantenemos al efecto radica en la ausencia de matriz menuda envolviendo al manto clástico por lo que es incapaz de gelifluir. Tampoco lo permite el hielo intersticial pues funde precozmente y sus aguas se escapan por los vacíos. Ello explicaría la estabilidad que ofrecen estos sectores, siempre y cuando no se remueva el paquete detrítico en el que reposan, mucho más rico en gravas, arenas y finos.

En cotas más bajas la mayor abundancia de fracción menuda y pequeña (arenas, limos y arcillas) en la que reposan los clastos permite que la masa fluya durante el deshielo por pérdida de cohesión, lo que proporciona a la ladera un perfil sinuoso debido a la secuencia de lóbulos, coladas y lenguas de geliflucción. A menor altura las plantan comienzan a mostrar mayor recubrimiento por lo que ya suponen freno al

desplazamiento del material, a pesar de la eficacia de la arroyada nival y de la crio-reptación. El modelado que ahora marca la pauta son las terracitas escalonadas con frente vegetalizado (*Festuca ovina*, *Cytisus purgens*, etc.). Así sucede, por ejemplo, en los declives de las lomas (Las Albardas, Peñón del Puerto, Dílar, San Juan, etc.).

Cuando la fracción detrítica no queda instalada en superficie inclinada, como sucede en las altiplanicies culminantes o en los cordales de los interfluvios expuestos a la acción del viento, y los niveles subsuperficiales del depósito son ricos en finos, el movimiento ladera abajo carece de interés. Sí se detecta, en cambio, una reordenación de la fracción mineral que afecta a los primeros decímetros. El resultado es la construcción de figuras geométricas cerradas (círculos de piedras) o abiertas (suelos estriados) de medidas decimétricas y de tipo flotante. En su origen parecen intervenir procesos complementarios de ambientes morfodinámicos contrastados: grietas de desecación y/o de retracción y geliturbación, en profundidad, y *pip-krake*, crio-eolización y crio-reptación, en superficie. Un paraje muy significativo de este tipo de morfodinámica es el Alto del Chorrillo (2707 m), en el interfluvio Poqueira-Trevélez (Gómez Ortiz et al., 1998).

Hasta ahora hemos hecho mención a procesos y formas periglaciares en los que el elemento vegetal tiene limitado interés, aunque en determinados ambientes su cometido resulta decisivo en las formas elaboradas (terracitas escalonadas). A continuación haremos mención a los procesos y formas de los enclaves donde las plantas son el elemento predominante: los borreguiles. Se trata de biotopos muy puntuales y de frecuencia restringida en la Sierra, pues requieren suelos húmedos permanentemente. En tales medios los procesos periglaciares resultan limitados y bastante contrarrestados sus efectos mecánicos debido a la protección que tienen los suelos gracias al denso y compacto tapiz herbáceo (recubrimiento del 100 % con predominancia de briófitos, cárices, fanerógramas, etc.). Este comportamiento de la vegetación conlleva una tendencia al equilibrio entre planta y morfogénesis. Sin embargo, no resulta extraño que suelo y cubierta vegetal, si se encuentran en pendiente adecuada, migren debido a la gelifluxión, lo que supone la formación de lenguas y lóbulos vegetalizados (borreguiles de San Juan, de Siete Lagunas, lagunillos de la Virgen, etc.).

EPÍLOGO: **SIERRA NEVADA, LABORATORIO PARA EL CONOCIMIENTO DE PROCESOS BIOFÍSICOS FRÍOS EN ALTURA**

Sierra Nevada y, particularmente, su sector más occidental, desde el puerto de Trevélez en dirección al cerro del Caballo, reúne ambientes biofísicos de alta montaña árida, por lo que representa el mejor laboratorio natural europeo para el estudio de los procesos morfogénicos fríos en altura. Del conjunto de su territorio, sin lugar a dudas, el enclave más idóneo es el Corral del Veleta, pues en su reducto se operan, en la actualidad, los procesos morfogénicos de un espacio recientemente deglaciado. Probablemente en el conjunto de la cuenca mediterránea sea un lugar único.

1. El Corral del Veleta: enclave privilegiado para el estudio de procesos fríos

Desde 1997 y al amparo de proyectos I+D nacionales y de la UE venimos investigando en el Corral del Veleta sobre procesos y formas asociadas en medios de reciente deglaciación. Los resultados obtenidos hasta ahora resultan novedosos y excepcionales y están contribuyendo al más preciso conocimiento de la morfogénesis fría en medios mediterráneos, escasamente tenida en consideración en la literatura geomorfológica. Del programa diseñado y por su indudable interés geomorfológico y climático, resaltaremos, a continuación, tres experiencias con aportación de datos significativos. Éstas son: a) relaciones entre cobertura nival-*permafrost* y formas asociadas, b) *permafrost* y formación de glaciares rocosos, c) evolución térmica de la capa activa.

1.1. Relaciones entre cobertura nival-*permafrost* y formas asociadas

La merma paulatina, aunque irregular según años, de la nieve que alberga el Corral durante el estío, y que venimos detectando a través de mapas nivológicos desde 1995, nos ha evidenciado la relación tan estrecha que existe entre la capa nival, la degradación del *permafrost* subyacente y

la creación de nuevas formas. Los análisis realizados al respecto durante estas últimas campañas en el talud del circo del Corral del Veleta han confirmado su inestabilidad generalizada, de acuerdo, en sus líneas maestras, con los mecanismos de movimiento de masa que se detectan en laderas de medios periglaciares desprotegidos de manto nival durante el verano.

La deglaciación reciente del Corral del Veleta ha supuesto el desarrollo de procesos morfogénicos fríos y, asociados a ellos, la construcción de nuevas formas. De éstas destaca el talud detrítico que marca el tránsito entre la base y la pared que lo delimita, así como su remodelación actual. La desaparición del glaciar histórico de la Pequeña Edad del Hielo instalado en el seno del Corral se realizó paulatinamente de oeste a este (Gómez Ortiz et al., 2002), de manera tal que a mediados del siglo XX la masa de hielo debería encontrarse ya acantonada en los declives del cerro de Los Machos. Esta reclusión del glaciar hacia oriente supuso la construcción del talud detrítico, a partir del suministro de bloques y piedras de la pared por desplomes y derrumbamientos sucesivos (foto 5).

Las causas de la actual morfología que ofrece el talud es fruto de procesos paraglaciares acaecidos a partir del momento en que el cuenco del Corral empieza a verse liberado de hielo glaciar y el manto nival es incapaz de proteger de manera estable las capas de *permafrost* profundo. El resultado de estas circunstancias es la sobresaturación a la que está sumida la fracción detrítica superficial y posterior pérdida de cohesión, lo que genera movimiento de masa, muy favorecido por la abundancia de finos que proporciona la alteración de los micasquitos. El conjunto de estos procesos, instaurados y desarrollados en tiempos recientes, explica que en la actualidad el talud ofrezca sectores diferenciados (Luengo et al., 2002; Gómez Ortiz et al., 2003), cuyas características son:

a) El sector occidental se encuentra próximo al perfil de equilibrio para áreas recientemente deglaciadas. Se define por una cabecera de roca aflorante libre de sedimentos glaciogénicos, talud de pendiente inferior a 25° y una zona basal de descarga marcada por conos y abanicos coalescentes. Los sondeos geofísicos realizados niegan la existencia de *permafrost*.

b) El sector central del talud es una forma de acumulación y tránsito donde se desarrollan diferentes tipos de flujos debido a la situación límite del hielo atrapado en su seno. La mezcla de formas existentes y la rapidez con que se suceden permite indicar el avanzado grado de degradación del *permafrost*.

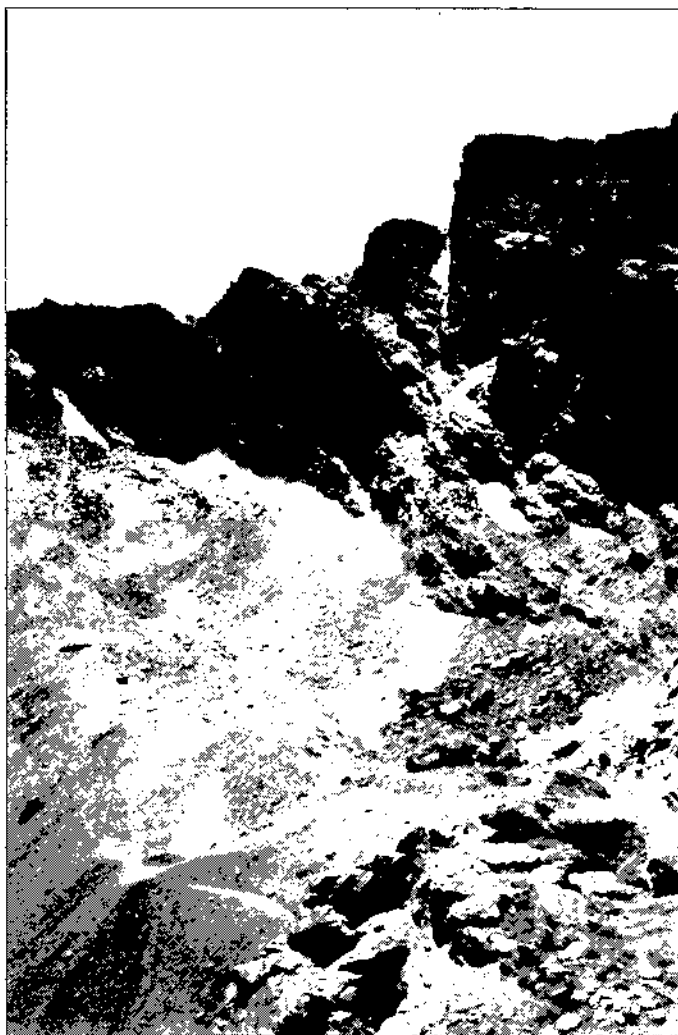


Foto 5. *El Corral del Veleta. Nótese el binomio cornisa-talud (agosto 2003)*

c) El sector oriental ofrece una situación intermedia entre una formación de ladera, como en a), y un glaciar fósil cubierto de clastos. El proceso de mayor relevancia y más generalizado es la reptación del escombros detrítico por flujo sobre masa helada. La respuesta morfogénica es la creación de diferenciados modelados, lo que viene a avalar la existencia de *permafrost* profundo, ya detectada por métodos geofísicos y que ratifica, a su vez, la pervivencia más cercana del glaciar histórico en esta parte del Corral.

1.2. *Permafrost* y formación de glaciares rocosos

El mantenimiento de *permafrost* profundo en el sector más oriental del Corral del Veleta, entre su lagunilla y el declive del cerro de Los Machos y a una cota media de 3125 m, está propiciando la construcción y desarrollo de modelados específicos asociados a procesos fríos. Éstos tienen como origen inicial el aporte de paquetes de bloques procedentes del desmoronamiento de la pared del cuenco, seguidos de mecanismos de reptación y flujo generalizado, en ocasiones con el eficaz apoyo de aludes de nieve y *debris flows* (coladas de piedras, coladas cordadas de bloques, glaciares rocosos, etc.). La observación de estas formas en el verano de 1995, que fue cuando por primera vez pudimos ver el fondo del Corral sin cubierta nival y analizarlas en detalle, ya nos delató un dinamismo significativo. Desde entonces los trabajos emprendidos se han encaminado a determinar su génesis, en particular, la del glaciar rocoso de la lagunilla, que es el que se encuentra en fase más avanzada de desarrollo.

El glaciar rocoso es resultado de una combinación de procesos y formas que en la actualidad continúan y que responden a la morfodinámica de un circo deglaciado recientemente. En tal sentido, señalar que el paquete clástico procede de la destrucción de la pared del Corral y que el flujo generalizado que en él se detecta resulta del comportamiento físico desigual de su masa, asentada ésta sobre cuerpos helados. El glaciar rocoso se instala en el tercio más oriental del Corral, entre la lagunilla y los declives del cerro de Los Machos (foto 6). Su configuración mantiene forma de L. Se inicia adosado al talud de gravedad del tajo de la pared del Corral y, tras mantener un giro de 90° al oeste, finaliza a corta distancia de la lagunilla del Corral. En su conjunto

alcanza una longitud de 110 m, un perímetro de 450 m, una anchura máxima de 37 m, pendiente media de 24°, un volumen de 6000 m³ y una superficie de 3600 m². El espesor visible es variable pero es máximo en su frente, que supera los 3,5 m con bloques plurimétricos. Morfológicamente mantiene dos unidades de formas: coladas de bloques, que pasan a ser lóbulos cordados, todas instaladas en el talud de gravedad, y amalgama de arcos caóticos una vez realizado el giro de 90°. Las primeras dan paso a las segundas. Todo el paquete clástico está asentado en *permafrost*, tal como se evidenció en 1998 (resistividad y sísmica), 1999 (prospección mecánica y extracción de testigo) y recientemente en 2002 (anomalías de conductividad aparente).

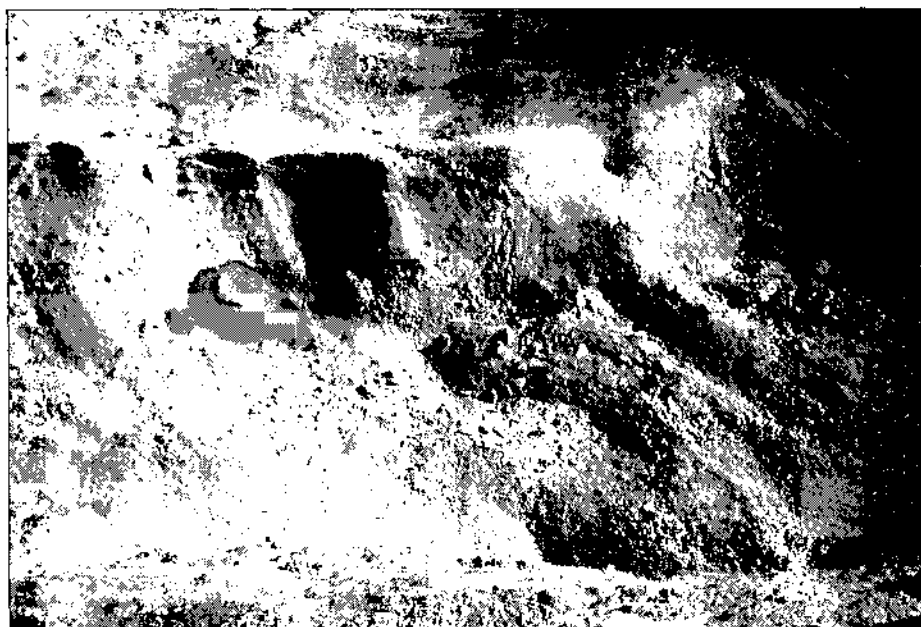


Foto 6. La mitad oriental del Corral del Veleta denota una intensa actividad morfogenética. Una de las formas más significativas es su pequeño glaciar rocoso (julio 1999)

Lo más significativo del glaciar rocoso es su dinamismo y, particularmente, su movimiento. Para determinarlo, y desde el año 2000, se vienen llevando a cabo diferentes trabajos topográficos y fotogramétricos a partir del posicionamiento de varillas metálicas convenientemente controladas. Los resultados del periodo 2001-2002 han

mostrado desplazamientos desiguales aunque generalizados en todos los testigos: de avance, entre 35 cm y 13,3 cm, y de hundimiento, entre 72,7 cm y 1,3 cm. Estos datos vienen a mostrar movilidad efectiva del cuerpo clástico y, al tiempo, merma de volumen para el conjunto de la masa, lo que vendría a apoyar la hipótesis de la degradación del *permafrost* subyacente.

1.3. Evolución térmica de la capa activa

El seno del Corral del Veleta, y muy particularmente su tercio más oriental, mantiene bolsas de *permafrost* profundo. El hecho de haber quedado arrinconado el *permafrost* en este extremo hay que asociarlo al reclutamiento que en esa misma dirección vino haciendo el glaciar histórico de la Pequeña Edad del Hielo durante su progresiva reducción, bien documentada a partir de mediados del siglo XIX.

Un tema que también nos preocupa del *permafrost*, como cuerpo físico atrapado en profundidad, es su comportamiento térmico, pues sus datos pueden ser referencias válidas para el estudio de la evolución reciente y tendencia del clima en las montañas mediterráneas, contemplados en el debate que actualmente existe en torno al denominado cambio climático global. A partir de los trabajos que venimos haciendo existen indicadores que nos hacen pensar en su degradación, es decir en su lenta fusión por incremento térmico. Uno de tales indicadores es la merma volumétrica del glaciar rococo, ya anunciada. Y el otro, la existencia de pozos de piedras en las cercanías de aquél, que podrían asociarse a *culottes de glace mort* (fusión de hielo inmovilizado).

Con la intención de controlar el régimen térmico del suelo, en concreto de la capa activa (tramo entre superficie y techo del *permafrost*), se han venido realizando desde 1999 diferentes registros a distintas profundidades a partir de sensores automáticos (tipos *Tiny-talk* y *Thermistor probe*) (Ramos Sainz et al. 2002). De las observaciones llevadas a cabo resaltan las obtenidas en el glaciar rocoso, en el seno de la perforación abierta en 1999, que en sus 1,90 m cubre el tramo superficie-techo del *permafrost*. El control térmico que se realiza incluye observaciones sistemáticas en superficie, -15 cm, -40 cm, -90 cm y -190 cm. Los resultados obtenidos durante el periodo noviembre-agosto 1999-2000

y noviembre-agosto 2001-2002 han venido a mostrar decrecimiento térmico en profundidad con disminución de amplitudes térmicas, muy significativas a partir de -15 cm. Sólo el nivel de 1,90 m (techo del *permafrost*) mantiene constantemente temperaturas negativas, diferenciadas en relación a los meses y a los años, sobre todo entre marzo-abril y agosto. Respecto a 1999-2000 los valores medios se fijaron en -3,1 y -0,6 frente a los -4,2 y -2,3, respectivamente, del periodo 2001-2002.

Una primera aproximación explicativa a estos datos estaría en la línea ya apuntada de la degradación de las masas heladas profundas, amparada, ahora, en la variabilidad térmica, que podría deberse al influjo de la radiación a partir de superficie y que podría estar asociada a la variación climática global que se viene detectando.

2. Reflexiones finales: conocer la Sierra, amar la Sierra

Estoy ya finalizando mi discurso y quisiera hacerlo, permítanme que así sea excelentísimos académicos, con unas reflexiones en torno a la necesidad de preservar y conservar los paisajes de las cumbres de la Sierra.

Sierra Nevada, ya lo he señalado, es un eslabón entre las montañas áridas de latitudes tropicales y aquellas otras húmedas de latitudes templadas, hecho que la convierten en un reducto de especial interés paleoecológico para el mundo mediterráneo, sobre todo, por los acontecimientos biogeográficos y morfogenéticos acaecidos a lo largo del Cuaternario. El reflejo más evidente, ya lo decía, es su singular paisaje, definido, sobre todo, por los ecosistemas de sus altas cumbres, únicos en nuestro mundo mediterráneo.

Acerca de la flora y la fauna de la Sierra existe, con razón, un particular interés y se potencia, cada vez más, su salvaguarda. Así debe ser, pues tanto las plantas como los animales que pueblan esta montaña son elementos singulares que tienden a distinguirla. Algo semejante sucede con los suelos, aunque más por la función que hacen de sustento del elemento vegetal que por su valor intrínseco. Inexplicablemente no ocurre lo mismo con las formas de relieve, cuando son ellas las que conforman el almacén donde se cobija y desarrolla el complejo biótico del paisaje.

Descubrir el significado y alcance de la morfología glaciar y periglacial de Sierra Nevada ha significado para nosotros una tarea apasionante y lo ha sido más cuando esas formas de relieve han resultado ser únicas y excepcionales en estas latitudes, particularmente las que definen los parajes de los picachos del Mulhacén y del Veleta, que es donde se presentan como modelo excepcional de alta montaña mediterránea árida.

El estudioso, el viajero o el caminante que desde el puntal de la Alcazaba, por ejemplo, observe las cumbres de la Sierra pronto captará la singularidad de su paisaje y de éste le llamará la atención, sin duda, su imponente y desnudo relieve, a cuyo indiscutible valor científico hay que añadirle aquel otro patrimonial. Hacer notar este hecho es un compromiso que incumbe particularmente a los científicos, como también llamar la atención acerca de su preservación y conservación.

Referencias bibliográficas

- Anés, G. (1975). *Economía e "Ilustración" en la España del siglo XVIII*. Ariel. Barcelona.
- Bide, F. (1893). Excursions à la Sierra Nevada. Deuxième excursion dans la Sierra Nevada. *Annuaire du Club Alpin Français*, vol. XX. Paris.
- Boissier, C.E. (1839). *Voyage botanique dans le midi de l'Espagne pendant l'année 1837*. Gide et Cie. París. Versión castellana en C.E. Boissier "Viaje botánico al sur de España durante el año 1837". Fundación Caja de Granada. Universidad de Málaga. Granada, 1995.
- Casas Morales, A. (1943). Contribución al estudio del glaciario cuaternario de Sierra Nevada. *Boletín de la Sociedad Española de Historia natural*, XLV, pp. 543-567.
- Casas Morales, (1947). (Continuación) Afluentes del río Guadix, *Boletín de la Sociedad Española de Historia natural*, XLV, pp. 245-290
- Capel, H. (2002). El viaje científico andaluz de Simón de Rojas Clemente Rubio: de la Historia Natural a la Geografía. *Viaje a Andalucía. Historia Natural del Reino de Granada (1804-1809)*. G.B.G. Editora. Barcelona, pp. 17-46. -
- Chueca Cía, J. & Julián Andrés, A. (1996). Datación de depósitos morrénicos de la Pequeña Edad del Hielo. Macizo de la Maladeta. *Dinámica y evolución de medios cuaternarios*. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela, pp. 171-182.
- Díaz de Federico, A; Puga, E.; Burgos, J. Gallegos, J.A. & Sanz de Galdeano, C. (1980). *Mapa geológico de España. Hoja 1027 (Güejar Sierra), E: 1/50000*. IGME. Madrid.
- Drasche, R. (1879). *Geologische Skizze des Hochgebirgstheiles der Sierra Nevada in Spanien*. Jahrbuch der K.K. geolog. Reichsanstalt, vol. XXIX. Wien.
- 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.F. Gautier*. Tours, pp. 194-212.
- Esteban Amat, A. (1995). *Evolución del paisaje postglaciar en la montaña mediterránea occidental. Ejemplos del Pirineo Oriental y Sierra Nevada*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Barcelona.
- Esteban Amat, A. (1996). Evolución del paisaje nevadense durante los últimos 1500 años a partir del análisis polínico de borreguiles. In J. Chacón Montero & J.L. Rosúa Campos (Eds.) *1a Conferencia Internacional Sierra Nevada*. Universidad de Granada-Sierra Nevada 96. Granada, vol. 4, pp. 251-273.
- Floristán Samames, A. (1953). *El modelado periglaciario*. CSIC. Zaragoza
- Florstchütz, F.; Menéndez Amor, J. & Wijmstra, T.A. (1971). Palynology of a thick Quaternary succession in southern Spain. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology*, 10, pp. 233-264.

García Navarro, A. (1996). Contribución al conocimiento glaciar de Sierra Nevada a través de los escritos de viajeros del siglo XVIII y mediados del XIX. In J. Chacón Montero & J.L. Rosúa Campos (Eds.). *1a. Conferencia Internacional Sierra Nevada*. Universidad de Granada-Sierra Nevada 96. Granada, vol. 4, pp. 107-116.

García Sainz, L. (1942). El glaciario cuaternario de Sierra Nevada. *Estudios Geográficos*, IV, pp. 233-254.

García Sainz, L. (1947). *El clima de la España cuaternaria y los factores de su formación*. Secretariado de Publicaciones. Universidad de Valencia. Valencia.

Gil Albarracín, A. (2002). Transcripción de Simón de Rojas Clemente Rubio *Viaje a Andalucía "Historia Natural del Reino de Granada (1804-1809)*. G.B.G. Editora. Barcelona.

Gómez Mendoza, J. & Ortega Cantero, N. (1992). *Naturalismo y Geografía en España*. Fundación Banco Exterior. Madrid.

Gómez Ortiz, A. (1980). Nota sobre la dinámica periglacial en el extremo oriental de la Alta Alpujarra (Sierra Nevada). *Paralelo 37º*, 4, pp. 191-199.

Gómez Ortiz, A. (1980a). *Estudio geomorfológico del Pirineo catalán: morfogénesis glacial y periglacial de los altos niveles y vertientes meridionales de los macizos de Calmquerdós, Tossa Plana de Llès y Port Negre (Cerdanya-Alt Urgell)*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Barcelona.

Gómez Ortiz, A. (1991). *El relieve de los valles meridionales de Sierra Nevada. Formas y modelados glaciares y periglaciares*. Resumen investigación (inédito). Concurso de cátedra. Universitat de Barcelona. Barcelona.

Gómez Ortiz, A. (1996). *El relleu d'Andorra. Morfología glacial i periglacial*. Ministeri de Educació, Joventut i Esports. Govern d'Andorra. Andorra la Vella.

Gómez Ortiz, A. (1997). Hugo Obermaier Grat (1877-1946): su contribución al conocimiento del glaciario de las montañas españolas y particularmente al de Sierra Nevada. In H. Obermaier, *Los glaciares cuaternarios de Sierra Nevada*. Fundación Caja de Granada. Granada, pp. 11-63.

Gómez Ortiz, A. (Coordinador) (2002). *Mapa geomorfológico de Sierra Nevada*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Granada.

Gómez Ortiz, A.; Díaz del Olmo, F. & Simón Torres, M. (1994). Periglaciario en las Cordilleras Béticas. In A. Gómez Ortiz; F. Díaz del Olmo & F. Salvador Franch (Eds.) *Periglaciario en la Península Ibérica, Canarias y Baleares*. Universidad de Granada-Servei de Paisatge Universitat de Barcelona. Granada, pp. 165-188.

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. Laboratorio Xeológico de Laxe*, 21, pp. 543-558.

Gómez Ortiz, A. & Salvador Franch, F. (1997). Procesos geomórficos periglaciares en el Pandero del Mulhacén (Sierra Nevada). Experimentación de campo sobre la efectividad de la geliturbación y del hielo en el suelo. *Cuaternario y Geomorfología*, 11, pp. 81-97.

Gómez Ortiz, A. & Salvador Franch, F. (1998). Procesos periglaciares actuales en montaña mediterránea. Ideas clave, trabajos de campo y resultados en Sierra Nevada. In A. Gómez Ortiz; F. Salvador Franch; L. Schulte & A. García Navarro (Eds.) *Procesos biofísicos actuales en medios fríos*. Publicacions de la Universitat de Barcelona. Barcelona, pp. 217-234.

Gómez Ortiz, A.; Schulte, L.; García Navarro, A. & Palacios Estremera, D. (1999). Sobre la existencia de *permafrost* en Sierra Nevada. Significado geomorfológico y paleoclimático. In L. Pallí Buxó & C. Roqué Pau (Eds.) *Avances en el estudio del Cuaternario español*. AEQUA-Universitat de Girona, pp. 181-186.

Gómez Ortiz, A.; Palacios Estremera, D. & Ramos Sainz, M. (Directores) (2000). Localización de *permafrost* en la montaña mediterránea y análisis de su significado paleoclimático: aplicación a Sierra Nevada. In J.L. Peña Monné; M. Sánchez Fabre & M.V. Lozano Tena (Eds.) *Procesos y formas periglaciares en la montaña mediterránea*. Instituto de Estudios Turolenses. Teruel, pp. 299-335.

Gómez Ortiz, A.; Martí Bono, C.E. & Salvador Franch, F. (2001). Evolución reciente de los estudios de geomorfología glaciar y periglacial en España (1980-2000): balance y perspectivas. In A. Gómez Ortiz & A. Pérez González (Eds.) *Evolución reciente de la Geomorfología española (1980-2000). Aportación española a la V Conferencia Internacional de Geomorfología (Tokio, 2001)*. Sociedad Española de Geomorfología-Servei de Gestió i Evolució del Paisatge (UB). Geoforma Ediciones. Logroño, pp. 139-184.

Gómez Ortiz, A.; Palacios, D.; Luengo, E.; Tanarro, LM.; Schulte, L. & Ramos, M. (2003). Talus instability in recent deglaciation area and its relationship to buried ice and snow cover evolution (picacho del Veleta, Sierra Nevada, Spain). *Geografiska Annaler*, 85(A)-2, pp. 165-182.

Hellmann, G. (1881). Der südlichste Gletscher Europa's. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde*, 16, pp. 362-367.

Hempel, L. (1960). Límites altitudinales geomorfológicos en Sierra Nevada. *Estudios Geográficos*, 78, pp. 81-93.

Höllermann, P. (1967). Zur Verbreitung rezenter periglazialer Kleinformen in den Pyrenäen und Ostalpen (mit Ergänzungen aus dem Apennin und dem Französischen Zentralplateau). *Geographische Abhandlungen*, 40.

Jalut, G. (1974). *Evolution de la végétation et variations climatiques durant les quinze derniers millénaires dans l'extrémité orientale des Pyrénées*. Thèse. Université de Toulouse. Toulouse.

Jiménez Olivencia, Y. (1991). *Los paisajes de Sierra Nevada*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada-Junta Rectora del Parque Natural de Sierra Nevada. Granada.

Lhenaff, R. (1977). *Recherches geomorphologiques sur les Cordillères Bétiqes centro-occidentales (Espagne)*. Thèse. Université de Lille. Lille.

Llobet, S. (1975). Materiales y depósitos periglaciares en el macizo del Montseny. Antecedentes y resultados. *Revista de Geografia*, vol. IX, pp. 35-58.

Madoz, P. (1849). Sierra Nevada. In *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones en ultramar*. Tomo XIV. Madrid.

Mac-Pherson, (1875). De la existencia de fenómenos glaciares en el sur de Andalucía durante la época cuaternaria. *Acta de la Sociedad Española de Historia Natural*, vol. IV, pp. 56-61.

Marmol y Carvajal, L. (1600). *Historia de la rebelión y castigo de los moriscos del Reyno de Granada*. Versión actual del mismo autor en *Historia de la rebelión y castigo de los moriscos del Reyno de Granada*. Biblioteca de Autores Españoles, vol. XXI. Madrid, 1946.

Martí Henneberg, J. (1994). *L'excursionisme científic*. Alta Fulla. Barcelona

Martín Vivaldi Caballero, M.E. (1982). El paisaje físico y la morfología del valle de Monachil (Sierra Nevada). *Cuadernos Geográficos*, 10, pp. 117-155.

Martínez de Pisón, E. (1995). La primera geomorfología española. *Geógrafos y naturalistas en la España contemporánea*. Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, pp. 81-106.

Martonne, E. (1924). Les formes glaciaires sur le versant Nord du Haut Atlas. *Annales de Géographie*, vol. VII, pp. 290-297.

Mateo García, M. (1995). *Estudio del régimen térmico del sector culminar de Sierra Nevada. Tratamiento de datos*. Proyecto DGICYT PS920110 (documento interno). Servei de Paisatge. Universitat de Barcelona.

Mateo García, M. & Gómez Ortiz, A. (1998). El glaciarismo histórico. La Pequeña Edad del Hielo en el valle del Madriu (Andorra). In A. Gómez Ortiz & F. Salvador Franch (Eds.) *Investigaciones recientes de la Geomorfología española*. Servei de Paisatge. Universitat de Barcelona. Geoforma. Logroño, pp. 397-406.

Mateo García, M. & Gómez Ortiz, A. (2000). *Oscilaciones climáticas en el Holoceno histórico. La Pequeña Edad del Hielo en el valle de Madriu (Andorra)*. In J.L. Peña Monné, M. Sánchez Fabre & M.V. Lozano Tena (Eds.) *Procesos y formas periglaciares en la montaña mediterránea*. Instituto de Estudios Turolenses. Teruel, pp. 81-86.

Menéndez Amor, J. & Florschütz, F. (1964). Results of the preliminary palynological investigation of samples from a 50 m boring in southern Spain. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Geología)*, 62, pp. 251-255.

Messerli, B. (1965). *Beiträge zur Kenntnis der Sierra Nevada (Andalusien)*. Juris Verlag, Zurich.

Obermaier, H. (1916). Los glaciares cuaternarios de Sierra Nevada. *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales (Geología)*, 17, pp. 1-68.

Paschinger, H. (1957). Las formas glaciares de Sierra Nevada. *Memorias y Comunicaciones del Instituto Geológico Provincial de Barcelona*. Barcelona, pp. 81-94.

Penck, A. (1894). Das Klima Spaniens während der jüngerer Tertiärperiode u. der Diluvialperiode. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*.

Peña Monné, J.L. (1998). Los estudios sobre procesos de clima frío en España. Balance y perspectivas. In A. Gómez Ortiz; F. Salvador Franch; L. Schulte

& A. García Navarro (Eds.) *Procesos biofísicos actuales en medios fríos*. Publicacions de la Universitat de Barcelona. Barcelona, pp. 43-54.

Pezzi, M. & García Rosell, L. (1978). Análisis del medio físico. *Estudios de Ordenación de los Recursos Turísticos de Sierra Nevada. Análisis de la situación actual*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo-EYSER (policopiado), pp. 29-187.

Pfister, C. (1984). *Klimageschichte der Schweiz 1525-1860*. Das Klima der Schweiz von 1525-1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft, 2 Vol. VER. Paul Haupt, Bern-Stuttgart. Academia helvetica, 6.

Pons, A & Reille, M. (1988). The Holocene and Upper Pleistocene pollen record from Padul (Granada. Spain): a new study. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 66, pp. 243-267.

Ponz, A. (1797). Relación del viaje que desde Granada hizo á Sierra Nevada D. Antonio Ponz á influxo del Exmo. Sr. Marqués de la Ensenada. *Mensagero económico y erudito de Granada*, 25-30. Granada.

Prado Valle C. del (1857). *Valdeón, Cain, la canal del Trea. Ascensión a los Picos de Europa en la Cordillera Cantábrica*. s/1/e.

Prado Valle, C. del (1864). *Descripción física y geológica de la provincia de Madrid*. Junta General de Estadística. Madrid.

Quesada Ochoa, C. & Rosúa Campos, J.L. (1996). La "Historia Natural del Reino de Granada" de Simón de Rojas Clemente y Rubio: las excursiones por Sierra Nevada. In J. Chacón Montero & J.L. Rosúa Campos (Eds.) *1a Conferencia Internacional Sierra Nevada*. Universidad de Granada-Sierra Nevada 96. Granada, vol. 4, pp. 51-64

Quelle, O. (1908). *Beiträge zur Kenntnis der spanischen Sierra Nevada*. Tesis doctoral. Universidad Friedrich-Wilhelm. Berlin.

Ramos, M.; Gómez Ortiz, A.; Palacios, D.; Tanarro, L.M.; Crespo, F. & Bretón, L. (2002). Método térmico para el estudio de la distribución de permafrost en Sierra Nevada. In E. Serrano & A. García de Celis (Eds.). *Periglaciarismo en montañas y altas latitudes*. IPA-Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid. Valladolid, pp. 91-124

Raynal, R. (1981). Le seuil supraforestier dans les montagnes méditerranéenne. *La limite supérieure de la forêt*. IEA. Perpinyà., pp. 31-41.

Raynal, R. (1956). Les phénomènes périglaciaires au Maroc et leur place dans l'évolution morphologique. *Biuletyn Peryglacjalny*, 4, pp. 143-162.

Rein, J.J. (1899). *Beiträge zur Kenntnis der spanischen Sierra Nevada*. Viena. Versión castellana en Rein, J.J. "Aportación al estudio de Sierra Nevada". Caja General de Ahorros de Granada-AMA. Granada, 1994.

Rivas Matínez, S. (1992). Etages bioclimatiques, secteurs chronologiques et séries de végétation de l'Espagne méditerranéenne. *Ecologia Mediterranea*, 8, pp. 275-288.

Rojas Clemente Rubio, S. (2002). *Viaje a Andalucía. Historia Natural del Reino de Granada (1804-1809)*. Transcripción de Antonio Gil Albarracín. G.B.G. Editora. Barcelona, 2002.

Röthlisberger, F. (1986). *10000 Jahre Gletschergeschichte de Erde*. Verl. Sauerländer. Aarau-Franckfurt-Salzburg.

Rute, L. (1889). *La Sierra Nevada*. Nouvelle Revue Internationale. Imprimerie Charaire et fils. Paris.

Sánchez Gómez, S. (1990). *Aplicación del estudio de suelos a la dinámica de la cuenca del río Lanjarón*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Granada.

Sánchez Gómez, S.; Simón Torres, M. & García, I. (1990a). Morfogénesis glaciaria de las cabeceras de las cuencas del río Monachil y Dílar (Sierra Nevada-Granada). *Actas 1a. Reunión Nacional de Geomorfología*. SEG-Instituto de Estudios Turolenses. Teruel, vol.1, pp. 211-219.

Sánchez Gómez, S.; Simón Torres, M. & García, I. (1990b). Morfogénesis glaciaria de la cuenca del río Lanjarón (Sierra Nevada-Granada). *Actas 1a. Reunión Nacional de Geomorfología*. SEG-Instituto de Estudios Turolenses. Teruel, vol.1, pp. 203-210.

Sanz de Galdeano, C. & López Garrido, A.C. (1999). Estratigrafía y estructura de las unidades alpujarrides en el borde occidental de Sierra Nevada (Granada, España). *Revista de la Sociedad de Geología de España*, 12-2, pp. 187-198.

Sanz de Galdeano, C. & López Garrido, A.C. (1999). Nature and impact of the Neotectonic deformation in the western Sierra Nevada (Spain). *Geomorphology*, 30-3, pp. 259-272.

Schulte, L.; Gómez Ortiz, A. & Passmore, D. (1999). Sobre los supuestos restos periglaciares pleistocenos en los llanos del sureste de la Península Ibérica. En J.L. Peña Monné; M. Sánchez Fabre & M.V. Lozano Tena (Eds.) *Procesos y formas periglaciares en la montaña mediterránea*. Instituto de Estudios Turolenses. Teruel, pp. 281-297.

Serve, L. (1972). *Recherches comparatives sur quelques groupements végétaux orophiles et leurs relations avec la dynamique periglaciaire dans les Pyrénées et la Sierra Nevada*. Thèse. Centre Universitaire de Perpignan. Perpignan.

Schimper, P. (1849). *Voyage géologique, botanique au Sud de l'Espagne*. Journal de l'Institut. Paris.

Simón Torres, M.; García, I.; Gil, C. & Polo, A. (1994). Characteristics of the organic matter of mediterranean highmountain soils. *Geoderma*, 61, pp. 119-131.

Simón Torres, M.; Sánchez Gómez, S. & García, I. (1996). Paleoambientes cuaternarios en Sierra Nevada a través de la interrelación geomorfología-suelos. In J. Chacón Montero & J.L. Rosúa (Eds.) *1a Conferencia Internacional Sierra Nevada*. Universidad de Granada-Sierra Nevada 96. Granada, vol. 2, pp. 87-97.

Simón Torres, M.; Sánchez Gómez, S. & García, I. (1998). Evolución de los suelos durante el Holceno en Sierra Nevada. En A. Gómez Ortiz, F. Salvador

Franch, L. Schulte & A. García Navarro (Eds.). *Procesos biofísicos actuales en medios fríos*. Publicacions de la Universitat de Barcelona. Barcelona, pp. 301-307.

Solé Sabaris, L. (1942). 2a. Reunión de Estudios Geográficos. *Estudios Geográficos*, 9, pp. 687-726.

Soria Mingorance, J.; Soria Rodríguez, J. & Jabaloy Sánchez, A. (1984). El modelado glaciar de las vertientes meridionales de Sierra Nevada (Granada). *Ia. Reuniao do Quaternario Iberico*. Coimbra. Vol. 1, pp. 153-163.

Soria Mingorance, J.; Soria Rodríguez, J. & Jabaloy Sánchez, A. (1986-1987). Depósitos glaciares rocosos en Sierra Nevada (Granada). *Acta Geologica Hispànica*, 21-22, pp. 123-129.

Soutadé, G. & Baudière, A. (1970). Végétation et modelés des hauts versants septentrionaux de la Sierra Nevada. *Annales de Geographie*, 436, pp. 709-736.

Terradat-LTD & ETH (1998). Geophysical survey repért. *Permafrost Investigation Veleta & Mulhacén. Sierra Nevada*. PACE. Unpubli. Repórt.

Titos Martínez, M. (1990). *La aventura de Sierra Nevada, 1717-1915*. Universidad de Granada-Diputación Provincial de Granada. Granada.

Titos Martínez, M. (1997). *Sierra Nevada: una gran historia*. Universidad de Granada-Cetursa Sierra Nevada, S.A. 2 vol. Granada.

Titos Martínez, M. & Piñar Samos, J. (1995). *Album cartográfico de Sierra Nevada 1606-1936*. Fundación Caja de Granada. Granada.

Torres Palomo, M.P. (1967-1968). Sierra Nevada en los escritores árabes. *Miscelanea de Estudios Arabes y Hebráicos*, Vol. XVI-XVII, pp. 57-88.

Tricart, J. & Cailleux, A. (1967). *Le modelé des régions périglaciaires*. Sedes. Paris.

Troll, C. (1960). Physiognomik der Gewächse als Ausdruck der ökologischen Lebensbedingungen. *Verh. Dt. Geographentag*, 32, pp. 97-122.

Troll, C. (1967). Die klimatische und vegetationsgeographische Gliederung des Himalaya-Systems. *Ergeb. Forsch. Untern. Nepal Himalaya*, 1, pp. 353-388.

Ulrich Brosche, L. (1978). Formas actuales y límites inferiores periglaciares en la Península Ibérica. *Estudios Geográficos*, 151, pp. 131-162.

Villegas Molina, F. (Dtor.)(1995). *Influencia de los factores antrópicos en los procesos de desertificación en la cuenca del río Adra*. Universidad de Granada-Instituto de Estudios Almerienses. Granada.

Willkomm, M. (1847). *Zwei Jahre in Spanien und Portugal*. Selección de textos en M. Willkomm "Granada y Sierra Nevada". Fundación Caja de Granada. Granada, 1997.

Willkomm, M. (1882). *Aus den Hochgebirgen von Granada*. Versión castellana en M. Willkomm "Las Sierras de Granada". Fundación Caja de Granada. Sierra Nevada 95. Granada, 1993.

DISCURS DE CONTESTACIÓ
PER L'ACADÈMICA NUMERÀRIA

EXCMA. SRA. DRA. MARIA TERESA ANGUERA ARGILAGA

Excel·lentíssim Senyor Degà President,
Excel·lentíssims Senyors Acadèmics,
Il·lustríssimes Autoritats,
Senyores i Senyors,

La Reial Acadèmia avui està de festa. Una vegada més, obre amb alegria les seves portes per a donar lloc a l'ingrés d'un nou acadèmic, el Dr. Antonio Gómez Ortiz. El seu ingrés ens omple a tots de satisfacció, perquè una nova llum brillarà en aquesta docta institució que ens dona acollida.

Indubtablement, la seva aportació augmenta la massa crítica de la Reial Acadèmia, i fa més gran el capital humà que constitueix el conjunt dels seus membres, els acadèmics, motiu pel qual tots ens hem de felicitar.

El Dr. Antonio Gómez Ortiz va néixer a Laroles (Granada) el 9 de desembre de 1943. Va estudiar Magisteri de Primera Ensenyança (1962) i Filosofia i Lletres (Secció Geografia i Història) (1975) a la Universitat de Barcelona, i es va doctorar en Geografia per la mateixa Universitat el 1980.

És professor de la Universitat de Barcelona des de 1976, i després d'haver passat per tots els nivells professionals de l'espectre universitari, és Catedràtic de l'Àrea de Geografia Física d'aquesta Universitat des de 1991, en el Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional.

Ha desenvolupat la seva activitat docent en l'àmbit de la Geografia Física en els diferents nivells d'ensenyança universitaris, ha impartit cursos de tercer cicle en diverses Universitats d'Espanya i de l'estranger, i ha assumit distintes responsabilitats acadèmiques.

La seva activitat científica s'ha centrat especialment en els camps de Geomorfologia quaternària i Didàctica de la Geografia, a més de dedicar igualment bona part del seu temps en temes de paisatge i d'ordenació del territori. Una llarga llista de projectes d'investigació (autonòmics, nacionals i europeus) concedits per diverses institucions constitueixen un exponent fidel de la seva aportació pionera, així com els contractes I+D amb empreses i/o institucions. Tanmateix, és l'investigador responsable del Grup de Recerca Consolidat de la Universitat de Barcelona "Paisatge i reconstrucció Paleoambiental de la muntanya mediterrània" i Director del Servei de Gestió del Paisatge de la mateixa Universitat.

El seu interès preferent per la geomorfologia dels països freds, el va portar a endinsant-se en la reconstrucció paleogeogràfica pleistocena i holocena de la muntanya mediterrània i l'evolució actual del seu paisatge. La trajectòria seguida l'ha portat a treballar en el si d'un grup de treball interdisciplinari i, que ell dirigeix, a on geomorfòlegs, climatòlegs, botànics, palinòlegs, etc., de diverses Universitats d'Espanya i d'altres països, han abordat ambicioses metes, entre les quals destaca la reconstrucció paleogeomològica de la dinàmica glacial i periglacial en el Pirineu Oriental i Sierra Nevada, la reconstrucció pleistocena dels esdeveniments geoambientals en el Pirineu Oriental i surest Peninsular (Sierra Nevada, Sierra de Baza, cap de Gata i depressió de Vera-Sorbas), i l'estudi dels processos geomòrfics actuals a l'alta muntanya mediterrània (Sierra Nevada).

El Dr. Antonio Gómez, preocupat igualment per la ciència geogràfica com a disciplina formativa i educativa, ha contemplat també la vessant didàctica de la Geografia, i s'ha dedicat a l'educació ambiental, gran assignatura pendent de la nostra època, així com a l'elaboració de materials didàctics.

En els dos àmbits del coneixement geogràfic ha realitzat nombroses publicacions. Es poden destacar 13 llibres, 31 capítols de llibres, i 98

contribucions en revistes de la seva especialitat, així com una llarga llista de treballs presentats en congressos i jornades científiques, i publicacions menors. Tanmateix, destaca la seva experiència en l'organització d'activitats de I+D.

És tota una vida acadèmica dedicada, en una de les seves línies prioritàries, a estudiar la geomorfologia del fred, dit de forma no especialitzada. Per als ciutadans que contemlem els sistemes muntanyosos com a simples elements del paisatge, aquesta erudita lliçó ens ha brindat unes altres facetes de la qüestió, i ens ha il·lustrat sobre la seva riquesa històrica i la complexitat multidisciplinària que acull. I per als que hem nascut en un entorn rural envoltat de muntanyes, el perfil característic d'aquestes és un element que forma part de les nostres vides i que fins i tot ens porta a fer-les nostres al pensar, des de la distància, en la nostra terra. Quants cops hem pronunciat l'expressió "les meves muntanyes" al apropar-nos a les nostres arrels geogràfiques! I segurament també passa alguna cosa semblant al nou acadèmic quan s'acosta a Sierra Nevada.

El compromís amb diferents sistemes muntanyosos, i en especial amb Sierra Nevada, ha quedat en evidència en el brillant discurs del Dr. Antonio Gómez, en el qual destaquen, enllaçades, diferents vessants, des de la poesia i narrativa dels primers pobladors de zones properes, fins a la identificació de Sierra Nevada, i especialment el seu sector més occidental, com d'un magnífic laboratori natural per al coneixement de processos freds en altura, passa per una minuciosa descripció històrica sobre el descobriment del paisatge nevadenc segons la literatura de l'època, la intervenció de la mà de l'home, i dels avenços produïts al llarg del segle XX.

Des de la nostra perspectiva, que òbviament no és la geogràfica, ens permet enllaçar les successives passes que orienten el pensament científic, i ens permet comprovar el progressiu afinament metodològic que ha suposat el coneixement morfològic dels gels i de les glaceres de Sierra Nevada al llarg dels últims segles.

La consideració dels diferents plans que destil·len de la conferència ens permet posar la lupa, en primer lloc i en els moments inicials contemplats,

en les ingènues referències a Sierra Nevada, que la caracteritzen com a muntanya mediterrània singular. En això han contribuït les seves formes en relleu, els seus barrancs curts i angostos, la capacitat d'arrossegament dels cabals que s'hi formen, o l'acció mecànica dels glacials de l'època quaternària; però també la seva bellesa i la poesia que l'embolcalla. El "*moro*", aquest "*moro que sueña con Granada*", per a simplificar, i que l'alaba per la seva bellesa, sent el particular influx de Sierra Nevada, muntanya sempre coberta de neu que el captiva, i element de referència de nombrosos relats. Aquesta gran mola banyada en llum daurada abans de l'alba no es resisteix al "*encanto moruno*", i es ressalten les seves referències en els escrits àrabs. Escrits àrabs que contemplen a Sierra Nevada de forma ensomniada i alhora amb certa distància, i de la qual parafrasegen aspectes parcel·lats, que, en qualsevol cas, es queden en una mera descripció no especialitzada.

Però des d'una clau metodològica, el lent caminar del coneixement vulgar al coneixement científic s'inicia en la descripció, per a passar progressivament a l'explicació dels per què. I tant una operació com una altra, alhora, impliquen diversos nivells progressius. Ni totes les descripcions són iguals, ni tampoc totes les explicacions.

Sobre les primeres -les descripcions-, la incidència del punt de referència, la molecularització *versus* la molarització, el tipus de llenguatge utilitzat i la perspectiva des de la qual es contempla cada faceta de la realitat, donen conte, de manera indubtablement polièdrica, d'uns mateixos fets físics. Dependrà de com es col·loca la lupa, i a quina distància, per justificar la faceta de la realitat que es desitja ressaltar. En uns casos, incidint, com a mer exemple escollit del text del discurs, en la dissimetria de Sierra Nevada al referir-se que "*la mano que empujó vino de África*" (Casas Morales, 1943), i en altres, centren l'interès en la botànica o en l'assentament de poblats.

Ens podríem preguntar com en una única realitat hi tenen cabuda diverses cares, o també en quina mida és possible l'anàlisi de la complexitat des d'un desglossament d'aspectes. Hem escoltat del Dr. Antonio Gomez com al llarg del segle XIX diversos especialistes exploren Sierra Nevada, i es disposa d'importantes aportacions de botànics, geòlegs i geògrafs. El nivell de la descripció avança, progressen sobre les

descripcions il·lustrades del segle XVIII, i s'obtenen ja excel·lents relats del paisatge, i donen compte precisa de les condicions climàtiques o de les variants d'herbers, així com de les petjades que va deixar el fred a la glacera.

Metodològicament, a mesura que avança el segle XIX, està perfectament formulada la hipòtesi sobre el glaciariisme a Sierra Nevada, específicament en el "*Corral del Veleta*". És una hipòtesi que s'assenta sobre evidències empíriques perfectament assumides, però tota hipòtesi en una conjectura que s'ha d'arrossegar empíricament, i així s'aconsegueix dins de l'esmentada centúria. Però les hipòtesis poden ser exploratòries o confirmatòries, i l'encara escàs coneixement no permetia passar d'una hipòtesi exploratòria.

Es tenia coneixement de l'existència, en efecte, de petjades glacials, però eren molts els interrogants plantejats. Hi havia més llocs amb neus perpètues? Quanta era la neu dipositada al llarg dels segles? Quantes capes o estratificacions de neu endurida es podrien detectar?

En la història científica en qualsevol àmbit de coneixement és recurrent l'acció positiva d'unes altres especialitats –limítrofes o no– que aporten complementàriament el seu saber. Els geòlegs, principalment, van contribuir a un progrés decisiu, sense descartar a determinats geògrafs. S'estava creant ni més ni menys el naixement de la geomorfologia, àmbit en el que s'ha especialitzat el Dr. Antonio Gómez.

La nova àrea científica actua com a catalitzadora del progrés científic en aquest àmbit, i permet les primeres respostes als per que. Els primers nivells explicatius són ja un fet, es subministren noves dades, i són possibles alhora noves interpretacions.

Però en l'avenç d'un àmbit científic és un fet el desenvolupament acumulatiu del coneixement, a pesar que es tracti d'un desenvolupament no absolut, sinó filtrat. En l'estudi del glaciariisme nevadense s'havia aconseguit disposar d'un gran volum d'informació, absolutament diversificada. Científicament parlant, durant el segle XX hi havia una situació òptima per a un nou enlairament del coneixement, i per a aconseguir nous nivells explicatius més rigorosos.

En això va contribuir sens dubte l'aportació continuada d'uns altres àmbits del coneixement (Prehistòria, Geografia Física, etc.), així com l'enfortiment metodològic que va tenir lloc, que va portar, alhora, al domini de tècniques de treball de camp, com, per exemple, l'observació de les formes de relleu.

Però tot avenç suposa nous interrogants, i això és una constant que caracteritza la vessant dinàmica de tota ciència. El coneixement adquirit sobre els glacials de Sierra Nevada constitueix la base per indagar sobre nous objectius, com la intensitat i l'extensió del fenomen glacial quaternari a Sierra Nevada, així com el límit al qual havien arribat les neus perpètues.

Si als nostres alumnes de metodologia els mostrem i il·lustrem mitjançant exemples com acaba un cercle de coneixement científic i com se n'inicia un altre, una de les vies, la de les *branques col·laterals*, es fa plenament evident que aquesta indagació ens portarà de la mà al coneixement sobre les condicions ambientals en què es desenvoluparia la vida de l'home primitiu. I no es renuncia a d'altres, com la *rèplica*, que es va pretendre utilitzar una metodologia aplicada a uns altres glaciàries quaternaris, ni tampoc a la denominada *repetició no idèntica*, es tractava d'optimitzar el nivell de coneixement i la resposta als múltiples interrogants encara plantejats, com els intents per a establir una cronologia relativa alpina, qüestió sobre la qual destaca, a més a més, la confrontació entre especialistes. Pràcticament l'única via que no ens consta que es produís és la de la *serendipity* o casualitat, *rara avis*, que estranyament acompanya el científic, i que només es pot constatar en molt comptades ocasions, com en el descobriment de la penicilina per a Alexander Fleming, o del radio per els esposos Marie i Pierre Curie; però sí que es va produir un cert indicatiu de *serendipity* en l'estiu de 1995, en el que es va poder contemplar els fons del Corral del Veleta sense coberta de neu, permeten avançar en l'estudi del dinamisme subjacent.

Però continuem les aproximacions de caràcter procedimental. En metodologia científica, un cop cerclat l'objectiu, i per a plantejar el disseny adequat, resultat necessari adoptar una sèrie de decisions, i la primera d'aquestes fa referència al caràcter ideogràfic o nomotètic de l'estudi, que, retraduint, implicaria la contemplació de la seva singularitat, per a una

part, i la pluralitat d'unitats, per a una altra. També, a nivell macro, s'han seguit aquestes passes en la indagació sobre la irrupció del coneixement periglacial, on s'han plantejat la diatriba entre la hipotètica singularitat dels processos freds a Sierra Nevada *versus* l'extrapolació a la resta de muntanyes espanyoles.

Per a poder sustentar un enfocament que permeti establir comparacions amb altres sistemes muntanyosos, com el Pirineu Oriental, s'ha d'afinar la metodologia seguida, i aquí s'ha de destacar l'important paper jugat per la Universitat de Barcelona, i pel Dr. Antonio Gómez al capdavant d'un equip que ha configurat el panorama actual del glaciariisme i periglaciariisme de Sierra Nevada, així com el seu significat en l'evolució del paisatge de cims.

Als llocs de la matèria se'ns passa pel cap, per a dir-ho així, la perennitat i immanència d'aquest paisatge, així com el seu silenci i la seva austera presència. Però estem totalment equivocats. El sòlid avenç experimentat en el coneixement de la qüestió ens indica que hi ha processos, i, per tant, que es requereix un estudi diacrònic. Precisament el criteri envers la temporalitat (estudi puntual *versus* estudi al llarg del coneixement) constitueix la segona de les decisions a adoptar des de els canons metodològics.

En l'últim quarter de segle, segons ens ha il·lustrat el magnífic discurs del *recipiendari*, els enfocaments, mètodes i tècniques han patit una profunda renovació, alhora que es disposa d'una atmosfera disciplinar i institucional més propícia per portar a bon terme projectes novedosos i competitius. Una altra vegada, la fortalesa metodològica constitueix la pedra angular per a pretendre i procurar explicacions més potents. Les respostes als per què no s'esgoten per si mateixes, sinó que, al contrari, constitueixen els germen multiplicador que aviva nous interrogants i, conseqüentment, nous resultats.

Entre els nous interrogants se'ns han assenyalats diversos, com l'existència de les morfogènesis diferenciades, i precisament les investigacions portades pel Dr. Antonio Gómez han permès demostrar la variabilitat espacial—temporal de la dinàmica glacial i/o periglacial a Sierra Nevada. Constitueix una fita més, però no és l'única. S'ha estudiat

com en els últims vuit milions d'anys es conformaren els sectors de circs o forats dels barrancs, i, en definitiva, com s'han configurat els modelats que caracteritzen a Sierra Nevada, des de les altiplanícies als faldars, passant per les glaceres. És una cosa així com permetre'ns la incorporació d'una pel·lícula activada pels fets que resumeix i condensa milions d'anys d'immobilitat i invariabilitat.... Però no és tal, i hauríem de referir-nos a la "només aparent" immobilitat i invariabilitat. La immensa mola tan bellament descrita pels àrabs és el fruit d'una història i d'unes modificacions que l'han portat a la situació actual, la qual segurament no és l'última des de la immensa orquestra de l'Univers.

Aquesta incommensurabilitat ens porta a acabar amb una reflexió i reconeixement sobre la petitesa del ser humà i de la seva obra, si tenim en compte la grandiositat de la Natura i de les pàgines en las que es descriu la Historia. Història amb llums i ombres que ens han permès als investigadors treballar en la reconstrucció dels processos morfogènics freds en alçada aprofitant la tipicitat de Sierra Nevada, els quals s'estan completant en investigacions en curs al precisar-la en mitjans mediterranis, i mitjançant la implementació de nous recursos tècnics. Amb l'explicació científica actual s'instaura una nova etapa, que, qui sap, potser comença una nova pàgina en la història del passat "recent" d'uns quants milions d'anys, i que constitueix tot un repte investigador.

Sens dubte, tots hem après amb aquesta magnífica lliçó del Dr. Antonio Gómez. El seu interès, tenacitat i motivació són qualitats altament apreciades per aquesta Reial Acadèmia que joiosament li dóna la benvinguda i es congratula per tenir-lo entre els seus membres.

M. Teresa Anguera Argilaga

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

1. Sierra Nevada, montaña mediterránea singular..... 9

LOS GLACIARES DE SIERRA NEVADA. TEMA DE ESTUDIO GEOGRÁFICO

1. Interés geográfico del glaciarismo de Sierra Nevada..... 14
2. Conocimiento del glaciarismo nevadense: etapas significativas 17

EL DESCUBRIMIENTO DEL PAISAJE DE SIERRA NEVADA Y EN PARTICULAR EL DE SUS HIELOS Y GLACIARES EN LA LITERATURA DE ÉPOCA

1. La información procedente de crónicas y libros de viajeros
previos a la Ilustración..... 21
 - 1.1. REFERENCIAS EN ESCRITOS ÁRABES 21
 - 1.2. REFERENCIAS EN ESCRITOS QUE NARRAN LA REBELIÓN MORISCA
GRANADINA..... 24
2. Las noticias en libros de viajeros ilustrados 25
3. El descubrimiento glaciar de Sierra Nevada..... 30
 - 3.1. PRIMERAS DESCRIPCIONES CIENTÍFICAS: LA APORTACIÓN ROMÁNTICA
DE BOTÁNICOS, GEÓLOGOS Y GEÓGRAFOS A LO LARGO DEL SIGLO XIX..... 30
 - 3.2. EL DECISIVO PROGRESO: GEÓLOGOS Y GEÓGRAFOS SIENTAN LAS BASES
CIENTÍFICAS DE LA EXISTENCIA DE UN GLACIARISMO ACTUAL Y PASADO.... 35

EL GLACIARISMO NEVADENSE, EL MÁS MERIDIONAL DE EUROPA. SISTEMATIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO Y AVANCES SIGNIFICATIVOS A LO LARGO DEL SIGLO XX

1. La aportación de Hugo Obermaier 42
2. Desde Jean Dresch (1937) hasta René Lhenaff (1977): 40 años
de sólidas aportaciones..... 47
 - 2.1. LA IRRUPCIÓN DE NUEVAS IDEAS Y CONCEPTOS RELATIVOS
AL MODELADO DE REGIONES FRÍAS 48
 - 2.2. INCREMENTO DEL ESPACIO GLACIADO 51
 - 2.3. INTENTO DE ESTABLECER UNA CRONOLOGÍA RELATIVA ALPINA..... 52
3. Los progresos de Bruno Messerli..... 55
4. La irrupción del conocimiento periglacial 59

EL PANORAMA ACTUAL DEL CONOCIMIENTO: ENFOQUE GLOBAL O INTEGRADO Y MÉTODOS PLURIDISCIPLINARES

1. Hacia una explicación plural de la morfogénesis fría.....	64
2. Las formas de relieve de Sierra Nevada: nuevas ideas y nuevos hallazgos glaciares y periglaciares.....	65
3. Dinámica glacial: morfología de barrancos y cabeceras.....	68
3.1. LOS SECTORES DE CIRCOS	69
3.2. LOS SURCOS DE BARRANCOS	71
4. Dinámica periglacial: formas desarrolladas	75
4.1. EL MODELADO DE LAS ALTIPLANICIES CIMERAS: FIGURAS GEOMÉTRICAS HEREDADAS.....	76
4.2. GLACIARES ROCOSOS (ROCK GLACIERS)	79
4.3. MODELADO DE LADERAS: DEPÓSITOS TIPO GROIZE Y GRÈZE	81
5. Evolución morfológica cuaternaria.....	83
6. El glaciario histórico: la Pequeña Edad del Hielo	87
7. El mantenimiento de <i>permafrost</i> en Sierra Nevada.....	89
8. Procesos morfogénicos fríos arrinconados en las cumbres.....	91
8.1. MORFODINÁMICA DE PROCESOS Y FORMAS. IDEAS CLAVE.....	92

EPÍLOGO: SIERRA NEVADA, LABORATORIO PARA EL CONOCIMIENTO DE PROCESOS BIOFÍSICOS FRÍOS EN ALTURA

1. El Corral del Veleta: enclave privilegiado para el estudio de procesos fríos	98
1.1. RELACIONES ENTRE COBERTURA NIVAL-PERMAFROST Y FORMAS ASOCIADAS	98
1.2. PERMAFROST Y FORMACIÓN DE GLACIARES ROCOSOS.....	101
1.3. EVOLUCIÓN TÉRMICA DE LA CAPA ACTIVA	103
2. Reflexiones finales: conocer la Sierra, amar la Sierra	104
Referencias bibliográficas	106
DISCURSO DE CONTESTACIÓN	115

NOVES PUBLICACIONS DE LA REIAL ACADEMIA DE DOCTORS

Directori 1991.

Los tejidos tradicionales en las poblaciones pirenaicas (Discurs de promoció a acadèmic numerari de l'Excm.Sr. Eduardo de Aysa Satué, Doctor en Ciències Econòmiques, i contestació per l'Excm.Sr. Josep Antoni Plana i Castellví, Doctor en Geografia i Història), 1992.

La tradición jurídica catalana (Conferència magistral del acadèmic de número Excm.Sr. Josep Joan Pintó i Ruiz, Doctor en Dret, en la Solemne Sessió d'apertura de curs 1992-93, que fou presidida per SS.MM. el Rei Joan Carles I i la Reina Sofia), 1992.

La identidad étnica (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Angel Aguirre Baztan, Doctor en Filosofia i Lletres, i contestació per l'Excm.Sr. Josep M. Pou d'Avilés, Doctor en Dret), 1993.

Els laboratoris d'assaig i el mercat interior; Importància i nova concepció (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Pere Miró i Plans, Doctor en Ciències Químiques, i contestació per l'Excm.Sr. Josep M^a Simón i Tor, Doctor en Medicina i Cirurgia), 1993.

Contribución al estudio de las Bacteriemias (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Il.lm.Sr. Miquel Mari i Tur, Doctor en Farmàcia, i contestació per l'Excm.Sr. Manuel Subirana i Cantarell, Doctor en Medicina i Cirurgia), 1993.

Realitat i futur del tractament de la hipertròfia benigna de pròstata (Discurs de promoció a acadèmic numerari de l'Excm.Sr. Joaquim Gironella i Coll, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'Excm.Sr. Albert Casellas i Condom, Doctor en Medicina i Cirurgia i President del Col·legi de Metges de Girona), 1994.

La seguridad jurídica en nuestro tiempo. ¿Mito o realidad? (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. José Méndez Pérez, Doctor en Dret, i contestació per l'Excm.Sr. Angel Aguirre Baztán, Doctor en Filosofia i Lletres), 1994.

La transició demogràfica a Catalunya i a Balears (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Tomàs Vidal i Bendito, Doctor en Filosofia i Lletres, i contestació per l'Excm.Sr. Josep Ferrer i Bernard, Doctor en Psicologia), 1994.

L'art d'ensenyar i d'aprendre (Discurs de promoció a acadèmic numerari de l'Excm.Sr. Pau Umbert i Millet, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'Excm.Sr. Agustín Luna Serrano, Doctor en Dret), 1995.

Sessió necrològica en record de l'Excm.Sr. Uuís Dolcet i Buxeres, Doctor en Medicina i Cirurgia i Degà emèrit de la Reial Acadèmia de Doctors, que morí el 21 de gener de 1994. Enaltíren la seva personalitat els acadèmics de número Excms.Srs.Drs. Ricard García Vallès, Josep M^a Simón i Tor i Albert Casellas i Condom. 1995.

La Unió Europea com a creació del geni polític d'Europa (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Jordi Garcia-Petit i Pàmies, Doctor en Dret, i contestació per l'Excm.Sr. Josep Lliot i Brull, Doctor en Ciències Econòmiques), 1995.

La explosión innovadora de los mercados financieros (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Il.lm.Sr. Emilio Soldevilla García, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresariales, i contestació per l'Excm.Sr. José Méndez Pérez, Doctor en Dret), 1995.

La cultura com a part integrant de l'Olimpisme (Discurs d'ingrés com acadèmic d'honor de l'Excm.Sr. Joan Antoni Samaranch i Torelló, Marquès de Samaranch, i contestació per l'Excm.Sr. Jaume Gil i Aluja, Doctor en Ciències Econòmiques), 1995.

Medicina i Tecnologia en el context històric (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Felip Albert Cid i Rafael, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'Excm.Sr. Angel Aguirre Baztán, Doctor en Filosofia i Lletres) 1995.

Els sòlids platònics (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numerària Excm.Sra. Pilar Bayer i Isant, Doctora en Matemàtiques, i contestació per l'Excm.Sr. Ricard Garcia i Vallès, Doctor en Dret) 1996.

La normalització en Bioquímica Clínica (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Xavier Fuentes i Arderiu, Doctor en Farmàcia, i contestació per l'Excm.Sr. Tomàs Vidal i Bendito, Doctor en Geografia) 1996.

L'entropia en dos finals de segle (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. David Jou i Mirabent, Doctor en Ciències Físiques, i contestació per l'Excm.Sr. Pere Miró i Plans, Doctor en Ciències Químiques) 1996.

Vida i música (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Carles Ballús i Pascual, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'Excm.Sr. Josep M^a Espadaler i Medina, Doctor en Medicina i Cirurgia) 1996.

La diferencia entre los pueblos (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Il.lm.Sr. Sebastià Trías Mercant, Doctor en Filosofia i Lletres, i contestació per l'Excm.Sr. Angel Aguirre Baztán, Doctor en Filosofia i Lletres) 1996.

L'aventura del pensament teològic (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Josep Gil i Ribas, Doctor en Teologia, i contestació per l'Excm.Sr. David Jou i Mirabent, Doctor en Ciències Físiques) 1996.

El derecho del siglo XXI (Discurs d'ingrés com acadèmic d'honor de l'Excm.Sr.Dr. Rafael Caldera, President de Venezuela, i contestació per l'Excm.Sr. Angel Aguirre Baztán, Doctor en Filosofia i Lletres) 1996.

L'ordre dels sistemes desordenats (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Josep M^a Costa i Torres, Doctor en Ciències Químiques, i contestació per l'Excm.Sr. Joan Bassegoda i Nonell, Doctor Arquitecte) 1997.

Un clam per a l'ocupació (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Isidre Fainé i Casas, Doctor en Ciències Econòmiques, i contestació per l'Excm.Sr. Joan Bassegoda i Nonell, Doctor Arquitecte) 1997.

Rosalía de Castro y Jacinto Verdaguer, visión comparada (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Jaime Manuel de Castro Fernández, Doctor en Dret, i contestació per l'Excm.Sr. Pau Umbert i Millet, Doctor en Medicina i Cirurgia) 1998.

La nueva estrategia internacional para el desarrollo (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Santiago Ripol i Carulla, Doctor en Dret, i contestació per l'Excm.Sr. Joaquim Turonella i Coll, Doctor en Medicina i Cirurgia) 1998.

El aura de los números (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra, Doctor Enginyer de Camins, Canals i Ports, i contestació per l'Excm.Sr. David Jou i Mirabent, Doctor en Ciències Físiques) 1998.

Nova recerca en Ciències de la Salut a Catalunya (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numeraria Excm.Sra. Anna M^a Carmona i Cornet, Doctora en Farmàcia, i contestació per l'Excm.Sr. Ricard Garcia i Vallès, Doctor en Dret) 1998.

Dilemes dinàmics en l'àmbit social (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Albert Biayna i Mulet, Doctor en Ciències Econòmiques, i contestació per l'Excm.Sr. Josep Ma. Costa i Torres, Doctor en Ciències Químiques) 1999.

Mercats i competència: Efectes de liberalització i la desregulació sobre l'eficàcia econòmica i el benestar (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Amadeu Petitó i Juan, Doctor en Ciències Econòmiques, i contestació per l'Excm.Sr. Jaime M. de Castro Fernández, Doctor en Dret) 1999.

Epidemias de asma en Barcelona por inhalación de polvo de soja (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numeraria Excm.Sra. M^a José Rodrigo Anoro, Doctora en Medicina, i contestació per l'Excm.Sr. Josep Llori i Brull, Doctor en Ciències Econòmiques) 1999.

Hacia una evaluación de la actividad cotidiana y su contexto: ¿Presente o futuro para la metodología? (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numeraria Excm.Sra. Maria Teresa Anguera Argilaga, Doctora en Filosofia i Lletres (Psicologia) i contestació per l'Excm.Sr. Josep A. Plana i Castellví, Doctor en Geografia i Història) 1999.

Directorí 2000.

Génesis de una teoría de la incertidumbre. Acte d'imposició de la Gran Creu de L'Orde d'Alfons X el Savi a l'Excm.Sr. Jaume Gil i Aluja, Doctor en Ciències Econòmiques i Financeres. 2000

Antonio de Capmany: el primer historiador moderno del Derecho Mercantil (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Xabier Añoveros Trias de Bes, Doctor en Dret, i contestació per l'Excm.Sr. Santiago Dexeus i Trias de Bes, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2000.

La medicina de la calidad de vida (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Luís Rojas Marcos, Doctor en Psicologia, i contestació per l'Excm.Sr. Angel Aguirre Baztán, Doctor en Psicologia) 2000.

Pour une science touristique: la tourismologie (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent, Il.lm.Sr. Jean-Michel Hoerner, Doctor en Lletres i President de la Universitat de Perpinyà, i contestació per l'Excm.Sr. Jaume Gil-Aluja, Doctor en Ciències Econòmiques) 2000.

Virus, virus entèrics, virus de l'hepatitis A (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Albert Bosch i Navarro, Doctor en Ciències Biològiques, i contestació per l'Excm.Sr. Pere Costa i Batllori, Doctor en Veterinària) 2000.

Mobilitat urbana, medi ambient i automòbil. Un desafiament tecnològic permanent. (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Pere de Esteban Altirriba, Doctor en Enginyeria Industrial, i contestació per l'Excm.Sr. Carlos Dante Heredia García, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2001.

El rei, el burgès i el cronista: una història barcelonina del segle XIII (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. José Enrique Ruiz-Domènec, Doctor en Història, i contestació per l'Excm.Sr. Felip Albert Cid i Rafael, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2001.

La informació, un concepte clau per a la ciència contemporània (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Salvador Alsius i Clavera Doctor en Ciències de la Informació, i contestació per l'Excm.Sr. Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra, Doctor en Enginyeria de Camins, Canals i Ports) 2001.

La drogaaddicció com a procés psicobiològic (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Miquel Sánchez-Turet, Doctor en Ciències Biològiques, i contestació per l'Excm.Sr. Pedro de Esteban Altirriba, Doctor en Enginyeria Industrial) 2001.

Un univers turbulent (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Jordi Isern i Vilaboy, Doctor en Física, i contestació per l'Excm.Sra. Ma. Teresa Anguera i Argilaga, Doctora en Psicologia) 2002.

L'envelliment del cervell humà (Discurs de promoció a acadèmic numerari de l'Excm.Sr.Dr. Jordi Cervós i Navarro, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'Excm.Sr. Josep Ma. Pou d'Avilés, Doctor en Dret) 2002.

Les telecomunicacions en la societat de la informació (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Àngel Cardama Aznar, Doctor en Enginyeria de Telecomunicacions, i contestació per l'Excm.Sr. Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra, Doctor en Enginyeria de Camins, Canals i Ports) 2002.

La veritat matemàtica (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Josep Pla i Carrera, Doctor en Matemàtiques, i contestació per l'Excm.Sr. Josep Ma. Costa i Torres, Doctor en Ciències Químiques) 2003.

L'humanisme essencial de l'arquitectura moderna (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Helio Piñón i Pallarès, Doctor en Arquitectura, i contestació per l'Excm.Sr. Xavier Añoveros i Trías de Bes, Doctor en Dret) 2003.

De l'economia política a l'economia constitucional (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Joan Francesc Corona i Ramon, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresariales, i contestació per l'Excm.Sr. Xavier Iglesias i Guíu, Doctor en Medicina) 2003.

Temperància i empatia, factors de pau (Conferència dictada en el curs del Cicle de la Cultura de la Pau per el Molt Honorable Senyor Jordi Pujol, President de la Generalitat de Catalunya, 2001) 2003.

Reflexions sobre resistència bacteriana als antibiòtics (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numerària Excm.Sra. Ma. de los Angeles Calvo i Torras, Doctora en Farmàcia i Veterinària, i contestació per l'Excm.Sr. Pere Costa i Batllori, Doctor en Veterinària) 2003.

La transformación del negocio jurídico como consecuencia de las nuevas tecnologías de la información (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Rafael Mateu de Ros, Doctor en Dret, i contestació per l'Excm.Sr. Jaime Manuel de Castro Fernández, Doctor en Dret) 2004.

La gestión estratégica del inmovilizado (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numerària Excm.Sra. Anna Maria Gil Lafuente, Doctora en Ciències Econòmiques i Empresariales, i contestació per l'Excm.Sr. Josep J. Pintó i Ruiz, Doctor en Dret) 2004.

Los costes biológicos, sociales y económicos del envejecimiento cerebral (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm.Sr. Félix F. Cruz-Sánchez, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'Excm.Sr. Josep Pla i Carrera, Doctor en Matemàtiques) 2004.

La Reial Acadèmia, bo i respectant com
a criteri d'autor les opinions exposades en
les seves publicacions, no se'n fa
responsable ni solidària.

© Reial Acadèmia de Doctors
Impressió: Imprenta Baltasar 1861
Tels. 93 346 91 52 – 93 346 92 06
08030 Barcelona
Tiratge: 500 exemplars

ISBN: 84-688-6464-1
Dipòsit Legal: B-24148-2004

