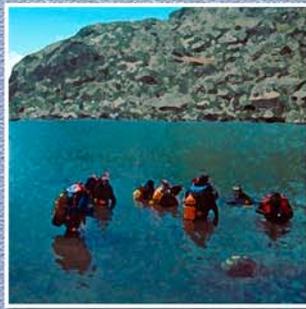
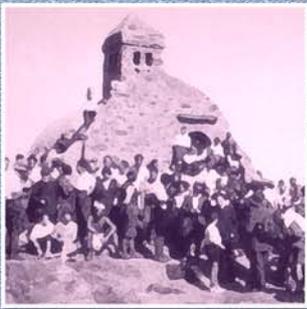


Quintas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular

Volumen I

75 años de protección



Indice

Volver a la
presentación

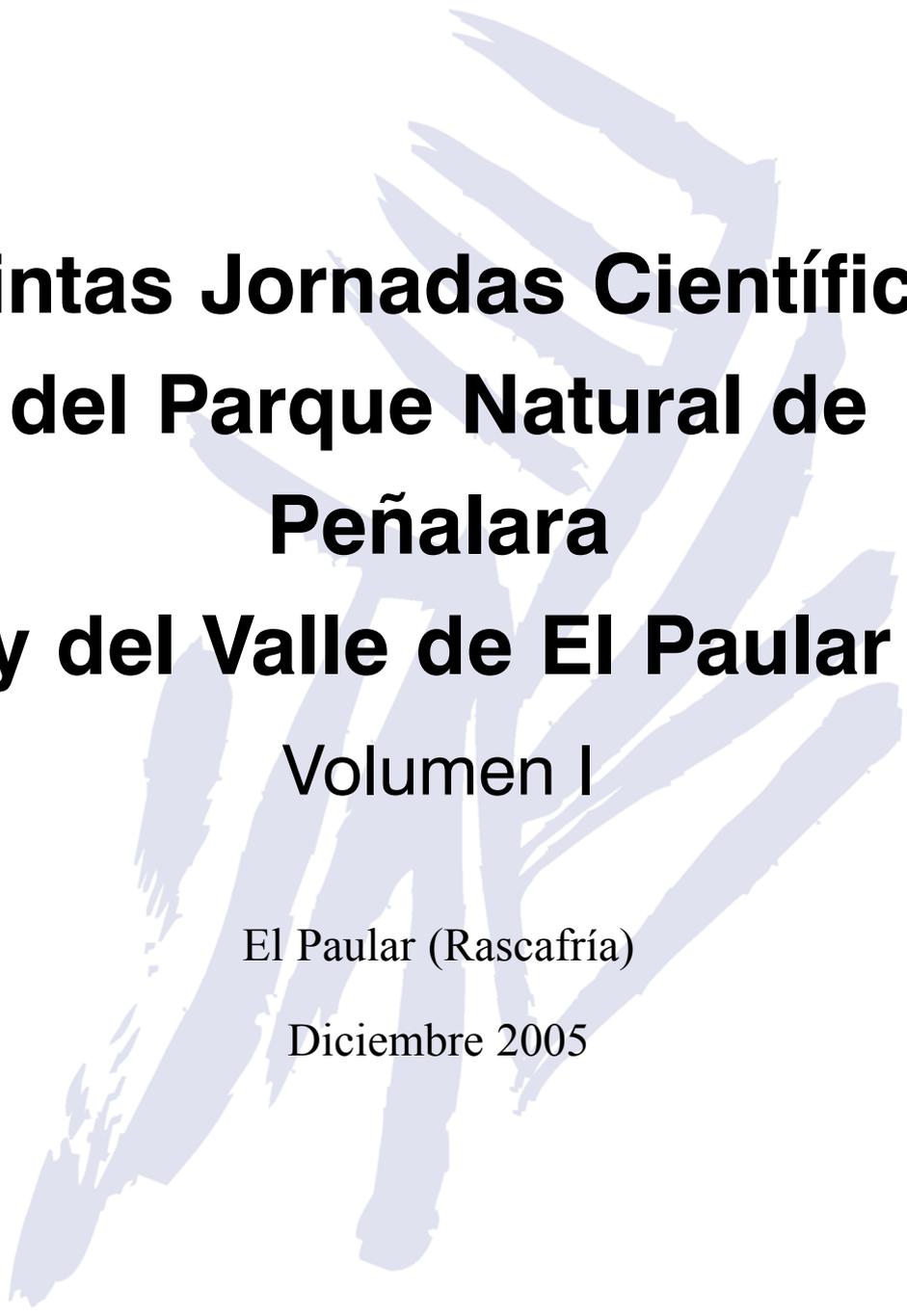


CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Comunidad de Madrid



PARQUE NATURAL DE PEÑALARA
Cumbre, Círculo y Lagunas



Quintas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular Volumen I

El Paular (Rascafría)

Diciembre 2005



CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE
Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Comunidad de Madrid

PUENTE DEL PERDÓN



CENTRO DE GESTIÓN
E INVESTIGACIÓN



PARQUE NATURAL DE PEÑALARA
Cumbre, Cauce y Lagunas

Equipo de trabajo de esta edición:

Coordinación:
Servicio de Espacios Naturales Protegidos

Dirección técnica:
Juan Antonio Vielva Juez
Director - Conservador del Parque Natural de Peñalara

Equipo técnico:
Luis Navalón Blanch
Ignacio Granados Martínez



Edita: Dirección General del Medio Natural
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Comunidad de Madrid



© Textos y fotografías: Ponentes de las Quintas Jornadas Científicas del
Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular

Depósito Legal: -2007
Imprime: Gráficas J. Sánchez de Guadarrama, s.l.

Tirada: 1000 ejemplares
Fecha de edición: mayo 2007

Impreso en papel reciclado libre de cloro

PRESENTACIÓN

Tengo el placer de presentar el libro de las Quintas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y el Valle de El Paular, una publicación que continúa la serie iniciada en 1998 y recoge las distintas aportaciones a los encuentros realizados en diciembre de 2005 en Rascafría.

En aquella ocasión las Jornadas coincidieron con el 75 aniversario de la declaración del macizo de Peñalara, como espacio protegido, declarado en 1930 Sitio Natural de Interés Nacional de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara y, posteriormente, a partir de 1990 Parque Natural.

En el marco de esta histórica protección, durante las Jornadas se contó con las reflexiones de reconocidos expertos y profesionales del Medio Ambiente, sobre el papel jugado por Peñalara en la protección de la Sierra de Guadarrama, junto con la colaboración de los investigadores que han venido realizando estudios básicos o aplicados para mejorar el conocimiento de los ecosistemas de alta montaña de la Sierra de Guadarrama.

En este sentido, los objetivos de las jornadas fueron presentar, debatir y divulgar el conocimiento y las herramientas de gestión que se están generando para que la protección efectiva de Peñalara y, por lo tanto, de la Sierra del Guadarrama, de la que es su corazón, continúe durante muchos años más.

El presente libro recoge, así, una valiosa información sobre el estado y el funcionamiento ecológico de aspectos muy interesantes de este valle que, sin duda, redundará en una mejor gestión de este Espacio Natural Protegido

Mariano Zabía Lasala

*Consejero de Medio Ambiente
y Ordenación del Territorio
de la Comunidad de Madrid*

ÍNDICE

Las dos barajas de la montaña	7
Conferencia Inaugural Eduardo Martínez de Pisón Departamento de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Autónoma de Madrid	
Fundamentos del pastoralismo: Aspectos ambientales. Procesos de fosilización	17
José Miguel Montoya Oliver Departamento de Silvopascicultura. E.T.S.I. Montes. Universidad Politécnica de Madrid	
75 años de protección de Peñalara: Peñalara en el centro de la protección de la Sierra	23
Francisco Sánchez-Herrera Herencia Jefe del Servicio de Espacios Naturales Protegidos. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid.	
Antecedentes y comentarios sobre la declaración de Peñalara como Parque Natural	27
Federico Zamora Martínez Jefe de Sección de Espacios Naturales Singulares. Servicio de Espacios Naturales Protegidos. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid.	
Meteorología de montaña en el Parque Natural de Peñalara	29
Luis Durán Montejano Departamento de Física y Matemática. Universidad Europea de Madrid	
¿Cómo cambiará la laguna Grande de Peñalara frente al cambio climático?	43
Ignacio Granados Centro de Investigación y Gestión del Puente del Perdón. Parque Natural de Peñalara	
Actuaciones recientes para la conservación de los anfibios de Peñalara	53
Jaime Bosch Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC	
Seguimiento de las poblaciones de corzo en el Parque Natural de Peñalara y Valle de El Paular	67
Fernando Horcajada Sánchez Centro de Investigación y Gestión del Puente del Perdón. Parque Natural de Peñalara	
Cartografía de la vegetación del Parque Natural de Peñalara y su Zona Periférica de Protección: una herramienta para la gestión	83
José Luis Izquierdo Centro de Investigación y Gestión del Puente del Perdón. Parque Natural de Peñalara	
Relación entre dinámica nival y erosión en el Parque Natural de Peñalara y áreas próximas	95
David Palacios Estremera y Nuria Andrés de Pablo Departamento Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Facultad de Geografía e Historia. Universidad Complutense de Madrid	
Influencia de la cubierta nival en el microclima y en la vegetación de alta montaña del Parque Natural de Peñalara	139
Ana Pintado y Leopoldo G. Sancho Departamento de Biología Vegetal II. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid	
Plantas de alta montaña mediterránea ¿cómo enfrentarse al cambio climático?	149
Luis Giménez-Benavides, Raúl García Camacho y Adrián Escudero Área de Biodiversidad y Conservación. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología Universidad Rey Juan Carlos.	
Ecología de ríos: el papel de los macroinvertebrados del Lozoya	159
Jose M. González Área de Biodiversidad y Conservación. ESCET. Universidad Rey Juan Carlos.	
Clausura de las Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular	169
Antonio Hernando Director del Instituto de Magnetismo Aplicado de Madrid. Catedrático de Magnetismo. Universidad Complutense de Madrid	



LAS DOS BARAJAS DE LA MONTAÑA

CONFERENCIA INAUGURAL

EDUARDO MARTÍNEZ DE PISÓN

*Departamento de Geografía
Facultad de Filosofía y Letras
Universidad Autónoma de Madrid
28049 Cantoblanco. Madrid*

“El paisaje es un lenguaje, y el lenguaje es un paisaje... Lo que nos enseña, recreándonos –y nos re-crea enseñándonos a ser hombres-, el contemplar la Naturaleza como historia y la historia como Naturaleza, el paisaje como lenguaje y el lenguaje como paisaje, las pedrizas como castillos y los castillos como pedrizas, y sentir cómo Dios, el Supremo Solitario y Hacedor, juega a sus solitarios con las dos barajas, la natural y la racional, barajustándolas y desbarajustándolas arreo”.

Miguel de Unamuno. *Paisajes del alma.*

INTRODUCCIÓN

Y añadía el maestro en otro artículo recogido en el mismo libro: “El espíritu, el pneuma, el alma histórica no se hace sino sobre el ánimo, la psique, el alma natural, geográfica y geológica si se quiere”. Entremos en este juego con nuestras montañas y, entre ellas, con Peñalara, para incluirla con méritos sobrados en un conjunto donde se cruzan con calidad naturaleza e historia, espíritu o cultura y materias geográficas.

Ocurre que, en toda realidad y noción geográficas, se reúnen lo concreto y lo general, lo territorial y lo cultural, lo local y lo universal, en mutuas referencias. Así Peñalara es su entidad orográfica circunscrita, pero es lo que es inevitablemente como macizo del Guadarrama y hasta como montaña del mundo. El encuentro de ambas direcciones es el punto correcto de entendimiento. El ir y venir entre ellas es el método más sugerente.

Naturalmente, todos los sitios tienen su carácter propio, que es su dimensión local. Pero ¿tienen todos dimensión universal? Conviene, si hay duda, hacer un movimiento explícito de participación en lo general. Hay lugares que contribuyen a lo universal y otros que parecen acantonados en su localidad. Esa contribución no sólo se tiene sin más, sino que se crea, se produce, se alcanza. Esa posibilidad requiere una producción por ejemplo literaria, científica, artística, histórica que logra tal nivel. El Guadarrama también lo logró, aun-

que tarde. Pero la participación expresa en los caracteres universales, en los patrones culturales de las montañas también impregna a cada una de sus expresiones particulares. ¿Acaso Peñalara no está teñida a su modo de las cualidades generales aprendidas y expresadas en el Mont Blanc?

En efecto, todo está localizado, las cosas y las vidas. En el mismo proceso de universalización, en la misma idea de globalización, el soporte es, necesariamente, la trama extensa de un sinfín de nudos locales. Todo toma cuerpo en lo local, se materializa, se inscribe en lugares. Lo visible es local. Pero, sin normas ni redes, la realidad tangible estaría descosida, sería un caos de células disociadas. También la historia se concreta en procesos locales y específicos y su carácter universal es una constelación de puntos en cambios concatenados. Pero igualmente los procesos generales influyen y hasta gobiernan los locales. Hasta tal punto que lo local aparece como materialización y hasta petrificación de lo universal. Las grandes corrientes rozan con la materia, concrecionan y hasta se retrasan y detienen en ella.

Los horizontes limitados participan en el gran panorama del mundo. Son modalidades individuales de materias, leyes y procesos generales de los que dependen y a los que dan cuerpo en mutuas influencias.



Lo universal permite el juicio, la razón, lo explicativo. Agrupa, compone, estructura, da pertenencia, amplía y establece campos compuestos en el que las cosas se juntan, disponen, comunican, participan y relacionan. Es el sentido de las cosas con radio largo: en el espacio y en el tiempo. Lo geográfico de orden universal se establece así en categorías fluentes, no en parcelas solidificadas.

Lo local son las letras; lo universal, la escritura. Cualquier mirada al mundo debe trabajar en ambas dimensiones conjuntamente y en todas las intermedias que las enlazan, en ambas direcciones, de la letra a la literatura y vuelta. Peñalara y el mundo, el mundo y Peñalara, la piedra de la cumbre y el roquedo terrestre, el pico y la cordillera, el Parque de Peñalara y la conservación de la naturaleza, el paisaje físico y el sentimiento de la montaña.

Pues bien, últimamente he trabajado tanto en lo local, he escrito tanto sobre cada átomo del Guadarrama, he pensado tanto sobre cada elemento del Guadarrama en sí y en su conjunto y en su participación posible en cuadros mayores, que el espíritu abierto de esta celebración parecía pedirme un viaje por aquello de general que tiene cada montaña y particularmente ésta, tan simbólica, como una petición de sentido final de la Sierra. Si es un honor no pequeño hacer de motor de arranque de esta reunión que celebra a través de la ciencia los 75 años de protección de la cima del Guadarrama –bien es verdad que no sin vaivenes–, pienso que debo acometerlo con tono optimista, afectivo, animoso y abierto al futuro, a un futuro que los mejores tiempos de Peñalara nos han enseñado a buscar. Celebremos, pues, la Sierra y su protección. Hagámoslo en una aproximación explícita de los campos convergentes que permiten pensar en Peñalara tácitamente como montaña de Europa, como una de sus decantaciones locales y una de sus aplicaciones universales. Así lo es en la ciencia, en el arte, en el excursionismo, en la protección que resulta de las actividades anteriores y, en síntesis de todas ellas, en la cultura. Hoy, de un modo o de otro, no hay montaña a la que no concierna tal patrón cultural.

Pero, como abordar tanto asunto sería más objeto de una tesis que de una conferencia, contentémonos aquí con un bosquejo rápido sobre la marcha, con incitar a inmersiones mayores. Hablemos de Europa y pensemos en el Guadarrama.

EL MARCO

La admiración por la montaña y su expresión cultural se alcanzaron y consolidaron muy tarde en Europa. Tuvieron atisbos renacentistas, sin duda llamativos, crecieron y se afianzaron en la Ilustración y adquirieron primero fondo y luego fama progresiva en el Romanticismo. No sólo corresponden a un avance moderno de la civilización sino que éste pertenece claramente a la apertura al mundo propia del siglo XVI, a su contemplación racional y filosófica del XVIII y al avance de la ciencia y del arte característico del XIX. No es, pues, un hecho marginal o secundario: se tiñe de corrientes culturales fundamentales e incluso las nutre sustancialmente.

Aquí, por fortuna, pasó el ilustrado Jovellanos y, aunque solo, contempló el valle del Lozoya con admiración, enlazando su sentir con el de sus contemporáneos alpinos. Pero en los Alpes, en cambio, fueron muchos los que tradujeron sus sensaciones y experiencias a palabras y sus escritos tuvieron difusión y trascendencia superiores.

Los invisibles compañeros de Jovellanos son quienes, desde principios del siglo XVIII, avivaron un movimiento imparable de aproximación a la naturaleza, cercano a su concepción de la libertad y de la enseñanza, ligado a su ansia por saber y a un nuevo canon de la belleza de mundo. Poemas a los Alpes muy conocidos que expresan ya el sentimiento ilustrado y pre-romántico de la montaña, como los de Haller en 1732 o de Keats en 1763 o de Roucher en 1779, emparentan con el intimismo de sus versos al valle del Lozoya, que destacan el orden armonioso de la naturaleza. La naturaleza es ya grata y sabia: el ameno



Peñalara en invierno. Símbolo montañoso y culminación de la Sierra de Guadarrama.

valle, el claro río, la deleitosa sombra, los frondosos y altos montes, todo es complaciente. Se expresa una percepción entonces nueva, donde el sosiego está en la montaña y el desasosiego en el interior del poeta.

Desde el último decenio del siglo XVII, pero sobre todo en el primer cuarto del XVIII, la actividad y la obra de Johann Jacob Scheuchzer abrieron los caminos de los Alpes al conocimiento naturalista sobre el terreno, a la afición viajera y a la enseñanza directa de la montaña, particularmente con la publicación en 1723 de su *Itinera per Helvetiae alpinas regiones*. “Descubriendo la montaña” es el adecuado título de un lúcido trabajo sobre Scheuchzer publicado recientemente por M. Torres Santo Domingo en la *Asociación Española de Bibliografía*. Es el inicio de una corriente, ya asentada, que llega sin interrupción hasta nosotros en casi todas las facetas que abrió entonces y que aún persisten.

Hay montañas que conservan la fascinación añadida de ser albergues de mitos, aunque la mayoría los han ido perdiendo o, por haber sido dilucidadas en época contemporánea, se nos han entregado ya exclusivamente racionalizadas. En el quinto viaje de los *Itinera* todavía quedan referencias a monstruos y dragones habitando los recodos ocultos de los Alpes. La montaña de la razón aún tiene aquí un residuo de los rasgos míticos que han resistido más tiempo en el Atlas o en el Himalaya. El lugar desconocido es un lugar fantástico y acaso aterrador en las sociedades precientíficas. Por ejemplo, un viajero navarro, Miguel de Learte, en un relato de ascensión al Teide en 1750 –rescatado por F. J. Castillo y G. Díaz en la *Revista de Filología*– hace referencia a la creencia local en la existencia de “muchos feroces animales, principalmente culebras muy grandes”, que espantaban a los que recorrían la laurisilva, bosque donde los haya desprovisto de peligros y de alimañas. La laguna de nuestra montaña no ha sido ajena a estas percepciones populares arcaicas



Reunión de sabios y artistas, con sus guías, a mediados del siglo XIX en una morrena alpina. De izquierda a derecha: un pintor, un botánico, un geólogo y un geógrafo. (Según pintura de M. Disteli).

–hay media docena de leyendas sobre ella, alguna literariamente atractiva– e incluso en el XVIII fue escenario de uno de los cantos del conocido *Poema de la Caza* de Moratín, composición artificiosa de mera resonancia mitológica con náyades, ninfas y otros recursos cultistas que hoy provocan más perplejidad que emoción. De “atrevida hipérbole” lo calificaron ajustadamente Breñosa y Castellarnau hace ya bastantes años. Siempre quedará la alusión a su viejo nombre clásico, “Canato”, el monte encanecido por la nieve, y la mención de su paso al que ha resistido el tiempo, sea por “Peña de Lara” (por la estirpe de los Lara) o “Peña del Ara” (por el valle del Lozoya) o por “Peñalar” (por la mole pétreo que lo forma).

La utilización como recurso pedagógico o, mejor, educativo del paisaje de montaña fue, por tanto, tempranamente propuesta y aplicada por Scheuchzer. Continuó en las academias suizas como algo normalizado y adquirió celebridad en la Europa del siglo XIX con los alegres relatos de R. Töpffer –*Voyages en zigzag*– de sus excursiones escolares. A fines de ese siglo será en el Guadarrama la Institución Libre de Enseñanza la que incorpore esta práctica como símbolo concreto de una adscripción europeísta más amplia. Con las recomendaciones de Rousseau, tanto de incitación moral más general al viaje alpino como de orden estrictamente educador adquirió tal propuesta un carácter trascendente, que tampoco estaba en segundo plano en las ensoñaciones de tantos paseantes solitarios y, en concreto en el excursionismo institucionista, que tenían en El Paular su referencia más acentuada.



Grabado del siglo XIX: alpinistas tomando nota de un dato barométrico sobre el terreno

Con la exploración científica de la alta montaña, que es a la vez indisolublemente montañera, aunque hay que esperar a los años finales del XVIII, entre 1786 y 1802 (entre las cumbres de Mont Blanc y de Monte Perdido) para que fragüe su gran momento, se consolida este movimiento cultural completo, adquiere verdadera entidad y queda afectado todo el volumen de la montaña del valle más bajo a la cima más alta.

Siempre la cumbre mayor tiene un papel simbólico y representativo de toda la cadena, que aquí es lo que significa Peñalara en el Guadarrama: es, en este sentido, nuestro Mont Blanc o lo que aún se creía extensamente que significaba Monte Perdido en el Pirineo a fines del Siglo de las Luces. No tenemos nuestro de Saussure ni nuestro Ramond en Peñalara, porque no es cumbre alta, escondida, remota o difícil que requiriera un conquistador ilustrado, pero podemos proponerlo, nuevamente con algún retraso, más por su significado que por ser su pionero: por ejemplo, entre otros, Gila, de Prado, Cortázar, Breñosa o Castellarnau –quizá preferentemente este último por todo su contenido añadido y algo olvidado– y, más tarde, Obermaier o Bernaldo de Quirós ¿Quién fue el primer ascensionista anónimo de Peñalara? No es posible saberlo, por su accesibilidad manifiesta: probablemente un pastor o un cazador y tal vez hace milenios ¿Por qué entonces Castellarnau? Me complace hacerlo porque es el sabio que esperó a Giner tras su célebre travesía montañera, como el hombre del Guadarrama que acoge al que también llega con la ropa impregnada por el aroma de las plantas serranas, y porque en su guía de 1884 sobre San Ildefonso con Rafael Breñosa propone ya la excursión a su laguna y a su cumbre, situada en la “región alpina”, “cubierta de nieve la mayor parte del año”, donde suele nevar “desde últimos de setiembre a primeros de junio (no obstante, de Prado ponía en 1864 la estación nival serrana más limitada, de noviembre a

abril), sin que por eso el pico de Peñalara alcance el límite de las nieves perpetuas, que debería estar 560 metros más alto”, lugar que da hacia Madrid con fuertes pendientes y grandes peñascos. Una excursión de seis o de nueve horas, según se tome, descrita con la sencillez de quien la domina. Por lo tanto, además del reconocimiento a de Prado, a Gila, a Breñosa, a Giner y a otros muy merecedores de recuerdo, demos en esta ocasión a Castellarnau el símbolo sin pretendiente de Peñalara. Tampoco fue Humboldt el primero que subió al Teide, pero es una gloria para ambos unir el nombre del soberbio volcán al del científico que abrió tantos caminos al saber.

La admiración por la montaña se extendió con la expansión de ilustración y romanticismo, unas veces más rápida y otras más lenta. Pero donde tuvo su fuente lo hizo a través de primeras figuras, como Goethe, Senancour, Byron o Liszt. El correr del siglo XIX fue fundamental en el viaje alpino, camino de las maravillas de la naturaleza, no sólo en mundos exóticos y lejanos sino al lado de casa. El “nuevo mundo” del siglo XVIII y aún del XIX estaba suspendido, muy cercano, en los Alpes y el Pirineo: había que conocerlo, nombrarlo, describirlo y pintarlo; su recorrido era exaltante y contenía el placer de la aventura. Entrar en él era sentirse transportado. Era aventurarse por los extraños territorios de roquedos y glaciares en el interior del reino de las tormentas y participar en el gran espectáculo de las cumbres. Se ha dicho que la montaña fue, por tanto, el espacio característico de inspiración de la cultura romántica. Sin romanticismo mal puede así entenderse la montaña y sin ésta sólo puede dar aquél una parte exigua de sí mismo. Cuando algo falla en esta relación podemos decir que ese episodio cultural está mutilado. Creo que podemos aplicárnoslo.



Goethe



Byron

Se tiene constancia del temprano turismo de montaña en Chamonix, donde en 1785 había ya tres posadas para acoger a los que acudían a visitar los glaciares del Mont Blanc. Pintores como Pars reflejaron sus paisajes para los ingleses o el mismo Goethe acudió a visitar los hielos alpinos en 1799. Laborde escribía, por ejemplo, en 1790, remachando el clavo: “La visita a los glaciares es la más agradable que puedan hacer el naturalista, el pintor, el físico y el filósofo”. Algún autor romántico habló del “prestigio de lo sublime” para resaltar el valor de tales parajes. Hacia 1816 Shelley, tras la impresión recibida por la vista de un glaciar, hablaba de su “sentimiento de éxtasis maravillado” ante los Alpes inmensos, “como otro mundo que ilumina el nuestro... parecen más un sueño que una realidad”. Byron irá un punto más allá cuando expresa en 1816 lo siguiente, que indica una nueva actitud ante el paisaje natural: “cielos, montañas, ríos, vientos, lagos, yo tengo un alma capaz de comprenderos”. “Para mí las altas montañas son como un sentimiento... Amo la naturaleza y la belleza”. “Por encima de mí se elevan los Alpes, esos palacios de la Naturaleza cuyas murallas inmensas colocan las cimas nevadas en las nubes. Allí, bajo las bóvedas de hielo de sublime inalterabilidad, reside lo Eterno. El alud, ese rayo de nieve, nace y cae. Todo lo que engrandece y sacude el alma está reunido en esas cimas”. Incluso hay, de modo excepcional, unas frases de un geólogo español, C. de Gimbernat, muy tempranas, de 1803, en elogio de los Alpes donde realizaba entonces sus estudios: “El placer que resulta de examinar la estructura de una de las principales cordilleras del antiguo continente, y de contemplar el grande y admirable espectáculo, que la vista descubre desde sus cimas, recompensa todas las incomodidades, y hace plausibles los obstáculos, y aun los riesgos para el ánimo del Filósofo”.

Góngora se había referido tiempo atrás a los puertos del Guadarrama como “montaña inaccesible, opuesta en vano / al atrevido paso de la gente”. Fue una circunstancia duradera su difícil o complicado acceso y una percepción dominante la de constituir sobre todo un obstáculo en medio de la Península. En los momentos de máximo del viaje alpino romántico no parece que fuera aquí tan fácil el tránsito y el acceso, no sólo por las condiciones ásperas de caminos y fondas, por la insuficiente acogida, por las escasas guías y mapas, sino por nuestras repetidas belicosidades internas, que ponían el país en armas, los campos en alerta y los itinerarios en incertidumbre. Y tampoco parece que la mirada sobre la sierra estuviera animada comunmente por algo más que por sus inconvenientes. Al menos, no es corriente la alabanza hasta los institucionistas y la generación del 98.

De este modo, cuando Carlos Dembowski se empeña en recorrer España entre los años inquietos de 1838

y 1840, encuentra los caminos mayores bloqueados y peligrosos. Y, tras atravesar la sierra de Madrid a Segovia, relata lo siguiente: “caminaba a pie unos cientos de pasos delante de la galera, cuando de pronto gentes armadas se muestran en el camino. La aparición fue tan brusca y su aspecto de una extrañeza tan poco tranquilizadora, que prudentemente me apresuré a reunirme con mis compañeros de viaje. Díjoseme que era la escolta de Segovia que venía a nuestro encuentro para asegurarnos el paso del puerto de Navacerrada... Este puerto, difícil de pasar en invierno, ha gozado siempre de triste celebridad en los anales del bandidaje. Los ladrones, bajando de la cresta de Siete Picos, se emboscan al paso de los viajeros y tienen asegurada la retirada por la cresta del Paular, donde hay una cartuja... En tiempo de Fernando VII, un llamado Banda obtuvo autorización para armar una guerrilla, comprometiéndose a acabar con los salteadores. Pereció en 1834 víctima de su valor llevado a la temeridad sin haber podido cumplir su promesa”. Las cartas que relatan estos viajes las dirigía Dembowski, entre otros, a Stendhal y a Mérimée. No estaba todavía, pues, la sierra para éxtasis más sublimes.

En otro asunto, pero no desligado de la imprescindible valoración de los paisajes, tampoco tuvo el Guadarrama por entonces sus tempranos defensores, como los bosques americanos de Thoreau y las montañas amadas por Muir. En nuestro caso no llegará la idea explícita de preservación hasta Pedro Pidal, ya en el siglo XX y, concretamente, en el Guadarrama no se materializará, y sólo a modo de enclaves dispersos, hasta el decenio de los treinta. En el Pirineo hay una percepción paralela a la alpina, escrita y pintada por autores franceses, que desbordaba a la vertiente española. Apenas autores tardíos como Mallada en la ciencia y Verdaguer en la poesía suman una leve compensación por parte nuestra al derroche de producción cultural del pirineísmo francés. De hecho, la sugerencia del Parque Nacional de Ordesa vino, como sabemos, del autor francés L. Briet, no de un español, a comienzos del siglo XX. Entre estos pirineístas con amplia y cualificada aportación destaca F. Schrader, que también abogó por la conservación de Ordesa. Schrader escribió un artículo publicado en 1898 sobre la razón de la belleza de las montañas en el que, además de clasificar tales calidades, señala los procesos que en aquellos momentos empezaban a perturbarla, fundamentalmente en razón de los equipamientos turísticos. Entre otras cosas escribía así: “Stendhal decía que si París hubiera tenido una montaña en sus cercanías, la literatura francesa habría sido más pintoresca”. Quizá, pero Madrid sí tenía la Sierra al lado y sólo se fijó en ella mucho más tarde, pues obviamente hace falta algo más: instrumentos culturales adecuados. Añade Schrader: “¿Por qué son tan bellas estas montañas? Pregunta a la que a menudo sigue esta otra: después



de todo ¿qué me asegura que son realmente bellas?... Cicerón las encontraba feas y se admiraba de que alguien pudiera amar su lugar de nacimiento “incluso si era montaraz y boscoso”... Pero “quienes sienten la belleza siempre tendrán razón respecto a quienes no la sienten; el que ve ante el que no ve, el que se emociona frente al que no se emociona.”

Todas estas perspectivas, la científica, la excursionista, la conservacionista y la cultural, son sólo aspectos de un movimiento común, conectados entre sí, expresiones diversificadas de un mismo proceso con rasgos cruzados. Pero también tienen su intersección con las utilitarias obtenciones de recursos, sean las tradicionales o sean las de técnicas nuevas o con la creciente mercantilización del espacio de montaña para el ocio a través del turismo, con claras connotaciones empresariales. La venta del paraíso. De tal modo que la mirada complaciente y selecta ha debido convivir con la pragmática e incluso con la persistencia de lo que se denominó los “sublimes horrores”, rémora de la percepción de un medio hostil, y, en consecuencia, con el rechazo. Pero repudiar la montaña alpina no sólo es un arcaísmo cultural, sino que se manifiesta en autores de peso como actitud de disidencia frente al movimiento romántico que hemos venido mencionando. Entre nosotros lo expresaron Baroja y Ortega –el primero para toda alta montaña y el segundo salvando al Guadarrama y su marco cultural propio– y en los Alpes, por ejemplo, Chateaubriand en el XIX y Ramuz en el XX. Chateaubriand tomó el escenario alpino como instrumento de polémica con las tesis de Rousseau: “En fin, soy un desgraciado –escribía en 1805– puesto que no he podido ver en esos famosos chalets encantados por la imaginación de J.-J. Rousseau sino cabañas ruines llenas de estiércol, con olor a queso y a leche fermentada, no he encontrado entre los habitantes sino miserables montañeses que se sienten como en un exilio y sólo aspiran a bajar hacia los valles”. Por lo tanto, hay de todo, pero, como decía Schrader, quienes sienten siempre nos aportarán más que quienes no sienten.



Chateaubriand.

ILUSTRES VIAJEROS

Los viajeros ilustres tenían también sus tics y debilidades, por lo que el viaje alpino está teñido no sólo de éxtasis sino de simpatía. El patrón cultural no se hizo sólo a golpe de experiencias sublimes sino de peripecias humanas.

Suiza, en concreto, fue objeto de una corriente viajera culta a la que se denominó “helvetismo”, convirtiéndose su visita en los siglos XVIII y XIX en una obligación tácita para artistas, científicos y pensadores, a los que se sumaron emigrados, exiliados, enfermos, ingleses en general y turistas sin más.

Tal corriente formó parte de un ciclo cultural alpino de alto estilo. Aquí podríamos corresponderla, en el cambio del XIX al XX, con el pequeño pero selecto grupo intelectual, artístico y excursionista de El Paular, que dio profunda sustancia laica al monasterio en parte de su período de abandono religioso, es decir entre la marcha de los cartujos y la llegada de los benedictinos. Un enlace también en la discontinuidad entre el canto inicial de Jovellanos en el XVIII y su aprecio social como Sitio de Interés Nacional en el XX, del que se prolonga el actual Parque Natural.

Pero el patrón por excelencia es el constituido por los visitantes célebres a Suiza. Desde el siglo XVII cierta moda lleva allí a autores conocidos, pero en el XVIII nada menos que a Rousseau (desde 1744). Rousseau fue quien levantó realmente el telón, el descubridor de este “nuevo mundo” y del arte de verlo. Le siguieron entre otros, dejando testimonio escrito o artístico, Voltaire (1754), Goethe (1799), Stendhal, Senancour, Ramond, Chateaubriand, Staël, Hoffmann, Byron, Shelley, Wordsworth, Höderlin, ya en el XIX, y luego Lamartine (1824), Nodier (1825), Victor Hugo (desde 1825), Walter Scott (1826), Fenimore Cooper (1828), Alejandro Dumas (1832), Andersen (1833), Balzac (1833), George Sand (1836), Gogol (1836), Sainte-Beuve, Nerval en el 39, Flaubert y Dickens en el 45, Gautier en el 68, Beecher-Stowe en el 53, Mérimée y Tolstoi en el 57, Wagner, Liszt, Dostoievski, Nietzsche, Verne, Renan, Loti, Rimbaud, Rostand, Maupassant, Mark Twain, Stevenson, Daudet, Reclus, Conan Doyle, Rilke, Hesse: una lista interminable con sus referencias escritas, musicales, pictóricas y naturalistas. Es decir, una contribución, particularmente concentrada entre 1815 y 1860, que podría formar una biblioteca, el ala de un museo y el programa de un ciclo de conciertos (quiero decir: una selecta biblioteca, un buen museo y unos excelentes conciertos).

No obstante, hay viajeros y viajeros. Por ejemplo, Alejandro Dumas dejó más huella por su humor que por sus imágenes de las montañas. Así volvió a París

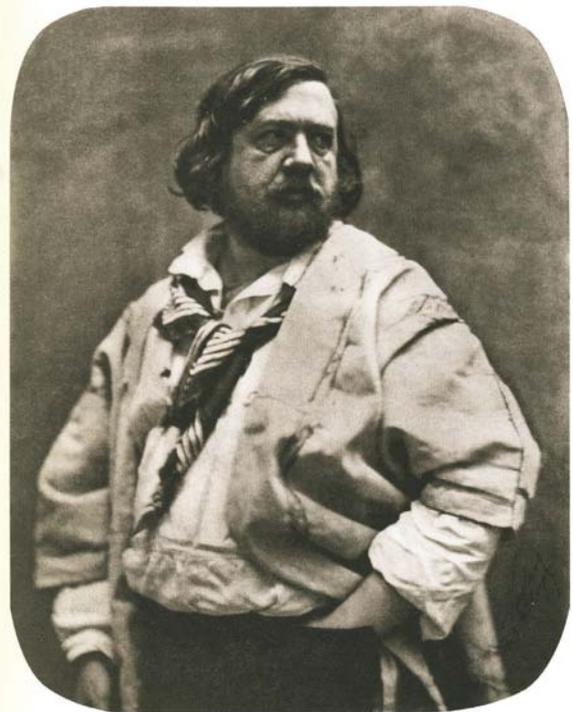
presumiendo de haber comido en un restaurante un oso alpino que acababa de devorar a su cazador. Con ello dejaba caer por pura diversión no sólo alguna fama de truculencia y de región salvaje para los Alpes sino cierta sombra de antropofagia involuntaria. Parece ser que el dueño del restaurante aumentó su clientela pero nunca se lo perdonó a Dumas. Recordemos de paso la anécdota que se cuenta de la visita de este ingenioso escritor a Madrid cuando, a la orilla del Manzanares, le ofrecieron un vaso de agua, bebió la mitad y arrojó el resto al río diciendo: “A él le hace más falta que a mí”.



Flaubert

Claro está, hay otros viajes alpinos más significativos, como el de Gustave Flaubert en 1845. Hay un pequeño suceso expresivo de la presencia habitual de escritores conocidos en los itinerarios más repetidos por Suiza y también de la habilidad de los hoteleros para contentar a tal clientela. En una de sus jornadas llegó el escritor al anochecer a una pequeña villa desconocida para él donde se puso a buscar posada. Llamó a una puerta que le indicaron y el posadero le saludó como si fuera un conocido: “Buenas noches, señor Flaubert”. El escritor se quedó atónito, pues era la primera vez que veía a aquella persona. Entrado en la casa, el hotelero le explicó que, dada la frecuentación por la zona de autores, se había hecho con un fichero de los escritores famosos de Europa para reconocerlos por la mirilla antes de abrir la puerta. Flaubert pudo comprobar manejando las fichas que allí estaba en efecto su retrato y los de Musset, Lamartine, Vigny, Chateaubriand, etc. El itinerario suizo de Flaubert es expresivo, sobre todo, porque lo realizó más de autor en autor que de lugar en lugar. Fue de Byron a Hugo y de éste a Sand o se desvió a un punto determinado en busca no de sus elementos geográficos sino del recuerdo allí de una estancia de Rousseau. Fue todo un homenaje literario, de libro a libro a través de los Alpes. Hasta tal punto llegaron a identificarse cultura y paisaje.

Se cuenta que Humboldt se arrodilló en La Orotava a la vista del Teide. Lo mismo hizo Gautier ante el Cervino en 1868, mostrando mayor admiración por la montaña por sí misma que Flaubert. Escribió que sentía que algo le esperaba en alguna parte y que para encontrarlo ascendía montañas. Significativo igualmente en este sentido fue el viaje de George Sand para encontrarse con Liszt en los Alpes. Con el músico realizó una travesía que relata llena de entusiasmo por los



Gautier

paisajes. Sand describe los panoramas con sensibilidad paisajista y debió mostrar ante ellos su satisfacción tan rotundamente que uno de sus acompañantes, entregado a la reflexión meramente conceptual, le reprochó que manifestara tales arrebatos que le parecían más bien propios de un geógrafo. Victor Hugo expresaba en 1839 su sentimiento sobre los Alpes en esa profunda línea afín a los hechos geográficos: “el pensador encuentra aquí un libro inmenso, donde cada roca es una letra, donde cada lago es una frase, cada aldea es un acento, y de donde surgen revueltos como una humareda dos mil años de recuerdos... Las cimas de las montañas son para nosotros como mundos desconocidos. Allí vegeta, florece y palpita una naturaleza refugiada que vive aparte... En la montaña el alma se eleva, el corazón se sana; el pensamiento toma su parte en esta profunda paz.”

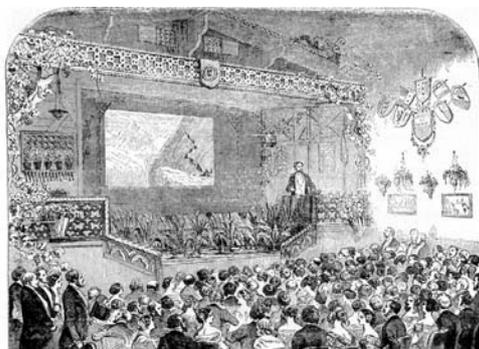
La identidad de la alta montaña alpina se materializó en los glaciares, paisajes síntesis de ese otro mundo suspendido en altitud que vino a representar la alteridad geográfica más acentuada en la misma Europa. Lo glaciar se hizo, pues, lo esencial de tal manifestación de lo montañoso, con concentración de todas sus cargas. Desde las estancias de Agassiz en el glaciar Aar y desde los escritos que se desprendieron de sus observaciones y a partir de la fama que adquirió su controvertida teoría de la gran glaciación, el ya existente turismo selecto de la naturaleza alpina que venía acudiendo a los glaciares sobre todo desde las seductoras publicaciones de Bourrit y de Saussure, incrementó su acercamiento al hielo y a sus manifestaciones colaterales,



como una aproximación a lo medular de la montaña. Las morrenas, las estrías, las rocas aborregadas y los bloques erráticos se hicieron altamente significativos. No sólo de lo que indican como huellas del paso fluctuante de lenguas glaciares sino de lo característico y revelador de la esencia cambiante de las montañas. Además de la flora, que era objeto de interés especial desde Haller y Rousseau, desde Humboldt y Ramond, cuya gran difusión dio lugar a innumerables herbarios, los hielos que constituían la identidad alpina ocasionaron también visitas obligadas, casi peregrinaciones como las que los turistas han venido repitiendo hasta hoy a la Mer de Glace.

En la segunda mitad del siglo XIX la visita turística alpina había integrado los bloques erráticos en sus programas por su espectacularidad y, con menos seguridad, por su evocación paleoglaciaria. Los viajeros, así, tal vez aprendían a ver. Por ejemplo, Théophile Gautier reseña en 1868 como objeto de excursión incluido en los itinerarios turísticos “un bloque errático, el más considerable que se haya encontrado en los Alpes, que parece una de esas monstruosas rocas lanzadas por los titanes contra el cielo y caídas sobre la tierra”. No queda claro si Gautier aprendió la lección glaciológica, pero al menos indica el papel popularizado que habían adquirido tales bloques incluso entre los viajeros. Una de las célebres caricaturas de fines del siglo XIX del pirineísta Conde de Bouillé retrata a un caballero midiendo un bloque errático con su paraguas. El hábito parece que se extendió a todas las montañas. Tener o no un bloque errático parece como que constituyera un signo de valor, un nivel de calidad para la montaña examinada.

Son muchas las muestras de la extraordinaria difusión de los glaciares en la sociedad europea del XIX. Entre ellas, aparte de libros, grabados, pinturas y hasta juegos, cabe mencionar las célebres sesiones públicas y privadas que A. Smith hacía al mediar el siglo en Londres sobre el Mont Blanc y sus ascensionistas con

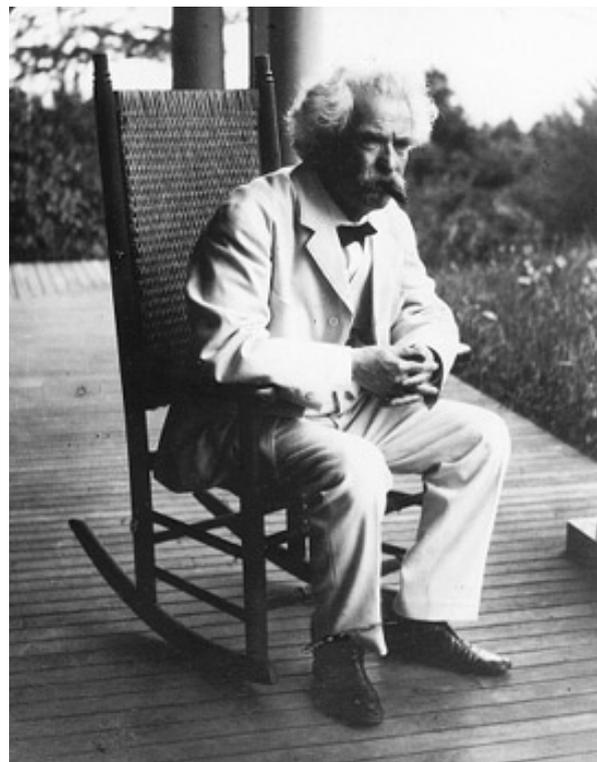


Le « Mont Blanc Sideshow » d'Albert Smith
(Document de The Illustrated London News, aimablement communiqué par Mr J. Monroe-Thorington)

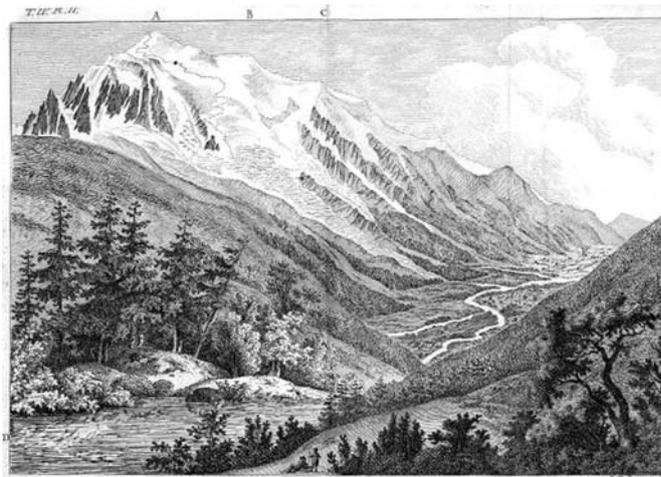
Conferencia de A. Smith en Londres sobre el Mont Blanc a mediados del siglo XIX. El conferenciante utilizaba grandes ilustraciones para apoyar con imágenes sus palabras.

grandes lienzos y transparencias donde, con la técnica de los dioramas inventada por Daguerre, mostraba gráficamente los paisajes alpinos y las peripecias de sus escaladores. Algo así como el precursor de la sesión de diapositivas o del *PowerPoint*. El humor de Daudet permitió la propagación de la más sutil incursión literaria en las cumbres heladas, la de Tartarín en los Alpes, y con esa extensión se divulgaron una vez más sus paisajes entre lectores periféricos al culto la montaña. La ironía de Mark Twain llegó también a los hielos de los Alpes en 1878, con crítica a las visitas pseudocientíficas: “guí a la expedición —escribe—... y tomé la mejor posición en el centro del glaciar... Esperé y esperé pero el glaciar no se movía... Entonces pensé que quizá la guía Baedeker hubiera confeccionado un horario; estaría bien averiguar las horas de salida... Decía: “El glaciar Gorner viaja a una velocidad media de casi una pulgada al día”. Pocas veces me he sentido tan ultrajado... Hice un pequeño cálculo: una pulgada al día, es decir, treinta pasos al año; distancia estimada hasta Zermatt, tres millas más una decimioctava parte. Tiempo necesario para dejar el glaciar atrás, ¡algo más de quinientos años!... Como medio de transporte de pasajeros, el glaciar me parece un fracaso.” Lo leyó sonriente un abundante número de seguidores a uno y otro lado del Atlántico.

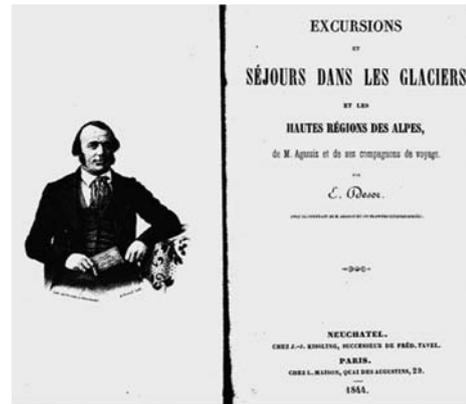
Cuando Obermaier recorre las principales montañas españolas, como buen europeo entrenado para mirar bloques erráticos, está capacitado para darnos una a una la noticia de que poseen méritos para ser también



M. Twain



Grabado del Mont Blanc incluido en el relato de los viajes ilustrados de Saussure.



La difusión de las ideas, de los datos y de los relatos de las estancias de Agassiz en los glaciares suizos hizo célebres tales parajes y sus tesis sobre la gran glaciación.



Dibujo de un bloque errático en un manual español de ciencias naturales de 1909.



Foto de un bloque errático en Peñalara, según Obermaier y Carandell (1917).

consideradas dentro del rango de las que han sido esculpidas por los glaciares. Los Pirineos, los Picos de Europa, Sierra Nevada, la Sierra de Gredos y Peñalara –por fin en 1917–, entre otras, queda certificado que poseen los rasgos identificativos de las montañas glaciadas y, de paso, saltan a ser paisajes valorables en un nuevo sentido, con sus propios significados para el naturalista y para el profano montañero. Peñalara, con ello, nuevamente ingresa en el club de los selectos.

LA INCORPORACIÓN

Muchas veces se ha repetido en nuestra historia que nos incorporamos tarde a tal o cual proceso técnico, cultural o político respecto a una parte más avanzada de Europa. Es cierto, pero también lo es, en lo que aquí nos interesa, que el Guadarrama no parte de un vacío. Sierra Nevada tiene también su fondo, sobre todo en relación con el ciclo del viaje extranjero a Andalucía; el Pirineo tuvo su paralelismo en el lado francés con el ciclo alpino y bastantes veces a través de los mismos autores; el Teide adquiere su ciclo atlántico y naturalista del volcán en los confines, el último de Europa –el

Etna en la lejanía– y ya el primero de América –la etapa inicial en las regiones equinociales de Humboldt–; los Picos de Europa toman modernamente el carácter de una prolongación del pirineísmo; Gredos tuvo la suerte de atraer a Unamuno. Pero son los Pirineos catalanes y el Guadarrama quienes poseen un fondo propio más nutrido y elaborado, aunque sea tardío respecto a las resonancias alpinas. Y, en el caso del Guadarrama, y en él Peñalara, podemos hablar de un ciclo específico con atención sostenida sobre todo desde fines del XIX e inicios del XX y con elevada entidad. La potencia minoritaria pero siempre activa que emana de Segovia y la que lógicamente procede de Madrid se han reunido en la Sierra dotándola de significados, de contenidos mayores, de tal modo que hoy puede considerársela como una pieza original del patrón cultural del paisaje de montaña y además propiamente nuestra. Esta es la otra baraja que también juega en todo proceso de reconocimiento de valores y que enlaza, con signos característicos, con el ánimo de la cultura europea de la montaña.





El circo de Gavarnie, lugar simbólico del pirineísmo.

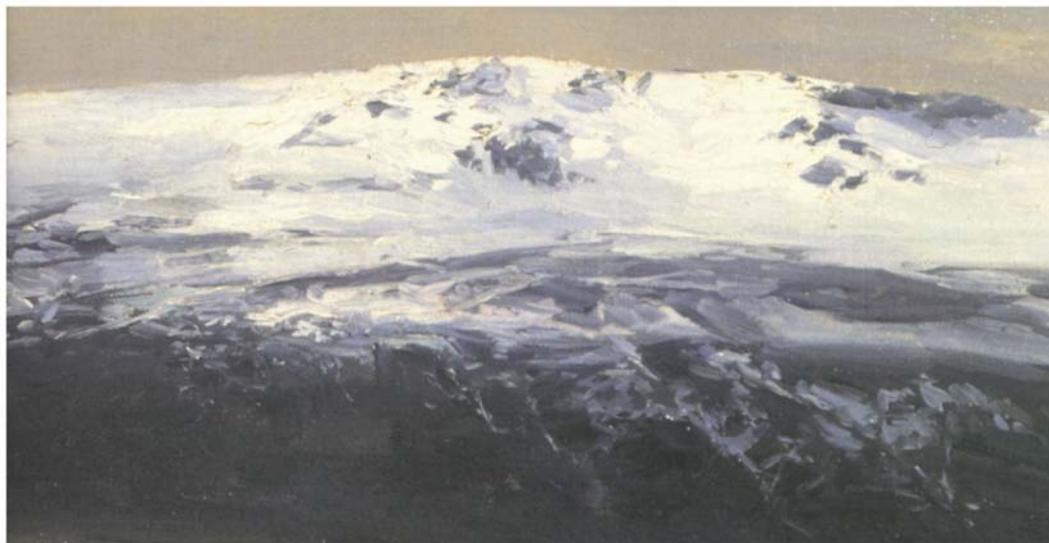
Sin duda, aparte de sus connotaciones exclusivas, el proceso del Guadarrama, que incluye una sabia mezcla de ciencia, literatura, pensamiento, pintura, pedagogía y excursionismo, es una incorporación al patrón europeo. Es la inserción de lo local en lo universal y es el enriquecimiento de lo universal por una original pieza de lo local, porque ésta era su voluntad y vocación. Y su protección igualmente nace y se desarrolla a partir de una llamada de alto vuelo, aunque luego se restringiera en piezas o se entregara a menesteres de menor calado.

No es, pues, azaroso que Peñalara sea a la vez un monte, un club, una revista y un parque natural. Es lo lógico en la trabazón de geografía y cultura. Peñalara es, por ello, un modelo, también ha logrado constituirse en patrón irradiante de lo que debe ser una montaña de nuestro tiempo. Se lo ha ganado esforzadamente en un acto de civilización ejemplar y ahora parece ir a su extensión natural. Peñalara fue objeto pasajero de una desafortunada desaplicación de los principios que siempre debieron regirla, pero luego remontó el vuelo con bríos. Somos herederos de esos vuelos y de esos bríos y somos beneficiarios de su irradiación ejemplar. Siempre andamos los españoles incorporándonos, desincorporándonos y reincorporándonos, sabemos mucho de esta materia. Pero hoy estamos en momentos de vuelos definitivos y ya se sabe que *aquila non capit muscas*. Somos voluntariamente parte de un gran ciclo cultural que participa en una de las bases de la civilización moderna. Peñalara y el Guadarrama son piezas importantes de esa civilización nacida del amor a la montaña. Esta es la universalidad de Peñalara: no sólo estar incorporada al modelo, sino haberlo creado en la medida que le corresponde. Por eso Peñalara es a la vez, irreversiblemente, una montaña y una idea.

¿Qué nos obliga a proseguir? Acaso bastarían unos versos.

*“...sierra augusta,
yo te sé peña a peña y rama a rama;
conozco el agrio olor de tu romero,
vi la amarilla flor de la retama;
los cantuesos morados, los jarales
blancos de primavera; muchos soles
incendiar tus desnudos berrocales,
reverberar en tus macizas moles.”*

Antonio Machado



La imagen artística de Peñalara invernal, por Morera. Una incorporación cultural tardía, a fines del siglo XIX.

FUNDAMENTOS DEL PASTORALISMO: ASPECTOS AMBIENTALES. PROCESOS DE FOSILIZACIÓN

JOSÉ MIGUEL MONTOYA OLIVER

*Departamento de Silvopascicultura
E.T.S.I. Montes
Universidad Politécnica de Madrid
Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid*

EL PASTORALISMO GLOBAL EN EL OBJETIVO DE SUPERVIVENCIA

Para cada estado de los conocimientos, y de los recursos genéticos y ambientales existentes en cada momento, el número de seres humanos que pueden mantenerse sobre el Planeta Tierra, en condiciones adecuadas de calidad de vida y de sostenibilidad ambiental, es limitado. Definimos como *objetivo de supervivencia*, la optimización de ese número.

Es sabida la considerable pérdida de energía que se produce, cuando el limitado espacio de que disponemos en el Globo Terráqueo se dedica a la producción animal. Si queremos alimentarnos de productos animales, cabremos menos personas que si somos vegetarianos. Sin embargo, muchos terrenos no pueden cultivarse agrícolamente, y producen pastos para los animales que son útiles al hombre. De esta forma sí cabe una alimentación mixta en el Mundo del mañana. Los animales de sangre caliente son menos eficaces energéticamente, sobre todo los rumiantes. Sin embargo, éstos aprovechan productos que el hombre no puede comer. Los monogástricos de sangre caliente, como aves y cerdos, son los que más compiten con el hombre, excepto que consuman desechos y subproductos de la alimentación humana, o frutos forestales no utilizados por el hombre, como las bellotas de montanera.

La grandeza y el interés del pastoralismo global, radican precisamente en su posible contribución al objetivo de supervivencia. El ganado de pastoreo consume sobre todo ramones, pastos y frutos, no útiles para la alimentación humana y, si se le ordena, diversifica e integra adecuadamente, precisa escasos recursos: materiales, energía y piensos. Además, puede ser imprescindible para la Conservación de la Naturaleza.

EL FUTURO DEL PASTORALISMO ESPAÑOL

La globalización de los mercados y nuestro mismo desarrollo socioeconómico forzarán a cambios profundos en el pastoralismo español actual. La competencia de países como Australia y Nueva Zelanda, y la probable apertura del mercado a otros, como Argentina o Uruguay, llevarán a una fuerte caída de los precios de la carne. Hoy mismo, si no fuera por la protección del mercado y las ayudas de la Unión Europea, muchas explotaciones habrían desaparecido; pero conforme la globalización avanza, las subvenciones desaparecen...

Competir en el futuro obligará a: 1) aplicar criterios de calidad y exclusividad para conseguir mejores precios 2) utilizar en la cría menos complementación y 3) reducir intensamente la repercusión de los costes laborales. La primera condición obliga a un profundo desarrollo del mercado: diversificación, certificación y sostenibilidad. La segunda al uso de razas mucho más rústicas, razas autóctonas tradicionales, criadas en régimen muy extensivo, e incluso al pastoreo de especies cinegéticas. La tercera al desarrollo de infraestructuras para la cría del ganado: grandes cercos, abrevaderos...

En el futuro puede preverse: 1) un mayor porcentaje de terrenos dedicados a la caza mayor 2) la recuperación de las razas autóctonas más rústicas 3) el regreso de la cría del ganado caballar 4) la expansión de las especies casi exclusivas de España como el cochino ibérico y el ganado de lidia; pero, sobre todo, 5) una revaloración del pastoralismo desde la perspectiva netamente ambiental.

Pese a todos los cambios, será más que probable la aparición frecuente de rentas pastorales negativas:





Puede observarse la superioridad de la alimentación vegetariana. Dentro de la alimentación animal, se evidencian las ventajas de los monogástricos (cerdo o gallina) frente a los rumiantes (como el buey). Pero estos últimos pueden consumir alimentos pastorales no aptos para la alimentación humana. Ese es su papel en el objetivo global de supervivencia.

que haya que pagar para que los terrenos se pasten. En muchos terrenos con renta pastoral negativa, el pastoreo está hoy sumido en el abandono. La demanda social de los valores ambientales generados por la práctica de un pastoreo racional, puede obligar a *pagar por los valores ambientales generados, hasta conseguir que estos se produzcan.*

BENEFICIOS AMBIENTALES DEL PASTOREO: IMPACTOS POSITIVOS DEL PASTOREO ORDENADO O RACIONAL

Manejo del paisaje

El pastoreo es clave en la composición y gestión del paisaje: en la *diferenciación* entre las teselas o piezas del mismo (bosques, pastos, cultivos...), y en la *interacción* o puesta en relación de las mismas entre sí. En otras palabras: en el mantenimiento del estado, equilibrio e integración teselar. Los paisajes tradicionales, como sus culturas asociadas, no pueden llegar a conservarse nunca sin su pastoreo asociado. Cualquier programa de restauración del paisaje y de su fisiología debe asociar, siempre e inevitablemente, las medidas culturales y pastorales pertinentes.

En nuestros días no cabe desligar el buen manejo de los recursos naturales renovables, del manejo y conservación de los paisajes tradicionales, y de las culturas que a estos se asocian. El buen manejo del paisaje es una cuestión de conservación, previa y absolutamente esencial.

Amueblamiento del paisaje

El pastoreo dota al paisaje de su elemento dinámico visualizable fundamental. El ganado, sólo o acompañado por sus pastores, es la fauna que más comúnmente se visualiza en el campo, y la que normalmente vivifica el paisaje. Los paisajes sin ganado suelen ser paisajes muertos y faltos de amenidad. Además, chozos, fuentes, apriscos, encerraderos, cercados, heniles, y otras infraestructuras y hasta arqueologías pastoriles, son esenciales en la humanización y amenización de los paisajes.

Conservación in situ de la población rural

La presencia y la actividad de los seres humanos en el medio rural es fundamental para su protección y conservación. La mayor parte de los valores naturales que hoy nos restan, viven asociados a las actividades del hombre rural, al menos en Europa. La vida de nuestros campos, incluida la más silvestre, desaparece inevitablemente, cuando los hombres se van. El hombre de campo conserva el paisaje y sus bienes, sus *estructuras, culturas y arquitecturas*, y constituye la base fundamental para la prevención y detección de incendios y para su mejor y más pronto ataque. También es la base para el desarrollo de todo tipo de producción ecológica y de turismo rural.

Los ganaderos suelen ser precisamente los últimos en abandonar un poblado, en razón de la necesidad de una continuada y próxima atención al ganado. Más tarde aún suelen abandonar la gestión los guardas de caza y los gestores de la fauna silvestre: la "otra forma" del pastoralismo.

Tabla 1. La distinta eficacia en el uso de los piensos de los diferentes grandes tipos de especies ganaderas estabuladas

Especie ganadera	% de proteína preciso en el pienso	Índice de Conversión *	% de proteína retenida	% de Canal	% de carne en la Canal
Vacuno de carne	11	7,8	15	58	51
Porcino en pocilga	16	3,2	20	65	37
Aves de corral	18	2,1	33	72	65
Trucha	35	1,5	35	75	90

* Kilogramos de pienso precisos para incrementar un kilogramo de peso vivo.



Mantenimiento de los pastos

Sin pastoreo se inician los procesos de nemoralización de los pastos y la disminución de su calidad bromatológica, lo que perjudica seriamente a las especies animales más exigentes en calidad de alimentación (conejo, corzo, etc.). Llamamos nemorales a los pastos de sombra, casi siempre mucho menos apetecidos y nutritivos para el ganado. Es el ganado el que crea el pasto y no al revés, como suele creerse.

Conservación de especies amenazadas de extinción

Algunos animales carroñeros y otras especies -como lobos u osos- son los ejemplos más conocidos; pero algunas aves, como la chova piquiroja, están adaptadas a consumir los insectos de las boñigas de vaca, otras se alimentan de los insectos que mueven los animales... La desaparición del pastoreo puede por ello llegar a perjudicarles.

No pocos recursos genéticos vegetales asociados al pastoreo, algunos ni tan siquiera identificados aún, pueden estar hoy en peligro de extinción, al menos a niveles infraespecíficos (ecotipos adaptados al pastoreo). Algunos otros taxones vegetales, y los insectos y otros pequeños animales que dependen de ellos, se asocian al mosaico espacial, a la diversificación microteselar, generada por la práctica del pastoreo.

Las especies asociadas para su regeneración a determinados niveles de intensidad del pastoreo, tanto animales como vegetales, pueden verse severamente perjudicadas por ausencia o insuficiencia de pastoreo. La ordenación del pastoreo es por tanto una herramienta vital en la conservación de la biodiversidad animal o vegetal.

Defensa de incendios

La ausencia de pastoreo genera primero la nemoralización de los pastos y después su matorralización. En zonas con gestión rural y pastoral abandonadas, es frecuente hoy el establecimiento de ciclos repetitivos, a rotación relativamente corta, de 1) matorralización 2) incremento de tensión ecológica 3) incendios. No arden los montes, arden los paisajes no gestionados. La restauración rural, agrícola y pastoral, puede ser más económica que la prevención y extinción de incendios.

Conservación de suelos

La materia orgánica vegetal se recicla mejor y más rápidamente en los suelos, tras su paso por el interior

de los animales, domésticos, silvestres e incluso de los mismos insectos defoliadores. Los suelos de las zonas pastoreadas, y en especial de aquellas en las que el ganado descansa y estercola, se enriquecen así en materia orgánica y en fertilidad. Este incremento de fertilidad refuerza la estructura edáfica, adensa el pasto y, consecuentemente, contribuye a la reducción de la erosión.

IMPACTOS NEGATIVOS DEL PASTOREO DESORDENADO O IRRACIONAL

Sin embargo, todos estos aspectos positivos tan sólo son ciertos desde la perspectiva de un pastoreo ordenado o racional. Por exceso o defecto de carga pastante, o por mal manejo del pasto y el ganado, son frecuentes los casos en que el pastoreo, por irracional, se convierte en un grave peligro para la conservación de los ecosistemas y de la biodiversidad. A lo largo de la Historia, no pocos paisajes y especies han sido severamente dañados por un mal uso pastoral. En el ámbito forestal destacan los procesos de fosilización.

PROCESOS DE FOSILIZACIÓN

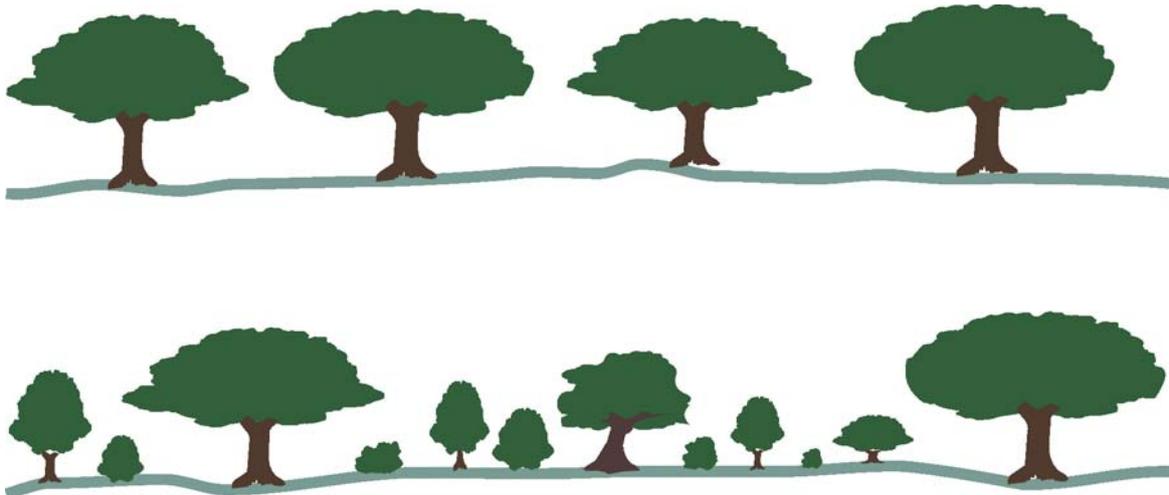
Fosilización y deforestación en los sistemas agrosilvopastorales

Decimos que un bosque es *fósil* cuando, al carecer de una regeneración suficiente y adecuada, ha dejado de ser ya un ecosistema vivo, capaz de autoperpetuarse indefinidamente por sí mismo. Es decir: cuando finalmente sólo árboles residuales, y muchas veces senescentes y reviejos, quedan como testigos “fósiles” de aquel complejo y diverso “supraorganismo-bosque” (vivo y vital) que antaño fue.

El proceso de fosilización consiste en un envejecimiento progresivo y masivo del bosque, acompañado de la falta de regeneración: hermosos árboles centenarios, reliquias del ayer, a cada día más senescentes, y sin posibilidad real de sustitución por otros más jóvenes. Conforme esos árboles vayan muriendo, de forma más o menos dispersa, la masa se aclarará, y a cada vez irán quedando menos árboles. De esta forma, el proceso de deforestación se implanta y acelera.

La forma de actuación del proceso de deforestación suele ser solapada y lenta. Hoy muere un árbol aquí y mañana otro allí. Algunos años desfavorables mueren en mayor número, en los favorables bastantes menos. Cada año, normalmente no muere de media más de un 1,5-3 % de los pies, y esto no parece ser demasiado significativo, especialmente si los pies muertos se van retirando. Esta errónea impresión persiste hasta la práctica deforestación total.





Estas dos dehesas tienen un recubrimiento similar; pero, mientras que la primera es fósil y morirá cuando lo hagan sus árboles, la segunda mantiene completas todas sus clases de edad, y tiene además un abundante regenerado joven a la espera de su oportunidad en la vida. No es por tanto un “fósil” residual, sino un verdadero bosque: vivo y con su futuro asegurado. Una dehesa autoperpetuable o “sostenible”. ¿No es acaso la primera, la imagen típica que todos tenemos hoy de las dehesas? Los esquemas anteriores pueden aplicarse a escala de un rodal (masa regular frente a masa irregular), o a la globalidad del monte (reparto por todo el espacio de las diferentes clases de edad agrupadas en rodales).

1. Muchos montes (dehesas, sabanas y otros), son hoy bosques fósiles. Están, por tanto, en irracional proceso de extinción y urge modificar la situación.
2. En la mayor parte de los casos, la falta de regeneración se produce por efecto de cargas pastantes continuadas y excesivas, o por laboreos del suelo excesivamente repetitivos, especialmente en los sistemas agro-silvo-pastorales; a veces por incendios de pastos, como en las sabanas tropicales.
3. La ausencia de medidas ordenadas de regeneración forestal está en el origen de los procesos de fosilización. De aquí la urgencia de la ordenación integral de los montes.

Duración de supervivencia

En los nuestros actuales bosques silvopastorales, la *duración de supervivencia* o “vida que le queda al arbolado” es relativamente escasa. Por dos causas fundamentales:

- *El envejecimiento generalizado del arbolado.* De este envejecimiento son testigos los abundantes “oquedales” o *bosques huecos* que en el campo se observan: huecos por su escasa espesura, huecos por la pudrición interior de sus viejos troncos, huecos por la ruptura entre sus clases de dimensión-edad. Tantos son estos que, en el lenguaje vulgar, suelen confundirse los *oquedales* con las *dehesas*.
- *La escasa longevidad de los brotes.* Tras el abandono de los aprovechamientos, de cascás curtientes primero, y de leñas y carbones después, muchos de

los aparentes “arbolillos jóvenes” actuales (seudofustales sobre cepas), son tan sólo simples brotes de cepa, o de raíz, ya reviejados pese a sus reducidas dimensiones.

En una ordenación racional, para conservar el imprescindible estado arbolado, la regeneración debe completarse antes de que se agote la “duración de supervivencia”.

La regeneración y la conservación tradicional de las dehesas

De siempre, a lo largo de la historia, fuimos perdiendo el arbolado de algunas dehesas, aunque nunca al ritmo actual. ¿Por qué? Porque tradicionalmente la dehesa se utilizaba de forma mucho más *natural, artesanal, diversificada, estable, y prudente.*

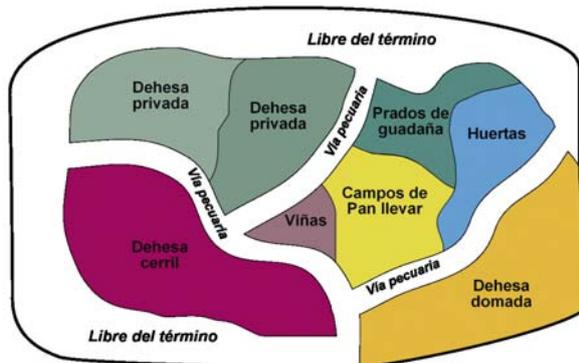
- *Leñas y carbones eran su producción forestal principal.* Los carboneros limpiaban el monte de residuos y sotobosques leñosos (picón) y lo aclaraban cuidadosamente, respetando y podando correctamente a los árboles “castizos” (buenos productores de corchos y bellotas) que previamente eran marcados por corcheros y porqueros.
- *El cereal era objeto de cultivo en los “pegujales”.* Era frecuente que en el contrato de “pegujaleo” se incluyera la obligación de sembrar bellotas junto con el cereal, con condición para la cosecha de una nascencia suficiente de estas, lo que mantenía la regeneración de las dehesas, e incluso ampliaba su tamaño. Así se hicieron, *por siembra*, no pocas dehesas.

- *El ganado porcino ibérico era el fundamental. Más por su mismo tocino que por los actuales productos de lujo. El cochino ibérico, para nada agredía al regenerado, y enterraba, además, muchas bellotas.*
- *La "mesteña" oveja merina trashumante era, tras el cerdo ibérico, el aprovechamiento ganadero fundamental. La trashumancia ovina descargaba de ganado la dehesa, en el momento justo en que el regenerado arbóreo comienza a ser sensible al pastoreo: a primeros de mayo, antes incluso del estío.*
- *El ganado vacuno era escaso, porque era sobre todo de trabajo. Por esto, nuestras razas vacunas tradicionales no tienen una conformación bien adaptada a la producción de carne. De aquí también el habitual cruce industrial de nuestros días.*

Las causas de la actual falta de regeneración

En nuestros días la situación es radicalmente distinta. En ausencia de carboneros y porqueros no es posible una selvicultura tan sutil, con unos señalamientos tan cuidadosos y artesanales; el ganado es estante, no trashumante, y bastante más numeroso, las especies son mucho más agresivas (vacuno de carne y ciervo predominan, frente a la oveja y el cochino de antaño), apenas nadie siembra bellotas... Finalmente la regeneración y la sostenibilidad de la dehesa están severamente dañadas.

Es evidente que la ausencia de una regeneración suficiente, que está en el origen de esta problemática de conservación acuciante, está causada por el arado, o por un exceso de carga pastante que, con animales domésticos o silvestres, está superando con mucho las *cargas de compatibilidad* admisibles en estos ecosistemas.



Entre las "cinco cosas prohibidas" al libre pastoreo del ganado de la Mesta (dehesas, viñas, huertas, prados de guadaña, y campos de pan llevar) se deslindaban las diferentes vías pecuarias (cañadas, cordeles, veredas, etc) por las que transcurría el ganado durante sus desplazamientos. En "lo libre del término" podían pastar las ovejas libremente, por lo que no se deslindaban cañadas de tránsito. En el término municipal representado, parte de las dehesas fueron desamortizadas y son hoy grandes fincas privadas. El pueblo conserva aún dos dehesas, una para el ganado de carne (abasto) "Dehesa Cerril", y otra para el ganado de trabajo "Dehesa Domada". Las vías pecuarias se rigen hoy por la "Ley de Vías Pecuarias", el pastoreo en lo libre y campos tras la cosecha por la "Ley de Pastos, Hierbas y Rastrojeras", las dehesas, públicas o privadas, por la "Ley de Montes".



75 AÑOS DE PROTECCIÓN DE PEÑALARA: PEÑALARA EN EL CENTRO DE LA PROTECCIÓN DE LA SIERRA

FRANCISCO SÁNCHEZ-HERRERA HERENCIA

*Jefe del Servicio de Espacios Naturales Protegidos
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Comunidad de Madrid.
C/ Princesa, 3. 28008 Madrid*

Esta mesa redonda se ha organizado en la Jornada de celebración del 75 aniversario de la primera protección de Peñalara con la denominación de “Peñalara en el centro de protección de la Sierra”. Por tanto, y como presentación de los contenidos que se van a exponer y debatir, mi intervención se centrará en considerar los actos más relevantes, desde el punto de vista de la protección de este espacio, acaecidos a lo largo de los 75 años transcurridos desde que el día 30 de septiembre de 1930 se declararan las primeras áreas protegidas de la Sierra de Guadarrama, entre las que se encontraba Peñalara.

Pese a que intentaré que mi exposición se a lo más breve posible para ajustarme a los tiempos sugeridos por la Organización, me van a permitir que me detenga en recordar los antecedentes y hechos más relevantes que dieron lugar a la primera protección de Peñalara, cuyo 75 aniversario conmemoramos este año.

Inicialmente me referiré al año 1916 en el que, debido al impulso e interés personal de Pedro Pidal y Bernaldo Quirós, Marqués de Villaviciosa de Asturias, se promulgó la primera Ley de Parques Nacionales. Esta Ley, de tan sólo tres artículos, fue la primera norma legal aprobada en nuestro país sobre áreas protegidas y en su aplicación se declararían dos años más tarde, en 1918, los primeros espacios naturales protegidos españoles: los parques nacionales de la Montaña de Covadonga y del Valle de Ordesa.

Por el Real Decreto de 23 de febrero del año 1917 se aprobó el Reglamento de la Ley de Parques, dejando ya muy claro el carácter restrictivo que habrían de tener los Parques Nacionales, tal y como se deduce de la lectura de su exposición de motivos, al establecer que “los parques nacionales los reserva la ley para lo

excepcional y se empequeñecerían o vulgarizarían si se hacen extensivos a otros sitios notables y aún sobresalientes”. No obstante, este Real Decreto también ofrece una alternativa ya que “los que fueran notables deberán ser catalogados para ser protegidos y los que, a más de notables, resultasen sobresalientes, por sí mismos o por acontecimientos históricos, legendarios o religiosos, deberán además llevar la denominación oficial de Sitos Nacionales”.

Esta nueva figura, la de Sitio Nacional, sólo se utilizaría posteriormente en una única ocasión para declarar San Juan de la Peña en Huesca, pero es el antecedente de la figura de Sitio Natural de Interés Nacional que se utilizaría para proteger inicialmente Peñalara.

Las figuras de Sitios y Monumentos Naturales de Interés Nacional tienen su origen en Real Orden de 15 de julio de 1927, en la que se disponía que “podrán ser declarados Sitios de Interés Nacional los parajes agregados del territorio nacional que merezcan ser objeto de especial distinción por su belleza natural, lo pintoresco del lugar, la exuberancia y particularidades de la vegetación espontánea, las formas especiales y singulares del roquedo, la hermosura de las formaciones hidrológicas o la magnificencia del panorama y del paisaje.

Análogamente podrán ser declarados Monumentos Naturales de Interés Nacional los elementos o particularidades del paisaje en extremo pintoresco y de extraordinaria belleza o rareza, tales como peñones, piedras bamboleantes, árboles gigantes, cascadas, grutas, etc.

Será circunstancia favorable para las declaraciones oficiales expresadas, que la belleza del paisaje o de



sus elementos esté realizada por el interés científico, artístico, histórico o legendario.”

De la lectura anterior se deduce el modelo y los rasgos que habrían de tener, durante décadas, los espacios naturales protegidos en nuestro país. Además, la Real Orden del 27 contemplaba algunas circunstancias que hoy podrían resultarnos cuanto menos chocantes, tales como los hechos de que la declaración fuera de carácter “meramente honorífico” para los municipios, corporaciones, entidades o particulares a los que pertenecían, que los espacios pudieran desclasificarse cuando por “causas intencionadas o desidia desaparecieran o se aminoraran los fundamentos de la declaración”, o que se favoreciera el acceso a los espacios mediante vías de comunicación.

Durante los años 20, el nuevo modelo de protección iniciado en nuestro país con la creación de los primeros parques nacionales, se vio pronto sometido a intensos debates derivados de los problemas surgidos en su gestión, incluso en el seno de la propia Junta de Parques Nacionales debido a las diferencias de criterios existentes entre Pedro Pidal y Eduardo Hernández-Pacheco.

Este debate tuvo su reflejo en la solicitud de protección de la Sierra, liderándolo el periódico “El Sol” mediante editoriales, artículos y cartas publicadas en el año 1923 y en el que adquirieron un papel preponderante algunos miembros de la Sociedad Peñalara al proponer la creación del Parque Nacional del Guadarrama. Pese a ello, finalmente tuvieron más fuerza las consideraciones de Eduardo Hernández-Pacheco, defensor de la figura de Sitios Naturales de Interés Nacional como alternativa a la de los Parques Nacionales, y mediante Real Orden de 30 de septiembre de 1930 fue declarado, junto con el de La Pedriza y el Pinar de la Acebeda, el Sitio Natural de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara, sobre una superficie de 768 hectáreas.

En relación a la creación del Sitio de Peñalara, tal vez merezca recordar algunos de los párrafos la Real Orden de declaración, muy diferentes en estilo, fundamento y transmisión de sentimientos a los textos utilizados en las declaraciones actuales:

"La Sierra de Guadarrama, segmento medio de la Cordillera Central, a la que, con gráfica frase, consideró el geólogo Macpherson como la columna vertebral de la Península hispánica, presenta sus elevados macizos graníticos entre las dos amplias llanuras de la tierra castellana...

La rapidez de los modernos medios de locomoción permite que la gran urbe madrileña pueda tener, como lugar de saludable y culto esparcimiento y descanso espiritual de la afanosa vida ciudadana, la

cercana sierra, siendo justas aspiraciones, sentidas unánimemente y expresadas con insistencia por corporaciones y entidades muy diversas, que un mayor desarrollo en las vías de comunicación y más facilidad y baratura en el transporte entre Madrid y los diversos lugares de la sierra de Guadarrama hagan asequibles a todos poder disfrutar, cómoda y económicamente, de las bellezas del campo, del bosque y de la montaña. Cuestión cuyo gran interés e importancia reconoce el Gobierno y a la que viene prestando apoyo.....

Los parajes, con las características expuestas, no escasean en la cercana sierra, y ante la imposibilidad de otorgar la distinción antes referida a los numerosos que en el Guadarrama existen, en donde la Naturaleza ha prodigado sus bellezas, se limita la declaración oficial que propone de Sitios naturales de interés nacional, a aquellos lugares de la Sierra de Guadarrama de más notable importancia en el concepto expresado y que pueden considerarse como representativos de los tres elementos del paisaje que en armónico conjunto dan a la castellana sierra la reputación que en justicia se le asigna en relación con la estética de la naturaleza...

Es el tercer lugar el de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara, cúspide de fácil acceso, en la cual la montaña alcanza su máxima culminación, de 2.430 metros de altitud, y desde donde la vista se extiende por el amplio panorama de las anchas Castillas. Al pie de la cúspide se muestra el abrupto circo rocoso, abierto por los accidente geológicos y excavado por la acción de los glaciares de los tiempos anteriores a la Historia, lugar embellecido por las plácidas lagunas, de limpidas aguas, de los Pájaros y de Peñalara...

S.M. el Rey (q.D.g) ha tenido a buen disponer:

Que queden declarados Sitios naturales de interés nacional, en la Sierra de Guadarrama, los siguientes parajes, cuyas características naturales se han expuesto, y que son, a saber: ...

La Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara, con la extensión que se detallará, correspondiente a terrenos de pastos de verano, propiedad del Estado, situados en el término municipal de Rascafría, provincia de Madrid, en su zona limítrofe con la de Segovia...

El Sitio natural de interés nacional de la zona de Cumbre de Peñalara, se delimita, según una línea que de la cumbre de Dos Hermanas, a 2.200 metros de altitud, pasa cerca de la arista culminante de la sierra, por la provincia de Segovia, a la cota 2.350



metros, dejando incluida en el recinto la cumbre de Peñalara. Sigue la línea por la base norte del risco de la laguna de los Pájaros al collado del camino de las Neveras, y de aquí al este, en línea recta, hasta la cota 1.900; desde esta recta hasta la Silla de Garci-Sancho, y desde esta pradera al collado de la Peña de los Quesos, siguiendo después a cerrar el polígono en la cumbre de Dos Hermanas, por la cuerda oriental del macizo...

Por lo que atañe a los otros dos Sitios y Monumentos naturales de interés nacional cuya declaración oficial se propone, (La Pedriza y Peñalara), se encomienda su conservación y custodia a los propietarios de los parajes, a los Ayuntamientos en cuyos términos municipales están, y a las respectivas Jefaturas del Cuerpo de Ingenieros de Montes, y la protección de los expresados parajes a la Real Sociedad Española de Alpinismo, "Peñalara". Todo en conformidad con las disposiciones vigentes relativas a este respecto".

Entre el año 1918, en el que se declararon los dos primeros espacios protegidos españoles de Montaña de Covadonga y Valle de Ordesa y 1930, año en el que se protegió Peñalara, sólo se declararon en España los Sitios de San Juan de la Peña en Huesca, Dehesa del Moncayo en Zaragoza, Picacho de la Virgen de la Sierra en Cabra, Ciudad Encantada en Cuenca y el Torcal de Antequera. Por tanto, la protección de Peñalara es también pionera en cuanto a la declaración de espacios protegidos en nuestro país. Así mismo, el interés por su declaración fue semejante al de promover su conocimiento y divulgar sus valores, ya que la primera Guía de Sitios, editada en 1931 por la Junta de Parques Nacionales bajo la dirección de Eduardo Hernández-Pacheco, fue precisamente la dedicada a los Sitios y Monumentos naturales de la Sierra de Guadarrama, corriendo a cargo de Carlos Vidal, profesor de Geografía Física de la Universidad Central, la descripción del Sitio del Macizo de Peñalara.

Tras el paréntesis de la Ley de Montes de 1957 que derogó la Ley de Parques Nacionales de 1918, en el

año 1975 se aprobó la nueva Ley de Espacios Naturales Protegidos, largamente esperada pero finalmente considerada como de transición. Esta Ley modificó las categorías de protección hasta entonces existentes al crear, junto con la de Parque Nacional, las de Reserva Integral de Interés Científico, Paraje Natural de Interés Nacional y Parque Natural, siendo ésta última figura la que, quince años más tarde, habría de ser utilizada por la Comunidad de Madrid para reclasificar Peñalara, si bien en aplicación de la aún vigente Ley de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres de 1989.

Por tanto, en aplicación de esta última Ley fue reclasificado en el año 1990, el antiguo Sitio Natural de Interés Nacional de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara como Parque Natural, respetando la delimitación y superficie del antiguo Sitio Natural.

Las zonas húmedas de Peñalara también se encuentran protegidas en base a la Ley de Protección de Embalses y Zonas Húmedas de la Comunidad de Madrid aprobada en 1990.

También en referencia a los humedales del Macizo de Peñalara cabe mencionar que, en el momento actual, se encuentra pendiente de ser aprobada su inclusión en la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio Ramsar. El nuevo "Humedal Ramsar" de Peñalara, será uno de los primeros humedales de alta montaña declarado en nuestro país.

Finalmente, también debo referirme al hecho de que el Parque Natural se encuentra incluido en la Zona de Especial Protección para las Aves del Alto Lozoya, así como en la propuesta del Lugar de Importancia Comunitaria de la Cuenca del Río Lozoya y Sierra Norte.

Queda claro, por tanto, el acierto de la organización de esta Jornada al proponer la denominación de la mesa redonda como "Peñalara en el centro de la protección de la Sierra de Guadarrama".



ANTECEDENTES Y COMENTARIOS SOBRE LA DECLARACIÓN DE PEÑALARA COMO PARQUE NATURAL

FEDERICO ZAMORA MARTÍNEZ

*Jefe de Sección de Espacios Naturales Singulares.
Servicio de Espacios Naturales Protegidos.
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
Comunidad de Madrid.
C/ Princesa, 3. 28008 Madrid.*

Por Real Orden nº 213 del Ministerio de Fomento de 30 de Septiembre de 1930 (Gaceta de Madrid del 12-X-1930) fue declarado el espacio denominado “Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara” como Sitio Natural de Interés Nacional.

Dicha declaración se basaba en la Real Orden de 15 de julio de 1927 y en el Real Decreto de 26 de julio de 1929, reorganizando la Junta de Parques Nacionales y modificando su cometido y funcionamiento e igualmente disponiendo que aquellos parajes notables por sus valores naturales, pudieran ser declarados Sitios Naturales de Interés Nacional (Las citadas disposiciones fueron en su día codificadas y derogadas por los artículos 189 a 201 del Reglamento de Montes y por la Ley 15/1975, de 2 de mayo, de Espacios Naturales Protegidos y finalmente por la Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres).

Por otra parte, el Estatuto de Autonomía de Madrid, atribuye a la Comunidad de Madrid el desarrollo legislativo, la potestad reglamentaria y la función ejecutiva en materia de Espacios Naturales Protegidos. Estas funciones fueron transferidas de la Administración Central a la Comunidad de Madrid por Real Decreto 1703/1989 de 1 de agosto.

De acuerdo con estas competencias y dentro del marco de la mencionada Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres, el antiguo Sitio Natural de Interés Nacional de la “Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara” fue reclasificado como Parque Natural.

El citado espacio natural, fue reclasificado acogéndose a la excepcionalidad que previene la citada Ley 4/1989, que en su artículo 13 establece que la declaración de los Parques y Reservas exigirá la previa elaboración del correspondiente Plan de Ordenación de los Recursos Naturales. Asimismo, se indica que excepcionalmente podrán declararse Parques y Reservas, sin previa aprobación del citado Plan de Ordenación, cuando existan razones que así lo justifiquen.

Estas razones fueron apreciadas por una comisión de investigación de la Asamblea de Madrid constituida al efecto sobre el macizo de Peñalara, como consecuencia de la puesta en marcha de un proyecto de “Parque Ecológico-Recreativo y de Nieve de Valcotos” y considerar al Sitio, como un espacio de altos valores singulares y de gran fragilidad de los sistemas que lo integran.

Por lo tanto, la referida Comisión propuso que en el plazo de tres meses se iniciará la reclasificación del Sitio. Esta, recomendación fue aprobada, por unanimidad, por la Asamblea de Madrid.

El conato de urbanización de Valcotos al ser declarado el lugar Centro de Interés Turístico fue afortunadamente evitado aunque no se pudo impedir la destrucción de una parte de glaciario del Circo de Peñalara.

Estas obras, que tuvieron una incidencia negativa sobre el paisaje y que destruyeron parte de un complejo morrénico, hizo que la Administración competente en ese momento iniciara el proceso de expediente legal de paralización de los trabajos y la obligatoriedad de restauración del espacio afectado. Para la redacción



de las medidas de restauración pertinentes, además de los servicios técnicos propios de la Administración se contó con especialistas de diferentes Departamentos o Cátedras de las distintas Universidades de la Comunidad de Madrid.

Aunque, por otra parte, había propuestas de ampliación de los límites del Sitio Natural promovidas en diversas ocasiones por asociaciones y diferentes sectores, incluso la propia Asamblea de la Comunidad de Madrid, había solicitado también al Gobierno Regional el desarrollo de figuras de protección y ordenación del Valle del Lozoya, sin embargo las prisas, en esos momentos, por dar una protección efectiva al Sitio Natural, como consecuencia de las amenazas que pesaban sobre el espacio, y también porqué no decirlo, el rechazo, en aquel momento de los vecinos de Rascafría, a la posible ampliación, motivado entre otras razones por una falta de información, decidió que se optara por la reclasificación original del Sitio, con los mismos límites, con algunos ajustes en la parte sur del espacio natural y la exclusión de la parte de Segovia (al no tener competencias la Comunidad de Madrid sobre el territorio perteneciente a otra Comunidad) para garantizar su conservación.

Por tal motivo mediante Ley 9/1990, de 10 de mayo, de la Comunidad de Madrid, se declara el Parque Natural de la “Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara”.

La citada Ley 6/1990, de 10 de mayo, establece en su Disposición Transitoria Segunda, la obligatoriedad de tramitar el correspondiente Plan de Ordenación de Recursos Naturales.

Asimismo en su artículo 6, se previene la elaboración de un Plan Rector de Uso y Gestión en el cual debe quedar incluido, entre otras, una Zona Periférica de Protección.

Dichos instrumentos de planificación ya fueron oportunamente elaborados y aprobados.

Finalmente la mencionada Ley previene, para atender a las finalidades de desarrollo socioeconómico, el área de influencia socioeconómica que está determinada por el territorio del término municipal de Rascafría.

Igualmente decir que en la referida Ley 9/1990, de 10 de mayo, se crea en su artículo 8, la Junta Rectora del Parque Natural de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara para colaborar con la Administración competente en la gestión y administración del citado espacio natural, prestándole la asistencia necesaria para el mejor cumplimiento de sus funciones.

METEOROLOGÍA DE MONTAÑA EN EL PARQUE NATURAL DE PEÑALARA

LUIS DURÁN MONTEJANO

*Departamento de Ciencias
Escuela Superior Politécnica
Universidad Europea de Madrid
C/ Tajo s/n.
28670 Villaviciosa de Odón (Madrid)
luis.duran@uem.es*

INTRODUCCIÓN

La Tierra presenta numerosas zonas de montaña que juegan un papel fundamental en el sistema climático, no sólo debido a su climatología tan característica, sino también a la influencia que ejercen sobre el clima planetario en su conjunto. Disponer de observaciones meteorológicas en zonas de alta montaña es crucial, no sólo para conocer las características climatológicas propias de las regiones montañosas en sí, sino también para poder evaluar su influencia sobre las regiones limítrofes, incluso para comprender el papel que éstas juegan en el sistema climático planetario. Por otro lado, el carácter remoto de estas regiones debido a su altitud y alejamiento de zonas urbanizadas, hacen que se conviertan en valiosísimos observatorios de los cambios que pueda sufrir el sistema climático.

La observación meteorológica en zonas de alta montaña no empezó a llevarse a cabo de forma intensiva hasta mediados del siglo diecinueve, y generalmente asociada a estudios de carácter astronómico, como por ejemplo los primeros estudios llevados a cabo en el Teide por Smyth en 1859. Por otro lado, la gran mayoría de los estudios meteorológicos que se han llevado a cabo en zonas de alta montaña han sido de tipo hidrológico o biológico, interesados en problemáticas muy particulares, pero sin un enfoque estrictamente meteorológico y faltos de continuidad (Band, 1991; Garen, 1994; Holko, 1997; Lindkvist, 2000; Fontaine, 2002; Friedman, 2003). Esto ha provocado que una gran parte de la información existente sobre estas zonas esté muy dispersa en la literatura científica, y que generalmente esté contemplada desde un punto de vista muy particular.

Diversas vicisitudes y casualidades han permitido que la zona actualmente denominada “Parque Natural de Peñalara, Cumbre, Circo y Lagunas”, situada en la Sierra de Guadarrama (Sistema Central) mantenga su gran interés de zona de alta montaña a pesar de encontrarse a escasos kilómetros de importantes concentraciones urbanas, como por ejemplo Madrid (De Pedraza, 2000).

Desde el punto de vista científico esta región es enormemente interesante por haber conservado sus características de zona montañosa, siendo actualmente objeto de numerosos estudios científicos (Palacios 1997; Sancho, 2000; Montouto, 2000; Granados, 2000).

Por otro lado, las condiciones ambientales tan extremas que caracterizan a las zonas de montaña hacen que éstas sean ecosistemas muy frágiles, no únicamente frente a la ocurrencia de fenómenos y catástrofes de origen natural sino, especialmente, frente a cambios inducidos directa o indirectamente por el ser humano (Bosch, 2007). Conocer las condiciones ambientales a las que se encuentran las regiones montañosas no es simplemente un acto de comprensión de los fenómenos que ocurren en ellas, sino también, una forma de preservarlas.

Desde el punto de vista meteorológico, las montañas provocan tres tipos de efectos sobre el medio ambiente atendiendo a su escala:

- Modifican considerablemente los flujos sinópticos debido a efectos dinámicos y termodinámicos. Estas



perturbaciones pueden llegar a propagarse hasta niveles bastante altos de la atmósfera y extenderse geográficamente, pudiendo conformar el clima de regiones extensas.

- Generan condiciones meteorológicas recurrentes propias de lo que se podría denominar genéricamente clima alpino, con valores muy característicos de variables como el viento, la temperatura, la nubosidad y la precipitación.
- Dan lugar a una gran variedad de microclimas¹ debido al gran contraste observado de las principales variables meteorológicas como resultado de su compleja orografía que condiciona aspectos tales como la radiación incidente, exposición al viento, precipitación y otros aspectos que hacen posible que las zonas montañosas pueden llegar a presentar una gran variedad de microclimas en apenas centenas de metros.

Este último aspecto es fundamental para entender el carácter más novedoso de la red de medida meteorológica de alta resolución en el Parque Natural de Peñalara. En esta zona, situada por encima de los frondosos pinares y que se corresponde con las denominadas cumbres de Peñalara, la vida animal y vegetal, los procesos de precipitación, de acumulación de nieve e incluso de erosión que sufre el suelo y que han conformado su aspecto actual, se encuentran fuertemente controlados por el clima del suelo y de las capas de aire junto a él, es decir, su microclima. Estos microclimas, están formados a su vez por un mosaico de “topoclimas”² como resultado de los obstáculos, afloramientos rocosos y otras irregularidades del terreno, que pro-



Figura 1.- Los diferentes microclimas y topoclimas existentes en el Parque son la principal causa de su gran biodiversidad.

vocan de nuevo importantes variaciones dentro de un microclima (Tappeiner, 2001; Fu, 2002; Dargie, 1987). Esta combinación de microclimas con topoclimas es la principal causa de la gran biodiversidad que caracteriza a las zonas de montaña ya que determina el tipo de cubierta vegetal que de nuevo puede influir sobre el microclima hasta que se alcanza un equilibrio más o menos estable. Es fácil comprobar cómo en cualquier rincón del Parque pequeñas irregularidades topográficas o pequeñas diferencias en el ángulo y la orientación de las pendientes pueden producir contrastes muy marcados en los tipos de líquen que colonizan cada roca o el tipo de vegetación que cubre el suelo (Sancho, 2000; Anderton, 2002) como se aprecia en la Figura 1.

Existen diferentes clasificaciones de los microclimas alpinos en función de los valores medios observados de variables meteorológicas tales como la radiación recibida por cada pendiente, el grado de exposición al viento, la profundidad de la cubierta de nieve y la densidad y profundidad de la cubierta vegetal (Turner, 1980). Otras clasificaciones son más sencillas, pero todas expresan la necesidad de disponer de información meteorológica de alta resolución espacial, es decir, capaces de discernir diferencias en apenas decenas de metros.

Finalmente, esta zona tiene un gran interés turístico y de divulgación medioambiental. Por ella transcurren al año numerosos visitantes que demandan información meteorológica, sin olvidar otros aspectos, afortunadamente poco frecuentes, como son los incendios forestales u otras situaciones de emergencia donde la información meteorológica puede ser de gran ayuda. Estas y otras razones son las que condujeron al establecimiento de una red meteorológica en el Parque Natural y su Área de Influencia Socioeconómica, cuyas observaciones permitan, paulatinamente, cumplir los siguientes objetivos:

- Realizar estudios de variabilidad climática.
- Caracterizar la climatología y la fenomenología meteorológica de alta montaña en la Sierra de Guadarrama, y más concretamente, en el Parque Natural de Peñalara y su zona de influencia.
- Estimar y caracterizar los distintos microclimas y topoclimas existentes en el Parque.

1. Microclima: es el clima existente en los dos metros cercanos a la superficie y el primer metro del suelo. La vegetación influye considerablemente en el microclima aunque también influyen la orientación y la pendiente. Los microclimas suelen tener una extensión horizontal típica de metros a centenas de metros. La consideración de los microclimas son fundamentales en los estudios de vegetación, ecología y estudio de la dinámica de poblaciones de plantas y animales (Stoutjesdijk, 1992).

2. Topoclima: variante local del clima causada por los accidentes topográficos, la vegetación o por la acción del hombre. El estudio de los topoclimas es muy importante en ecología urbana y en bioclimatología (Stoutjesdijk, Ph. y J. J. Barkman, 1992; Richards, 2002).

- Documentar y analizar fenómenos meteorológicos extremos, prevenir riesgos relacionados con la meteorología y apoyar ante situaciones de emergencia.
- Informar a otros organismos y al público sobre el resultado de las medidas y divulgar conceptos relacionados con la meteorología y el medio ambiente.

En las proximidades del Parque se ubica una de las estaciones meteorológicas que conforman la red del Instituto Nacional de Meteorología, la estación de Navacerrada situada a 1890 m de altitud (Latitud: 40° 46' 50" N Longitud: 4° 00' 37" W). Esta estación de alta montaña opera desde hace más de medio siglo y ha sido utilizada en numerosos estudios científicos de muy diversos ámbitos. Algunos de estos estudios tienen un carácter local (Tena, 1986; Díaz, 1997; Palacios, 1997; Sanz-Elorza, 2003; Manrique, 2004; Lana, 2005), mientras otros hacen uso de las características de estación remota de alta montaña indicadora del clima global (Agustí-Panareda, 2002; Kysely, 2004; Bosch, 2007).

El histórico de datos de esta estación permite enmarcar las condiciones atmosféricas en las que se ha encontrado la zona durante las últimas décadas, tal como se puede comprobar en la Tabla 1.

Si bien esta estación ha servido eficazmente para realizar estudios de muy diversa índole en la zona del Macizo de Peñalara, la demanda creciente por parte de los numerosos grupos de investigación que trabajan en la zona de observaciones más precisas y representativas, condujeron a la instalación por parte del propio Parque (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid) de una

estación automática en el mismo corazón del Parque en 1998, concretamente en el denominado Refugio de Zabala a 2200 metros de altitud. Este esfuerzo de monitorización continuó con la instalación de dos estaciones automáticas más, una en Cabeza Mediana (1680 m) y otra en el Puerto de los Cotos (1846 metros). Actualmente se está experimentando con un prototipo de estación meteorológica de bajo impacto, con unos requerimientos mínimos de instalación, mantenimiento y de gran robustez en siete ubicaciones del Parque y que permite la instalación de varios puntos de medida con el mismo coste que una estación automática convencional.

El carácter remoto de los emplazamientos de esta red tiene repercusiones directas sobre la calidad y la cobertura de los datos obtenidos. La instalación es complicada y las labores de mantenimiento deben concentrarse en primavera, verano y otoño, justo cuando menos se requieren. Tampoco se dispone de fuentes de energía con la que alimentar los equipos o calefactar algunos sensores especialmente diseñados para alta montaña; sin olvidar que las instalaciones quedan expuestas al vandalismo ya que, aunque con un seguimiento diario, no pueden estar vigiladas de forma continua. Finalmente, las condiciones ambientales a las que se encuentran expuestas los equipos y sus estructuras son extremas, propias de un clima de alta montaña. En invierno, las temperaturas son bajas y mantenidas durante días, lo que disminuye notablemente el rendimiento de las baterías. En verano, la radiación es muy alta, lo que acelera la degradación de plásticos y pinturas. La nieve y el hielo también realizan un desgaste mecánico considerable, ya que cuando se acumula sobre las estructuras, puede llegar a fracturarlas cuando se combina con vientos, en algunos casos, huracana-

Tabla 1. Valores climatológicos de las principales variables medidas en la estación Navacerrada del Instituto Nacional de Meteorología (Fuente: INM)

Estación de Navacerra (Periodo: 1971-2000)								
MES	Temperatura media (°C)	Temperatura media de las máximas (°C)	Temperatura media de las mínimas (°C)	Precipitación media mensual (mm)	Humedad relativa media (%)	Número medio de días de nieve	Número medio de días de tormenta	Número medio de días de sol
ENE	-0.6	2.0	-3.1	141	82	13	0	108
FEB	-0.2	2.5	-2.9	116	83	12	0	107
MAR	1.5	4.7	-1.7	92	78	11	1	159
ABR	2.5	5.7	-0.8	138	81	13	1	160
MAY	6.5	10.2	2.8	142	76	5	4	209
JUN	11.9	16.3	7.5	71	66	1	5	275
JUL	16.2	21.2	11.3	33	54	0	4	339
AGO	16.3	21.2	11.3	24	54	0	3	323
SEP	12.4	16.6	8.2	63	65	1	3	212
OCT	6.7	9.8	3.6	143	81	3	1	146
NOV	2.8	5.4	0.2	186	83	8	0	108
DIC	0.7	3.2	-1.7	176	83	11	0	93
AÑO	6.4	9.9	2.9	1326	74	78	22	2238



dos. Estos factores son un breve resumen de las diversas circunstancias que afectan al rendimiento de una red de alta montaña, y que en sí mismos explican la escasez de este tipo de redes en todo el mundo.

A continuación se presenta una descripción de la red, mostrando los parámetros fundamentales de cada estación de medida y algunos resultados preliminares. También se apuntan algunas de las nuevas posibilidades, que desde el punto de vista científico, aporta esta red, y que será necesario explotar en el futuro.

DESCRIPCIÓN DE LA RED

Actualmente la red se compone de tres estaciones automáticas: Refugio de Zabala (2079 m), Puerto de los Cotos (1800 m) y Cabeza Mediana (1693 m), y siete balizas meteorológicas: Pico de Peñalara (2414 m), Dos Hermanas (2236 m), Pared Negra (2174 m), Charcas del Pico (2137 m), Chozo de Aforos (1937 m), Laguna del Operante (1935 m) y Hoyo de Pepehernando (1886 m) Figuras 2 y 3.

Los criterios de ubicación de estas estaciones han sido aquellos que mejor podían dar cumplimiento a los objetivos de la red anteriormente expuestos. Estos criterios se pueden resumir en:

- **Máxima representatividad.** La estación es representativa de las condiciones ambientales de la zona en la que se ubica, habiéndose evitado la selección de microambientes y optando por zonas bien ventiladas y expuestas. Se han seleccionado ubicaciones en cada una de las microcuencas del Parque y en todo el rango de altitudes, incluyendo la cima máxima.
- **Mínimo impacto.** Se han seleccionado zonas de bajo impacto visual, ambiental y ecológico.
- **Accesibilidad.** Relativo buen acceso a la instalación para su instalación, mantenimiento y volcado de datos.

De cada estación se muestra una ficha descriptiva en las figuras 12 a la 21.

RESULTADOS PRELIMINARES

Para poder realizar un análisis climatológico con los datos de la red sería necesario disponer de un histórico de datos mucho mayor, de al menos treinta años. Esto es así dado que el sistema climático presenta variabilidades interanuales, que hacen que cada año sea siempre, meteorológicamente hablando, diferente

del anterior. Es necesario, por tanto, incluir un gran número de años para poder caracterizar el clima de una zona y captar adecuadamente el comportamiento medio de las principales variables meteorológicas. No obstante, algunas estaciones de la red están operativas desde el año 1999, y aunque es claramente insuficiente, se puede comprobar si el comportamiento es coherente

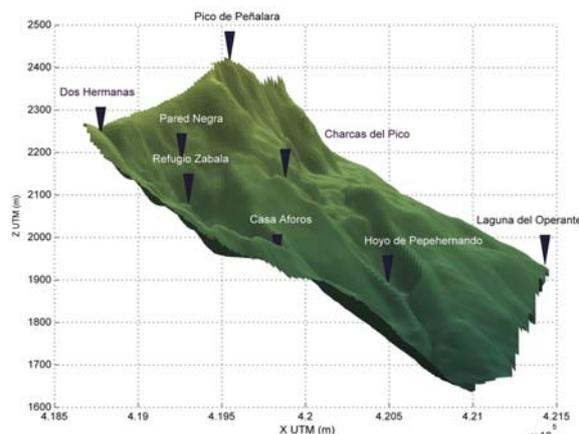


Figura 2.- Ubicación geográfica de las estaciones que se encuentran dentro del Parque Natural de Peñalara.

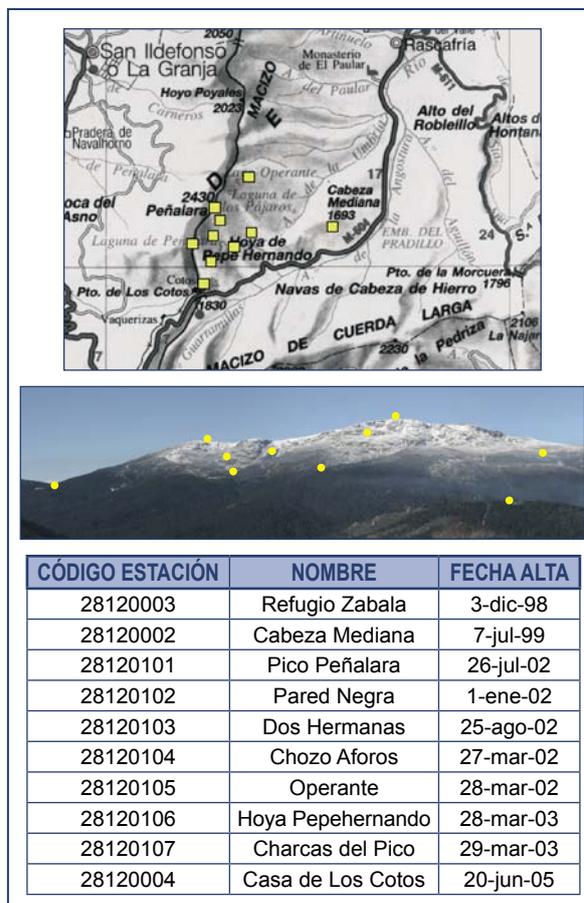


Figura 3.- Código, nombre y fecha de instalación de las estaciones que conforman la Red Meteorológica del Parque Natural de Peñalara.

con la climatología de la zona, suministrada por la estación INM de Navacerrada. En la figura 4 se muestran los valores medios mensuales registrados hasta la fecha en tres estaciones de la red a altitudes muy distintas y la estación de Navacerrada del INM. Es importante llamar la atención sobre el hecho de que los periodos de cálculo son muy distintos entre las distintas estaciones, siendo el gráfico correspondiente a la estación de Navacerrada el único realmente válido, desde el punto de vista climatológico.

Estos gráficos sirven para comprobar como la estación 002 (Cabeza Mediana) con el histórico de datos mayor y más completo, es aquel que muestra un comportamiento más cercano a la climatología observada en Navacerrada. Sin embargo se notan diferencias importantes durante los meses de invierno. Esta circunstancia, aún más acusada en las otras dos

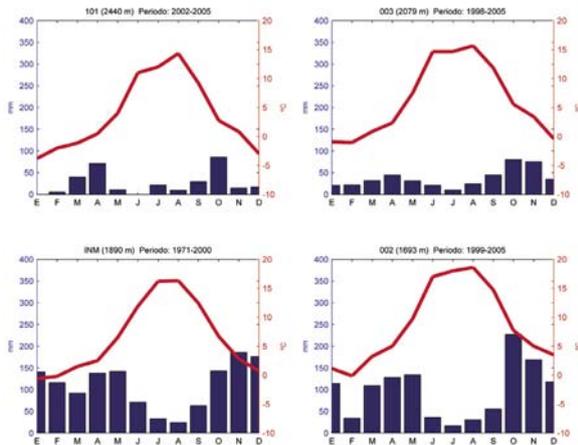


Figura 4.- Valores medios medidos para diferentes periodos y climograma de la estación INM Navacerrada. Las barras son la precipitación media mensual y la línea representa la temperatura media mensual.

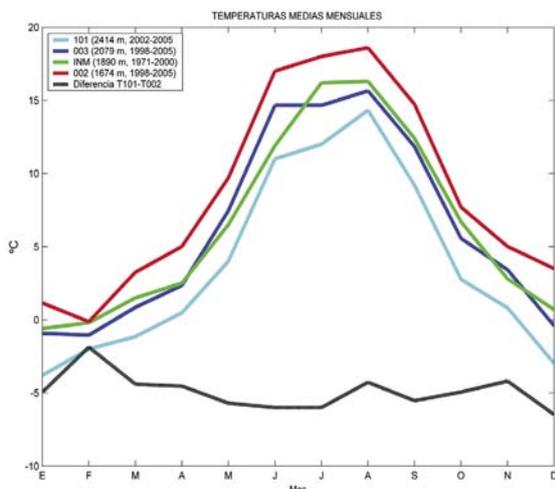


Figura 5.- Valores la temperatura media mensual y gradiente térmico medio

estaciones de la red, puede deberse al hecho de que con la tecnología disponible hasta 2005, únicamente se están contabilizando precipitaciones líquidas. En los meses de invierno, gran parte de la precipitación es sólida, nieve y granizo, que únicamente se podría contabilizar en una estación automática si se dispone de instrumental adecuado. Este hecho ya se observó durante los primeros años de operación de la red y se corrigió con la instalación de un pluviómetro calefactado en la estación 003 (Refugio Zabala). La puesta en marcha de estos sensores, conllevó la instalación de fuentes adicionales de energía eléctrica. En lo que respecta a las estaciones 101 y 003, aún es pronto para concluir variaciones espaciales de la precipitación. Por otro lado, las denominadas “balizas meteorológicas” aún están en fase de validación y perfeccionamiento. El emplazamiento en el Pico de Peñalara, a parte de probablemente sufrir el mismo fenómeno, presenta unas particularidades asociadas a la dureza de las condiciones ambientales a las que se encuentra expuesta, que han provocado importantes lagunas de datos. Será necesario esperar aún más tiempo para poder concluir particularidades climatológicas.

La Figura 5 muestra los valores medios mensuales de temperatura en cuatro estaciones. Como se puede comprobar, la diferencia altitudinal se refleja en los valores medios de la temperatura. Tal y como era de esperar, se ha encontrado un gradiente térmico vertical con las menores temperaturas para las estaciones situadas a mayor altitud, siendo esta diferencia de temperatura prácticamente constante a lo largo de todo el año. Este hecho es fácil de comprobar al haberse representado también la diferencia de temperatura entre la estación a mayor altitud (101) con la de menor altitud (003). Esta diferencia tiene una media anual de $-6.6 \text{ }^\circ\text{C/Km}$, siendo ligeramente mayor durante los meses de invierno, y menor durante los meses de verano. Este valor del gradiente térmico vertical se encuentra entre el correspondiente al de una atmósfera seca (el gradiente adiabático seco es de $-9.78 \text{ }^\circ\text{C/Km}$) y el de una atmósfera húmeda ($-4.9 \text{ }^\circ\text{C/Km}$) (Barry, 1992). No es casualidad que el valor mínimo de este gradiente se corresponda con los meses con mayor índice de tormentas en la zona, mayo y junio, es decir, donde ocurren la mayoría de los procesos de convección y donde la atmósfera tendrá una composición más parecida a la atmósfera saturada.

El comportamiento del gradiente térmico vertical es aún más interesante cuando se analizan los valores horarios de las temperaturas registrados por las estaciones ubicadas a diferentes altitudes. La Figura 6 muestra la evolución del gradiente vertical de temperatura calculado a partir de las observaciones así como los valores del gradiente adiabático seco y saturado.



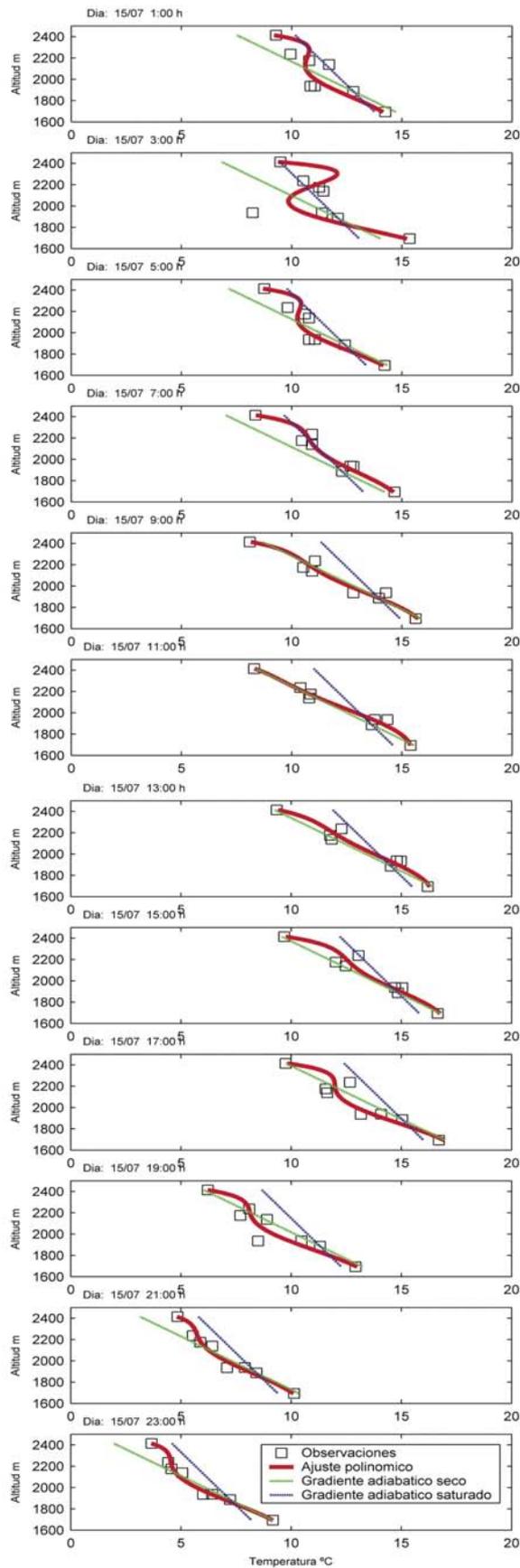


Figura 6.- Evolución diaria de las temperaturas medias horarias observadas y gradientes térmicos estimados el día 15/7/2002

Como se puede observar en estas gráficas se muestra la utilidad de una red de alta resolución. Por lo general, en las redes de alta montaña se dispone de menos estaciones por cada nivel de altitud, y el gradiente vertical calculado omite estas inversiones. En este día concreto, reflejado en la Figura 6, la omisión no sería importante durante algunas horas del día (horas centrales del día), sin embargo, a partir de las 17:00 horas el gradiente térmico vertical comienza a quebrarse, formando una inversión máxima durante las primeras horas de la madrugada (ver pendiente positiva). Este fenómeno de inversión no es esporádico en el Parque y además muestra una dinámica repetitiva noche-día que se repite hasta que las condiciones atmosféricas dejan de ser favorables. Es obvio que desde el punto de vista ambiental el fenómeno de inversión térmica puesto de manifiesto por la red descubre zonas del Parque sujetas a unas condiciones ambientales diferentes a las esperadas, o al menos, más complejas y que será necesario estudiar con más detalle.

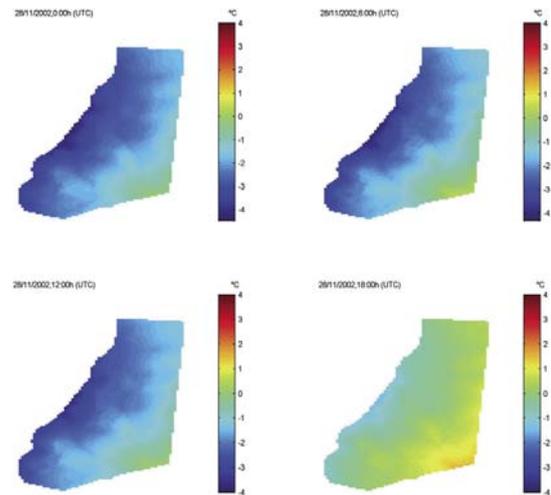


Figura 7.- Campos de temperatura de alta resolución (20 m) para el Parque Natural de Peñalara correspondientes a las 0, 6 12 y 18 horas del día 22 de Agosto de 2002.



Figura 8.- Estudio de intercomparación de pluviómetros utilizados en la red. Ubicación de Cabeza Mediana.

Una de las aplicaciones del cálculo de perfiles verticales de temperatura que proporciona esta red es la estimación de campos de temperatura de muy alta resolución y el cálculo de series de temperatura en ubicaciones donde no existen estaciones de medida (Durán, 2004) Figura 7.

Otro aspecto de interés que pone de manifiesto esta red es la variación espacial de la precipitación líquida (Figura 9). El Parque está constituido por varias cuencas, y la precipitación recogida por cada una de ellas dependerá, entre otros factores, de su área y de la distribución espacial de la precipitación. Un método aceptado es la generalización de la precipitación recogida por un pluviómetro a un área de varias decenas de kilómetros cuadrados y aplicar esos valores a toda la cuenca. Sin embargo, en zonas de alta montaña, los procesos que conducen a la precipitación son complejos, haciendo que varíe considerablemente en pocos centenas de metros. Si bien es cierto que cuando el periodo de integración es muy largo (climatología) la precipitación total entre puntos próximos tiende a ser igual, no lo es evento a evento y, probablemente, tampoco lo sea desde el punto de vista del balance hídrico. Existe numerosa documentación sobre la variación de la precipitación con la altitud (Daly, 1994; Konrad 1995; Frei, 1998) y la relación existente entre las montañas y los procesos de precipitación

(Lin, 2001). Estos autores, entre otras cosas, ponen de manifiesto la alta correlación existente entre altura y la precipitación total, generalmente calculada a partir de valores promediados mensual o incluso anualmente, por otro lado, las estaciones utilizadas en este tipo de estudios distan en altitud y también en distancia horizontal varias decenas de kilómetros. Este no es el caso que nos ocupa, ya que esta red dispone de estaciones con apenas una diferencia de decenas de metros en vertical y pocos centenas de metros en horizontal. Por otro lado, un aspecto que hay que tener en cuenta en el estudio de la precipitación es la utilización de diferentes tipos de sensores, cuya intercomparabilidad está siendo estudiada (Sevruk, 1994) como se aprecia en la Figura 8.

Esta red permitirá en el futuro el estudio de la fenomenología de los procesos meteorológicos que actúan en el Parque, y sus conclusiones podrán extrapolarse a otras zonas del Sistema Central e incluso a otras zonas de montaña. La Figura 10 muestra la evolución de algunas de las variables medidas por la red, incluyendo alguna variable calculada como es la temperatura del punto de rocío (Teten, 1930; Bolton 1980), en un episodio de precipitación de verano debido a la formación de una tormenta el día 10 de agosto de 2002. Nótese como a diferencia de lo que ocurrió el 10 de agosto, el aire encontró condiciones de casi saturación

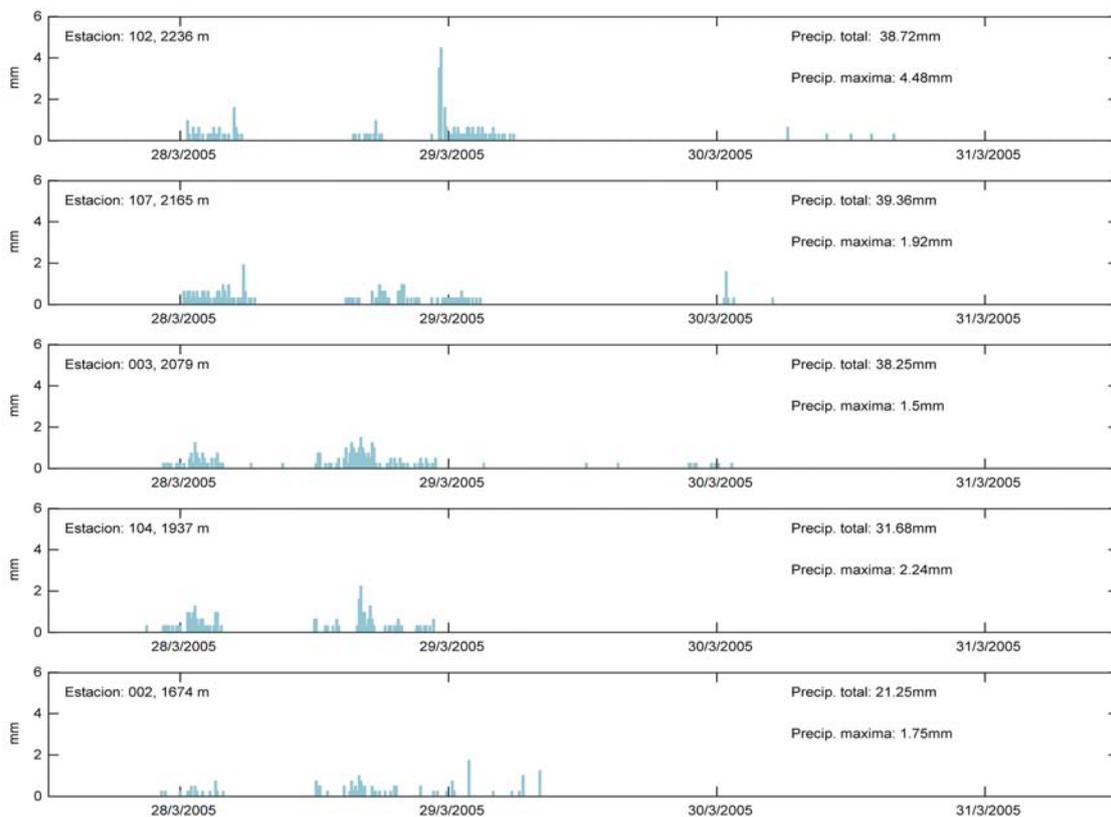


Figura 9.- Precipitación observada en cinco estaciones de la red.



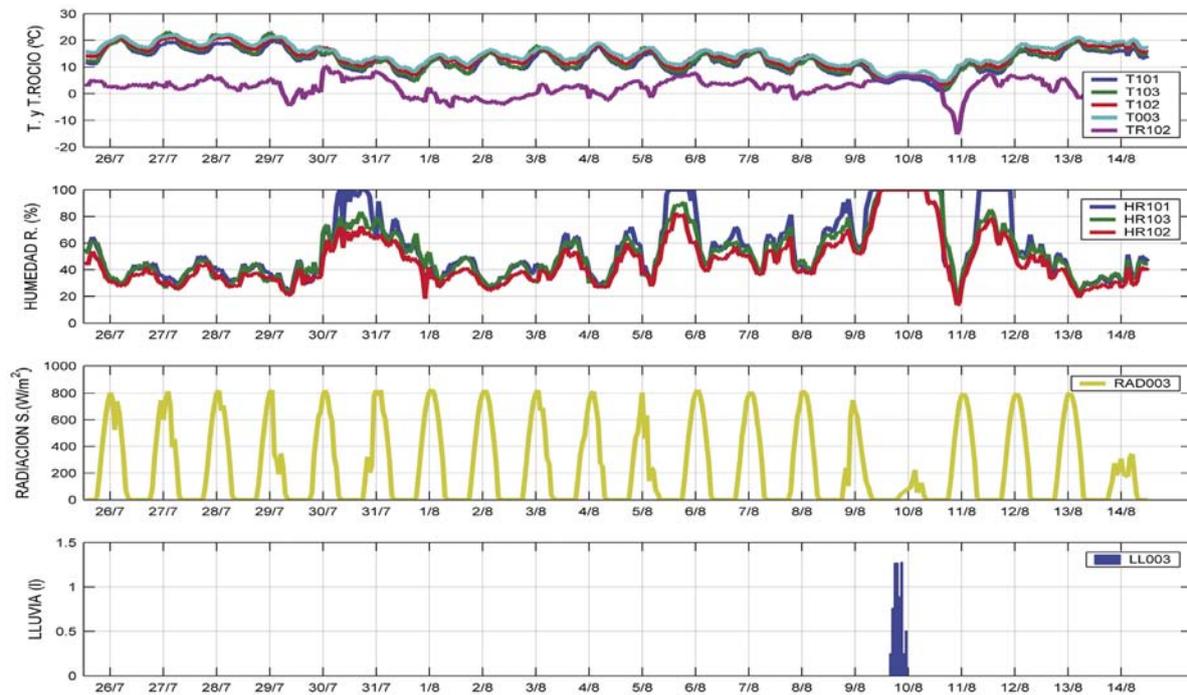


Figura 10.- Observaciones: T101: Temperatura media horaria en 101; T103: Temperatura media horaria en 103; T102: Temperatura media horaria en 102; T003: Temperatura media horaria en 003; TR102: Temperatura del punto de rocío calculada en 102; HR101: Humedad relativa media horaria en 101; HR103: Humedad relativa media horaria en 103; HR102: Humedad relativa media horaria en 102; RAD003: Radiación solar global media horaria en 003; LL003: Precipitación acumulada horaria en 003.

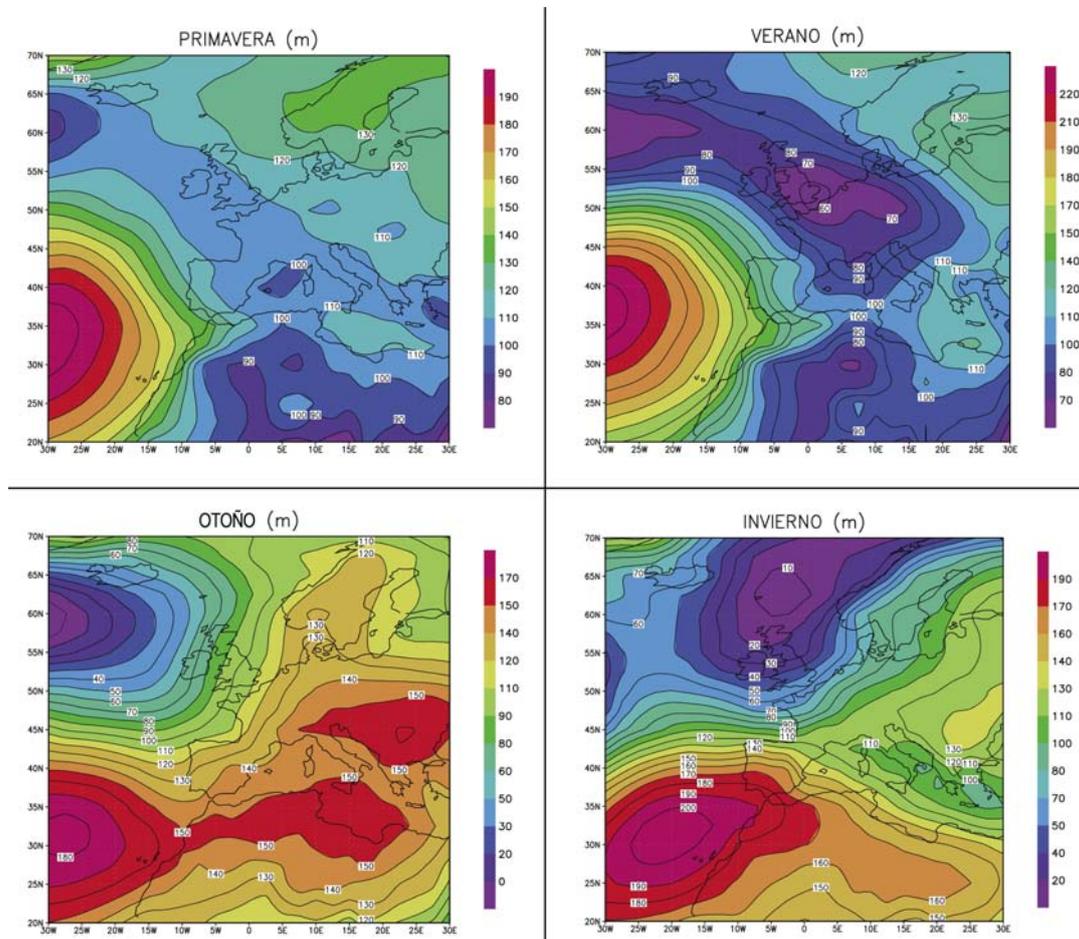


Figura 11.- Mapas compuestos de geopotencial para eventos de precipitación y para cada estación del año.



(temperatura del aire es igual a temperatura del punto de rocío) lo que produjo un aumento de la nubosidad (reflejado en el valor de la radiación), pero sin llegar a precipitar. Se puede suponer además, que este aumento de la nubosidad se produjo a una cota de mayor altura, tal como muestra el gradiente de humedad relativa (valores mucho más altos de la humedad relativa en la estación del Pico de Peñalara).

Otra aplicación inmediata de los resultados de esta red sería el estudio de la relación entre la situación sinóptica, es decir, la configuración de los campos de presiones a nivel continental, y los valores detectados a nivel local. La Figura 11 muestra un ejemplo de mapa compuesto de altura de geopotencial para las distintas estaciones del año ante eventos de precipitación que permitiría avanzar en el conocimiento de los procesos de precipitación en alta montaña, y poder, entre otras aplicaciones, ayudar considerablemente en la predicción meteorológica.

Un análisis somero de la Figura 11 muestra como la precipitación en el Parque Natural de Peñalara ocurre en otoño e invierno ante situaciones de altas presiones en Azores y bajas presiones en Gran Bretaña, tal como era de esperar, con viento considerable del Oeste, siendo más acusado en invierno. Este dipolo de presiones, conocida como Oscilación del Atlántico Norte, da lugar a precipitaciones en nuestras latitudes cuando se encuentra más bajo de lo normal, tal como se puede apreciar en la figura. Por otro lado, la precipitación en primavera y verano, con un sistema de altas presiones en Azores, gran separación entre las isobaras, y por tanto apenas viento de origen sinóptico, se debe a fenómenos de convección, es decir, tormentas, probablemente inducidas orográficamente.

CONCLUSIONES

Se ha descrito la Red Meteorológica del Parque Natural de Peñalara con diversas innovaciones desde el punto de vista conceptual e instrumental. También se han apuntado diversas líneas de investigación que serán necesarias explotar en el futuro y aunque su instalación es reciente, se pueden extraer algunas conclusiones:

El Parque Natural de Peñalara presenta unas condiciones ambientales muy adversas para la medida meteorológica tal como se ha puesto de manifiesto desde el año 1998, fecha desde la que se vienen llevando a cabo observaciones meteorológicas mediante estaciones automáticas e instrumentación específicamente diseñada para entornos de montaña. Se ha probado diferente instrumentación y se han adoptado medidas para minimizar las pérdidas de datos, pero aún sigue siendo necesario avanzar en la robustez del sistema y la comparabilidad de las medidas.

Con objeto de caracterizar la gran diversidad de los microclimas presentes en esta zona ha sido necesario disponer de una alta densidad de estaciones. Los criterios de ubicación de los puntos de medida se han mostrado determinantes para poder cumplir los objetivos de la red.

Los valores de las principales variables meteorológicas obtenidos hasta la fecha se están mostrando coherentes con los datos obtenidos por estudios de características similares realizados en otras regiones montañosas. Por otro lado, se apuntan procesos locales muy interesantes, no solo desde el punto de vista meteorológico. Entre estos aspectos se incluyen la frecuente aparición de inversiones térmicas, procesos de precipitación con alta variabilidad espacial y otros fenómenos propios de la orografía compleja.

Entre otros valores añadidos de la red, se han ensayado métodos simples de obtención de campos meteorológicos de alta resolución y cálculo de series meteorológicas en zonas donde no hay estaciones. La explotación de estas posibilidades son las principales líneas en las que proseguir la investigación a corto plazo. Otro aspecto a investigar será la determinación de los procesos meteorológicos a nivel sinóptico que influyen en los procesos de precipitación y los valores extremos de temperatura así como otros fenómenos locales.



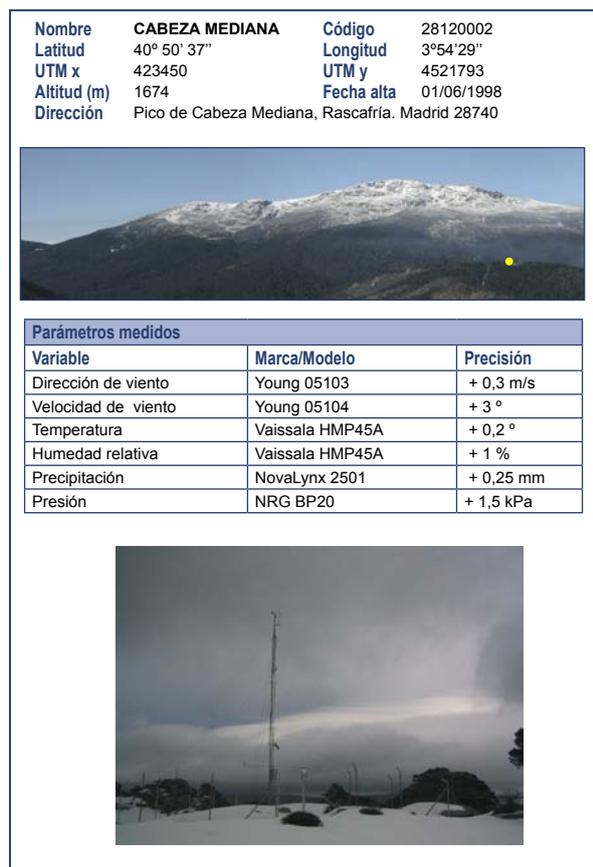


Figura 12.- Resumen de parámetros de la estación ubicada en Cabeza Mediana

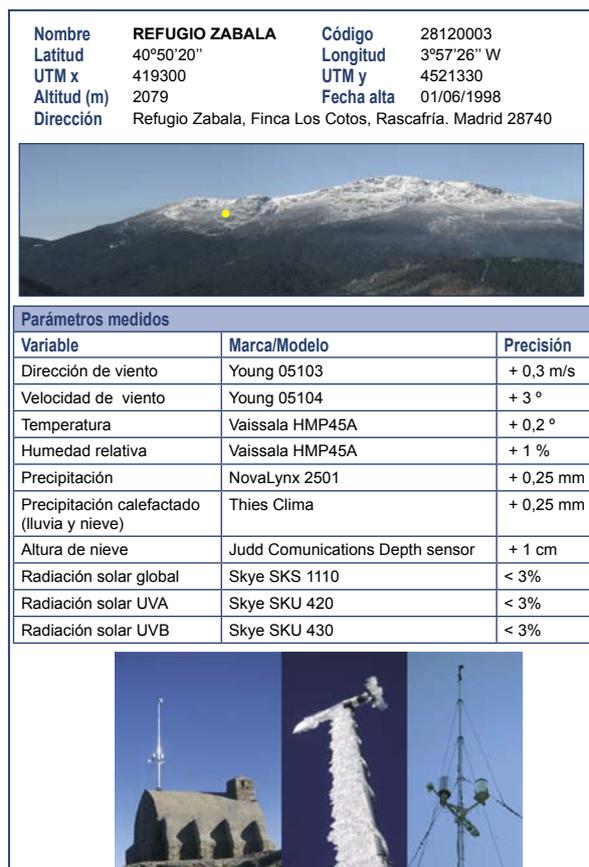


Figura 13.- Resumen de parámetros de la estación ubicada en el Refugio Zabala



Figura 14.- Resumen de parámetros de la estación ubicada en Cotos

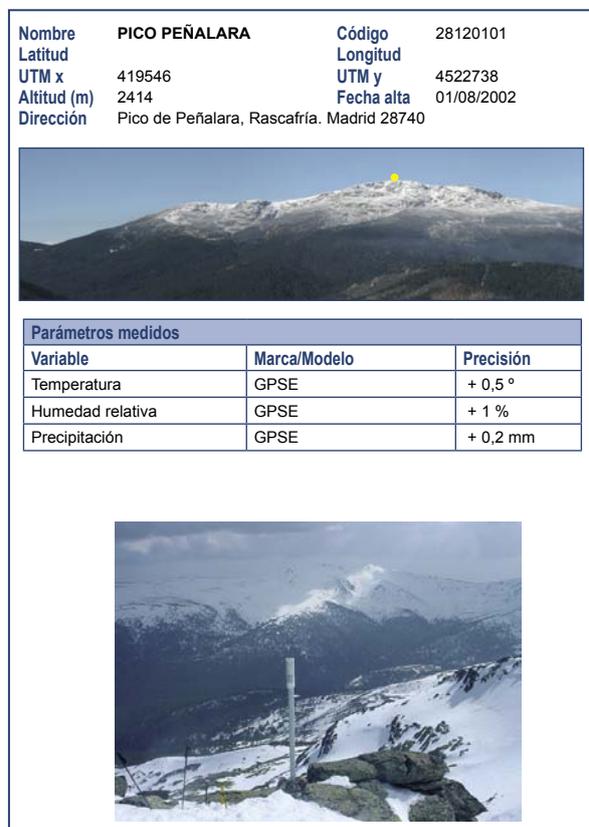


Figura 15.- Resumen de parámetros de la estación ubicada en el Pico de Peñalara



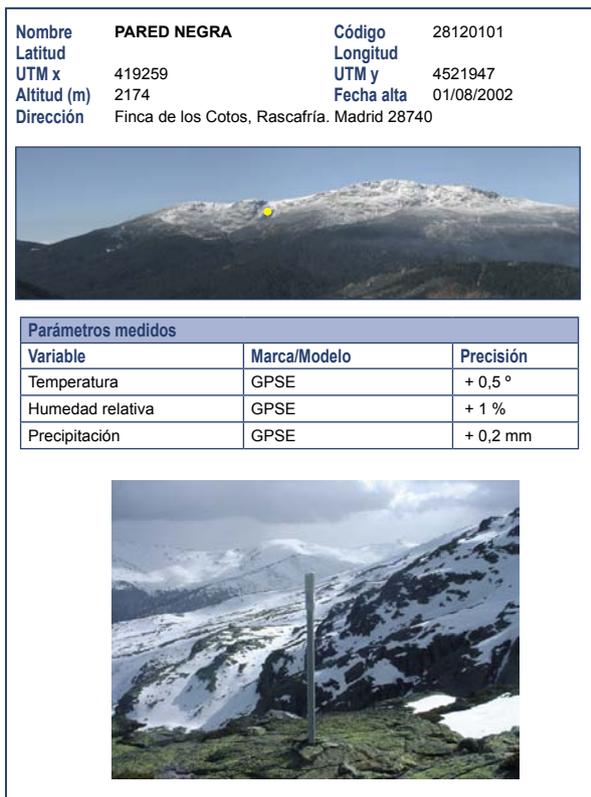


Figura 16.- Resumen de parámetros de la estación ubicada en la Pared Negra

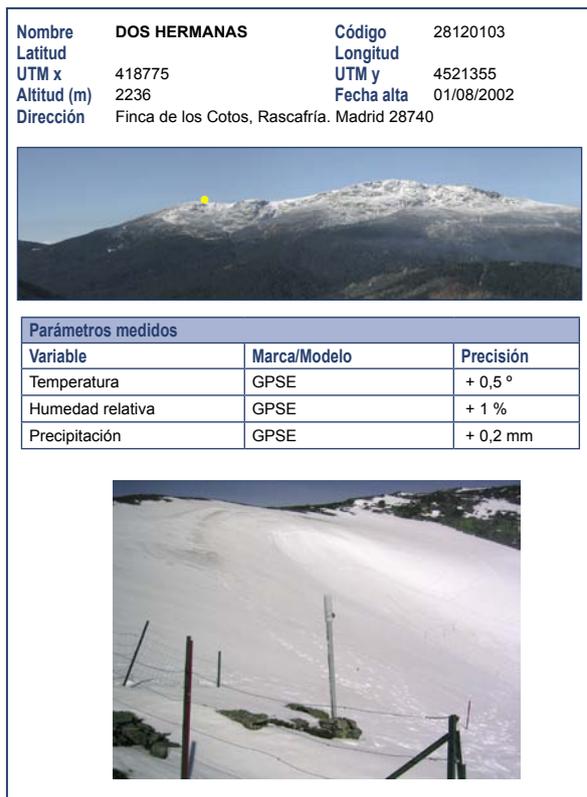


Figura 17.- Resumen de parámetros de la estación ubicada en Dos Hermanas

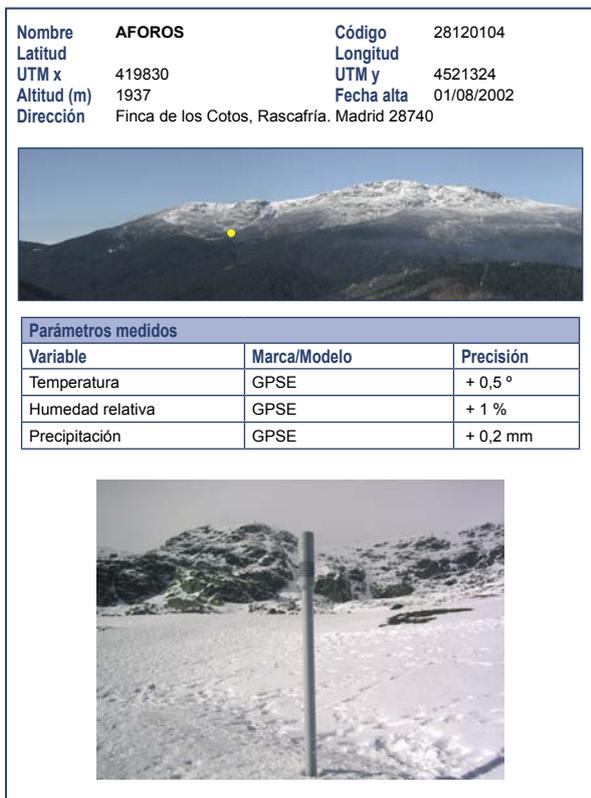


Figura 18.- Resumen de parámetros de la estación ubicada en Aforos

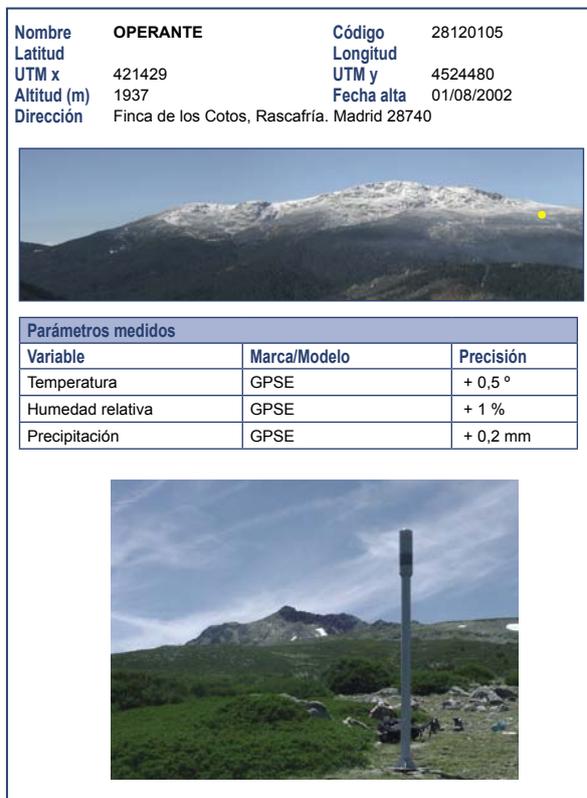


Figura 19.- Resumen de parámetros de la estación ubicada en El Operante



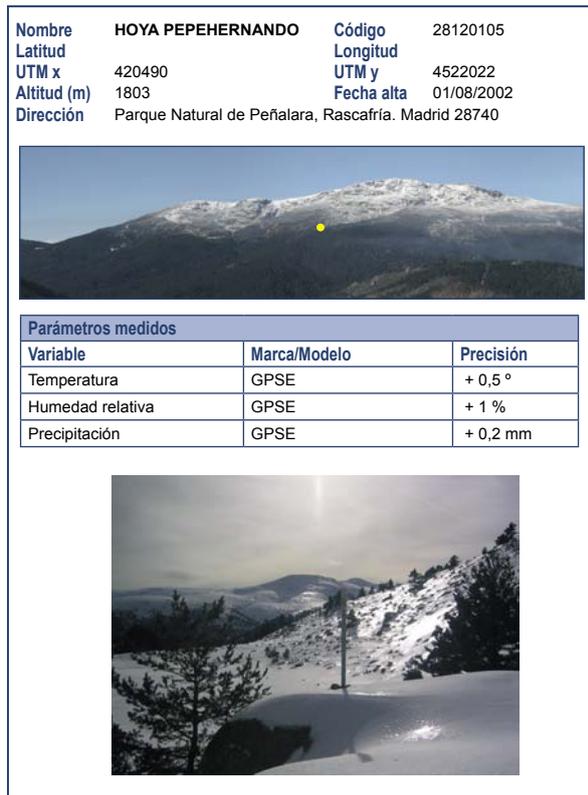


Figura 20.- Resumen de parámetros de la estación ubicada en la Hoya de Pepehernando

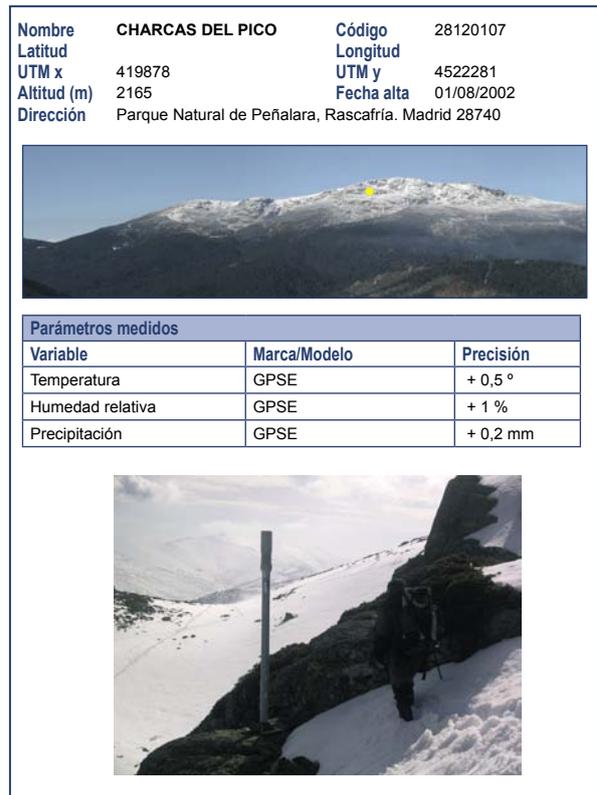


Figura 21.- Resumen de parámetros de la estación ubicada en las Charcas del Pico

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUSTÍ-PANAREDA A, THOMPSON R., 2002. Reconstructing air temperature at eleven remote alpine and arctic lakes in Europe from 1781 to 1997 AD. *Journal of Paleolimnology*, Volume 28, Number 1.
- ANDERTON S.P., WHITE S.M., ALVERA B., 2002. Micro-scale spatial variability and the timing of snow melt runoff in a high mountain catchment. *Journal of Hydrology*, 268, 158–176.
- BAND, L., PETERSON, D., RUNNING, S., COUGHLAN, J., LAMMERS, R., DUNGAN, J., NEMANI, R. 1991. Forest ecosystem processes at the watershed scale: basis for distributed simulation. *Ecological Modelling*, 56, 171-196.
- BARRY R.G., 1992. *Mountain Weather and Climate*. 2nd ed., Routledge, London/New York, 402 pp.
- Bolton, D., 1980. The computation of equivalent potential temperature. *Monthly Weather Review*, 108, 1046-1053.
- BOSCH J, CARRASCALI L.M., DURÁN L, WALKERS S. AND FISHER M.C., 2006. Climate change and outbreaks of amphibian chytridiomycosis in a montane area of Central Spain; is there a link? *Proc. R. Soc. B* (2007), 274, 253-260.
- DALY C., NEILSON R. P. R. , PHILLIPS D. L., 1994. A Statistical-Topographic Model for Mapping Climatological Precipitation over Mountainous Terrain. *Journal of Applied Meteorology*. Article: pp. 140–158
- Dargie C.D., 1987. An Ordination Analysis of Vegetation Patterns on Topoclimate Gradients in South-East Spain. *Journal of Biogeography*, Vol. 14, No. 3, pp. 197-211
- DE PEDRAZA-GILSANZ J., 2000. Peñalara: ¿Un paradigma para la conservación de las montañas?. En: *Segundas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y Valle de El Paular*. Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente. 9-18.
- DIAZ H.F., BRADLEY R.S., 1997. Temperature Variations During the Last Century at High Elevation Sites. *Climatic Change*, 36: 253–279, 1997.
- DURÁN - MONTEJANO L. y RODRÍGUEZ-FONSECA R. B., 2003. Description and Preliminary Results of a Meteorological Network for High Altitudes in the Peñalara, Cumbre, Circo y Lagunas Natural Park. *3ª Conferencia Internacional sobre Experiencias con Estaciones Meteorológicas Automáticas*.
- DURÁN L., 2003. Description and Preliminary Results of a Meteorological Network for High Altitudes. *European Geophysical Assembly-American Geophysical Union*.
- DURÁN L., 2004. System for High Resolution Temperature Fields Estimation in Mountain environments. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 6, 05418, 2004
- FONTAINE T.A., CRUICKSHANK T.S., ARNOLD J.G. Y HOTCHKISS R.H., 2002. Development of a snowfall-snowmelt routine for mountainous terrain for the soil water assessment tool (SWAT). *Journal of Hydrology*, 262, 209-223.
- FREI C. and SCHÄR C., 1998. A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. *International Journal of Climatology*, 18, 873-900.
- FRIEDLAND A.J., BOYCE R.L., VOSTRAL C.B., HERRICK G.T., 2003. Winter and early spring microclimate within a mid-elevation conifer forest canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 115, 195-200.
- FU P. y RICH P.M., 2002. A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry. *Computers and Electronics in Agriculture*, 37, 25-35.
- GAREN D. C., GREGORY L. J. y CLAYTON L. HANSON. 1994. Mean Areal Precipitation for Daily Hydrologic Modeling in Mountainous Regions. *Water Resources Bulletin*, 30, 481-491.
- GRANADOS I., TORO M., 2000. Limnología en el Parque Natural de Peñalara: nuevas aportaciones y perspectivas de futuro. En: *Segundas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y Valle de El Paular*. Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente. 55-72.
- HARTMANN, D.L., 1994: *Global Physical Climatology*. Academic Press, 411 pp.



- HOLKO L. y LEPISTO A., 1997. Modelling the hydrological behaviour of a mountain catchment using TOPMODEL. *International Journal of Hydrology*, 196, 361-377.
- KONRAD II C.E, 1995. Maximum precipitation rates in the southern Blue Ridge Mountains of the southeastern United States. *Clim Res.*, Vol. 5: 159-166.
- KYSELY J, DUBROVSKY M., 2004. Simulation of extreme temperature events by a Stochastic Weather Generator: Effects of Interdiurnal and Inerannual Variability Reproduction. *Int. J. Climatol.*, 25: 251-269 (2005).
- LANA X. *et al.* 2005. *Distributions of long dry spells in the Iberian Peninsula, years 1951-1990.*
- LIN, Y. L., WANG, T. A., KAPLAN, M. L., WEGLARZ, R. P., 2001. Some Common Ingredients for Heavy Orographic Rainfall. *Wea. Forecasting*, 16, 633-660.
- LEGATES, D.R. y WILLMOTT C.J., 1990: Mean Seasonal and Spatial Variability in Global Surface Air Temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 41, 11-21.
- LINDKVIST L., GUSTAVSSON T. y BOGREN J., 2000. A frost assessment method for mountainous areas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 102, 51-67.
- MANRIQUE E, FERNANDEZ-CANCIO A., 2004. Extreme Climatic Events in Dendroclimatic Reconstructions from Spain. *Climatic Change*, Volume 44, Numbers 1-2 / January, 2000.
- MONTOUTO-GONZÁLEZ O., 2000: La flora vascular rara, endémica y amenazada del Parque Natural de Peñalara y su entorno. Amenazas y necesidades de conservación en la Finca de los Cotos. En: *Segundas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y Valle de El Paular*. Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente.
- PALACIOS D., GARCÍA SANCHEZ-COLOMERM, 1997. The Influence of Geomorphologic Heritage on Present Nival Erosion: Penalara, Spain. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, Vol. 79, No. 1/2, pp. 25-40
- PEIXOTO, J.P y A.H. OORT, 1992: Physics of Climate. *American Institute of Physics*, 520 pp.
- SANZ-ELORZA M *et al.* 2003. Changes in the High-mountain Vegetation of the Central Iberian Peninsula as a Probable Sign of Global Warming. *Annals of Botany*. 92(2): 273-280.
- SANCHO L.G., 2000. Vegetación Liguénica y Procesos Naturales de Colonización en el Macizo de Peñalara. En: *Segundas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y Valle de El Paular*. Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente.
- SEVRUK, B., y L. ZAHLAVOVA, 1994. Classification system of precipitation gauge site exposure: Evaluation and application. *Internat. J. Climatol.*, 14, 681-689.
- STOUTJESDIJK, Ph. y BARKMAN J. J., 1992. *Microclimate, Vegetation and Fauna*. Opulus Press AB, Knivsta, Sweden, 238pp.
- TAPPEINER U., TAPPEINER G., ASCHENWALD J., TASSER E. y OSTENDORF B., 2001. GIS-based modelling of spatial pattern of snow cover duration in an alpine area. *Ecological Modelling.*, 138, 265-275.
- TENA F., TINAUT D., 1986. Solar Radiation in Spain. *Journal of Climatology* 6 (1): 53-68.
- TURNER, H., 1980. Types of microclimate at high elevations. *Mountain Environments and Subalpine Tree Growth*, 21-6.



¿CÓMO CAMBIARÁ LA LAGUNA GRANDE DE PEÑALARA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO?

IGNACIO GRANADOS

*Centro de Investigación y Gestión Puente del Perdón.
Parque Natural de Peñalara
Ctra. M-604, Km. 27,6
28740 Rascafría (Madrid)*

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a las conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático (Moreno Rodríguez, 2005), muy probablemente el clima venidero de España se volverá notablemente más calido. También es esperable una tendencia a la baja en las precipitaciones, aunque con una mayor incertidumbre en cuanto a la intensidad y localización de esta tendencia. Este cambio climático, que ya estamos experimentando, sin duda tendrá importantes repercusiones sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la conservación de determinadas especies.

La laguna Grande de Peñalara viene siendo objeto de estudio desde casi la misma declaración del Parque Natural (Granados y Toro, 2000a; Granados *et al.*, 2002, 2006). Desde julio de 1995 se ha venido realizando un seguimiento limnológico mensual de esta laguna, orientado fundamentalmente a evaluar las medidas de gestión y restauración emprendidas por el Parque Natural. A pesar de no ser su objetivo principal, este estudio ha permitido obtener una valiosa serie temporal de datos limnológicos que puede ser aplicada a la detección y evaluación de los cambios en los ecosistemas acuáticos de alta montaña en respuesta al cambio climático.

PERSPECTIVAS DE CAMBIO CLIMÁTICO E IMPACTOS SOBRE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS CONTINENTALES ESPAÑOLES

Para obtener una perspectiva de los cambios predecibles sobre la laguna Grande de Peñalara, es interesante sintetizar en primer lugar los cambios esperables tanto

en el clima a nivel de la Península Ibérica como en los ecosistemas acuáticos que en ella se asientan.

Así, de Castro *et al.* (2005) prevén entre otros los siguientes cambios climáticos para la Península Ibérica, ordenados de mayor a menor por su grado de fiabilidad:

- Tendencia progresiva al incremento de las temperaturas medias a lo largo del siglo XXI, que pueden oscilar entre 1,1°C y 2,0°C cada 30 años.
- Los aumentos de temperatura media serán mayores en los meses de verano que en los de invierno. Para el último tercio del siglo XXI, el incremento de la temperatura media podría alcanzar entre 5°C y 7°C en verano y entre 3°C y 4°C en invierno.
- El calentamiento de verano se producirá con mayor intensidad en las zonas del interior peninsular
- Tendencia generalizada a una menor precipitación acumulada anual.
- Mayor amplitud y frecuencia de las anomalías térmicas mensuales
- Mayor frecuencia de días con temperaturas máximas extremas, especialmente en verano
- En el último tercio del siglo XXI, la mayor reducción de precipitaciones se producirá en primavera y algo menos en verano.



En cuanto a los cambios esperables en los ecosistemas acuáticos españoles, cabe decir en primer lugar que dada la variedad y heterogeneidad intrínsecas, los efectos del cambio climático dependerán de las particularidades de cada sistema, por lo que es difícil hacer una evaluación general. No obstante, se han propuesto las siguientes tendencias generales (Álvarez Cobelas *et al.*, 2005):

- Como consecuencia de la previsible reducción en las precipitaciones, parte de los ecosistemas acuáticos continentales españoles pasarán de ser permanentes a estacionales, y algunos desaparecerán. Es previsible igualmente una reducción de tamaño en un buen número de estos humedales.
- Junto con el cambio en los promedios de pluviosidad, el aumento de temperaturas determinará que la biodiversidad de muchos humedales se reduzca y que sus ciclos biogeoquímicos se vean alterados, aunque la magnitud de estos cambios aún no puede precisarse.
- Los ecosistemas más afectados serán: 1) ambientes endorreicos; 2) lagos, lagunas, ríos y arroyos de alta montaña (1600-2500 metros); 3) humedales costeros; y 4) ambientes dependientes de las aguas subterráneas.

Dicho esto para los humedales ibéricos en general, en el caso concreto de los lagos y lagunas de alta montaña se han realizado otras previsiones más ajustadas a sus características ecológicas (Álvarez Cobelas *et al.*, 2005):

- La mayoría de los lagos y lagunas de alta montaña no tendrán un cambio apreciable en su tamaño, aunque algunos ambientes someros pasarán de ser permanentes a temporales.
- En las zonas de montaña, la duración del manto nival y de la cubierta lacustre de hielo se reducirá. Esto tendrá importantes repercusiones en el funcionamiento limnológico, tales como un menor descenso de oxígeno en fondo y una menor liberación de fósforo desde el sedimento durante el invierno. También se anticiparán las fases primaverales y la propagación de las repercusiones de estos cambios al funcionamiento limnológico durante el resto del periodo cálido.
- La estratificación térmica de los lagos de alta montaña se reforzará y se alargará en otoño, por lo que probablemente la producción de primavera se verá reducida en favor de una mayor producción otoñal.

ÁMBITO LOCAL: SERIES METEOROLÓGICAS DEL PUERTO DE NAVACERRADA

Los análisis sobre las tendencias recientes de la temperatura a escala de la Península Ibérica (de Castro *et al.*, 2005), muestran una elevación bastante general de la temperatura media anual desde mediados de los años 70 del siglo XX. El incremento observado es ligeramente superior al observado globalmente, siendo el calentamiento más evidente en invierno. Respecto a la precipitación, no se ha obtenido una tendencia general definida para la Península Ibérica como consecuencia de su complejo reparto espacial y su alta variabilidad temporal.

En la sierra de Guadarrama se encuentra la estación meteorológica del Puerto de Navacerrada (Instituto Nacional de Meteorología), situada a unos 6-7 Km de distancia de la laguna Grande de Peñalara. Así, es posible analizar si los cambios observados a nivel general para la Península Ibérica se han producido en el entorno inmediato de la laguna de Peñalara. Esta estación, por su localización a una considerable altitud (1 890 m.s.n.m.) y su continuidad histórica (operativa desde mediados del siglo XX), es de gran utilidad para evaluar las condiciones climatológicas de la zona y la evolución meteorológica durante las últimas décadas.

La Figura 1 muestra la evolución tanto de la precipitación como de la temperatura media anual registrada en el Puerto de Navacerrada. Del análisis de estas series meteorológicas se pueden extraer los siguientes resultados:

- Existen diferencias significativas desde principios de la década de los 80 del siglo pasado, con una subida de algo más de 1°C en la temperatura media anual (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$).
 - Para todos los meses la media de temperaturas es mayor a partir de 1980 que antes de esa fecha, aunque sólo en algunos casos esta diferencia es significativa.
 - En los meses en que esta diferencia es significativa (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$), el aumento de la temperatura media mensual oscila entre 1,13°C (noviembre) y 1,90°C (junio). El aumento de temperatura se produce sobre todo en verano (junio, julio y agosto) y en invierno (diciembre, febrero, marzo). Tanto en primavera como en otoño no se ha detectado un incremento significativo de las temperaturas. Así, en el entorno de Peñalara encontraríamos una diferencia importante respecto al comportamiento general observado para toda la Península Ibérica: el calentamiento más importante se ha producido en verano en lugar de en invierno.



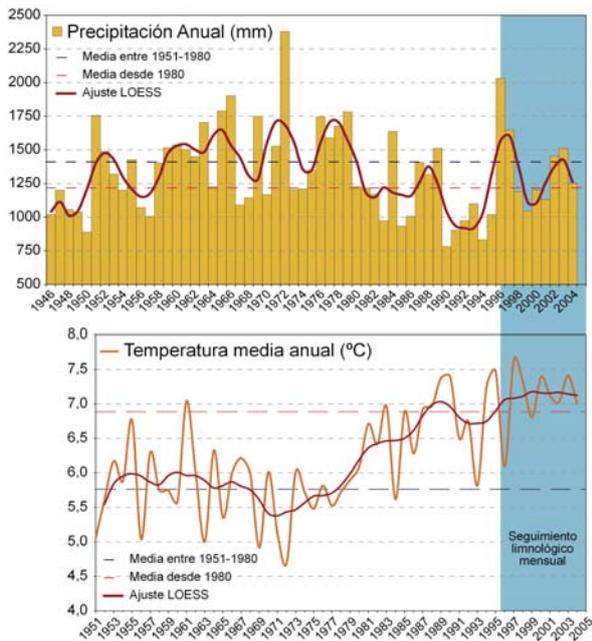


Figura 1. Evolución de la precipitación anual y de la temperatura media anual en el Puerto de Navacerrada.

- También hay diferencias significativas en la precipitación anual, con un descenso en torno a 200 mm.
 - Aunque en casi todos los meses es apreciable una reducción de la precipitación, ésta es sólo significativa en los meses de febrero y marzo (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$).
- Palacios *et al.* (2003) han estudiado la media de días con cubierta de nieve en la estación meteorológica del puerto de Navacerrada, que es de 82 días para toda la serie disponible, y han observado una reducción progresiva en las últimas décadas. Así por ejemplo, entre 1970 y 1975 la media es de 96 días, frente a los 66 días del período 1985-1990.

En resumen, parece claro que en la Sierra de Guadarrama se está producido un incremento de la temperatura media anual y, probablemente, un descenso en la precipitación acumulada. Este aumento de la temperatura también se ha detectado en estudios paleolimnológicos realizados en la laguna Cimera de Gredos (Granados y Toro, 2000b; Granados *et al.*, 2002)

EVOLUCIÓN RECIENTE DE LAS SERIES DE DATOS LIMNOLÓGICOS

En la Figura 1, que muestra la evolución de la temperatura media anual y la precipitación acumulada desde mediados del siglo XX, se ha señalado con color azul el período abarcado por el seguimiento limnológico. Obsérvese que el seguimiento sólo abarca un perio-

do en el que no es apreciable una tendencia clara ni en la temperatura ambiental ni en la precipitación. No obstante, este período sí contempla años muy distintos en cuanto a estas dos variables. De esta manera, aunque es difícil encontrar una tendencia en las series de datos limnológicos sí es posible describir el comportamiento de la laguna frente a la variabilidad mostrada por la temperatura ambiental y la precipitación acumulada.

Las Figuras 2, 3, 4 y 5 muestran la evolución de distintas series de variables físico-químicas de la laguna Grande de Peñalara durante el seguimiento limnológico. Sobre cada uno de estos gráficos se ha situado tanto la temperatura máxima y mínima diaria como la precipitación mensual, para mostrar precisamente el efecto de las condiciones meteorológicas ambientales sobre el funcionamiento limnológico.

En este artículo se comentará muy brevemente la evolución observada de las distintas variables presentadas en estas gráficas. Sobre este aspecto se puede obtener más información en Granados *et al.*, 2006, ya que lo que interesa destacar aquí es la respuesta de la laguna de Peñalara al cambio climático.

Temperatura y oxígeno disuelto en la columna de agua

La laguna Grande de Peñalara (Figura 1) presenta una estratificación invernal, dos períodos de mezcla (primavera y otoño) y un período estival más estable (aunque sin una termoclina duradera). La temperatura máxima anual del agua supera los 20 °C. La inercia térmica respecto a la temperatura ambiental es muy baja. La tasa de cambio de la temperatura media del agua puede alcanzar 3 °C/día, con oscilaciones en superficie de hasta 5 °C/día.

La concentración de O₂ (Figura 1) está relacionada fundamentalmente con la temperatura del agua (casi siempre entre el 90% y 110% de saturación, con una concentración absoluta menor cuanto mayor es la temperatura del agua). La mayor parte del tiempo los procesos biológicos no son lo suficientemente intensos como para alejar la cantidad de oxígeno disuelta del 100% de saturación. Bajo la cubierta de hielo se produce un agotamiento progresivo de O₂ en profundidad debido a la degradación de la materia orgánica existente en el sedimento. El gradiente de agotamiento de O₂ tiene una media ponderada de -0,082 mg O₂ l⁻¹ d⁻¹, alcanzando tras la formación de una potente cubierta de hielo hasta -0,281 mg O₂ l⁻¹ d⁻¹. Este agotamiento es más intenso cuanto mayor sea la duración de la cubierta de hielo.



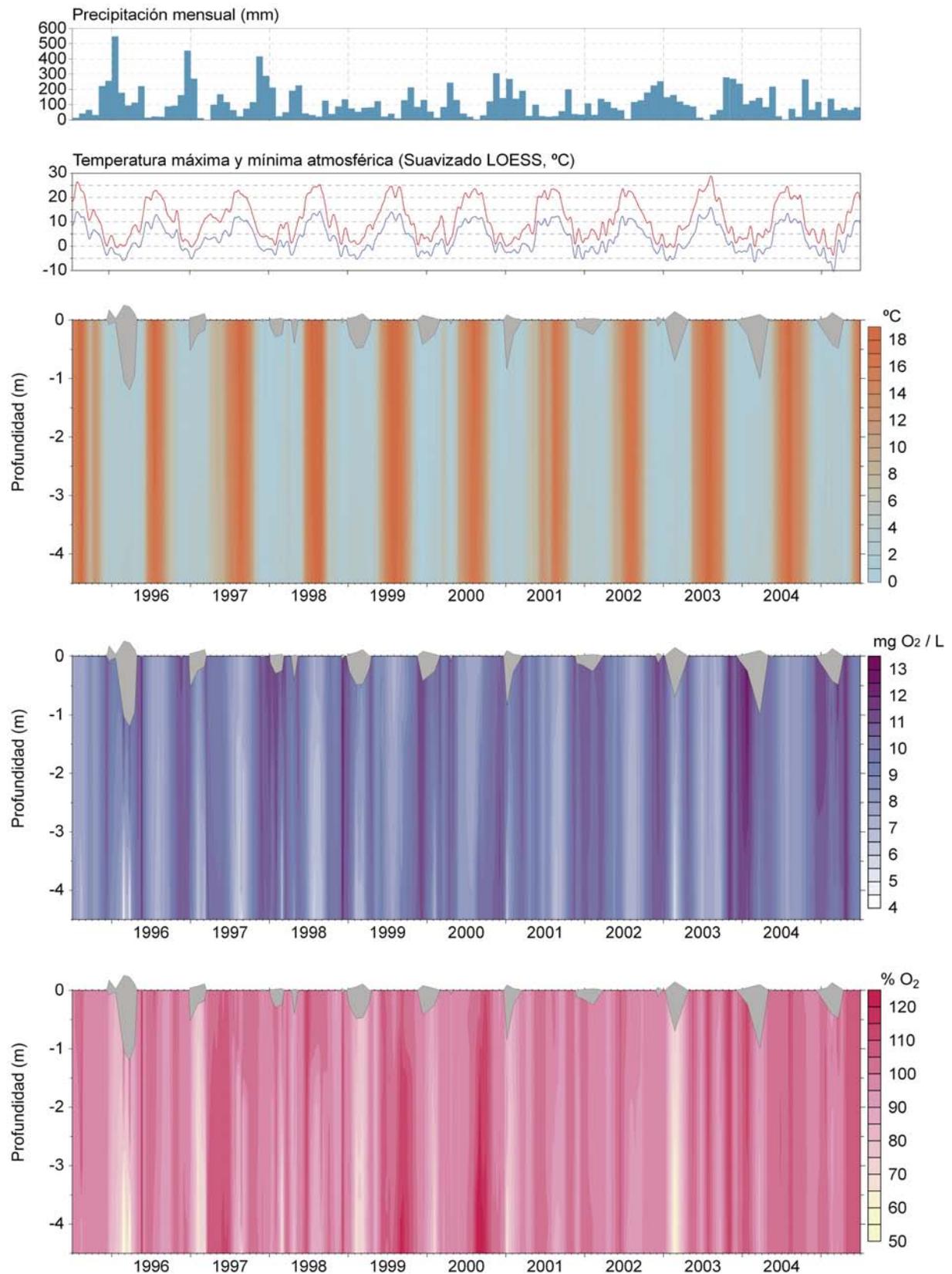


Figura 2. Evolución de la precipitación mensual, de la temperatura máxima y mínima diaria, de la temperatura de la columna de agua, de la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua y del porcentaje de saturación de oxígeno en la columna de agua desde el inicio del seguimiento limnológico mensual en la laguna Grande de Peñalara.

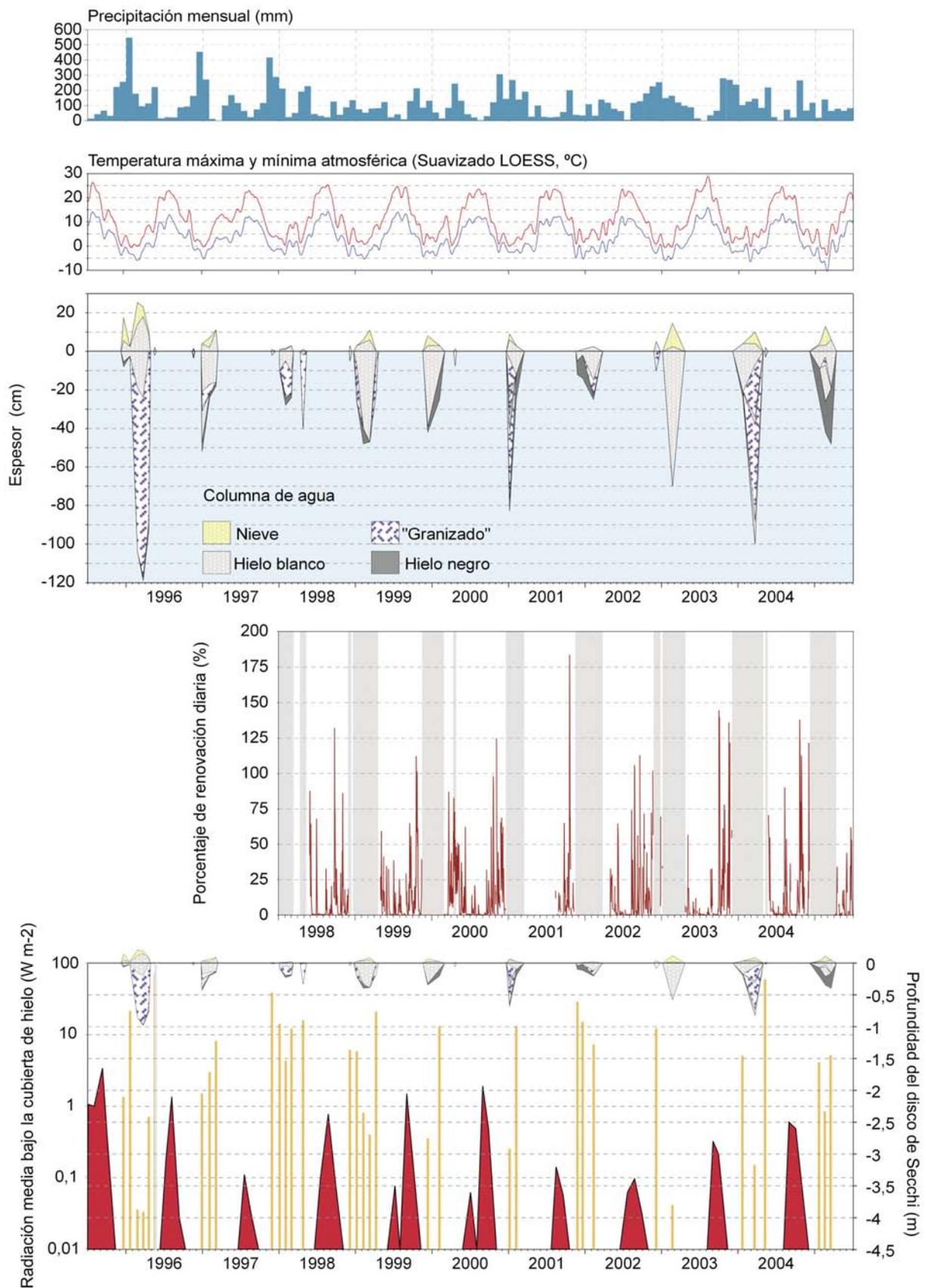


Figura 3. Evolución de la precipitación mensual, de la temperatura máxima y mínima diaria, de la duración y tipología de la cubierta de hielo, del porcentaje de renovación diaria, de la profundidad de visión del disco de Secchi y de la radiación media bajo la cubierta de hielo (calculada) desde el inicio del seguimiento limnológico mensual en la laguna Grande de Peñalara.



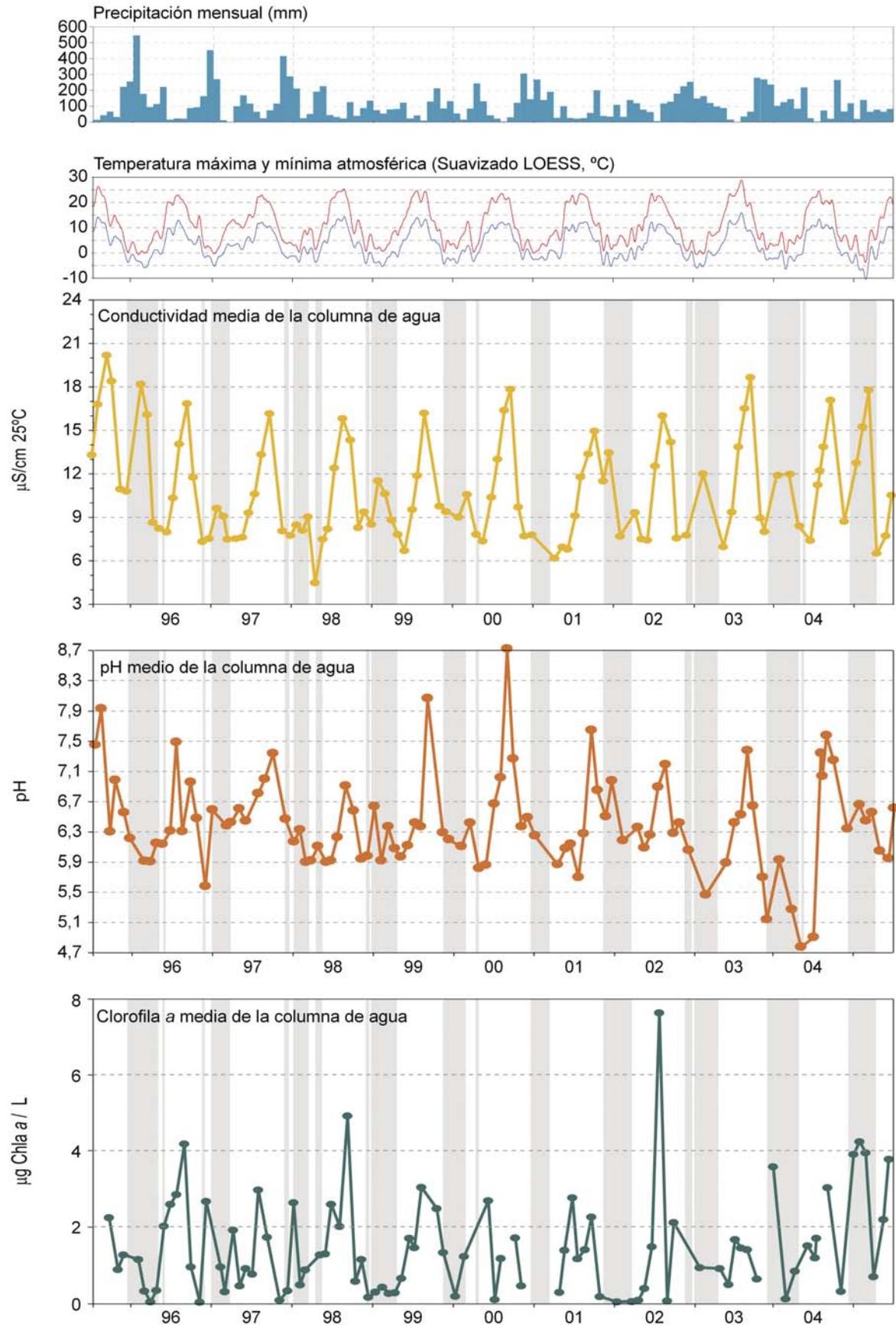


Figura 4. Evolución de la precipitación mensual, de la temperatura máxima y mínima diaria, de la conductividad media, del pH medio y de la Clorofila *a* media desde el inicio del seguimiento limnológico mensual en la laguna Grande de Peñalara.

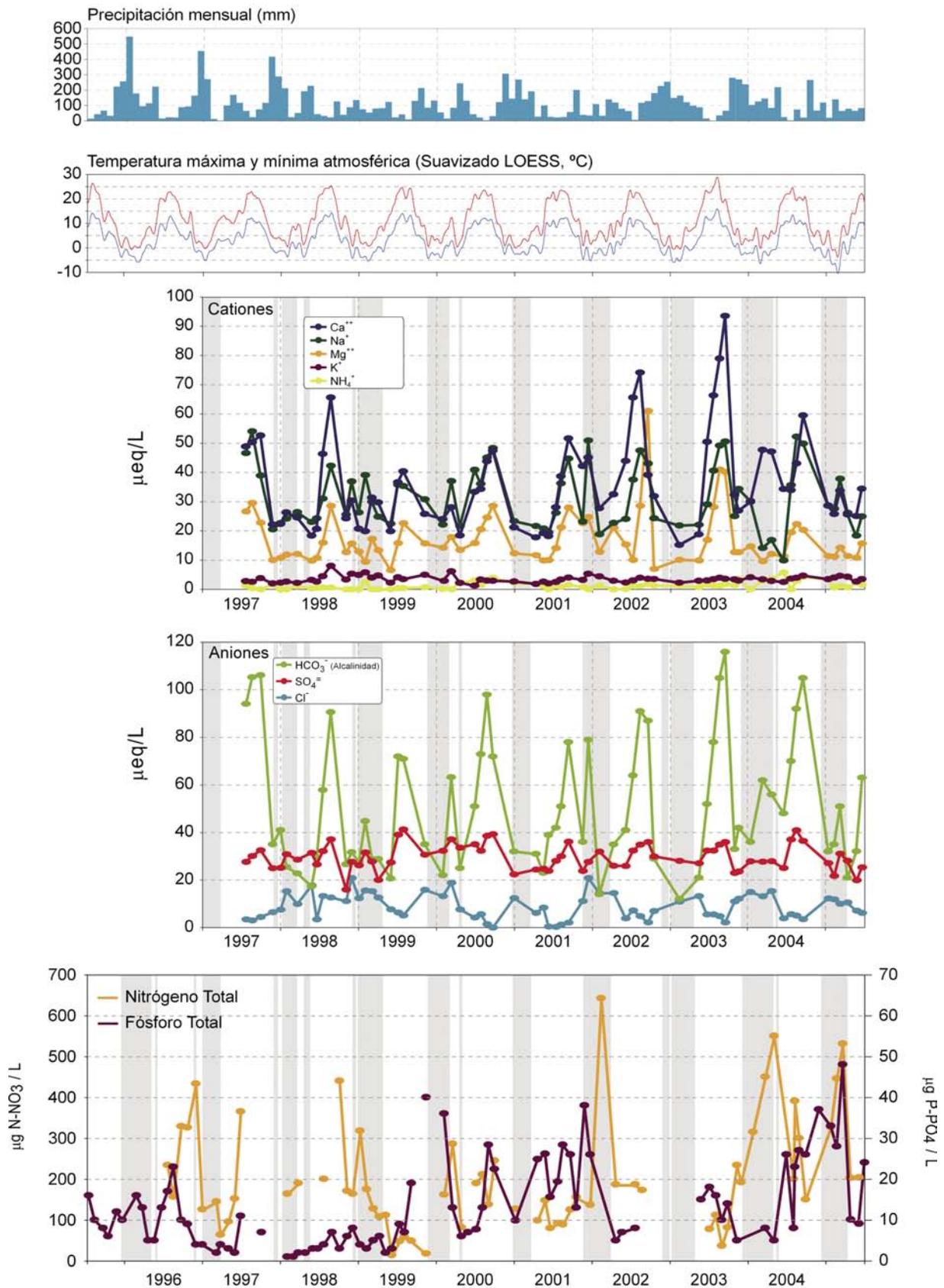


Figura 5. Evolución de la precipitación mensual, de la temperatura máxima y mínima diaria, de los cationes, de los aniones y del nitrógeno y fósforo total desde el inicio del seguimiento limnológico mensual en la laguna Grande de Peñalara.



Duración de la cubierta de hielo, tasa de renovación y transparencia del agua

La duración media de la cubierta de hielo (Figura 2) es de 115 días, con espesores entre 30-142 cm. Dependiendo de la precipitación (nieve) y temperatura ambiental, la duración oscila entre 80-140 días. Algunos inviernos se producen 2 o 3 cubiertas de hielo claramente diferenciadas.

El tiempo medio de residencia (Figura 2) del agua es muy bajo, inferior a los 10 días. El porcentaje diario de renovación puede alcanzar el 183%, y son habituales periodos de varios días con una renovación diaria mayor del 50% (tormentas estivales, lluvias otoñales, etc.).

El disco de Secchi alcanza el fondo de la laguna tanto inmediatamente antes como después del período con cubierta de hielo (Figura 2). El mínimo de la profundidad de visión del disco de Secchi se produce a mediados del período estival, en torno a los 2 m de profundidad. No hay una correlación significativa con la clorofila *a*. Durante prácticamente todo el período sin cubierta de hielo la luz alcanza el fondo de la laguna, quedando por tanto toda la laguna como zona fotosintéticamente activa.

Es habitual que durante la época central de la cubierta de hielo la radiación media que alcanza la columna de agua sea inferior a 1 W/m², llegando en ocasiones (como la espesa cubierta de 1995-1996) a ser tan baja como 0.031 W/m².

Conductividad, pH y pigmentos fotosintéticos

Los valores de conductividad (Figura 3) son extremadamente bajos, oscilando entre 4 y 22 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 25 °C. A mediados del período estival se produce el máximo anual de conductividad, en unas condiciones de escasa renovación del agua y mayor evaporación. En invierno hay una correlación significativa ($r^2 = 0.42$; $p < 0.05$) entre la duración de la cubierta de hielo y el aumento de conductividad bajo esa cubierta de hielo.

El pH (Figura 3) oscila entre 4.76 - 8.70, debido a la escasa reserva alcalina (bicarbonato). El pH también muestra una marcada estacionalidad, pero la variabilidad es bastante mayor que en la conductividad. En el período estival se produce el máximo anual de pH, como consecuencia de una mayor producción primaria (fotosíntesis) en los meses estivales. Bajo la cubierta de hielo, en la capa de agua profunda se produce un incremento muy marcado del pH, pero en la capa de agua superficial el pH no aumenta e incluso puede llegar a ser bastante bajo.

En todos los periodos estivales se produce un pico de clorofila *a* (Figura 3), por el crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas en condiciones de cierta estabilidad de la columna de agua, relativa abundancia de nutrientes y un buen ambiente lumínico. No obstante, en ocasiones y si las precipitaciones son poco intensas, no es raro que se produzca otro pico de clorofila *a* en otoño, aprovechando la entrada de nutrientes a la laguna.

Iones y nutrientes

El Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} y HCO_3^- presentan una marcada estacionalidad (Figura 4): tienden claramente a aumentar su concentración durante el periodo libre de hielo. El SO_4^{2-} parece presentar también una mayor concentración en los meses estivales, aunque con una tendencia mucho menos marcada. Por el contrario, el Cl^- tiende a disminuir durante los meses estivales. Durante la época con cubierta de hielo se aprecia un incremento de la concentración de Ca^{2+} , Mg^{2+} y P en la capa de agua próxima al sedimento. Estos cambios en la hidroquímica de la capa de agua más profunda son tanto más importantes cuanto mayor sea la reducción de oxígeno provocado por la perduración de la cubierta de hielo.

En general se puede afirmar que el máximo anual de PT se produce a mediados de verano o en otoño (Figura 4), justo antes de la formación de la cubierta invernal, aunque también se pueden producir picos de PT debajo de la cubierta de hielo. Respecto al NT, posee un comportamiento aún más fluctuante que el PT, presentando picos tanto en el periodo invernal como en el estival. La mayor complejidad en el comportamiento del PT y NT respecto a otras variables limnológicas tiene que ver con su fuerte relación con procesos biológicos, mucho menos predecibles.

EXPECTATIVAS EN LA LAGUNA GRANDE DE PEÑALARA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Hasta el momento hemos presentado las perspectivas de cambio climático en la Península Ibérica (y su efecto sobre los ecosistemas acuáticos), las observaciones de las series meteorológicas en el entorno de Peñalara y un breve resumen del funcionamiento limnológico de la laguna Grande Peñalara.

Basándonos en las series limnológicas se puede afirmar que existe una clara relación entre la meteorología y determinados aspectos del funcionamiento limnológico. Por ejemplo, parece claro que la temperatura ambiental y la precipitación controlan aspectos como la duración y espesor de la cubierta de hielo o la



tasa de renovación. Es importante destacar que la tasa de renovación determina el grado de dilución de los iones mayoritarios y los nutrientes disponibles, afecta a la estabilidad de la columna de agua (distribución de calor, flujos turbulentos), y en algunos casos supone un control importante de las poblaciones por deriva de sus componentes.

No obstante, la laguna Grande de Peñalara se trata de un sistema complejo y sujeto a procesos de histéresis, en el que es difícil predecir su respuesta frente a cambios en determinadas variables ambientales. Por ello, la discusión que viene a continuación debe considerarse como meras hipótesis de trabajo respecto a los cambios que van a producirse en el funcionamiento limnológico, presentando una incertidumbre aún mayor la intensidad de estos cambios. De hecho, muchos de ellos seguro que ya se están produciendo, a juzgar por la serie meteorológica presentada en la Figura 1.

De cumplirse las expectativas del cambio climático, es predecible que el máximo de temperatura de la columna de agua en la época libre de hielo aumente ligeramente, acompañando a la temperatura ambiental. La importancia de este calentamiento por sí mismo probablemente será muy pequeña, aunque en el contexto de una menor tasa de renovación podría llegar a generar condiciones de estratificación que sí tendrían importantes consecuencias ecológicas.

El aumento de temperatura y, sobre todo, la menor tasa de renovación provocarán un aumento de la producción primaria en la época libre de hielo. Así, por un lado posiblemente la duración de la época de mayor producción se extenderá más allá de lo que actualmente lo hace (y en este sentido hay que recordar que la producción otoñal frecuentemente es incluso mayor que la estival en este tipo de lagunas); y por otro lado, también es probable que aumente la tasa diaria de producción primaria, como consecuencia de una mayor disponibilidad de nutrientes. Las consecuencias sobre el resto de la red trófica son difícilmente predecibles, pero sin duda serán relevantes. Además de una mayor producción primaria, el resto de organismos de la laguna es posible que vean alteradas sus tasas metabólicas por el aumento de la temperatura del agua, e incluso sus ciclos de vida por una mayor prolongación de la época libre de hielo.

Bajo la cubierta de hielo quizá llegue a aumentar también la producción primaria como consecuencia de una disminución del espesor de aquella, aunque hay una gran incertidumbre respecto a la producción total en esta época dado que se verá acortada por las temperaturas más benignas.

El oxígeno disuelto es probable que aumente la variabilidad de su concentración. Por un lado, el aumento de la temperatura hará disminuir la solubilidad en verano, pero por otro es muy posible que aumente la producción primaria en esta misma época, lo que aumentaría la concentración (al menos durante el día) gracias a la fotosíntesis oxigénica. Es decir, probablemente se produzca un mayor control por parte de los procesos biológicos frente a los procesos puramente físicos.

En la laguna Grande de Peñalara se ha observado ocasionalmente una disminución de oxígeno en fondo durante la época libre de hielo y en condiciones de gran estabilidad de la columna de agua. Esta disminución de oxígeno es consecuencia de la degradación de materia orgánica en las cercanías del sedimento. Previsiblemente, este proceso se intensificará en el caso de cumplirse las expectativas del cambio climático, aunque no es esperable que llegue a ser tan importante como para producir anoxia o niveles tan bajos de oxígeno que modifiquen sustancialmente la fauna bentónica.

En invierno se producirá una menor intensidad del agotamiento de oxígeno en fondo bajo la cubierta de hielo, debido a la menor duración de esta cubierta. Los procesos asociados a la prolongación de la cubierta de hielo (generación de alcalinidad, liberación de nutrientes, cambios en el pH y conductividad) serán por tanto menos intensos.

Desde el punto de vista hidrológico, no es previsible una reducción del volumen de la laguna Grande de Peñalara, aunque como ya se ha señalado muy probablemente su tasa de renovación anual tenderá a disminuir. Esto no quiere decir que puntualmente la tasa de renovación no pueda ser muy importante. De hecho, si se cumple la predicción de una mayor variabilidad en las precipitaciones podría llegar incluso a aumentar ocasionalmente frente a determinados episodios drásticos de precipitación.

Respecto a los ciclos hidrogeoquímicos, también son dependientes de la temperatura del agua y de la tasa de renovación. No obstante, es previsible que en el caso concreto de la laguna Grande de Peñalara estos cambios no sean demasiado importantes en comparación con los cambios esperables en otros ecosistemas acuáticos más someros, temporales o situados a menor altitud.

Otro aspecto a considerar es el cambio esperable en la vegetación de la cuenca. Actualmente la laguna Grande de Peñalara presenta una cuenca dominada por roca madre, suelos muy poco desarrollados y un mosaico de pastizales y zonas arbustivas de montaña. No es descartable que el límite altitudinal del bosque



pueda alcanzar la cota de la laguna Grande, lo que sin duda generaría importantes cambios en las relaciones entre la masa de agua y su cuenca. Este fenómeno de elevación del límite del bosque (que ocurrirá casi con seguridad), no sabemos hasta donde alcanzará y mucho menos el tiempo que tardará en suceder, pero sin duda es otra fuente posible de cambios importantes para el funcionamiento limnológico de la laguna.

De modo análogo, cabe la posibilidad de que la laguna Grande de Peñalara se vea colonizada por especies acuáticas (invertebrados, anfibios, plantas vasculares) típicas de zonas más bajas y que en la actualidad no pueden colonizar la laguna por sus rigurosas condiciones ambientales. Por esta misma razón, algunas de las especies más estenotermas frías podrán llegar a desaparecer.

OPORTUNIDADES DE INVESTIGACIÓN

Son muchas las oportunidades que ofrece la laguna Grande de Peñalara para el estudio del cambio climático y sus efectos sobre los ecosistemas acuáticos. Entre los aspectos que hacen particularmente interesante esta laguna están:

- Se dispone de una serie relativamente extensa de datos limnológicos. Estas series de datos, aunque no han sido específicamente recopilados para el estudio del cambio climático, pueden ser de gran utilidad para evaluar sus efectos
- En su entorno inmediato existe una de las series meteorológicas de alta montaña más largas de Europa. Así, se dispone de una descripción detallada de la meteorología de las últimas seis décadas, con las que evaluar tanto los cambios ya ocurridos como la velocidad de los que están ocurriendo.
- El registro de las condiciones ambientales a lo largo del Holoceno (los últimos 10.000 años) que existe en su sedimento puede ser informativo sobre situaciones y tasas de cambio esperables. Existen algunos estudios paleolimnológicos de la laguna, pero sin duda aún está por explotar todo el potencial de las herramientas paleolimnológicas en esta laguna.
- La laguna está situada en un Espacio Natural Protegido (Parque Natural de Peñalara) y ha sido recientemente incluida en el listado Ramsar (Humedales del Macizo de Peñalara), lo que por un lado asegura su estatus futuro como observatorio ambiental y por otro permite con mayor facilidad el diseñar estrategias a largo plazo para el seguimiento de ecosistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ COBELAS, M., J. CATALÁN y D. GARCÍA DE JALÓN. 2005. Impactos sobre los Ecosistemas Acuáticos Continentales. En: MORENO RODRÍGUEZ, J.M. (Coord). *Principales conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE*. Ministerio de Medio Ambiente.
- DE CASTRO, M., J. MARTÍN-VIDE y S. ALONSO. 2005. El Clima de España: Presente, Pasado y Escenarios de Clima para el siglo XXI. En: MORENO RODRÍGUEZ, J.M. (Coord). *Principales conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE*. Informe Final del Estudio. Ministerio de Medio Ambiente.
- GRANADOS, I. y M. TORO. 2000a. Limnología en el Parque Natural de Peñalara: Nuevas aportaciones y perspectivas de futuro. En: *Segundas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y Valle de El Paular*. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid.
- GRANADOS, I. y M. TORO. 2000b. Recent warming in a high mountain lake (Laguna Cimera, Central Spain) inferred by means of fossil chironomids. *Journal of Limnology*, 59 (suppl. 1): 109-119.
- GRANADOS, I., M. TORO, S. ROBLES, J. M. RODRÍGUEZ, M. C. GUERRERO y C. MONTES. 2002. La paleolimnología como fuente de información ambiental: ejemplos de las lagunas de alta montaña del Sistema Central. En: *Terceras Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y Valle de El Paular*. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid.
- MORENO RODRÍGUEZ, J.M. (Coord). 2005. *Principales conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE*. Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente.
- GRANADOS, I., M. TORO, y A. RUBIO-ROMERO. 2006. *Laguna Grande de Peñalara. 10 Años de Seguimiento Limnológico*. Serie Técnica del Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid.
- PALACIOS, D., N. DE ANDRÉS y E. LUENGO. 2003. Distribution and effectiveness of nivation in Mediterranean mountains: Peñalara (Spain), *Geomorphology*, 54: 157-178.



ACTUACIONES RECIENTES PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS ANFIBIOS DE PEÑALARA

JAIME BOSCH

*Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC
José Gutiérrez Abascal 2
28006 Madrid
bosch@mncn.csic.es*

1. EL DECLIVE GLOBAL DE LOS ANFIBIOS

Los anfibios son, sin duda, uno de los grupos animales más amenazados del mundo. Según el último análisis de la situación de las casi 6000 especies de anfibios descritas hasta la fecha, realizado por la IUCN a través del Global Amphibian Assessment (www.globalamphibians.org), casi un tercio (32%) de las especies se encuentran amenazadas, y unas 168 especies podrían haberse extinguido en los últimos años. Esta cifra, representa una tasa de extinción muy superior a la conocida en la historia reciente de la Tierra, y apunta claramente al papel del hombre como una fuerza evolutiva increíblemente poderosa.

En este informe de la IUCN se analizan además, las causas que están motivando el declive global de los anfibios en todo el mundo. Sin duda, la pérdida y degradación de sus hábitats es la principal amenaza y, en muchas zonas del mundo, además la sobreexplotación está llevando a algunas especies a la extinción. Sin embargo, lo más preocupante de este informe es el reconocimiento que para muchas especies que se encuentran en peligro, ni siquiera conocemos cuales son las causas que están motivando su desaparición. Por otro lado, y tal y como alerta este informe, es especialmente preocupante el creciente protagonismo que están alcanzando las nuevas enfermedades específicas de los anfibios en su declive generalizado.

Lo que sí conocemos ya con seguridad, es que las causas que están motivando el declive global de los anfibios son, sin duda, múltiples y de muy diferente naturaleza. También sabemos que estos problemas operan generalmente de forma sinérgica, es decir, su acción conjunta resulta mucho más destructiva que la suma de sus efectos de forma aislada. Entre este con-

junto de causas del declive de los anfibios podemos distinguir entre aquellas motivadas por agentes abióticos (agentes ambientales), y aquellas producidas por agentes bióticos (otros organismos vivos). Los agentes ambientales que comprometen la supervivencia de los anfibios operan a dos escalas ambientales distintas. A escala global, los grandes problemas como el incremento de la radiación ultravioleta, el calentamiento global o la lluvia ácida, provocan desde la muerte directa de puestas y embriones hasta la desecación prematura de los medios acuáticos que usan los anfibios para reproducirse. A una escala más local, la acción humana directa provoca la destrucción del medio, su degradación por el uso desmesurado de fertilizantes y pesticidas, la muerte directa de ejemplares atropellados en las carreteras o recolectados para consumo, etc.

Por otro lado, son cada vez más los estudios que demuestran que muchas poblaciones de anfibios han desaparecido por la acción de otros organismos vivos. La introducción de especies por la acción del ser humano es, sin duda, una de las mayores causas de pérdida de biodiversidad del mundo, y los anfibios no son una excepción. En general, los peces introducidos son los principales depredadores a los que se enfrentan muchos anfibios en su medio, pero otros organismos como los cangrejos, e incluso otras especies de anfibios introducidas, son también incompatibles con la supervivencia de las especies locales. Además, en los últimos años estamos asistiendo a una nueva y creciente amenaza producida también por otros organismos vivos. Se trata de enfermedades nuevas y tremendamente virulentas que son las responsables de la desaparición de poblaciones y especies de anfibios en todo el mundo.



2. LOS PROBLEMAS DE CONSERVACIÓN DE LOS ANFIBIOS DE PEÑALARA

Hasta hace no mucho tiempo, cuando los problemas medioambientales del mundo no eran tan conocidos, parecía que la protección del hábitat era una medida eficaz para salvaguardar la biodiversidad. Sin embargo, hoy sabemos que solo la protección del medio no garantiza siempre su correcta conservación. En primer lugar, los problemas ambientales globales no entienden de zonas protegidas, y por tanto, su acción destructiva opera igual en zonas protegidas y en zonas que no cuentan con ninguna protección legal. Igualmente, otros problemas más locales o de distinta naturaleza, como la introducción de especies alóctonas o la acción de enfermedades emergentes, tampoco entienden de barreras legales, y operan por tanto también dentro de las áreas protegidas.

El Parque Natural de Peñalara es un espacio modélico en la conservación en España por dos motivos. En primer lugar, es uno de los primeros espacios naturales que cuenta con protección legal en nuestro país, y en segundo lugar, es uno de los rincones protegidos donde mayores esfuerzos económicos y humanos se han realizado en los últimos años para proteger y recuperar un medio natural tan particular. Sin embargo, y como cabría esperar, la protección legal de Peñalara no ha evitado el efecto devastador de varios problemas a los que se enfrentan los anfibios de todo el mundo.

2.1. Cambios ambientales a gran escala

Aunque hasta ahora no han sido analizados en profundidad, sin duda los grandes problemas ambientales a los que se enfrenta el planeta podrían estar repercutiendo también en los anfibios de Peñalara.

2.1.1. Cambio climático

El efecto del cambio climático global es difícil de evaluar en Peñalara, ya que no contamos con series temporales amplias sobre la abundancia de los anfibios. Sin embargo, desde hace ya algunos años, estamos realizando estimas cuantitativas de la abundancia de los anfibios de Peñalara, por lo que en un futuro podremos analizar su influencia en una escala temporal adecuada (no inferior a 20 años).

El efecto más inmediato del cambio climático sobre los anfibios es, sin duda, los cambios que produce en la fenología de su reproducción. Es bien conocido, por ejemplo, que en los últimos 30 años varias especies de anfibios europeas están adelantando entre 2 y 7 semanas el inicio de la estación reproductiva. Este adelanto de la reproducción está relacionado, sin duda, con el

aumento de la temperatura, y uno de sus efectos indirectos es que muchos anfibios están ahora más expuestos a las heladas tardías. Este hecho, podría explicar por qué cada vez es más frecuente encontrar en las charcas de Peñalara un mayor número de ejemplares adultos muertos congelados al inicio de la estación reproductora.

Sin embargo, la consecuencia más evidente del aumento de las temperaturas de los últimos años en Peñalara, podría ser que algunas masas de agua que utilizan los anfibios para reproducirse son ahora temporales, cuando antes eran permanentes. Además, en los últimos años es evidente que muchas de las charcas y arroyos temporales de Peñalara cada vez se secan más pronto, motivando mortalidades elevadas de larvas que no han podido completar su desarrollo. Este problema, podría estar relacionado con el moderado declive reciente, y aún no explicado, del sapo corredor (*Bufo calamita*; Martínez-Solano *et al.* 2003). Esta especie se ha especializado en el uso de masas de agua muy someras, y que presentan pocas especies depredadoras y competidores. Sin embargo, el desarrollo larvario extremadamente rápido que ha desarrollado esta especie para adaptarse a esos medios, podría no ser suficiente si se produce un acortamiento notable de la duración de las charcas más someras del Parque como consecuencia del calentamiento global. Además, otras especies que presentan mortalidades masivas de larvas como consecuencia de la desecación temprana de las masas de agua en los últimos años son la salamandra común (*Salamandra salamandra*), la rana de San Antonio (*Hyla arborea*) y la rana patilarga (*Rana iberica*).

Además, el aumento de la temperatura del agua y la desecación completa en el verano de charcas que se consideraban tradicionalmente permanentes, está provocando una aceleración de la metamorfosis de especies que presentan larvas invernantes en Peñalara. Así, las larvas de la salamandra común o el sapo parto común (*Alytes obstetricans*), que en medios permanentes de Peñalara suelen pueden permanecer varios años en el agua y alcanzar gran tamaño, podrían ahora estar metamorfoseándose con tallas más pequeñas. Desgraciadamente, y tal y como ha sido demostrado en múltiples ocasiones, el tamaño menor de los ejemplares metamorfoseados lleva acarreado una menor tasa de supervivencia.

Por otro lado, la moderación de las temperaturas invernales como consecuencia del calentamiento global podría estar cambiando la dinámica poblacional de los anfibios de Peñalara. Así, algunas especies generalistas no adaptadas a las condiciones rigurosas tradicionales de los inviernos de Peñalara, como la rana verde común (*Rana perezi*) podrían verse ahora



favorecidas, explicando su llamativa expansión dentro del Parque (Martínez-Solano *et al.* 2003). Esta especie en los últimos años ha pasado de ocupar sólo la Hoya de Peñalara, a reproducirse de forma habitual en Los Llanos de Peñalara, e incluso a presentar ejemplares aislados, pero en condiciones reproductivas, en la propia Laguna Grande o en la Laguna de los Pájaros. Las consecuencias de esta expansión son difíciles de evaluar todavía, pero sin duda implican una competencia adicional para otras especies como *R. iberica*, o incluso la posibilidad de la llegada a zonas más altas de patógenos específicos de zonas más bajas, como se expone más adelante.

2.1.2. Incremento de radiación ultravioleta y contaminación ambiental

De igual forma, el efecto del incremento de radiación ultravioleta como consecuencia de la destrucción de la capa de ozono, podría ser un problema serio para los anfibios de Peñalara, dada la considerable altitud a la que se encuentran sus poblaciones. Este problema ha sido puesto de manifiesto en la Sierra de Gredos (Lizana & Pedraza 1998), que presenta grandes similitudes con Peñalara y, por tanto, es razonable pensar que podría estar también actuando en Peñalara, aunque sus efectos no sean manifiestos.

Por otro lado, la proximidad de Peñalara a la ciudad de Madrid, junto con su emplazamiento físico, podrían hacer que los niveles de contaminación ambiental fuesen mucho más elevados de lo que cabría esperar en un espacio bien conservado. De la misma forma que el efecto de la radiación ultravioleta, hasta el momento tampoco se ha analizado la influencia de la contaminación ambiental sobre los anfibios de Peñalara, aunque cabe suponer que este problema debe repercutir de alguna manera.

Por último, y aunque no existiera un incidencia directa de estos dos problemas que operan a escala planetaria, no se puede descartar a priori su posible sinergismo con otros problemas conocidos de Peñalara.

2.2. *Cambios ambientales a pequeña escala*

2.2.1 Acción humana directa

Por otro lado, y como cabría esperar, la acción humana directa sobre los anfibios de Peñalara ha sido limitada dada la protección legal de la que ha disfrutado desde 1930. Así, la principal degradación y destrucción del medio físico en Peñalara se limitó a la zona del Puerto y a la finca de Los Cotos, donde se realizaron importantes impactos medioambientales como conse-

cuencia de la construcción y mantenimiento de la estación de esquí alpino Valcotos. En el Puerto de Cotos la agresión más significativa fue la ampliación del aparcamiento, que sepultó el arroyo, haciendo desaparecer a la escasísima rana patilarga de la zona. Además, en varias zonas de la estación de esquí, amplias masas de matorral y de bosque de pinos fueron destruidas para la instalación de pistas de esquí, casetas de remontes y otras construcciones de apoyo para la práctica de este deporte. Mucho más grave en esa época fue la alteración de la Laguna Chica, recrecida con un dique y modificada la red hidrológica para acumular más agua y alimentar cañones de nieve. Afortunadamente se paró la obra y se restauraron gran parte de los daños.

En otras zonas del Parque, los impactos humanos directos durante los últimos años se han limitado a las molestias ocasionadas por el turismo masivo. Entre otros, el turismo descontrolado de las últimas décadas en Peñalara acarrió la contaminación del medio con todo tipo de residuos, la destrucción de puestas de anfibios por el baño en las charcas de personas y animales de compañía, los atropellos de ejemplares por los vehículos de los visitantes en las inmediaciones del puerto de los Cotos, la colecta o muerte por fobia de ejemplares aislados, o las molestias por la presencia humana durante la época de reproducción en las proximidades de charcas y arroyos.

2.2.2 Uso ganadero

El impacto del uso ganadero sobre los anfibios en Peñalara tampoco ha sido analizado en profundidad. Aunque en principio podría parecer que el ganado no representa un problema serio para los anfibios de Peñalara, existen algunas agresiones concretas que son fáciles de observar. Por un lado, las vacas destruyen sistemáticamente matorrales que sirven de refugio a los anfibios (fig. 1) y, al acercarse a las charcas a beber, destruyen con sus pisadas los refugios naturales de los



Figura 1. Pérdida de refugios para los anfibios de Peñalara debidas al ganado.

anfibios que existen en los bordes en forma de cuevas o acumulaciones de musgos. Este problema podría ser especialmente relevante para *R. iberica*, que nunca se aleja mucho del agua y ocupa los bordes de los arroyos y pozas. Además, cuando el agua empieza a escasear en verano, el ganado entra en las charcas para beber y refrescarse, aplastando a las larvas que en ese momento están a punto de completar la metamorfosis. Este problema resulta evidente por ejemplo en el Humedal del Operante, donde en los años secos las larvas de rana de San Antonio en fases avanzadas de desarrollo son frecuentemente aplastadas por el ganado. Por último, y también en verano cuando las charcas temporales están a punto de secarse, la presencia frecuente del ganado provoca la eutrofización de las aguas con los excrementos, produciendo la muerte por hipoxia de las larvas que se concentran en grandes cantidades en un volumen de agua reducido (fig. 2).



Figura 2. Larvas de *S. salamandra* muertas probablemente como consecuencia de la eutrofización de las charcas por el ganado.

2.3. Introducción de especies exóticas

2.3.1. Introducción de salmónidos

Sin duda, uno de los principales problemas de conservación de los anfibios de Peñalara ha sido la introducción de salmónidos para su pesca deportiva. La presencia de peces frecuentemente es incompatible con la supervivencia de la gran mayoría de las especies de anfibios, pues estos han evolucionado durante millones de años para ocupar medios acuáticos temporales o aislados y que, por lo tanto, no presentan grandes depredadores de forma natural. Así, la mayoría de las especies de anfibios no cuentan con mecanismos anti-depredatorios eficaces frente a estos nuevos depredadores y, además, y al contrario que otros grupos animales, su limitada capacidad de desplazamiento hace que sean incapaces de desplazarse para huir de estos nuevos vecinos.

La introducción de salmónidos en el Parque se ha producido mediante dos prácticas distintas y que han implicado a dos especies muy diferentes. En primer lugar, y sin que existan datos precisos sobre su frecuencia y localización en el tiempo, los pescadores locales han realizado traslaciones del salmónido autóctono de la zona, la trucha común (*Salmo trutta*). Estas traslaciones, que son una práctica tradicional en muchas zonas de España, normalmente implican el traslado de alevines a las cabeceras de los arroyos. Así, con la ayuda del hombre, la trucha común podría haber colonizado algunos tramos altos de arroyos de pequeña entidad de Peñalara que, si bien permiten la supervivencia de la trucha, no podrían ser colonizados de forma natural al existir barreras físicas infranqueables que impiden el paso aguas arriba de los peces. En tramos más bajos, y como ocurre con el arroyo de la Laguna Grande de Peñalara, las orillas suelen ser amplias y someras, ofreciendo refugio a las larvas de anfibios y haciendo posible la coexistencia de la trucha con las larvas de especies como *R. iberica*. Sin embargo, en los tramos altos, los cauces de los arroyos son estrechos y la corriente del agua es elevada, por lo que las larvas de *R. iberica* o *S. salamandra* seleccionan las pozas de caída para no ser arrastradas aguas abajo. Sin embargo, en estos tramos altos las pozas son también los únicos microhábitats adecuados para la trucha, por lo que las larvas serían rápidamente depredadas si las truchas son introducidas. Estas traslaciones de alevines de trucha serían las responsables de la presencia reciente de trucha en el tramo medio-alto del Arroyo de Pepe Hernando, y explicarían la distribución discontinua que presenta *R. iberica* en este arroyo (Bosch *et al.* 2006). Así, la especie está presente en la parte alta del arroyo de Pepe Hernando (que corresponde a parte de los Llanos de Peñalara) y en su tramo bajo cuando este arroyo tributa a el arroyo de la Laguna Grande.

Por otro lado, Peñalara es un buen ejemplo de las malas prácticas que se han realizado en España en décadas anteriores. Así, en la década de los 70, se realizaron sueltas de peces en la Laguna Grande de Peñalara con fines deportivos, más concretamente el salvelino (*Salvelino fontinalis*), un salmónido americano propio de zonas de montaña. Esta introducción en la Laguna Grande motivó la completa desaparición de las larvas del antaño abundante sapo partero y de la salamandra, quedando estas especies relegadas a emplear las escasas pozas cercanas a la laguna para su reproducción. Por otro lado, el sapo común (*Bufo bufo*) continuó reproduciéndose de forma abundante en la Laguna Grande gracias a la elevada toxicidad de sus larvas. El salvelino, una vez introducido en la Laguna Grande, continuó su expansión aguas abajo colonizando la Hoya de Peñalara y todo el arroyo de la Laguna hasta su confluencia con el arroyo de la Hoya de Pepe Hernando. La colonización del arroyo de la Laguna

Grande por parte del salvelino ocasionó la desaparición de *R. iberica* de la Hoya de Peñalara, donde la especie estaba aún presente aunque ya de forma residual en la década de los 80 (Mario García-París, comentarios personales). De esta forma, las poblaciones de *R. iberica* del Parque quedaron relegadas a los tramos alto y medio-bajo del Arroyo de Pepe Hernando, y al Arroyo de la Laguna Grande a partir de su confluencia con el anterior (Bosch *et al.* 2006).

2.3.2. Introducción de anfibios

Además de los salmónidos, otras especies, y precisamente de anfibios, han sido también recientemente introducidas en Peñalara. Cuando en la década de los 80 fue descubierta la presencia de un pequeño número de ejemplares de tritón alpino (*Mesotriton alpestris*) en las Charcas del Pico en Peñalara (Lope & Cuadrado 1985), la especie pasó a engrosar la lista de especies amenazadas de la Comunidad de Madrid en su más alta categoría (“en peligro de extinción”). En aquel entonces se discutía la presencia de la especie en el macizo de Gredos, y por tanto no resultaba demasiado sorprendente que Peñalara albergase una población relicta de esta especie en el centro peninsular. Sin embargo, los estudios genéticos realizados (Arano *et al.* 1991) demostraron que estos ejemplares procedían probablemente del Parque Nacional de Picos de Europa, y que por tanto se trataba de una introducción muy reciente. Posteriormente, hemos podido saber que un conocido club de montañismo de la zona mantenía tritones en sus instalaciones que podrían haber sido liberados en Peñalara de manera irresponsable. El impacto de *M. alpestris* en las especies de anfibios autóctonos de Peñalara no ha sido evaluada con profundidad, pero es conocido por ejemplo la predación de ejemplares adultos de esta especie sobre larvas recién eclosionadas de *A. obstetricans*. Por otro lado, y como se discute más adelante, la liberación de ejemplares de otra localización geográfica podría ser una forma fácil de introducir nuevos organismos patógenos en el medio.

Curiosamente, además de la introducción de *M. alpestris*, en Peñalara se han introducido al menos otras dos especies más de tritones. Así, en 1999 descubrimos un ejemplar de *Triturus pygmaeus* en las Charcas del Salto, y en 2005 capturamos un ejemplar de *Lissotriton helveticus* en un arroyo cercano a las Charcas Secas. En el primer caso, la especie se encuentra de forma natural a muy pocos kilómetros del Parque, aunque siempre en cotas más bajas que no suelen sobrepasar los 1000 m. En el caso de *L. helveticus*, las poblaciones naturales más próximas de la especie se encuentran en el sur de la provincia de Burgos. Parece, por tanto, que existen visitantes empeñados en aumentar de forma irresponsable el número de especies de anfibios del

Parque, con todo los problemas asociados que puede suponer las introducciones de especies alóctonas.

2.4. Enfermedades emergentes

Las enfermedades emergentes (enfermedades de reciente aparición o cuyo rango geográfico de actuación se ha incrementado drásticamente en el últimos años) propias de los anfibios, están producidas por virus y hongos específicos que eran desconocidos hasta hace pocos años.

De entre las varias enfermedades emergentes que afectan a los anfibios, la conocida como quitridiomycosis y producida por el hongo patógeno *Batrachochytrium dendrobatidis*, es sin duda la más preocupante ya que está provocado el declive y la extinción de numerosas poblaciones y especies en todo el mundo.

Peñalara fue el primer caso de quitridiomycosis conocido en toda Europa (Bosch *et al.* 2001). Hoy sabemos que Peñalara no es el único espacio de alta montaña donde se están produciendo mortalidades masivas de anfibios en España (ver www.sosanfibios.org). El hecho de su descubrimiento en 1999 solamente indica que en el Parque Natural de Peñalara se han venido realizando labores de investigación y seguimiento de las poblaciones de anfibios más rigurosas que en otros espacios naturales. Lo que hoy sabemos de esta nueva especie de hongo, y que puede resultar fundamental para entender su patogenicidad, es que prefiere temperaturas frescas. Su óptimo de crecimiento en laboratorio se encuentra entre 17 y 25°C, y el hongo deja de crecer a unos 27°C e incluso muere tras una semana a temperaturas superiores a 29°C. Sin embargo, el hongo es capaz de sobrevivir, e incluso crecer lentamente, a temperaturas tan bajas como los 4°C (Piotrowski *et al.* 2004).

Tradicionalmente, se ha considerado que la gran virulencia de este hongo se explica por que ha entrado en contacto recientemente con sus nuevos hospedadores. Las bajísimas diferencias genéticas y estructurales encontradas entre cepas del hongo de países alejados apoyan esta hipótesis (Morehouse *et al.* 2003). Además, los análisis de ejemplares de anfibios de colecciones científicas indican que, mucho antes de que se produjeran las mortalidades masivas en amplias zonas del mundo, el hongo solo se encontraba presente en el sur del continente africano. Por lo tanto, la hipótesis más aceptada establece que el patógeno ha sido introducido recientemente en grandes áreas del mundo por la mano del ser humano a partir de ejemplares de *Xenopus laevis* (rana de uñas africana) criados en granjas africanas como animal de laboratorio (Weldon *et al.* 2004).



Sin embargo, recientemente algunos investigadores han propuesto la hipótesis alternativa de que el cambio climático podría ser la causa del aumento de incidencia de la quitridiomycosis (Pounds *et al.* 2006). La nueva hipótesis de trabajo es que, en determinadas zonas del planeta, el cambio climático está haciendo que la temperatura esté alcanzando ahora el rango óptimo de crecimiento del hongo. Por lo tanto, según esta hipótesis, el hongo siempre habría estado presente en las zonas afectadas, y sería el aumento de la temperatura lo que haría que el hongo resultase letal para los anfibios de zonas tradicionalmente frescas.

Desgraciadamente, no es fácil descartar completamente ninguna de las dos hipótesis. Nuestro trabajo en España y en otros países del mundo (Garner *et al.* 2005) indica que, sin duda, el hongo patógeno está más distribuido de lo que cabría esperar si se hubiese producido una introducción reciente. En España el hongo está presente en muchas localidades (ver www.sosanfibios.org), y sin embargo, en muchas zonas aparentemente no resulta patógeno incluso para las especies más susceptibles. Las zonas donde el hongo no parece resultar un problema se corresponden en general con zonas bajas, por lo que parece que existen condicionantes ecológicos fundamentales para el desarrollo de la enfermedad.

Nuestros análisis de las condiciones meteorológicas, antes y después del brote de quitridiomycosis en Peñalara, indican sin lugar a dudas que las condiciones ambientales han variado en la zona (Bosch *et al.* 2007). En los últimos años en los que empezaron a observarse las mortalidades masivas de anfibios en el Parque ha aumentado de forma significativa el número de días soleados, las temperaturas bajas se han moderado, y los inviernos cada vez son más cortos. Por lo tanto, y de forma similar a lo apuntado por otros investigadores, es posible que el cambio climático en nuestras latitudes esté provocando un aumento de la temperatura en las zonas altas de montaña como Peñalara que hiciera que ahora las condiciones ambientales sean extraordinariamente favorables para el desarrollo del patógeno. Esto sin embargo, no implica que el hongo haya sido introducido en la zona, sino que pudo ser introducido mucho antes de lo que imaginábamos y que sólo ahora sus consecuencias nefastas son notables.

3. ESTADO ACTUAL Y DINÁMICA RECIENTE DE LAS POBLACIONES DE ANFIBIOS

En los últimos 10 años, las poblaciones de anfibios de Peñalara han sufrido importantes cambios en sus distribuciones y abundancias (fig. 3). Sin duda, el cambio más dramático tuvo lugar entre los años 1997 y 1999, cuando la población de *A. obstetricans* quedó

prácticamente extinguida por el brote de quitridiomycosis (Bosch *et al.* 2002).

En general, las especies de anfibios del Parque pueden agruparse en 3 grupos en función de sus tendencias poblacionales desde el año 1999 hasta la actualidad. Algunas especies como *S. salamandra* y *A. obstetricans* presentan claramente tendencias negativas, mientras que otras como *M. alpestris*, *R. perezi* e *H. arborea* muestran tendencias claramente positivas en los últimos años. Por último, las poblaciones del tritón jaspeado (*T. marmoratus*), el sapo común, el sapo corredor y la rana patilarga se mantienen más o menos estables, o muestran ligeras tendencias positivas.

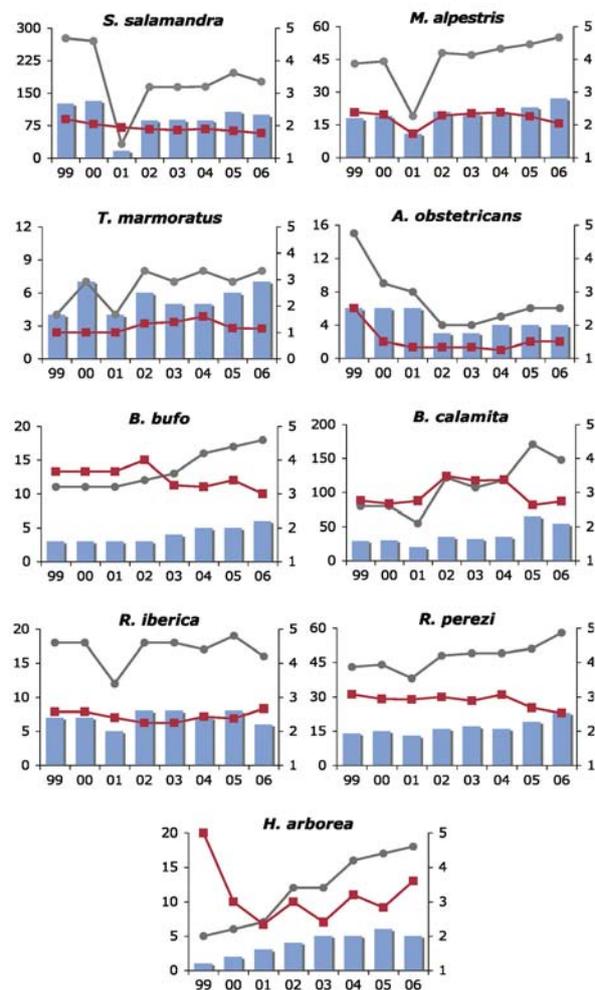


Figura 3. Número de masas de agua (barras, eje de la izquierda) donde cada especie se han reproducido en el periodo 1999-2006 en Peñalara, abundancia media por masa de agua donde cada especie se ha reproducido (línea roja, eje de la derecha) y abundancia total (línea gris, eje de la izquierda) de puestas (*B. bufo* y *B. calamita*) o de larvas (resto de las especies) en clases de abundancia en el mismo periodo (clases de abundancia para puestas: 0=0, 1=1, 2=2-5, 3=6-10, 4=11-20, 5>20; clases de abundancia para larvas: 0=0, 1=1-10, 2=11-50, 3=51-100, 4=101-500, 5>500).

Salamandra salamandra

Esta especie es la segunda más afectada por la quitridiomycosis en el Parque. Curiosamente, los efectos del hongo patógeno sobre esta especie no fueron manifiestos hasta 2001, cuando la población de *A. obstetricans* había desaparecido prácticamente, y ya casi no quedaban larvas invernantes de sapo partero en las charcas permanentes. Parece, por tanto, que el hongo patógeno cambió entonces de hospedador, encontrando en *S. salamandra* la fuente de queratina alternativa donde desarrollarse.

Al contrario del caso de *A. obstetricans*, del que nunca encontramos ejemplares adultos muertos en el campo, en *S. salamandra* el número de ejemplares adultos encontrados muertos en el Parque ha sido elevado (fig. 4). Así, entre 2001 y 2003 recogimos casi 300 ejemplares adultos muertos de *S. salamandra* (Bosch & Martínez-Solano 2006), aunque afortunadamente ese número se ha ido reduciendo progresivamente en años posteriores. En el caso de los ejemplares recién metamorfoseados, la incidencia de la enfermedad ha sido aún mayor, encontrándose cientos de ejemplares muertos fundamentalmente en la Laguna de los Pájaros, donde la especie presentaba grandes concentraciones de larvas invernantes.



Figura 4. Ejemplar adulto de *S. salamandra* encontrado muerto como consecuencia de la quitridiomycosis.

El nexa de unión entre ambas especies, que podría explicar su alta susceptibilidad al patógeno, podría ser la existencia de larvas invernantes que pasan varios años en el agua. Como hemos señalado antes, el hongo patógeno resulta muy sensible a temperaturas elevadas, sin embargo puede sobrevivir a las bajas temperaturas (de hasta 4°C) que soportan las larvas invernantes cuando pasan el invierno bajo la capa de hielo. Por otro lado, y según demuestran nuestras últimas investigaciones mediante infecciones experimentales (Walker *et al.*, en preparación), una densidad larvaria elevada resultaría funda-

mental para que el patógeno provoque mortalidad elevada. Por lo tanto, las grandes acumulaciones de miles de larvas invernantes de estas especies en Peñalara, junto con su dilatado período en el agua en contacto con el patógeno, podrían ser las claves que expliquen la elevada susceptibilidad de estas dos especies.

El número de charcas empleado por la especie para reproducirse experimentó un dramático descenso en 2001, recuperándose paulatinamente desde entonces hasta la actualidad. De la misma forma, las abundancias larvarias se han ido recuperando desde 2001, aunque aún no han alcanzado los niveles elevados que presentaban en 1999. Es destacable la recolonización por parte de la especie de la Laguna Grande en 2004, una vez que el salvelino fuese erradicado por completo de la laguna. Hay que indicar también, que este especie emplea arroyos permanentes y temporales para reproducirse, por lo que es una de las más abundantes en Peñalara.

Mesotriton alpestris

En los últimos años esta especie introducida en el Parque ha experimentado una clara expansión. A finales de los años 90, la especie sólo estaba presente prácticamente en el sector de charcas dónde fue introducido (Las Charcas del Pico). Sin embargo, la especie ha ido colonizando paulatinamente las charcas más próximas, ocupando ya toda la zona de los Llanos de Peñalara.

Así, el número de charcas donde consigue reproducirse ha aumentado de 18 a 27 en sólo 8 años, y sus abundancias larvarias hay crecido también significativamente.

Triturus marmoratus

El tritón jaspeado resulta cada vez más frecuente en Peñalara. Así, mientras que en la década de los 80 resultaba muy difícil de observar, en la actualidad esta especie se reproduce de forma permanente en 7 masas de agua. Además, cada año se observan ejemplares en celo incluso en masas de agua, en principio poco adecuadas para la especie, es decir, masas de agua sin vegetación como la Laguna Grande. Por último, esta especie también se reproduce en los canales que conectan varias charcas, por lo que su abundancia es aún mayor de la que aparece reflejada en el gráfico.

Alytes obstetricans

Como ya hemos señalado, el sapo partero ha sido la especie del Parque más afectada por la quitridiomycosis. Desde que empezaron a aparecer los primeros ejemplares muertos en 1997, la especie ha ido reduciendo drásticamente el número de masas de agua



donde se reproduce, así como las abundancias larvarias de las charcas en las que aún permanece. De las más de 35 charcas que utilizaba la especie en la década de los 80 (Bosch *et al.* 2001), en 2002 pasó a reproducirse sólo en 3. En los últimos tres años, la especie ha experimentado una tímida recuperación, aunque su supervivencia sigue aún comprometida y no es posible descartar su extinción completa en los años próximos.

El hecho más esperanzador de la especie en los últimos años es la aparición de larvas en la Laguna Grande en 2004 tras la erradicación del salvelino, aunque con seguridad se reducen a sólo 1 o 2 puestas.

Por último, hay que considerar que existen otras dos localizaciones donde la especie continúa reproduciéndose en la actualidad y que no aparecen en el gráfico. Estas dos localizaciones son las represas artificiales del arroyo en el Puerto de los Cotos y un arroyo permanente cercano a las Charcas Secas, y en la actualidad representan los 2 núcleos más importantes de la especie en el Parque.

Bufo bufo

El sapo común es la tercera especie del Parque afectada por la quitridiomycosis. Sin embargo, y al contrario que en *S. salamandra*, la mortalidad en esta especie se concentra en los ejemplares recién metamorfoseados. Así, las mortalidades masivas de centenares de ejemplares se producen al completarse la metamorfosis fundamentalmente en la Laguna Grande y en la Laguna de los Pájaros. Por suerte, el enorme tamaño de puesta de esta especie, y la aparentemente mayor tasa de supervivencia de los metamórficos al hongo, ha hecho que la especie no esté en declive por esta enfermedad.

De hecho, y de forma paralela a su reciente incidencia, la especie en los últimos años ha experimentado una significativa expansión tanto en el número de masas de agua que ocupa, como en sus abundancias larvarias totales.

El motivo de esta expansión puede ser la reciente utilización de varias masas de agua permanentes que han sido abandonadas por *A. obstetricans*. De hecho, los experimentos que hemos realizado (Bosch & Rincón, en preparación) indican que las hembras de *B. bufo* podrían estar evitando las masas de agua que presentan larvas invernantes de *A. obstetricans*. Este comportamiento podría estar destinado a evitar la competencia con las larvas invernantes de *A. obstetricans*, mucho más grandes

que las de *B. bufo* y ya presentes en el agua cuando comienza la temporada reproductiva de *B. bufo*.

Bufo calamita

El sapo corredor podría haber experimentado un descenso poblacional en el Parque en la década de los 90 (Martínez-Solano *et al.* 2003). Sin embargo, en los últimos años la especie ha ido aumentando su abundancia larvaria progresivamente, y actualmente continúa siendo una de las especies más abundantes del Parque. Por otro lado, y como cabría esperar al utilizar la especie charcas temporales de escasa profundidad, sus oscilaciones en abundancias larvarias son más evidentes que en el resto de especies, pero la tendencia general de los últimos 8 años puede considerarse positiva.

Rana iberica

La población de rana patilarga de Peñalara no ha experimentado ninguna tendencia significativa en los últimos años. La especie sigue sólo estando presente en la Hoya de Pepe Hernando y en los Llanos de Peñalara, y falta en la Hoya de Peñalara. Como ya hemos indicado, la especie desapareció de esta zona hace años, probablemente como consecuencia de la introducción del salvelino y de la excesiva presión de los visitantes.

Sin embargo, en los últimos años hemos observado algunos indicios esperanzadores de la expansión de la *R. iberica* en el Parque. En primer lugar, la especie parece estar recolonizando de forma tímida el arroyo del Puerto de los Cotos, después de que su cauce fuese recuperado en 1999. También, la especie parece estar expandiendo su distribución hacia zonas más altas, observándose algunos ejemplares juveniles que podrían colonizar en el futuro nuevos sectores de charcas como las Charcas Secas. Por último, la especie también ha recolonizado los tramos del arroyo de Pepe Hernando de donde se ha retirado la trucha común como se explica posteriormente.

Hay que indicar además, que el gráfico sólo representa las abundancias larvarias en las charcas del Parque, mientras que gran parte de la población de esta especie en la zona se concentra en pozas del arroyo de Pepe Hernando fuera de los límites del Parque.

Rana perezi

La rana verde común es una de las especies en mayor expansión en el Parque. Mientras que en la década de los 80 sólo estaba presente en las charcas



de la Hoya de Peñalara, hoy se reproduce de forma habitual en los Llanos de Peñalara, e incluso se observan ejemplares aislados en la Laguna Grande y en la Laguna de Pájaros.

El número de charcas donde se reproduce ha pasado 14 a 23 desde 1999, y su abundancia larvaria ha aumentado progresivamente desde entonces.

Hyla arborea

La rana de San Antonio es otra de las especies que mayor expansión ha experimentado en la zona. Mientras que hace años sólo se reproducía de forma continua en el Humedal del Operante, en los últimos años ha ocupado hasta 6 masas de agua. Su presencia es ya notable en los Llanos de Peñalara, y en 2006 experimentó una explosión en la Hoya de Peñalara, contabilizándose más de 30 machos cantando simultáneamente en la Laguna Chica (fig. 5).

4. MEDIDAS DE CONSERVACIÓN ADOPTADAS E INICIATIVAS PARA EL FUTURO

Las medidas adoptadas en los últimos años para la conservación y recuperación de los anfibios de Peñalara pueden agruparse en dos grandes apartados. Por un lado, las destinadas a la erradicación de las especies de salmónidos introducidos y, por otro, las encaminadas a disminuir los efectos de la quitridiomycosis.

4.1. Control de los salmónidos introducidos

En principio, la corrección de los efectos de la introducción de salmónidos implicaría solo la retirada de estos animales, dado que las especies afectadas han demostrado una enorme capacidad de recolonización. Sin embargo, en la práctica el problema no resulta sencillo, puesto que la erradicación no debe implicar

métodos que resulten perjudiciales para las especies autóctonas. Mientras que la erradicación del salvelino en la Laguna Grande fue relativamente rápida y eficaz, la erradicación del salvelino en la Hoya y en el río Peñalara, y la de la trucha en el tramo medio-alto del arroyo de Pepe Hernando es mucho más compleja. Así, en la Laguna de Peñalara se usaron redes de fondo que no son adecuadas en arroyos y pozas, por lo que en estos medios es necesario el uso de motores de pesca eléctrica de baja intensidad (fig. 6).

Tras sucesivas campañas de erradicación del salvelino en la Hoya de Peñalara, y de traslocación de truchas del tramo medio-alto del arroyo de Pepe Hernando a zonas más bajas, hemos empezado a observar resultados (Rincón & Bosch, en preparación). La erradicación de más de 1000 ejemplares de salvelino de la Hoya de Peñalara ha hecho que la población de esta zona esté próxima al colapso, y las larvas de *S. salamandra* son ahora más abundantes en la zona. Sin embargo, el tramo comprendido entre la estación de aforos y la confluencia con el arroyo de Pepe Hernando sigue albergando un elevado número de salvelinos cuya erradicación resulta complicada por lo abrupto del terreno, e impide la recolonización natural de la Hoya por ejemplares de rana patilarga del arroyo de Pepe Hernando. En los últimos dos años, y dado que la expectativas de la erradicación de este tramo no son buenas, hemos empezado a realizar traslocaciones de larvas y ejemplares recién metamórficos de rana patilarga en un arroyo de la Hoya de Peñalara donde se concentran nuestros esfuerzos de erradicación del salvelino.

Por otro lado, la traslocación de truchas del tramo medio-alto del arroyo de Pepe Hernando a zonas más bajas ha permitido que la rana recolonice varios tramos del arroyo en donde no estaba presente sólo dos años atrás. Si el esfuerzo en el control de los salmónidos continúa algunos años más, es previsible que la rana patilarga vuelva a estar presente en toda la Hoya de Pepe Hernando.



Figura 5. Ejemplar de *H. arborea* de la Hoya de Peñalara marcado mediante el implante de una etiqueta para el seguimiento de la población.



Figura 6. El Dr. Pedro Rincón realizando tareas de pesca eléctrica para el control de los salmónidos de Peñalara.



4.2. Protección, restauración y creación de zonas importantes para los anfíbios

En Peñalara, y desde 1999, hemos intentado favorecer la reproducción de las especies de anfíbios en las zonas donde era necesario, fundamentalmente en el puerto de los Cotos. Así, en 1999 se habilitaron dos represas en el arroyo de Los Cotos, una más grande cerca de la Venta de Marcelino, y otra más pequeña en el aparcamiento tras el paso de la carretera. Ambas masas de agua fueron ocupadas rápidamente por las especies más castigadas por la quitridiomycosis (*A. obstetricans* y *S. salamandra*), y actualmente constituyen el núcleo más importante de reproducción del sapo partero en todo el Parque.

Además, en 1999 se habilitaron algunas zonas como de “especial protección para los anfíbios”. Se trata de zonas valladas para impedir el acceso del ganado y de los visitantes, y en la que se han habilitado algunos refugios para los ejemplares adultos. Estas zonas incluyen el arroyo de Los Cotos, que con gran esfuerzo fue completamente recuperado ya que había sido sepultado por la ampliación del aparcamiento. La recuperación del arroyo de Los Cotos ha sido tremendamente importante para algunas especies, ya que ha supuesto el retorno a la zona de especies que habían desaparecido en los últimos años. Así por ejemplo, el lagarto verdinegro (*Lacerta schreiberi*), una especie muy ligada a pequeños cursos de agua, mantiene ahora una pequeña población estable en el puerto. En el caso de los anfíbios, la consecuencia más importante de la recuperación del arroyo de Los Cotos ha sido la vuelta de la rana patilarga. Ya en 2004 empezamos a observar algunos ejemplares adultos en el arroyo, y en 2006 se produjo la primera puesta de la especie en la zona después de muchos años.

Otra zona habilitada como de especial protección para los anfíbios es la zona del depósito. Se trata de una zona encharcadiza en las inmediaciones del depósito de agua que se encuentra en el camino a la Laguna Grande, y en la que se realizó un desmonte hace ya muchos años. La importancia de este punto radica en que a finales de los 90 existía una pequeña población de sapillo pintojo (*Discoglossus* sp.) que, curiosamente, era una de las poblaciones situadas a mayor altitud de toda la Península Ibérica. Por desgracia, y pese a que la zona se ha conservado bien, e incluso se ha mejorado retirando los depósitos de materiales de construcción que existían, la presencia de la esta especie no ha podido ser confirmada en los últimos años. Sin embargo, es razonable pensar que esta zona pueda ser recolonizada de nuevo por el sapillo pintojo si se producen algunos años seguidos con abundantes precipitaciones.

4.3. Acciones contra la quitridiomycosis

Por desgracia, la erradicación de la quitridiomycosis en el medio natural no es posible por el momento. Por lo tanto, las únicas acciones encaminadas a disminuir sus efectos que podemos emprender son, por un lado, favorecer la reproducción de las especies afectadas como hemos visto y, por otro, encontrar métodos eficaces para el tratamiento de los animales infectados.

Pese a la favorable respuesta a las actuaciones realizadas en cotas bajas del Parque para paliar la enfermedad, la mala evolución de los núcleos de *A. obstetricans* del Parque aconsejaba la puesta en marcha de un programa de cría en cautividad en condiciones controladas. En primer lugar, se hacía necesario encontrar un tratamiento de los animales infectados, pero el bajísimo número de ejemplares disponibles para la experimentación dificultó este proceso. En esos años, y en varias zonas del mundo, se empezó a experimentar diversos fungicidas para el tratamiento de ejemplares adultos infectados. Varios zoológicos que mantienen poblaciones en cautividad de distintas especies de anfíbios, adoptaron el itraconazol como un fungicida eficaz para tratar ejemplares adultos infectados con hongos quitridios. Sin embargo, esta sustancia también resulta tóxica para los anfíbios, y las dosis necesarias para la eliminación del hongo conllevan frecuentemente la muerte de algunos animales, sobre todo aquellos en fases tempranas del desarrollo. Por lo tanto, este tratamiento no es adecuado en el caso de larvas y ejemplares recién metamorfoseados, que son precisamente los únicos que pueden ser recogidos con vida en el medio.

Por otro lado, un equipo de investigadores australianos, experimentó un tratamiento para la curación de ejemplares infectados que consistía simplemente en mantener a ejemplares adultos a elevadas temperaturas (Woodhams *et al.* 2003). Como ya hemos indicado, el hongo es muy sensible a la temperatura y por encima de 28° deja de crecer e incluso llega a desaparecer tras un período moderado. El reto consistía entonces en experimentar si este método era adecuado también en el caso de las larvas, y más aún cuando las especies tratadas en Australia eran especies tropicales que soportan temperaturas más altas. En el verano de 2004, la observación de 9 ejemplares recién metamorfoseados en fase terminal de *A. obstetricans* en la Charca de las Piedras nos hizo ensayar la terapia térmica de forma precipitada. Uno de los animales recogidos ni si quiera llegó con vida al laboratorio (fig. 7), y los restantes fueron mantenidos en cubetas individuales con un régimen de temperaturas de 31°C durante 8 horas al día y unos 24°C el resto del tiempo. Tres de los ejemplares murieron a las pocas horas de iniciar el tratamiento, pero los 5 restantes se recuperaron satisfactoriamente



y los análisis moleculares que realizamos confirmaron que estaban libres del hongo.

En el año 2005 decidimos ampliar estos ensayos a las larvas, por lo que sometimos a un número reducido de larvas a una temperatura cercana a 27°C. En este caso se optó por una temperatura más suave, dado que el tratamiento se prolongaría durante varios meses hasta completar la metamorfosis. Pese a que algunas larvas murieron en estadios muy tempranos (como sucede de forma habitual en condiciones naturales en todas las especies de anfibios), ningún ejemplar sometido a esta terapia murió una vez completada la metamorfosis. En el año 2006 proseguimos con los ensayos con nuevas larvas, obteniendo de nuevo buenos resultados. Sin embargo, y como cabía suponer, las temperaturas elevadas motivaban una aceleración de la tasa de crecimiento y los ejemplares tratados metamorfoseaban con tallas muy reducidas. Así, las mayores dificultades aparecieron con la alimentación de los ejemplares más pequeños, además de otros problemas nutricionales derivados del alimento vivo suministrado. Pese a estas dificultades, en el verano de 2006 ya contábamos con más de 30 ejemplares de un año de edad en perfectas condiciones, y que fueron liberados en el Puerto de Los Cotos para reforzar la población natural. Con objeto de proporcionar refugios adecuados para estos ejemplares liberados, instalamos refugios artificiales que además nos han permitido el seguimiento de los animales (fig. 8a). Además, y con objeto de proporcionar un lugar para la suelta de la larvas en años posteriores, también fue construido un pilón en las inmediaciones de estos refugios artificiales (fig. 8b).

4.3. Cría en cautividad

El éxito obtenido con el tratamiento térmico de las larvas, y el convencimiento de que la cría en cautividad podría ser la única solución para evitar la extinción del sapo partero de Peñalara, nos ha llevado a plantearnos la puesta en marcha de un centro de cría en cautividad de mayores proporciones.

El nuevo centro, que será construido en las instalaciones del Parque Natural en Rascafría, en el Centro de Gestión e Investigación Puente del Perdón, y financiado por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, tendrá dos objetivos fundamentales. En primer lugar, se trata de mantener una colonia cautiva del sapo partero de Peñalara con objeto de salvaguardar su identidad genética en el caso de que se produjera su completa extinción en el medio. En segundo lugar, pero como principal objetivo, será el de proporcionar un elevado número de ejemplares para ser reintroducidos en todas las localizaciones donde la especie se encontraba pre-



Figura 7. Ejemplar recién metamorfoseado de *A. obstetricans* recogido en el verano de 2004 en Peñalara y que murió antes de ser tratado en el laboratorio mediante la terapia térmica desarrollada contra la quitridiomycosis.



Figura 8. Instalación de (a) refugios artificiales para los ejemplares de *A. obstetricans* liberados en el Puerto de Los Cotos, y de un pilón (b) para facilitar la reproducción de estos ejemplares en la zona.

sente antes de la epidemia. La hipótesis de partida es que los animales fundadores de la colonia, que serán recogidos en la primavera y verano de 2006 entre los supervivientes del Parque, serán aquellos que podrían presentar una mayor resistencia al hongo patógeno. Por otro lado, la cría en cautividad nos proporcionará un número limitado de ejemplares para realizar nuevas investigaciones sobre métodos de desinfección y desarrollo de la enfermedad que nos permitirán en el futuro conocer más sobre este problema.

Por último, el centro de cría en cautividad también servirá para la cría de ejemplares de rana patilarga que serán reintroducidos en el Parque como refuerzo de la población natural y para repoblar las zonas donde desapareció por la introducción del salvelino. En este caso, sin embargo, en la fase inicial del proyecto se optará por la recogida de puestas de la naturaleza, la cría de las larvas obtenidas, y la suelta de ejemplares juveniles de 1 año de edad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANO B, ARNTZEN JW, HERRERO P, GARCÍA-PARÍS M, 1991. Genetic differentiation among Iberian populations of the Alpine newt, *Triturus alpestris*. *Amphibia-Reptilia*, 12: 409-421
- BOSCH J, CARRASCALL M, DURÁN L, WALKER S, FISHER MC, 2007. Climate change and outbreaks of amphibian chytridiomycosis in a montane area of Central Spain; is there a link? *Proceedings of the Royal Society B*, 274: 253-260
- BOSCH J, MARTÍNEZ-SOLANO I, GARCÍA-PARÍS M, 2002. El declive del sapo partero común (*Alytes obstetricans*) en Peñalara: un ejemplo de declive de anfibios en áreas bien conservadas. En: *Terceras Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle del Paular*. Consejería de Medio Ambiente, Comunidad de Madrid, Madrid; pp. 43-52
- BOSCH J, MARTÍNEZ-SOLANO I, 2006. Chytrid fungus infection related to unusual mortalities of *Salamandra salamandra* and *Bufo bufo* in the Peñalara Natural Park (Central Spain). *Oryx*, 40: 84-89
- BOSCH J, MARTÍNEZ-SOLANO I, GARCÍA-PARÍS M, 2001. Evidence of a chytrid fungus infection involved in the decline of the common midwife toad (*Alytes obstetricans*) in protected areas of Central Spain. *Biological Conservation*, 97: 331-337
- BOSCH J, RINCÓN PA, BOYERO L, MARTÍNEZ-SOLANO I, 2006. Effects of introduced salmonids on a montane population of the Iberian frog. *Conservation Biology*, 20: 180-189
- GARNER TWJ, WALKER S, BOSCH J, HYATT AD, CUNNINGHAM AA, FISHER MC, 2005. Widespread European distribution of a global amphibian pathogen. *Emerging Infectious Disease*, 11: 1639-1641
- LIZANA M, PEDRAZA EM, 1998. The effects of UV-B radiation on toad mortality in mountainous areas of Central Spain. *Conservation Biology*, 12: 703-707
- LOPE MJ, CUADRADO JA, 1985. Nota sobre la presencia del trión alpino (*Triturus alpestris*) en el centro de la Península Ibérica. *Doñana, Acta Vertebrata*, 12: 317-318
- MARTÍNEZ-SOLANO I, BOSCH J, GARCÍA-PARÍS M, 2003. Demographic trends and community stability in a montane amphibian assemblage. *Conservation Biology*, 17: 238-244
- MOREHOUSE EA, JAMES TY, GANLEY AR, VILGALYS R, BERGER L, MURPHY PJ, LONGCOVE JE, 2003. Multilocus sequence typing suggests the chytrid pathogen of amphibians is a recently emerged clone. *Molecular Ecology*, 112: 395-403

AGRADECIMIENTOS

El director conservador del Parque, Juan Vielva, ha mostrado una especial sensibilidad ante la fauna de anfibios de Peñalara, haciendo posible el programa de seguimiento y todas las labores de investigación y restauración que se han realizado en el Parque. Los vigilantes y agentes forestales han aportado datos muy valiosos para el seguimiento de las poblaciones de anfibios, y su labor ha sido imprescindible en todos los estudios que hemos realizado. Además, el equipo de gestión del Parque ha contribuido enormemente en todos los trabajos aportando datos y sugerencias. Los trabajos de investigación han sido cofinanciados por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid y la Fundación BBVA.



- PIOTROWSKI JS, ANNIS SL, LONGCORE JE, 2004. Physiology of *Batrachochytrium dendrobatidis*, a chytrid pathogen of amphibians. *Mycologia*, 96: 9-15
- POUNDS JA, BUSTAMANTE MR, COLOMA LA, CONSUEGRA JA, FOGDEN MP, FOSTER PN, LA MARCA E, MASTERS K.L, MERINO-VITERI A, PUSCHENDORF R, RON SR, SANCHEZ-AZOFEIFA GA, STILL CJ, YOUNG BE, 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, 439: 143-144
- WELDON C, DU PREEZ LH, HYATT AD, MULLER R, SPEARE R, 2004. Origin of the amphibian chytrid fungus. *Emerging Infectious Diseases*, 10: 2100-2105
- WOODHAMS DC, ALFORD RA, MARANTELLI G, 2003. Emerging disease of amphibians cured by elevated body temperature. *Diseases of aquatic organisms*, 55: 65-67



SEGUIMIENTO DE LAS POBLACIONES DE CORZO EN EL PARQUE NATURAL DE PEÑALARA Y VALLE DE EL PAULAR

FERNANDO HORCAJADA SÁNCHEZ

*Centro de Investigación y Gestión Puente del Perdón.
Parque Natural de Peñalara
Ctra. M-604, Km. 27,6
28740 Rascafría (Madrid)*

La Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, a través del Parque Natural de Peñalara, ha implantado un Sistema de Seguimiento continuo para el estudio y la gestión de las poblaciones de corzo (*Capreolus capreolus*) en este Espacio Protegido de la vertiente madrileña de la Sierra de Guadarrama.

La base principal del Sistema de Seguimiento, es un Cuaderno de Campo, diseñado por el Centro de Gestión del Parque Natural y manejado por los Agentes Forestales de la Comarca, que se ha mostrado como un instrumento eficaz y sencillo en la obtención de gran número de datos con poco esfuerzo.

Durante siglos, las montañas como Peñalara han servido de refugio a las poblaciones de corzo y a otras muchas especies de vertebrados frente al acoso del hombre, que las ha eliminado de enclaves más llanos y accesibles.

El Valle de El Paular, es un entorno representativo de este tipo de situaciones. Su aislamiento y la gran diversidad de hábitats que alberga, le constituyen en una de las zonas con mayor variedad de vertebrados de Europa, en relación con su reducida superficie.

Las poblaciones de corzo del Valle de El Paular y en general las de toda la Sierra de Guadarrama, se han mostrado como una de las más singulares de la Península Ibérica. La presencia de esta especie en el Pleistoceno Medio, tal y como atestiguan los restos del yacimiento de Pinilla del Valle (Madrid), fue bastante significativa en esta zona.

Los análisis genéticos realizados durante este estudio a 60 ejemplares, revelan que el Sistema Central, sirvió de refugio durante las últimas glaciaciones del

Cuaternario a diferentes poblaciones de corzos europeos, al igual que ocurrió en otras áreas de montaña del Sur de Europa.



Foto 1. La gran diversidad de hábitats de El Valle de El Paular le constituyen en una de las zonas con mayor variedad de vertebrados de Europa.



Foto 2. La presencia de las poblaciones de corzo en el Pleistoceno Medio se hace patente en el Yacimiento de Pinilla del Valle.



Foto 3. Pareja de corzos cerca de las Charcas del Pico, por encima de 2.000 m. Foto: José Luis Izquierdo.

La labor que desempeñaron sistemas montañosos como Peñalara, en épocas pasadas, sigue estando vigente en la actualidad. Su importancia en la conservación de las poblaciones de vertebrados, no debe valorarse únicamente a escala local, sino que hay que tener en cuenta su función potencial en el mantenimiento de una dinámica de recuperación de especies a escalas geográficas mucho más amplias.

En la dinámica de las poblaciones de corzo, se observa claramente este doble papel. Por un lado, la Sierra ha albergado áreas óptimas para la especie en épocas históricas, manteniendo poblaciones abundantes y variables genéticamente. Y por otro, ha funcionado como corredor natural, propiciando el proceso de colonización que ha llevado al corzo a ocupar en la última década zonas de piedemonte, muy alejadas de sus territorios habituales.

SINGULARIDADES DE SU BIOLOGÍA

No resulta fácil observar al corzo, a pesar de que es uno de los ungulados más extendidos de Europa. Su pequeño tamaño, apenas 25 kg., sus hábitos crepusculares y su excelente oído, conforman el carácter huidizo y prudente del menor de los cérvidos españoles.

Es una especie marcadamente territorial, prácticamente monógama, con una baja frecuencia asociativa. Se le suele observar sólo o en parejas, evitando grandes rebaños como la mayoría de las especies de medio boscoso.

La amplitud del área de distribución y la diversidad de ambientes que coloniza, facilitan en esta especie, la existencia de una alta variabilidad morfológica y ecológica que propicia en ocasiones la aparición de ecotipos locales.

Por lo general, los corzos españoles mantienen el rango de animales territoriales, formando pequeños

grupos, que suelen estar compuestos por núcleos familiares de la hembra con las crías de varios años. En casos de hábitats desnaturalizados, en los que los recursos se encuentran concentrados en determinados lugares, como son los agrosistemas, se han podido detectar grupos numerosos de individuos de ambos sexos. De igual forma, si se produce un período de escasez de alimento, pueden optar por desplazarse a grandes distancias, habiéndose observado en poblaciones europeas migraciones de cientos de kilómetros.

Las densidades grandes facilitan el aumento del tamaño de las asociaciones. En caso de que éstas aumenten, la población expande su territorio, efectuándose una regulación en lo que a densidades se refiere, entre poblaciones vecinas.

Con respecto a su coloración las poblaciones en la Sierra de Guadarrama, muestran por lo general un pelaje corto y suave de color crema en verano, tornándose largo y quebradizo con tonalidades castaño-grisáceas en la época invernal.

La época de celo comienza a finales de junio, prolongándose durante el mes de julio y primeros de agosto. Durante estos días son frecuentes las actividades de marcaje y defensa del territorio, pudiéndose observar, aunque no con demasiada frecuencia, las peleas entre machos que se encuentran en los límites de sus áreas de campeo.

Una vez realizada la cópula y fertilizado el óvulo, la gestación queda detenida temporalmente. El embrión sólo se desarrolla hasta el estadio de blastocito, con un tamaño de 1mm., interrumpiendo su crecimiento hasta mediados de diciembre. En este momento, es cuando comienza la verdadera gestación, de unos 130 días aproximadamente. De esta forma, las corzas consiguen que el parto tenga lugar alrededor del mes de mayo, justo cuando la disponibilidad de alimento comienza a mostrarse más favorable en esta zona de la Sierra



Foto 4. Los corzinos permanecen encamados durante semanas basando su estrategia de defensa en el mimetismo. Foto: José A. Vallejo.

La paulatina transformación del bosque por las explotaciones forestales y por el uso agrario, ha puesto igualmente de manifiesto la gran versatilidad desarrollada por el corzo en lo que a selección y consumo de alimento se refiere. Es más selectivo que el resto de cérvidos. Posee un contenido rumial relativamente pequeño, lo que le obliga a alimentarse unas diez veces diarias. Energía, proteínas, agua y sodio son los requerimientos nutritivos más importantes, y suelen convertirse la mayoría de las veces en los factores limitantes que condicionan su dieta.

Por regla general se ha observado en regiones boscosas del norte de la Península, que la base fundamental de la dieta está compuesta por leñosas, destacando el género *Quercus* y las zarzas (*Rubus* sp.), durante la mayoría de las estaciones del año. En latitudes inferiores como la Sierra de la Demanda y Urbión los robles también tienen un papel destacado en la alimentación del corzo, mientras que en el Sistema Central son las Rosáceas y el pino silvestre. Al adentrarnos en la zona meridional del país, los brotes y hojas de encina y madroño conforman más del 70% de su alimentación en Montes de Toledo.

La plasticidad de esta especie también ha motivado discordancias en lo que respecta a su estatus taxonómico. No acaban de ponerse de acuerdo los paleontólogos si su evolución es relativamente tardía en cuanto a la familia Cervidae se refiere o si, por el contrario, es uno de los primeros ancestros de este grupo. La especie presenta grandes adaptaciones con cambios morfológicos notables que frecuentemente han conducido a clasificar poblaciones aisladas como distintas subespecies.

A principios de siglo el estatus taxonómico del corzo estaba en candelero. Se clasificaron 5 especies: Cuatro en Asia y una en Europa. En este contexto, en la Península Ibérica se describió un tipo de corzo (raza) (*Capreolus capreolus canus*).

Posteriormente, en las poblaciones españolas se detectaron variaciones, entre distintas zonas, en cuanto a la coloración del pelaje a lo largo del año, o en la ausencia o presencia de las manchas blanquecinas de la parte inferior del cuello, lo que llevó al zoólogo Ángel Cabrera en 1916 a diferenciar otro tipo de corzo, analizando un ejemplar proveniente del Bierzo, denominándolo (*Capreolus capreolus decorus*), subespecie todavía admitida en la actualidad.

En la última década se han abordado varios estudios a este respecto. Los resultados son sorprendentes; a modo de resumen se puede decir que las diferencias entre los ejemplares del Bierzo y los previamente descritos en el Sistema Ibérico se debían más a diferencias individuales que a posibles diferencias taxonómicas.

Sin embargo, las diferencias más patentes entre los corzos españoles se han encontrado entre los del noroeste de la P. Ibérica y los de los Sistemas Béticos. Éstos últimos son, en general, más pequeños, con cuernas más finas y de coloración más clara, lo que ha llevado a proponer una tercera subespecie española denominada (*Capreolus capreolus garganta*). Aún así, se siguen abordando estudios morfológicos, de comportamiento y genéticos, que pueden dar la pauta para en un futuro establecer nuevas clasificaciones.

DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE LAS POBLACIONES ESPAÑOLAS

El corzo se encuentra ampliamente distribuido por toda Europa. Desde los Urales rusos hasta las sierras béticas de Grazalema y Ronda, está presente de forma continua en cualquiera de los hábitats que le son favorables.

En las penínsulas mediterráneas, el patrón de distribución se caracteriza por la fragmentación y la disminución de la densidad en las zonas más meridionales. En España, la presencia de corzo más estable y numerosa se encuentra en todo el norte de la Península, desde Galicia hasta el País Vasco y Pirineos, donde se han localizado las mayores densidades, hasta 15 y 20 ejemplares por km². Aquí podemos observar que las poblaciones se distribuyen de forma continua, colonizando nuevos territorios en la última década.

En los Sistemas Ibérico y Central, se localiza un área de distribución homogénea, en plena expansión, llegando ya hasta la parte más occidental de Las Batuecas por el oeste y a la Serranía de Cuenca por el este (Figura 1).

Los Montes de Toledo, presentan un panorama menos halagüeño, aunque en los últimos años se hace



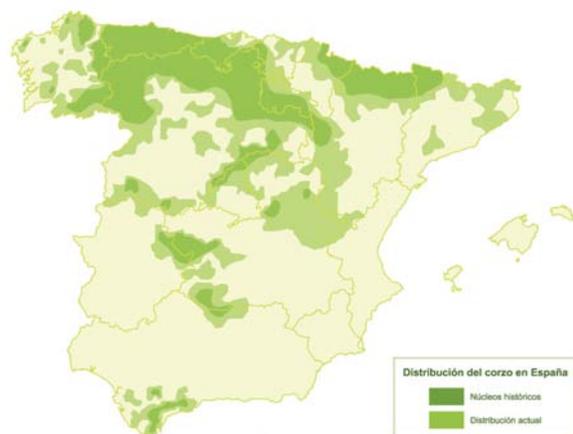


Figura 1. Las poblaciones de corzo de la Península Ibérica, han sufrido una espectacular expansión en las últimas décadas.

cada vez más patente la expansión. Aún así, los núcleos de población son dispersos y aislados, principalmente en propiedades privadas en las que, salvo honrosas excepciones, se fomenta un producto cinegético en teoría más rentable como es el ciervo.

En el Sur de la Península, después de un grave retroceso en el último siglo, se localizan poblaciones en diferentes provincias como Cádiz, Málaga, Córdoba, Jaén o Sevilla. Estos enclaves, se mantienen estables, aunque presentando densidades relativamente bajas comparadas con el resto del país. Salvo casos puntuales (Sierra de Grazalema y Los Alcornocales), estos núcleos no superan en la mayoría de los casos los 2 individuos por km².

En general el gradiente norte-sur ha incrementado notablemente sus diferencias, observándose que las prósperas poblaciones de la mitad norte del país han extendido de forma sustancial sus áreas de expansión, colonizando territorios en los que su presencia era desconocida hasta hace unos pocos años.

Factores ambientales como la disminución progresiva de la ganadería extensiva, el abandono del consumo de leña y la regeneración del monte bajo, le han beneficiado especialmente, poniendo de manifiesto la gran versatilidad desarrollada por este pequeño cérvido en cuanto a selección y consumo de alimento se refiere. Además, cualidades específicas como un potencial reproductor de dos a tres corcinos por hembra y una estrategia de cría basada en el mimetismo, han sido potenciadas bajo esta próspera situación. Factores de carácter social como el aumento del interés cinegético hacia el corzo en los últimos años y el consiguiente incremento de su rentabilidad económica, han empujado a la administración y a algunas Comunidades Autónomas a fomentar notablemente su gestión y conservación a través de numerosas investigaciones y estudios, que han supuesto un importante avance en el conocimiento de su biología y hábitat.

MÉTODOS APLICADOS EN EL SEGUIMIENTO DE LAS POBLACIONES DE CORZO EN EL PARQUE NATURAL DE PEÑALARA

La Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, a través del Parque Natural de Peñalara, viene desarrollando desde el año 1998, un *Sistema de Seguimiento* para el estudio y la gestión racional de las poblaciones de corzo y de otras especies cinegéticas de la Comarca Forestal "Parque Natural de Peñalara", un área montañosa de 20.000 Ha. en la vertiente madrileña de la Sierra de Guadarrama.

El Cuaderno de Campo

El *Cuaderno de Campo*, diseñado por el Centro de Gestión del Parque y manejado fundamentalmente por los Agentes Forestales, es la principal herramienta del *Seguimiento*, destacando por su sencillez y potencia a la hora de obtener gran número de datos con poco esfuerzo (figura 2). Además, suple las carencias que la mayoría de los estudios de fauna plantean, ya que no depende de limitaciones de espacio o tiempo.

El Cuaderno de Campo vierte las observaciones de los Agentes a una base de datos, en la que se presenta información en tablas relacionales sobre todos los

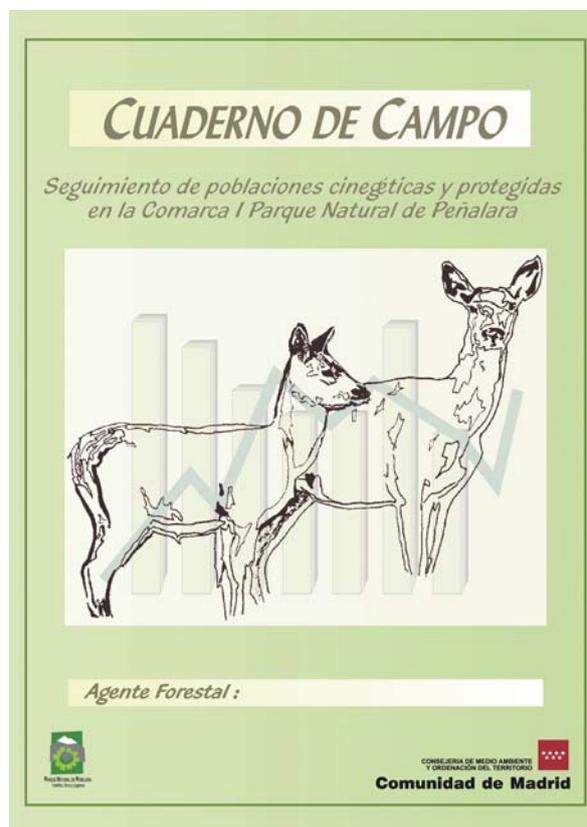


Figura 2. A través del Cuaderno de Campo, los Agentes Forestales recopilan todas las observaciones de corzo en la zona.

aspectos del seguimiento: especies, observadores, cuadrículas de muestreo, parámetros cualitativos y cuantitativos de las especies muestreadas, etc. conectando dichos contenidos con un Sistema de Información Geográfica S.I.G. del que parte el análisis geográfico de los datos (figura 3).

En los 7 años que lleva funcionando, se ha puesto de manifiesto su versatilidad para recopilar datos de forma continua en toda la zona de estudio durante todo el año.

Los Agentes Forestales se han mostrado como el personal más adecuado para manejar dicha herramienta. Su presencia permanente en el área de estudio, sus conocimientos sobre el medio y la fauna, y el potencial de sus efectivos, supera las posibilidades que cualquier estudio privado puede ofrecer.

El *Cuaderno de Campo* se estructura básicamente en tres fichas:

- *La Agenda de Campo*. Destinada a recopilar datos cualitativos que supondrán la información necesaria para evaluar atributos poblacionales tan importantes como la distribución y su evolución a lo largo del año, el sex-ratio, la organización social, los ciclos reproductivos, el aspecto externo y coloración, síntomas de enfermedades, etc. Todas las observa-

ciones directas de corzos son recopiladas en esta Agenda siguiendo los criterios de sexo y edad que se detallan en el siguiente apartado. Su característica fundamental es la continuidad, no suponiendo un esfuerzo extra en el trabajo habitual de los Agentes Forestales.

- *La Ficha de Censos*, que complementa a *la Agenda de Campo*. A través de esta ficha, se recopilan datos de tipo cuantitativo, aportando información relativa a densidades y tamaños reales. La estima de densidades está basada en el método de itinerarios a través de un muestreo estratificado. En su planificación es necesario controlar tanto los factores del hábitat que intervienen en la distribución espacial de los individuos, visibilidad, agregación, etc, como los asociados con la especie, fenología, ciclo reproductivo, ritmo circadiano, etc. En la Comarca, cada Agente Forestal realiza 8 recorridos a pie, durante los meses de abril y octubre que oscilan entre 3 y 4 Km., muestreando en torno a un 30% de toda la zona de estudio.

El método de itinerarios lineales consiste en registrar a los ejemplares detectados a lo largo del itinerario del observador que, a medida que avanza, anota la distancia a la que los animales son observados. Este método presupone que los animales son detectados en su posición natural (es decir, que no se han alejado o acercado a la línea de progresión), que el observador no se confunde al calcular las distancias y que los animales siempre son vistos si se encuentran en la misma la línea de progresión. A partir de esta información, se calcula la función de detección de la especie censada con la que, tras calcular el porcentaje de individuos no detectados, se realiza una estima de la densidad. Para el tratamiento de esta información se ha utilizado el programa Distance 5.0. (*Research Unit for Wildlife Population Assessment, University of St. Andrews, UK*).



Figura 3. Los datos de distribución y abundancias quedan actualizados de forma continua a través del Sistema de Información Geográfica implementado en la zona.



Foto 5. La densidad de corzo en los diferentes hábitats se estima a través del método de itinerarios lineales.



- *La Ficha para Ejemplares Muertos.* Las posibilidades de obtener información de animales abatidos a través de la caza o de los atropellados en accidentes de tráfico (foto 6), son aprovechadas en esta ficha. Así, se obtienen inestimables datos sobre su morfología, fisiología, genética o cualquier otro aspecto de su biología que nos aporte información de interés para el conocimiento de la especie. Los Agentes Forestales, recopilan las medidas biométricas, el peso, el aspecto externo, la coloración, etc. recogiendo a su vez, muestras de incisivo y músculo estriado con el objetivo de calcular la edad exacta a través de corte dentario y analizar la variabilidad genética respectivamente. Los datos de morfología externa, permiten describir y caracterizar el aspecto de los animales, punto de partida en el análisis de la variabilidad tanto individual como en función de la edad, sexo y localización geográfica.

En el caso de los pesos se han tomado con balanza tipo "romana", con una precisión de 100 g. Para las medidas corporales se ha empleado una cinta métrica de tela tipo sastre.

Criterios de sexo y edad utilizados en el seguimiento

Los criterios de identificación del sexo y edad son aspectos fundamentales a la hora de planificar los seguimientos poblacionales de cualquier vertebrado. Para que éstos puedan ser tenidos en cuenta con cierto rigor científico se deberían respetar las siguientes premisas. Por un lado, ser independiente de condiciones particulares de alimentación o variabilidad fisiología. En segundo lugar, que las distintas clases de edad y sexo estén separadas claramente por caracteres objetivos, evitando de esta forma evaluaciones personales. Y por último, y quizás más importante para hacerla viable, que sea utilizable con ciertas garantías por personas no especialmente expertas en el tema.



Foto 6. Los datos de morfología y genética en ejemplares muertos permiten caracterizar la variabilidad poblacional.

Algunos sistemas de identificación basados en el comportamiento, contienen en general demasiadas dosis de subjetividad, pudiéndose aportar tan sólo como información complementaria de las pautas básicas ya expuestas. Lo mismo decimos de las técnicas que requieren una manipulación interna de los ejemplares o de análisis complejos de laboratorio.

En la determinación de la edad en cérvidos en general son de gran importancia las características de tamaño corporal, desarrollo óseo y coloración del pelaje, así como la forma, tamaño, volumen y colorido de los trofeos. En un nivel ligeramente más sofisticado, la sucesión dentaria, tanto en el orden de nacimiento de piezas, como en menor medida el crecimiento de cada diente o su desgaste, es un sistema relativamente sencillo de determinación fiable de la edad.

Por otro lado, la determinación del sexo en cérvidos, tiene en general, muchas menos dificultades, siendo prácticamente inmediata durante gran parte del año. La característica que preside el dimorfismo sexual en esta familia, es la presencia de cuerna o no, fácilmente visible, siendo en la mayoría de las ocasiones criterio suficiente para catalogar al individuo. Cuando los machos pierden la cuerna, son entonces rasgos de tamaño, forma corporal y observación de caracteres sexuales externos, como el pincel peneano o el escudo anal, los que permiten la identificación.

Distinción del sexo

El dimorfismo sexual, al igual que el resto de cérvidos, es expresado con mayor evidencia por la presencia de cuerna en los machos. Este criterio pierde validez durante un par de meses al año, después del desmogue, (noviembre, diciembre), y durante los tres primeros meses de vida, a partir de los cuales los corcinos machos desarrollan sus primeros pivotes.

Si obviamos la cuerna, el mejor criterio sin duda para la diferenciación de sexos, es la forma del escudo anal. En el macho, es de forma arrañada, y en la hembra la prolongación del mechón de pelos que recubre el orificio genito-urinario hace que sea como un triángulo invertido, a modo de corazón.

La silueta, al igual que en el ciervo, es más maciza en el macho. Lateralmente, el tronco en los machos presenta mayor anchura en la parte anterior, siendo al contrario en las hembras. También el cuello, más voluminoso en los machos, el pincel peneano, normalmente visible y la forma de orinar son caracteres que aún siendo secundarios pueden ayudarnos en el diagnóstico del sexo.

En el caso de contar con un ejemplar muerto o con restos de algún animal, podemos ayudarnos de dos criterios más para la distinción del sexo. La mandíbula inferior del corzo macho posee un ángulo posterior mucho más brusco que el de la hembra, lo que hace que la cabeza del macho sea más corta. En segundo lugar, la pelvis de las hembras, cuenta con una adaptación al parto, que se traduce en una cavidad abdominal mucho mayor que la del macho.

Por último y aunque el comportamiento no se ha valorado en este apartado como criterio diferenciador, nos parece importante comentar que en el caso del corzo, los machos mantienen unos hábitos muy territoriales en nuestro país, permaneciendo solos la mayoría del año, mientras que las hembras suelen casi siempre acompañarse de las crías de las dos últimas temporadas.

Distinción de la edad

Los corcinos, nacidos durante el mes de mayo, mantienen su librea moteada durante las primeras semanas de vida, siendo fácilmente diferenciables del resto en esta primera clase de edad. A su vez, durante el mes de agosto los pequeños machos han desarrollado su primera cuerna en forma de pivotes, que nunca exceden los tres centímetros y que mantienen hasta enero, diferenciando así otra clase de edad hasta los nueve meses. Con la siguiente cuerna, que sobre el mes de abril, ya está limpia de terciopelo, compuesta de dos perchas con una altura similar a la de las orejas, podemos completar una primera etapa juvenil en los machos hasta el año y medio.

A partir de aquí, las sucesivas cuernas ya pueden constar de las tres puntas definitivas, aunque como en el caso del ciervo, el desarrollo de éstas depende de muchos factores, no pudiendo establecer una relación directa con la edad.



Foto 7. La presencia de cuerna en los machos es el criterio más utilizado en la distinción del sexo durante gran parte del año.

En general el menor tamaño de los ejemplares jóvenes en ambos sexos se aprecia claramente hasta finales de invierno. A partir primavera los individuos jóvenes alcanzan cerca del 80% de su tamaño corporal definitivo, con lo que a simple vista es prácticamente imposible diferenciarlos. Con ello obtendríamos un criterio relativamente fiable para establecer una clase de ejemplares jóvenes con menos de 1 año.

El aspecto general, aunque pueda dar lugar a observaciones subjetivas, puede ser un buen criterio sobre todo si se está acostumbrado a contemplar animales, pudiendo establecer fácilmente tres clases de edad. En los jóvenes, la cabeza se mantiene erguida, siendo de apariencia acortada, con un cuello largo y delgado, y un aspecto grácil y juguetón. Los adultos poseen una cara más ancha y de color más oscuro que los jóvenes, bajando un poco la posición de la cabeza y ofreciendo un cuello más corto y robusto. Las mudas se retrasan ligeramente con la edad y la cuerna se desarrolla más rápidamente. Los machos viejos mantienen una posición apocada y ligeramente encogida, con la cabeza hacia atrás, mostrando un cuello ancho y corto. Las cuernas de estos ejemplares están en regresión mostrando unas rosetas cada vez más inclinadas con respecto a la base de la cuerna.

Si recurrimos al examen dentario, podemos afinar mucho sobre todo en los primeros 14 meses. La cría al nacer tiene 20 dientes de leche, 6 incisivos 2 caninos con aspecto de incisivo y 6 premolares en la mandíbula inferior y 6 premolares en la superior. Los corzos suelen carecer de incisivos en la mandíbula superior, apareciendo raramente los caninos que son vestigiales en los cérvidos.

A través del tercer premolar, podemos saber si el individuo tiene menos de un año, ya que en este caso constará de tres lóbulos, teniendo dos en los adultos. De igual forma que en el ciervo los estudios sobre el desgaste y las capas de cemento son normalmente usadas como criterio de laboratorio.

Determinación de la edad del corzo mediante la tinción de cemento dentario

El cemento dentario es un derivado ectodérmico que se va depositando en la periferia de la raíz de las piezas dentales. Este proceso va a permitir que la pieza dental quede bien anclada al alveolo. Está compuesto en un 45% por una fracción acelular (fibras colágenas y mucopolisacáridos inmersos en una matriz de hidroxipatito) y un 55% de fracción celular compuesta por cementocitos y cementoblastos. En el cemento podemos distinguir unas líneas de incremento, que a su vez están compuestas por una zona ancha de baja afinidad



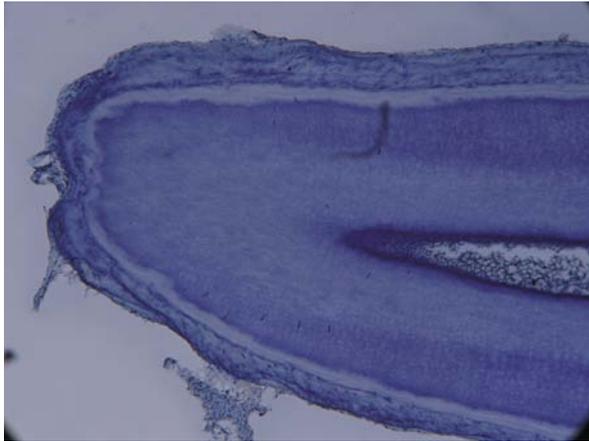


Foto 8. Corte de incisivo de corzo en el que se aprecian las líneas de cemento dentario.

al colorante y otra más estrecha con mayor afinidad. Ambas regiones de la línea de incremento (la oscura y la clara) poseen la misma composición, pero la zona oscura está más mineralizada y posee menos colágeno. Estas líneas de incremento se forman de forma periódica (generalmente anual), hecho que podemos emplear para la determinación de la edad.

Cada especie posee un patrón peculiar de las bandas oscuras y claras. Esto implica que hay que adaptar el protocolo general a las especies en las que no exista experiencia previa, como es el caso del corzo. Una vez que se haya conseguido una tinción óptima, hay que identificar los siguientes elementos anatómicos: dentina, cemento, la unión cemento-dentina y las líneas de incremento, ya que sólo las últimas indican el crecimiento estacional.

El protocolo quedaría definido en los siguientes pasos:

a) Preparación de las muestras.

- *Descalcificación.* El incisivo se deposita en un recipiente con tapa perforada donde se procederá a la descalcificación con una solución al 4-6% de HNO₃ en agua destilada.
- *Tiempo de descalcificación.* Depende de la especie, la edad (densidad del esmalte), el volumen de inmersión y concentración del ácido. En el corzo la descalcificación óptima se produce a las 6 horas.
- *Lavado.* La pieza descalcificada se sumerge en agua corriente durante 24 horas. Si el agua corriente es muy blanda y el material delicado, hay que neutralizar la descalcificación ácida con una solución de acuoso de carbonato de litio.

- b) Corte de las secciones en criostato a una temperatura de -22° C incluidas en gel de congelación (freezing agent-Kamura). Las secciones se realizan a 20 µm y se recogen y lavan en agua destilada.
- c) Tinción de las secciones con Hematoxylina de Ehrlich durante 12 '(Klevezal, 1996). Posterior lavado con agua destilada durante 30 minutos.
- d) Montaje de las secciones. Las secciones se motan en un medio acuoso tipo aquatex y se sellan de forma permanente con goma arábiga.

En la determinación de la edad se tuvieron en cuenta las siguientes premisas:

- 1º La fecha donde se producen la mayoría de los partos es mayo, según los datos del seguimiento llevado a cabo en la zona.
- 2º La dentición definitiva se alcanza a los 13 meses.
- 3º La primera línea de cemento se deposita en enero.
- 4º No se deposita más de una línea por año.

LOS RESULTADOS

Dinámica poblacional y organización social

Tras estos años de *Seguimiento*, se puede decir que la abundancia de las poblaciones de corzo en la zona se asocia positivamente con las zonas forestales presentes en la Comarca. Se han encontrado densidades en torno a 4.2 ejemplares/ 100 Ha. en bosques de pino silvestre natural (*Pinus sylvestris*), 4.1 en rebollares (*Quercus pyrenaica*) y 2.7 en masas de repoblación de pino silvestre. Por su parte, las densidades más bajas se observaron en los hábitats supraforestales de matorral de montaña (*Cytisus oromediterraneus*) con 0.9 ejemplares/ 100 Ha. y en las zonas de fondo de valle con 0.8 animales/100 ha (figura 4).

Con respecto a la razón de sexos, su significado varía según los hábitos de apareamiento de las especies animales que se estén estudiando. En especies que tienden a la monogamia como el corzo una razón de sexos cercana a 1:1 favorecería la máxima productividad de jóvenes. En este caso, la proporción de sexos encontrada tras 2085 observaciones de ejemplares a lo largo de todas las épocas del año, fue de 1.3 hembras por macho, proporción que se desvía ligeramente de la esperada en poblaciones naturales. En este aspecto, es importante señalar que el equilibrio de sexos en las poblaciones de corzo contribuye de forma eficaz a la

mejora genética y mantiene las poblaciones en un buen estado sanitario. Por lo tanto, es fundamental controlar los desequilibrios que la caza pudiera ocasionar en este parámetro.

La organización social de las poblaciones en la zona de estudio, mantiene el estatus observado para la especie en otras zonas de bosque, con abundancia de ejemplares en solitario o en pequeños grupos. Aún así, se ha observado una notable variabilidad en función de la época del año. En el seguimiento de detectaron un 47.5 % de ejemplares aislados o en solitario de los que un 36.7% fueron observados en primavera. Es destacable la presencia de parejas en el otoño, un 10% de los avistamientos, mientras que los grupos de 3 o 4 individuos fueron mucho más abundantes en el invierno. En esta estación, se llegaron a observar 9 grupos con más de 5 individuos, coincidiendo con la abundancia de nevadas en la zona.

Variabilidad genética

Para los estudios sobre la variabilidad genética de las poblaciones de corzo del Valle de El Paular se ha contado con 60 muestras tomadas de tejido muscular, procedentes de animales muertos producto de la actividad cinegética y de los accidentes de tráfico.

Tras la extracción del ADN por los métodos clásicos se procedió a su purificación con fenol/cloroformo y precipitación en etanol y acetato de sodio. El ADN purificado fue resuspendido en agua destilada estéril y se ha mantenido a 4°C durante los procesos diarios, para posteriormente congelarlo. A continuación se procedió a la amplificación del ADN obtenido para la región de interés, mediante la técnica denominada PCR (por las siglas inglesas de "Polymerase Chain Reaction"). Una vez amplificado adecuadamente cada individuo, el resultado debe ser purificado, eliminando productos sobrantes, antes de procederse a la última PCR, con nucleótidos marcados, para su secuenciación automática.

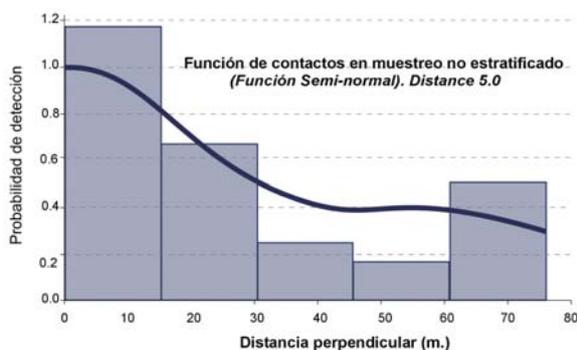


Figura 4. Función seminormal que describe la probabilidad de observación de corzos en los itinerarios de censo en estratos de pinar silvestre.

Finalmente, los cromatogramas (representación gráfica de las secuencias) son corregidos para la inclusión de los datos de las secuencias en los programas adecuados para su tratamiento. Se han utilizado fundamentalmente dos paquetes para el tratamiento de datos: TCS, para el análisis de clados encajados, que relacionan los individuos o haplotipos por su similitud y designan grupos, que pueden ser englobados en otros, estructurando de esta forma la variabilidad encontrada y PAUP, para el estudio de relaciones filogenéticas o agrupaciones se basadas en la relación ancestro-derivado (figura 5).

Para comparar las secuencias obtenidas en el Valle de El Paular, con otras procedentes de distintas poblaciones europeas de corzos, se ha recurrido al GenBank, banco de datos de acceso libre, en el que se encuentran todas las secuencias génicas organizadas por distintos niveles, como por orden numérico, taxonómico, etc., en donde se han encontrado una secuencia completa de D-loop para *Capreolus capreolus*, procedente de Asiago, en los Alpes italianos y otras 68 parciales de distintas áreas. Como grupo externo, para enraizar el árbol filogenético, se han tomado las secuencias completas del corzo asiático o pigargo (*Capreolus pygargus*) y parciales de una de sus subespecies (*Capreolus pygargus ochracea*).

La región elegida, D-loop o región control del ADN mitocondrial, fue seleccionada por su adecuado tamaño (algo más de 900 pares de bases) y variabilidad relativamente elevada para poder emprender análisis poblacionales.

Entre los 60 individuos pudieron distinguirse 3 haplotipos distintos, variando entre ellos hasta cerca del 1.3%, lo que supone una divergencia relativamente

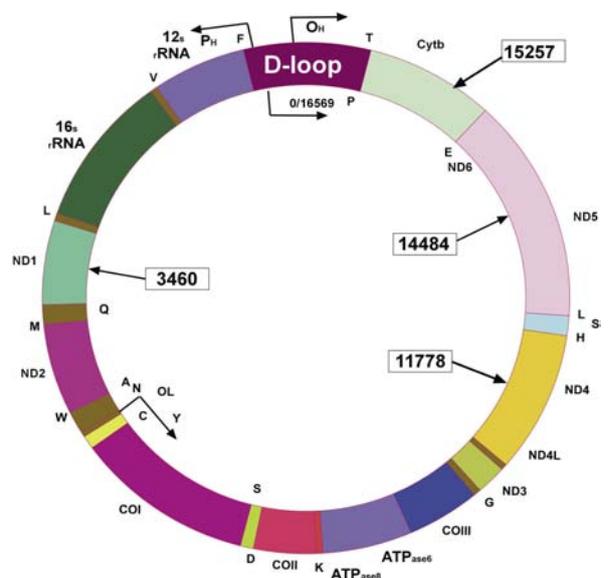


Figura 5. Esquema del ADN mitocondrial en vertebrados, en el que se señala la región amplificada para las poblaciones de corzo.



alta en la comparación con datos de la literatura. De hecho alcanza el mayor valor de los que hemos podido hallar (éstos no superan el 1,2%).

Un resultado "curioso" es que entre los 60 especímenes se encontraban 4 heteroplásmicos, es decir con más de un tipo de ADN mitocondrial, lo que no es un caso único, aunque sí raro. Lo habitual es encontrar sólo ADN de un tipo, heredado por vía materna. Aquí los cuatro individuos presentaban las bases típicas de los dos haplotipos mayoritarios en su área (el "A" y el "C"), lo que está indicando que el ADN mitocondrial secuenciado procede de dos tipos distintos (figura 6). Como decimos, es curioso desde un punto de vista genético, pero además es una indicación de que no hay incompatibilidades entre esos dos haplotipos, cuando incluso están "conviviendo" en un mismo ejemplar.

En todo caso, debemos retener el dato de que la variabilidad es relativamente alta. Esto supone una ventaja para la población, ya que son bien conocidos los riesgos que conlleva una población pequeña con alta endogamia.

La historia de la población de corzos en el Valle de El Paular puede explicar la causa de estos resultados. La hipótesis más probable es que se haya mantenido un buen flujo genético a lo largo de miles de años motivando así una alta variabilidad.

Si observamos el árbol filogenético como representación de la diversidad de haplotipos para los corzos europeos, podríamos comprobar cómo la relación entre los haplotipos mayoritarios "A" y "B" encontrados en Peñalara se mantiene, mientras que su grupo hermano lo componen varios individuos procedentes de otros puntos de Europa. De esta forma, dentro de los grandes grupos que se podrían distinguir en el árbol, "A" y "B" estarían en uno de ellos, mientras que "C" en otro. Esta divergencia entre individuos encontrados ahora en una misma localidad, abundaría en la idea de un polimorfismo reciente con posterior dispersión. Es decir, podríamos imaginar un escenario donde varios linajes de corzos se encontrarían en los refugios pleis-

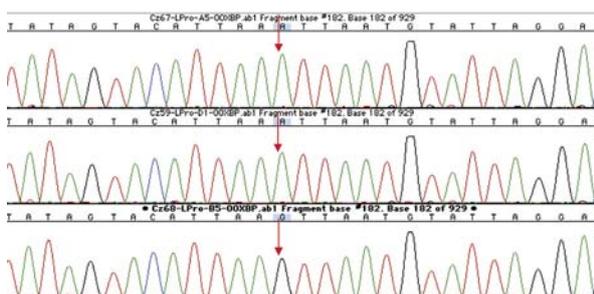


Figura 6. Detalle de los cromatogramas de representantes de los haplotipos mayoritarios en el que dos de ellos cuentan con una Adenina en la posición 182, mientras que el tercero muestra una transición de esa Adenina a una Guanina.

tocénicos en el momento de los grandes picos glaciares en el sur de Europa, habiéndose quizá diferenciado anteriormente, para luego dispersarse tras las épocas más cálidas (figura 7).

De esta forma, los distintos linajes mitocondriales que encontramos ahora en el Sistema Central, y que tienen sus "parientes" más cercanos en puntos geográficamente muy alejados, serían descendientes de esos corzos que encontraron refugio en el sur más cálido y que posteriormente emigraron, expandiendo nuevamente su área de repartición.

Podemos encontrar pues corzos de Peñalara más similares a otros italianos o franceses, que a otros individuos de su propia población.

Por ello, la situación de la población puede ser considerada como buena, desde un punto de vista genético y se recomienda, por tanto, preservar las características genéticas propias de esta zona

Estos datos, deberían tenerse en cuenta para la gestión, intentando mantener su diversidad y evitando mezclas innecesarias, que podrían perturbar el equilibrio poblacional existente en la actualidad. En cualquier caso sería contraproducente la introducción de ejemplares "foráneos" con fines de aumentar una



Figura 7. Árbol filogenético basado en secuencias de la región control del ADN mitocondrial o D-loop, en el que se aprecia la posición de los haplotipos mayoritarios encontrados en El Valle de El Paular frente a poblaciones españolas y europeas.

variabilidad que parece adecuada, siendo incluso superior a la encontrada en las poblaciones analizadas del resto de Europa.

Aspecto externo y coloración

El género *Capreolus*, en general se reconoce por la presencia en los machos de cuernas con tres puntas y abundante perlado, por el escudo anal blanco con pelo erizable que rodea la rudimentaria cola y por tener una compartimentación incompleta del estómago, lo que les impide digerir alimentos con abundante celulosa. En el animal adulto, la coloración es uniforme, presentando un manto variable según la época, que se aclara en el vientre y en la parte interna de las patas. Las únicas zonas con diferente color son la chapa o espejo anal blanco, el interior de las orejas, los párpados y labios que son de color blanco sucio, el bigote negro en el labio superior, y unas manchas blanquecinas conocidas como babero, que aparecen en la parte anterior del cuello en la mayoría de las poblaciones.

Con respecto a la coloración en España varía ligeramente en las distintas regiones. Así por ejemplo se observa que los ejemplares procedentes del Sistema Ibérico son de color leonado en verano y gris praduzco en invierno careciendo en varias épocas del año de las típicas manchas blancas en el cuello. Los de la Cordillera Cantábrica poseen una librea rojiza en verano y gris amarillenta en invierno con doble babero patente durante todo el año. Los originarios procedentes de regiones situadas más al sur, como Sierra Morena presenta una coloración de verano color gris, comparable a la invernal en centro Europa, pudiendo presentar manchas blancas en el cuello y manteniendo la coloración en los meses de invierno.

Por otro lado en las poblaciones más meridionales de Cádiz y Málaga se distinguen dos patrones diferentes de coloración que se corresponden con los que popularmente se denominan "collalbo" y "morisco". El



Foto 9. Macho recién desmogado a finales del mes de octubre.
Foto: José F. Pedreño

primero de ellos varía en función de la época del año, desde rojizo en verano a gris en invierno pudiendo presentar baberos en el cuello.

Por su parte el morisco no varía de coloración a lo largo del año y a pesar de mantener dos épocas de muda, su librea es siempre gris y sin babero en el cuello.

Los patrones observados en los corzos del Valle de El Paular, a través de los datos del Cuaderno de Campo, reflejan una gran diversidad en este aspecto, dato que por otra parte es un fiel reflejo de la alta variabilidad genética expresada en los ejemplares analizados. Además, se observa que no coincide de forma exacta con ninguna de las zonas descritas en el resto de España lo que indicaría al igual que los datos genéticos una especial singularidad.

Los corzos de las poblaciones analizadas presentan en la mayoría de los ejemplares un pelaje invernal castaño grisáceo con aspecto sedoso que puede presentar o no doble babero. Sin embargo en la época estival varía sustancialmente con ejemplares de coloración gris crema, marrón rojizo o castaño grisáceo con o sin babero.

Si los comparamos con los corzos procedentes del Sistema Ibérico, muestran una coloración similar y coincidente a lo largo del año, con algunos de los ejemplares analizados en el Valle de El Paular, con un color leonado o marrón claro en verano como los detectados en el estudio y gris praduzco en invierno, aunque con la diferencia de no mostrar las típicas manchas blancas en el cuello, contrariamente a los madrileños, en los que en gran número de los ejemplares analizados era patente.

Los individuos de la Cordillera Cantábrica coinciden en las tonalidades, aunque en éstos se manifiestan tonos mucho más suaves y claros, con doble babero patente durante todo el año, al contrario que Madrid en donde sólo se ha demostrado la presencia de babero en algunos ejemplares.

Los originarios procedentes de regiones situadas más al sur, como Sierra Morena difieren totalmente de los de la zona de estudio al no coincidir en la coloración ni en la época del año.

En las poblaciones de Cádiz y Málaga, los ejemplares denominados collalbos, muestran cierta similitud con algunos ejemplares analizados en el Valle de El Paular, al coincidir en la coloración y en la presencia de babero, aunque como en el caso de los corzos cantábricos con tonalidades más suaves.



Morfología y crecimiento individual

El corzo, por lo general es una especie escasamente dimórfica, presentando pocas diferencias entre machos y hembras, en lo que a corpulencia se refiere.

A este respecto se han calculado los estadísticos básicos de las variables más importantes en ejemplares adultos, separando los machos y hembras. En líneas generales se ha observado que la mayoría de las variables presentan un ligero dimorfismo sexual, destacando fundamentalmente en este aspecto, las medidas relacionadas con la longitud cabeza cuerpo, el contorno y el peso.

Peso

El resultado de la muestra analizada da unos valores medios referidos al peso entero de 24.8 kg. para los machos y 19.7 kg. para las hembras, si bien en este último caso debido a que provienen de accidentes de carretera el valor de la muestra es tan sólo de 13 ejemplares, por lo que se muestra poco significativo. El grado de dimorfismo sexual encontrado en la población de estudio, es ligeramente más alto que el de otras poblaciones españolas con una relación de 1.25 entre el peso del macho y el peso de la hembra, lo que se podría deber sin duda a la escasa muestra de hembras analizadas.

A este respecto se podría decir que en zonas de baja densidad, la adquisición de un comportamiento territorial, implica el establecimiento de una jerarquía social, lo que evita, en gran medida, la competencia intraespecífica por el alimento. Además la competencia entre machos por el territorio, suele estar basada en señales odoríferas, no siendo necesaria una adquisición de corpulencia mayor en los machos, con lo que las diferencias sexuales en tamaño, son menos acusadas que en otras especies de cérvidos.

Crecimiento corporal

Es conocida las diferencias significativas encontradas con respecto al tamaño corporal en las poblaciones españolas más estudiadas. Se ha observado que las

poblaciones analizadas en el País Vasco, en bosques de Álava muestran una corpulencia superior incluso a las poblaciones centroeuropeas, que estarían más en consonancia con las poblaciones estudiadas en la Cordillera Cantábrica, y muy superiores a las poblaciones de la España Meridional, en las poblaciones de Cádiz y Málaga, con corzos cortos y poco corpulentos.

Este hecho, en principio iría en contra, de la apreciación de mayor tamaño en los individuos cuanto más al Norte y al Este de la zona Euroasiática, si bien puede tener relación con factores de densidad y de productividad del medio.

Las medidas corporales tomadas para el análisis del crecimiento corporal en las poblaciones del Valle de El Paular fueron las siguientes: Longitud cabeza-cuerpo (1), altura en la cruz (2), longitud pie posterior (3), longitud pie anterior (4), oreja (5) y contorno del tórax (6).

La muestra analizada a través de la Ficha para Ejemplares Muertos del Cuaderno de Campo, da unos valores medios en las medidas corporales de longitud cabeza-cuerpo de 110.8 cm. para los machos y 104.7 cm. para las hembras (tabla 2). En la altura en la cruz,

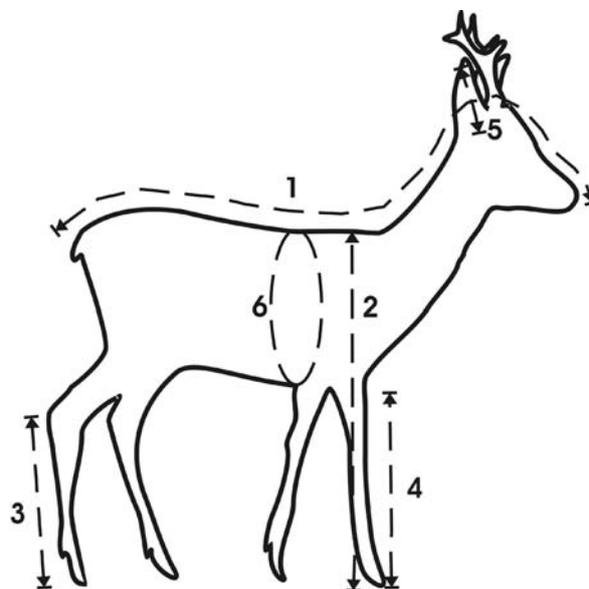


Figura 8. Medidas corporales tomadas para el análisis biométrico de las poblaciones de corzo.

Tabla 1. Pesos en kg. de los ejemplares analizados durante el seguimiento

Valores	Peso machos	Peso en canal (machos)	Peso hembras
Nº casos	132	82	12
Mínimo	17	10	10
Máximo	30	25	26
Media	24,1	16,5	19,9
Desviación estándar	4,6	3,6	5,7

se ha observado una media de 71.4 cm. en los machos y 64.4 cm. en las hembras. El pie posterior oscilo en 31.9 cm. para los machos y 30.1 cm. para las hembras; el contorno del tórax midió 72.1 cm. de media en los machos y 66.4 cm. para las hembras; la pata anterior midió en los machos 46.5 y en las hembras 42.1 y la oreja 13.6 y 13 cm.

El grado de dimorfismo sexual encontrado en lo que a medidas corporales se refiere, en la población de estudio, es relativamente bajo como era de esperar.

Aunque en la mayoría de los cérvidos una vez alcanzada la madurez, el aspecto externo de machos y hembras es marcadamente distinto, en el caso del corzo no existen diferencias significativas.

En los individuos adultos sólo el peso, la longitud cabeza-cuerpo y la altura a la cruz difieren sensiblemente, siendo mayores los machos (tabla 3). En nuestra población, en consonancia con la mayoría de poblaciones españolas, las relaciones dimórficas encontradas han sido 1.05 en la longitud cabeza-cuerpo, 1.10 en la altura de la cruz, 1.05 en la longitud del pie posterior, 1.09 en el contorno del tórax, 1.10 el pie anterior y 1.05 la longitud de la oreja.

Crecimiento individual

El crecimiento se expresa fundamentalmente como la variación de una dimensión cualquiera del individuo en función de la edad, y se suele representar como una curva que corresponde a dimensiones medidas en tiempos sucesivos sobre un individuo, o a medidas obtenidas sobre una muestra de la población, siendo una característica de ésta y no de la especie.

El crecimiento de las variables que definen el tamaño corporal, se puede considerar como uno de los resultados de la selección natural.

Para analizar el crecimiento individual del corzo, en lo que a medidas corporales se refiere, se ha calculado la relación entre los valores observados de longitud de oreja, longitud cabeza-cuerpo, altura de la cruz y longitud pie posterior, con la edad en meses de 74 corzos calculada a través del recuento de las líneas de crecimiento de cemento dentario. La relación se obtuvo a través de un análisis de regresión, siendo "y" la edad y "x" las variables del crecimiento corporal, calculando posteriormente el coeficiente de correlación "r".

El crecimiento en longitud de la oreja, se ha considerado como variable particular del crecimiento característico de la especie, mostrándose como un buen criterio de edad en el campo.

Tabla 2. Medidas corporales en cm. de los ejemplares analizados durante el seguimiento

Medidas corporales en los machos						
Valores	Cabeza-cuerpo	Altura de la cruz	Pie posterior	Cont. tórax	Pata anterior	Oreja
Nº casos	149	148	149	140	60	32
Mínimo	86	60	18	50	37	13
Máximo	125	80	38	89	56	17
Media	110.8	70.5	31.0	71.1	46.5	13.9
Desviación estándar	9.23	5.71	3.48	10.03	7.27	0.73

Medidas corporales en las hembras						
Valores	Cabeza-cuerpo	Altura de la cruz	Pie posterior	Cont. tórax	Pata anterior	Oreja
Nº casos	23	23	20	15	14	8
Mínimo	90	52	26	62	34	12
Máximo	117	73	38	72	48	14
Media	104.7	64.2	30.1	66.4	42.1	13
Desviación estándar	8.08	5.82	3.33	2.79	3.71	0.81

Tabla 3. Grado de dimorfismo encontrado en la altura a la cruz de algunas poblaciones de corzo

ZONA	MACHOS	HEMBRAS	RELACIÓN	REFERENCIA
Cádiz	68	65	1.04	Braza F. 1994.
Cordillera Cantábrica	75	73	1.02	Costa L. 1992.
Francia	73	72	1.01	Delibes J. 1996
Polonia	73	73	1	Fruzinski y col. 1983
Valle de El Paular	70.5	66.2	1.06	Cuaderno de Campo. CMA. 2005



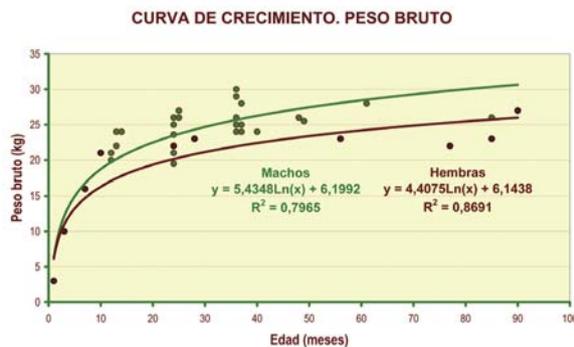


Figura 9. Crecimiento ponderal observado en la muestra poblacional analizada.

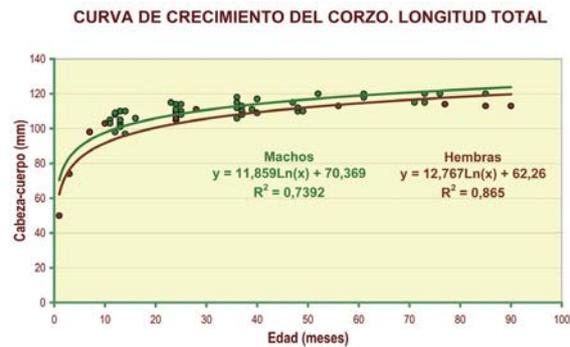


Figura 10. Crecimiento individual observado en la longitud total de los corzos analizados.

El ajuste de los parámetros biométricos con la edad, muestra unas correlaciones significativas, describiendo un crecimiento rápido de los individuos y similar en ambos sexos, lo que se ajusta a grandes rasgos a la descripción hecha para otras poblaciones europeas.

Podemos decir, que el corzo del Valle de El Paular presenta un crecimiento acelerado, que determina que alcancen el tamaño adulto muy pronto.

Un macho de dos años, posee ya el 90% de su longitud cabeza-cuerpo total. Esta forma tan rápida de crecimiento descrita como hemos dicho, para otras poblaciones europeas de corzo, contrasta con la encontrada en otros ungulados silvestres habitantes del bosque mediterráneo y presentes en la sierra madrileña, como la cabra montés y el jabalí.

AGRADECIMIENTOS

La mayoría de las observaciones de campo, así como la recogida de muestras, fueron efectuada por los Agentes Forestales de la Comarca I “Parque Natural de Peñalara”, desde enero de 1.998, a través de sus correspondientes Cuadernos de Campo.

Los análisis sobre la variabilidad genética de las poblaciones de corzo, fueron realizados en el Museo Nacional de Ciencias Naturales del CSIC, en Madrid, bajo la dirección de la Dra. Annie Machordom como responsable del Laboratorio de Sistemática Molecular y Genética de Poblaciones.

Los cortes de incisivos y la interpretación fueron realizados conjuntamente en la Facultad de Ciencias Experimentales de la Universidad de Jaén, bajo la dirección del Dr. Emmanuel Serrano y en el Laboratorio de Zoología Aplicada del Centro de Quintos de Mora dependiente del Ministerio de Medio Ambiente, por María del Carmen López Ruiz, bajo la dirección del Dr. Carlos Rodríguez Vigal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITKEN, R. J. 1975. Cementum layers and tooth wear as criteria for aging roe deer (*Capreolus capreolus*). *Journal of Zoology, London*. 175, 15-28.
- ÁLVAREZ, G., RAMOS, J. 1992. Dieta del corzo (*Capreolus capreolus*) en una localidad mediterránea (Quintos de Mora, Montes de Toledo). Doñana, *Acta Vertebrata*, 19 (1-2): 107-114.
- AZORIT, C., MUÑOZ-COBO, J., HERVÁS, J., Y ANALLA, M. 2004. Ageing through growth marks in teeth of Spanish red deer. *Wildlife Society Bulletin*. 32, 702-710.
- BRAZA, F.; SORIGUER, R.C.; SAN JOSÉ, C.; DELIBES, J.R.; ARAGÓN, S.; FANDOS, P. Y LEÓN, L. 1995. *Métodos para el estudio y manejo de cérvidos* Junta de Andalucía.
- CAUGHLEY G. 1977. *Analysis of vertebrate populations*. Wiley and Sons. London. 233 pp.
- FANDOS, P., MARTÍNEZ, T., PALACIOS, F. 1987. Estudio sobre la alimentación del corzo (*Capreolus capreolus* L. 1758) en España. *Ecología*, 1: 161-186.
- FANDOS, P.; HORCAJADA, F. 1998. Singularidades del corzo *Trofeo* 337:18-23.



-
- FANDOS, P.; HORCAJADA, F. 1999. La expansión del corzo. *Trofeo* 349:36-37.
 - FRANKHAM, R.; BALLOU, J. D.; BRISCOE, D. A. 2002. *Introduction to Conservation Genetics*. Cambridge University Press, Cambridge.
 - GRUE, H. Y JENSEN, B. 1979. Review of the formation of incremental lines in tooth cementum of terrestrial mammals. *Danish Review of Game Biology*. 11, 1-48.
 - HORCAJADA F. 2005. El corzo en el Parque Natural de Peñalara. *Quercus* nº 235.
 - HORCAJADA, F.; FANDOS, P. 1998. Cómo saber la edad y el sexo de los cérvidos. *Trofeo*. 344: 34-41.
 - KLEVEZAL, G. A. 1996. *Recording structures of mammals*. Balkema, Rotterdam.
 - LIEBERMAN, D. E. Y MEADOW, R. H. 1992. The biology of cementum increments (with an archaeological application). *Mammal Review*. 22, 57-77.
 - LORENZINI, R.; LOVARI, S., AND MASSETI, M. 2002. The Rediscovery of the Italian Roe Deer: Genetic Differentiation and Management Implications. *Italian Journal of Zoology* 69 (4):367-379.
 - LORENZINI, R.; SAN JOSÉ, C.; BRAZA, F. ARAGÓN, S. 2003. Genetic differentiation and phylogeography of roe deer in Spain, as suggested by mitochondrial DNA and microsatellite analysis. *Italian Journal of Zoology*, 70 (1): 89-99.
 - MATSON, G. M. 1981. *Workbook for cementum analysis*. Matson's Laboratory, Milltown, Montana.
 - MILOSEVIC-ZLATANOVIC, S.; CRNOBRNJA-ISAILOVIC, J.; SAVIC, I. R., AND STAMENKOVIC, S. 1997. Genetic Variability of Roe Deer Populations (*Capreolus capreolus* L.) from Northeast Yugoslavia. *Zeitschrift Fur Säugetierkunde-International Journal of Mammalian Biology* 62 (6):339-349.
 - PALOMO, L. J. Y GISBERT, J. 2002. *Atlas de los Mamíferos terrestres de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SECEM-SECEMU, Madrid, 564 pp.
 - PETROSYAN, V. G.; TOKARSKAYA, O. N.; DANILKIN, A. A., AND RYSKOV, A. P. 2002. Quantitative Analysis of Genetic Parameters in Populations of European (*Capreolus capreolus* L.) and Siberian (*Capreolus pygargus* Pall.) Roe Deer With Rapid Markers. *Russian Journal of Genetics*.
 - SCRIBNER, K.; ARNTZEN, J. W.; CRUDDANCE, N.; OLDHAM, R. S.; BURKE, T. (2001). Environmental correlates of toad abundance and population genetic diversity. *Biological Conservation*.
 - TELLERÍA, J.L. 1986. *Manual para el censo de los vertebrados terrestres*. Raíces, Madrid, 278 pp.
 - TELLERÍA, J.L. 1998. La diversidad de vertebrados del Valle del Paular (Madrid). En: *Primeros Encuentros Científicos del Parque Natural de Peñalara*. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid.
 - TELLERÍA, J.L. AND VIRGÓSE. 1997. Distribution of an increasing roe deer population in a fragmented Mediterranean landscape. *Ecography*, 20: 247-252.
 - WIEHLER, J.; TIEDEMANN, R. 1998. Phylogeography of the European Roe Deer *Capreolus capreolus* as Revealed by Sequence Analysis of the Mitochondrial Control Region. *Acta Theriologica*.



CARTOGRAFÍA DE LA VEGETACIÓN DEL PARQUE NATURAL DE PEÑALARA Y SU ZONA PERIFÉRICA DE PROTECCIÓN: UNA HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN

JOSÉ LUIS IZQUIERDO

*Centro de Investigación y Gestión Puente del Perdón.
Parque Natural de Peñalara
Ctra. M-604, Km. 27,6
28740 Rascafría (Madrid)*

INTRODUCCIÓN

El Parque Natural de Peñalara y el Valle de El Paular constituyen un territorio con una elevada riqueza florística, como consecuencia de las características climáticas transicionales, la variedad de litologías, la geomorfología y el relieve, combinados con usos tradicionales que han favorecido el desarrollo y el mantenimiento de tipos de vegetación ricos en flora (Fernández González, 1999).

La flora del Parque Natural de Peñalara y del Valle del Paular ha sido objeto de varios estudios que han puesto de manifiesto su singularidad y la abundancia de elementos finícolas, endémicos y amenazados (Fernández González, 1988, 1999; Montouto, 2000, 2002). Asimismo el conocimiento de la vegetación de este entorno es bastante completo, habiéndose inventariado en él una gran diversidad de comunidades vegetales (Fernández González, 1988, 1991; Molina *et al.*, 2002). Sin embargo, aún se carece de información sobre la abundancia relativa y la distribución de los diferentes hábitats existentes en la zona, para lo cual es necesaria la elaboración de un mapa detallado y completo de la vegetación actual (Fernández González, 1999).

La cartografía de la vegetación constituye una herramienta indispensable en el estudio de la vegetación y su relación con el medio, y presenta aplicaciones fundamentales relacionadas con la gestión del territorio (Ozenda, 1982).

Una de las líneas de trabajo que se viene desarrollando actualmente en el Parque Natural de Peñalara es la cartografía de la vegetación de la Comarca Forestal I en la que se incluye este espacio protegido. Una cartografía precisa de la vegetación, así como una adecuada tipificación de las distintas unidades que la forman son necesarias como base para la evaluación de los recursos naturales, para la planificación de los distintos usos y para el desarrollo de medidas de conservación. En este trabajo presentamos y discutimos los resultados obtenidos en las dos primeras fases de este estudio, la cartografía de las unidades de vegetación del Parque Natural de Peñalara (PNP) y de su Zona Periférica de Protección (ZPP).

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo de realización del mapa de las unidades de vegetación ha constado de diferentes fases: fotointerpretación, trabajo de campo y elaboración del mapa.

En la fase de fotointerpretación se han utilizado fotografías aéreas de la Comunidad de Madrid de los vuelos 1990/91 (escala 1:6 500), 1999 (escala 1:18 000) y 2001 (escala 1:20 000), observadas detenidamente mediante la utilización de un estereoscopio. Asimismo se ha utilizado la ortofoto del vuelo 2001 con píxel de 0,3 m. Sobre la base de esta ortofoto se ha realizado la digitalización de las diferentes manchas de vegetación mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se ha trabajado inicialmente a una escala de 1:1 000



para reducir al mínimo los posibles errores en la delimitación de las diferentes manchas, con el objetivo de obtener en el mapa una buena resolución con escala 1:5 000.

Durante la fase de trabajo de campo, se realizaron numerosos recorridos según los cuales se intentó recoger toda la variabilidad existente en las manchas digitalizadas (diferencias en altitud, orientación, pendiente, color y textura de las manchas). Éstas se localizaron mediante GPS y se tomaron los siguientes datos:

- composición florística: especies dominantes y especies acompañantes, con sus correspondientes índices de cobertura (valores del + al 5: +, presencia puntual; 1, hasta 20% de cobertura; 2, entre 20 y 40%; 3, entre 40 y 60%; 4, entre 60 y 80%; 5, entre 80% y 100%)
- fisonomía: se anotó si la comunidad analizada era bosque, matorral o pastizal, y, según el grado de agrupación de la vegetación, si ésta era densa, clara o dispersa.
- otras variables: altitud, pendiente, orientación, usos, presión ganadera, presión recreativa, observaciones.

El tamaño mínimo de mancha de vegetación fue definido como 25 m de diámetro máximo y se representaron en el mapa como polígonos. En ocasiones se valoraron manchas de menor extensión si se consideraban interesantes desde el punto de vista de la vegetación. Se denominaron enclaves y se han representado en el mapa como puntos.

En la fase de elaboración del mapa se procedió a la restitución de las manchas digitalizadas en base a las observaciones de campo, en los casos en los que fue necesario. En función de los datos florísticos obtenidos, se asignó a cada mancha una unidad de vegetación intentando reflejar el conjunto de las comunidades vegetales existentes en ella. Con el fin de facilitar la interpretación del mapa, estas unidades de vegetación más complejas se agruparon en unidades principales denominadas según la comunidad vegetal que otorgara la fisonomía a la mancha de vegetación analizada. Con el conjunto de datos obtenido se elaboró una base de datos que constituye la base documental del mapa de vegetación.

Para la nomenclatura de las unidades de vegetación se han utilizado criterios florísticos, fitosociológicos y fitoecológicos reflejados en distintos trabajos realizados en la Sierra de Guadarrama y en el entorno del Valle de El Paular (Fernández-González, 1988, 1991;

Rivas-Martínez *et al.*, 1990, 1999; Martínez-García, 1999; Roig, 1999; Molina *et al.*, 2002).

Una vez elaborado el mapa de vegetación, los resultados obtenidos se analizaron según su elemento biogeográfico, fisonomía, naturalidad y presencia en la Directiva Hábitat (92/43 CEE). La superficie ocupada por las distintas unidades de vegetación se calculó mediante SIG. Para la asignación de hábitat según la Directiva 92/43 CEE a las distintas comunidades cartografiadas, se consultaron los distintos manuales editados por el Ministerio de Medio Ambiente y la Comunidad Europea (Rivas-Martínez & Penas, 2003; Bartolomé *et al.*, 2005; CEE, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mapa de vegetación

Se han cartografiado unas 2100 manchas correspondientes a 50 unidades de vegetación diferentes. Las unidades de vegetación consideradas aparecen en la tabla 1. Una muestra del mapa de vegetación obtenido aparece al final de este trabajo.

Uno de los objetivos del mapa de vegetación ha sido el intentar reflejar la máxima información posible acerca de la vegetación real existente en la zona de estudio. Por ello dentro de las unidades de vegetación principales se han establecido todas las subunidades que se han creído convenientes, hasta completar un total de cerca de 390 situaciones diferentes. La mayor complejidad observada tiene lugar en las zonas altas del Parque Natural, circos de origen glaciar próximos a él y zonas cercanas a las cumbres de Valdemartín y Cabezas de Hierro. En estas zonas la morfología glaciar ha dado lugar a una gran diversidad de hábitat en un espacio relativamente reducido, lo cual se refleja en la aparición de complejos mosaicos constituidos por diferentes comunidades vegetales, fundamentalmente azonales. Un ejemplo de la cartografía obtenida en uno de estos sectores se muestra en la figura 1.

La superficie ocupada por cada una de las unidades principales de vegetación en el Parque Natural y en la Zona Periférica de Protección se muestra en la tabla 2. En ambos casos, la vegetación que ocupa mayor superficie corresponde a los matorrales mixtos de alta montaña mediterránea de piorno serrano (*Cytisus oromediterraneus*) y enebro rastrero (*Juniperus communis* subsp. *alpina*). Así, de las 733 ha que forman el Parque Natural, estos matorrales ocupan más de 250, mientras que de las 10869 ha de superficie de la Zona Periférica de Protección, 2363 ha corresponden a esta comunidad vegetal. Los pinares de pino albar (*Pinus sylvestris*) constituyen la vegetación arbórea dominante, desta-



cando las 113 ha que ocupan los pinares orófilos en el Parque Natural, y las 861 ha que alcanzan en la ZPP. Los pinares mesófilos de pino albar son los bosques dominantes en la ZPP, ocupando 2318 ha. Por otro lado, las repoblaciones de coníferas apenas existen en el PNP, pero alcanzan gran extensión en la ZPP, con 1911 ha de repoblaciones de pino albar y otras de especies alóctonas (322 ha de *Pinus uncinata*). Los bosques de melojo (*Quercus pyrenaica*) también alcanzan gran importancia en la ZPP, ocupando 816 ha. Otras formaciones arbóreas que queremos destacar son los abedulares relícticos carpetano-ibéricos que, aunque sólo ocupan 6 ha de extensión, tienen importantes representaciones en las cabeceras de algunos arroyos de la ZPP. Estos bosques albergan un conjunto de plantas nemorales de afinidades septentrionales muy raras en el ámbito de la Comunidad de Madrid.

Entre las comunidades herbáceas, en el PNP destacan por su extensión las comunidades casmofíticas de consueledas (*Saxifraga pentadactylis* subsp. *willkommiana*), ocupando 87 ha, junto con los cervunales (80 ha) y los pastizales dominados por *Senecio pyrenaicus* y *Digitalis purpurea* que colonizan las gleras del Parque natural (75 ha). En el ámbito de la ZPP, las comunidades herbáceas que alcanzan mayor extensión

son los pastizales pteridofíticos de *Dryopteris oreades* y *Cryptogramma crista* que crecen sobre los canchales, ocupando una superficie de 348 ha. Este dato es debido a la gran extensión que alcanzan los canchales en las laderas septentrionales de Cabezas de Hierro y Valdemartín. También en la ZPP, los cervunales alcanzan una superficie importante, ocupando casi 250 ha. Las comunidades herbáceas de las zonas altas son de gran importancia y en ellas aumentan las proporciones de especies raras, finícolas y endémicas (Fernández González, 1999). En el Parque Natural, son comunidades especialmente ricas en estos elementos (Montouto, 2000, 2002), pero también encontramos casos similares en la ZPP. Dos ejemplos de estos casos pueden ser los enclaves higroturbosos con presencia de brezales de *Erica tetralix* y *Calluna vulgaris* y poblaciones de grasiilla (*Pinguicula grandiflora*), que además de existir en el PNP, aparecen en zonas puntuales de la ZPP (circos de Hoyocerrado, Hoyopoyales y El Reventón); y los joragales de la parte occidental de Cuerda Larga, donde viven poblaciones importantes de *Erysimum humile* subsp. *penyalarensis* y de *Senecio boissieri*. Este primer taxon no ha sido encontrado actualmente en el Parque Natural (Montouto, 2000; Martínez Rodríguez *et al.*, 2003), mientras que el segundo aparece muy localizado (Montouto, 2003).

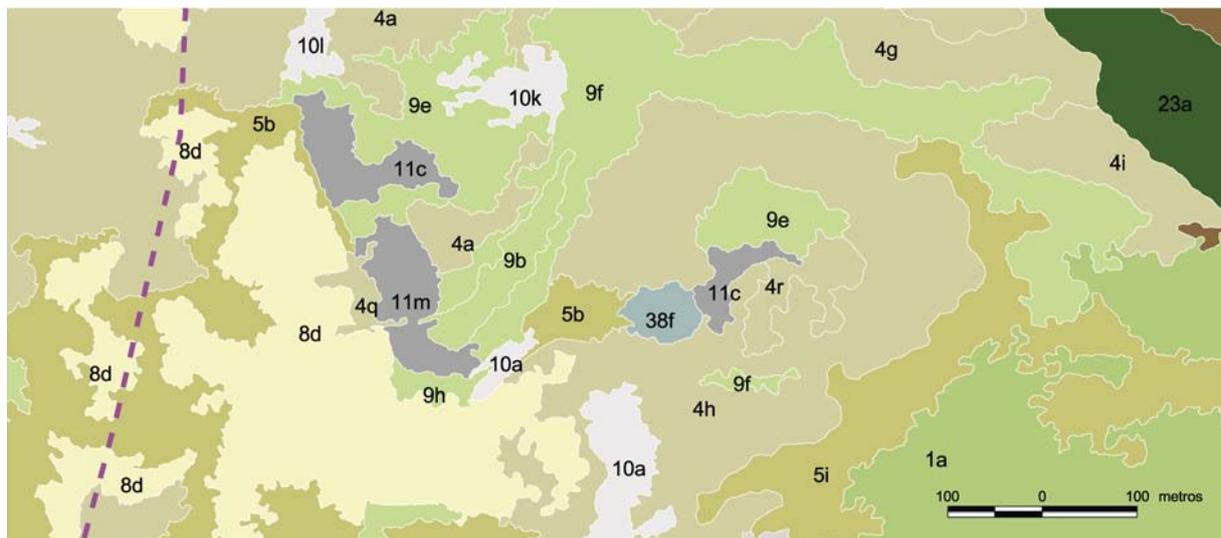


Figura 1.- Detalle del mapa de vegetación en un sector de la Zona Periférica de Protección (Hoyo Poyales) (1a, Pinares orófilos de pino albar; 4a, Piñales de piorno serrano - enebrales de enebro rastrero; 4g, Piñales de piorno serrano - enebrales de enebro rastrero con cambroño; 4h, Piñales de piorno serrano - enebrales de enebro rastrero con cambroño y brezo blanco; 4i, Piñales de piorno serrano - enebrales de enebro rastrero con cambroño y pino albar; 4q, Piñales de piorno serrano - enebrales de enebro rastrero con zonas de cervunales; 4r, Piñales de piorno serrano - enebrales de enebro rastrero con zonas de comunidades casmocomofíticas de clavelinas sobre roquedos silíceos; 5b, Piñales de piorno serrano con enebro rastrero; 5i, Piñales de piorno serrano con cambroño, brezo blanco, enebro rastrero y pino albar con enclaves de abedules y sauces negros; 8d, Pastizales xero-orófilos con enebro rastrero y piorno serrano; 9b, Cervunales con enclaves higroturbosos; 9e, Cervunales con enebro rastrero; 9f, Cervunales con enebro rastrero y enclaves higroturbosos; 9h, Cervunales con enebro rastrero y piorno serrano; 10a, Pastizales vivaces saxícolas sobre gleras y pedregales; 10k, Pastizales vivaces saxícolas sobre gleras y pedregales con enebro rastrero, piorno serrano y zonas de comunidades casmofíticas de consueledas sobre roquedos con cervunales fragmentarios rupestres; 10l, Pastizales vivaces saxícolas sobre gleras y pedregales con enebro rastrero, piorno serrano y zonas de pastizales pteridofíticos sobre canchales de bloques; 11c, Pastizales pteridofíticos sobre canchales de bloques con enebro rastrero y zonas de pastizales vivaces saxícolas sobre gleras y pedregales; 11m, Pastizales pteridofíticos sobre canchales de bloques con zonas de pastizales vivaces saxícolas sobre gleras y pedregales; 23a, Repoblaciones de pino negro; 38f, Comunidades casmocomofíticas de clavelinas sobre roquedos silíceos con enebro rastrero y piorno serrano; línea discontinua, límite de la Zona Periférica de Protección).



Tabla 1. □

la comunidad vegetal equivalente y referencia bibliográfica acerca de su existencia en la zona de estudio o breve comentario en caso de no haberla. Además se indica el elemento biogeográfico y el hábitat de la Directiva 92/43/CEE en la que se incluye. (P, paularense; G, guadarrámico; C, carpetano; CI, carpetano-ibérico; ausencia de letras, distribución más amplia).

COMUNIDADES ARBÓREAS	
Abedulares	<i>Melico uniflorae</i> – <i>Betuletum celtibericae</i> (Fernández González, 1991), CI . 9380
Choperas de álamo negro	Formaciones de <i>Populus nigra</i> artificiales o integradas en las Saucedas salvifolias
Fresnedas	<i>Fraxino angustifoliae</i> – <i>Quercetum pyrenaicae</i> (Fernández González, 1991), CI . 91B0
Melojares	<i>Luzulo forsteri</i> – <i>Quercetum pyrenaicae</i> (Fernández González, 1991), CI . 9230
Melojares - pinares de pino albar	Bosques mixtos de <i>Quercus pyrenaica</i> y <i>Pinus sylvestris</i> relacionados con los Melojares y los Pinares mesófilos, CI . 9230
Pinares mesófilos de pino albar	Martínez García (1999). <i>Pteridio aquilini</i> – <i>Pinetum ibericae</i> (Rivas-Martínez et al., 1999), G
Pinares orófilos de pino albar	Martínez García (1999). <i>Avenello ibericae</i> – <i>Pinetum ibericae</i> (Rivas-Martínez et al., 1999), G
Quejigares	<i>Cephalanthero rubrae</i> – <i>Quercetum fagineae</i> (Fernández González, 1991). 9240
Repoblaciones de pino albar	Formaciones de <i>Pinus sylvestris</i> artificiales
Repoblaciones de pino laricio	Formaciones de <i>Pinus nigra</i> artificiales
Repoblaciones de pino negro	Formaciones de <i>Pinus uncinata</i> artificiales
Saucedas de sauce negro	<i>Rubo lainzii</i> – <i>Salicetum atrocineriae</i> (Fernández González, 1991; Rivas-Martínez et al., 2002), CI . 92A0
Saucedas salvifolias	<i>Salicetum salviifoliae</i> (Fernández González, 1991). 92A0
Temblares	Bosques de <i>Populus tremula</i> relacionados con Abedulares y Saucedas de sauce negro
COMUNIDADES ARBUSTIVAS	
Brezales de brezo blanco	Comunidades de <i>Erica arborea</i> relacionadas con los Cambroñaes, Escobonales y Espinares (Fernández González, 1991)
Cambroñaes	<i>Genisto floridae</i> – <i>Adenocarpelum hispanici</i> (Fernández González, 1991), G . 4090
Enebrales de enebro rastrero	<i>Avenello ibericae</i> – <i>Juniperetum alpinae</i> (Molina et al., 2002), C . 5210
Escobonales de retama blanca	<i>Genisto floridae</i> – <i>Cytisetum scoparii</i> (Fernández González, 1991), G . 4090
Escobonales de retama cenicienta	<i>Cytiso oromediterranei</i> – <i>Genistetum cinerascens</i> (Fernández González, 1991), C . 4090
Escobonales de retama negra	Comunidades de <i>Cytisus scoparius</i> relacionadas con los Escobonales de retama blanca, G . 4090
Espinares	<i>Rubo ulmifolii</i> – <i>Rosetum corymbiferae</i> (Fernández González, 1991)
Matorrales camefiticos acidófilos	Comunidades de <i>Lavandula stoechas</i> subsp. <i>pedunculata</i> . (Fernández González, 1991)
Matorrales nanocamefiticos basófilos	<i>Lino differentis</i> – <i>Salvietum lavandulifoliae</i> subas. <i>helianthemetosum cani</i> (Fernández González, 1991), P . 4090
Piornales de piorno serrano	Comunidades monoespecíficas de piorno serrano relacionadas con los Piornales - enebrales de enebro rastrero, C . 5120
Piornales de piorno serrano - enebrales de enebro rastrero	<i>Senecioni carpetani</i> – <i>Cytisetum oromediterranei</i> (Fernández González, 1991), C . 5120
COMUNIDADES HERBÁCEAS	
Berceales	<i>Arrhenathero baetici</i> – <i>Stipetum giganteae</i> (Rivas-Martínez et al., 1990)
Cervunales	Cervunales oromediterráneos: <i>Campanulo herminii</i> – <i>Festucetum ibericae</i> (Molina et al., 2002), G . 6230* Cervunales supramediterráneos: <i>Festuco rothmaleri</i> – <i>Juncetum squarrosi</i> (Rivas-Martínez et al., 1990), G . 6230*
Cervunales fragmentarios rupestres	<i>Allietum latiorifolii</i> (Molina et al., 2002), P . 6230*
Enclaves higroturbosos	<i>Caricetum echinato</i> – <i>nigrae</i> (Rivas-Martínez et al., 1990, 2002); <i>Luzulo carpetanae</i> – <i>Pedicularietum sylvaticae</i> (Fernández González, 1988; Rivas-Martínez et al., 2001). 6230*
Joragales	<i>Hieracio myriadeni</i> – <i>Festucetum curvifoliae</i> (Molina et al., 2002), G . 6160
Juncales hidromorfos	<i>Hyperico undulati</i> – <i>Juncetum acutiflori</i> (Rivas-Martínez et al., 1990)
Majadales	<i>Festuco amplae</i> – <i>Poetum bulbosae</i> (Rivas-Martínez et al., 1990). 6220*
Pastizales terofíticos silicícolas	<i>Trisetum ovati</i> – <i>Agrostietum truncatulae</i> (Rivas-Martínez et al., 1990)
Pastizales vivaces de helecho común	Comunidades de <i>Pteridium aquilinum</i>
Pastizales xero-orófilos	<i>Hieracio castellani</i> – <i>Festucetum curvifoliae</i> (Molina et al., 2002), G
Prados de diente	<i>Festuco amplae</i> – <i>Cynosuretum cristati</i> (Rivas-Martínez et al., 1990)
Prados de siega	<i>Agrostio castellanae</i> – <i>Arrhenatheretum bulbosi</i> (Rivas-Martínez et al., 1990). 6510
Tomillares silicícolas	<i>Thymo zygidis</i> – <i>Plantagnetum radicatae</i> (Rivas-Martínez et al., 1990), C
Vallicares	<i>Festuco amplae</i> – <i>Agrostietum castellanae</i> (Rivas-Martínez et al., 1990)



Tabla 1. Continuación

COMUNIDADES SAXÍCOLAS	
Comunidades casmocomofíticas de clavelinas sobre roquedos silíceos	<i>Digitali thapsi</i> – <i>Dianthetum lusitani</i> subas. <i>arrhenatheretosum carpetani</i> (Fernández González, 1988)
Comunidades casmocomofíticas de saxifragas sobre roquedos silíceos	<i>Sedo hirsuti</i> – <i>Saxifragetum continentalis</i> (Fernández González, 1988), C. 8220
Comunidades casmofíticas de consueldas sobre roquedos compactos	<i>Saxifragetum willkommianae</i> (Molina <i>et al.</i> , 2002), Cl. 8220
Comunidades de aulaga garbancera sobre mármoles	Comunidades de <i>Astragalus nevadensis</i> subsp. <i>muticus</i> en afloramientos de mármoles (Pérez-Badia <i>et al.</i> , 1998), P
Comunidades de clavelinas y dedaleras sobre roquedos silíceos	<i>Digitali thapsi</i> – <i>Dianthetum lusitani</i> (Rivas-Martínez <i>et al.</i> , 1990)
Pastizales pteridofíticos sobre canchales de bloques	<i>Cryptogrammo</i> – <i>Dryopteridetum oreadis</i> (Molina <i>et al.</i> , 2002). 8130
Pastizales vivaces saxícolas sobre gleras y pedregales	<i>Digitali carpetanae</i> – <i>Senecionetum carpetani</i> (Molina <i>et al.</i> , 2002), C. 8130
Pastizales vivaces sobre gleras terrosas y taludes	<i>Rumicetum suffruticosi</i> (Fernández González, 1988), G. 8130
OTRAS COMUNIDADES	
Comunidades helofíticas graminoides	<i>Glycerio declinatae</i> – <i>Alopecuretum aequalis</i> (Fernández González, 1988; Rivas-Martínez <i>et al.</i> , 2002), C
Comunidades herbáceas y camefíticas nitrófilas acidófilas	Comunidades nitrófilas dominadas por <i>Artemisio glutinosae</i> – <i>Santolinetum rosmarinifoliae</i> (Rivas-Martínez <i>et al.</i> , 1990)
Zonas alteradas	Prados ajardinados, viviendas, embalses, pistas esquí

Biogeografía

En la figura 2 analizamos el elemento biogeográfico de las comunidades cartografiadas. Más de la mitad corresponden a vegetación propia de las montañas del centro de España (Sistema Central y Sistema Ibérico), y dentro de ellas encontramos nueve comunidades exclusivas de la Sierra de Guadarrama y tres del territorio estudiado. Una de las comunidades propias del entorno del Valle del Paular, son los cervunales fragmentarios rupestres (*Allietum latiorifolii*), comunidades de óptimo oromediterráneo superior y criomediterráneo

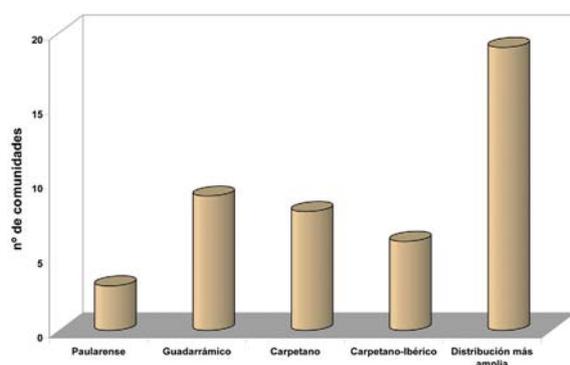


Figura 2.- Elemento biogeográfico de las distintas unidades de vegetación cartografiadas.

que se desarrollan en grietas y rellanos de roquedos sometidos a hidromorfía temporal debida a la fusión de los neveros. Están dominados por *Allium schoenoprasum* y otros taxones propios de los cervunales (*Nardus stricta*, *Festuca iberica*). Es una comunidad propia de los macizos de Peñalara y del Pico del Nevero (Rivas-Martínez *et al.*, 1990). En el territorio estudiado se encuentra en el Parque Natural y en zonas puntuales de la ZPP. Otra de las comunidades propias de la zona de estudio y posiblemente la más singular que se ha cartografiado, es la comunidad de aulaga garbancera (*Astragalus nevadensis* subsp. *muticus*) sobre mármoles existente en pequeños enclaves rupícolas de la ZPP y que en su totalidad apenas supera las 0,8 ha de superficie. La mayor parte de los taxones que forman esta comunidad son plantas basófilas extremadamente raras en la Sierra de Guadarrama y con poblaciones en el Sistema Ibérico meridional (Pérez Badia *et al.*, 1998). Y por último, otra comunidad que podría considerarse propia del Valle del Paular es la que hemos denominado como matorrales nanocamefíticos basófilos. Aunque se relacionan con los salviares y esplegares castellanos (*Lino differentis* – *Salvietum lavandulifoliae*), presentan diferencias estructurales y florísticas suficientes como para ser considerados como comunidades vegetales propias de los cerros calizos del valle (Fernández-González, 1991).



Tabla 2. Superficie (ha) ocupada por las distintas unidades de vegetación consideradas en el Parque Natural de Peñalara y la Zona Periférica de Protección.

Unidad de vegetación	Superficie PNP	Superficie ZPP
Abedulares		5,96
Berceales		18,31
Brezales de brezo blanco		18,35
Cambroñales		202,96
Cervunales	80,27	247,08
Choperas de álamo negro		1,74
Comunidades de aulaga garbancera sobre mármoles		0,84
Comunidades de clavelinas sobre roquedos		27,33
Comunidades de consueldas sobre roquedos	96,62	38,43
Comunidades de dedaleras y clavelinas sobre roquedos		81,24
Comunidades de saxifragas sobre roquedos		12,76
Comunidades herbáceas y camefíticas nitrófilas acidófilas		1,14
Enebrales de enebro rastrero	24,37	106,59
Escobonales de retama blanca		30,42
Escobonales de retama cenicienta		127,99
Escobonales de retama negra		2,85
Espinares		31,19
Fresnedas		12,27
Joragales	8,29	55,54
Majadales		25,84
Matorrales nanocamefíticos basófilos		6,53

Unidad de vegetación	Superficie PNP	Superficie ZPP
Melojares		816,03
Melojares - pinares de pino albar		79,89
Pastizales de helecho común	0,75	4,79
Pastizales pteridofíticos sobre canchales	17,69	347,64
Pastizales terofíticos silicícolas		7,43
Pastizales vivaces saxícolas sobre gleras	74,65	41,63
Pastizales vivaces sobre gleras terrosas y taludes		0,56
Pastizales xero-orófilos	6,94	72,68
Pinares mesófilos de pino albar	2,90	2318,21
Pinares orófilos de pino albar	112,95	861,05
Piornales de piorno serrano	53,08	309,81
Piornales de piorno serrano - enebrales de enebro rastrero	250,85	2362,87
Prados de diente		33,97
Prados de siega		43,89
Quejigares		29,03
Replantaciones de pino albar		1911,94
Replantaciones de pino laricio		0,48
Replantaciones de pino negro		322,50
Saucedas de sauce negro		11,69
Saucedas salvifolias		6,41
Temblares		2,83
Tomillares silicícolas		0,05
Vallicares	0,49	122,28
Zonas alteradas	1,02	110,88

En la figura 3 observamos que la mayor parte de la extensión, tanto del Parque Natural, como de la ZPP está ocupada por comunidades vegetales guadarrámicas y carpetanas, frente a comunidades de mayor amplitud biogeográfica. En esta comparación no hemos tenido en cuenta la superficie ocupada por repoblaciones y zonas alteradas. Con estos datos se puede afirmar que el Parque Natural de Peñalara y su Zona Periférica de Protección constituyen un enclave representativo de la vegetación de la Sierra de Guadarrama y del Sistema Central.

Fisonomía

Una comparación fisonómica de la vegetación cartografiada se representa en la figura 4. Casi la mitad de la superficie del Parque Natural (45%) se encuentra ocupada por vegetación arbustiva, en concreto por piornales, enebrales y matorral mixto de estas especies. En el resto de la superficie del PNP hay que destacar la importante extensión que alcanzan las comunidades saxícolas (26%). Los bosques ocupan un 16% de la superficie, en las zonas más bajas del Parque. Por último, los pastizales ocupan un 13% y se desarrollan

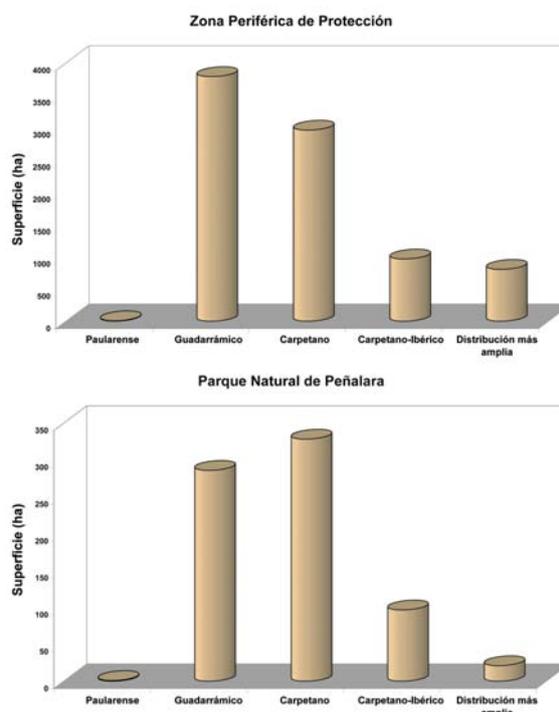


Figura 3.- Extensión (hectáreas) de las distintas comunidades cartografiadas según su elemento biogeográfico.



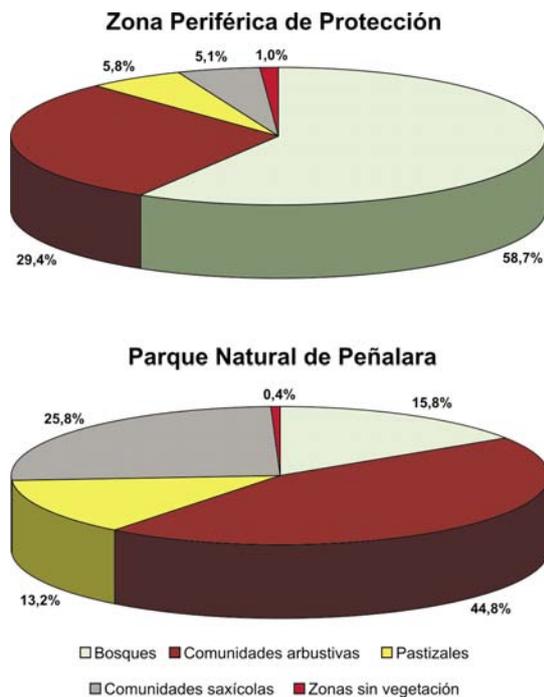


Figura 4.- Porcentaje de superficie ocupada por las distintas comunidades cartografiadas según su fisonomía.

en las zonas altas en las que los roquedos, gleras y canchales ceden espacio a las vaguadas, hoyas y laderas con suelo más desarrollado. En el PNP se desarrollan ampliamente los termotipos orosubmediterráneo y criorosubmediterráneo, mientras que el suprasubmediterráneo se presenta de forma puntual (Molina *et al.*, 2002). En los termotipos orosubmediterráneo superior y criorosubmediterráneo las etapas más maduras de la vegetación corresponden a comunidades arbustivas y herbáceas, y no es posible la instalación de un bosque de forma natural.

En la ZPP se incrementa el intervalo altitudinal, ampliándose considerablemente la extensión correspondiente al termotipo suprasubmediterráneo. Casi el 60% de la superficie de la ZPP está ocupada por vegetación arbórea, mientras que casi un 30% está formada por comunidades arbustivas. Los pastizales ocupan un 7% y las comunidades rupícolas un 6%. Las zonas sin vegetación sólo alcanzan el 1%. La ZPP es predominantemente forestal, aunque hay que tener en cuenta que dentro de la vegetación arbórea están incluidas las repoblaciones de coníferas.

Naturalidad de la vegetación

En la figura 5 representamos una clasificación de la vegetación estudiada con la intención de valorar su grado de naturalidad. En este sentido queremos destacar el carácter bioindicador de las comunidades

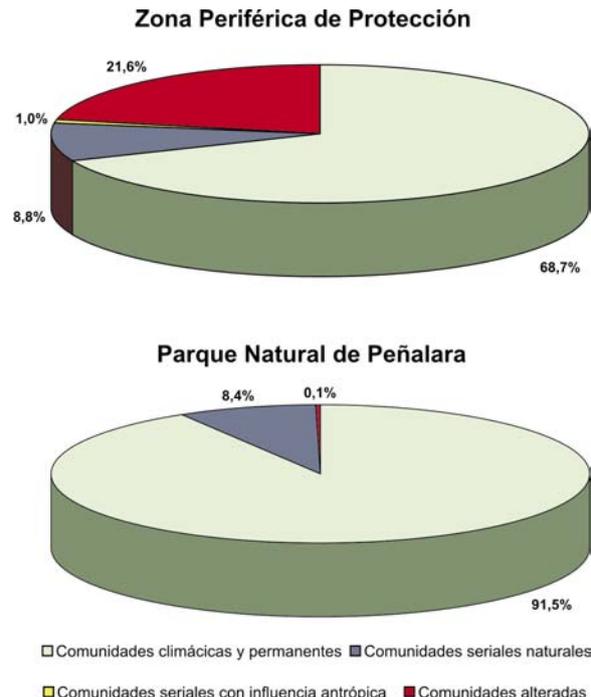


Figura 5.- Porcentaje de superficie ocupada por las distintas comunidades cartografiadas según su grado de naturalidad.

vegetales según el lugar que ocupan en la sucesión vegetal, lo que constituye una buena herramienta para diagnosticar la espontaneidad de la vegetación en un territorio determinado. Para ello hemos establecido los siguientes grupos: comunidades climáticas y permanentes, incluyendo en ellas tanto la vegetación zonal como la azonal; comunidades seriales naturales, como las que sustituyen a las anteriores como consecuencia de alteraciones no graves, formando parte del dinamismo natural de la vegetación; comunidades seriales con influencia antrópica, con alteraciones más importantes, debido a los usos del territorio, como son los pastizales naturales originados por pastoreo continuado y las comunidades nitrófilas; y, por último, comunidades alteradas, donde se incluyen las repoblaciones y otras zonas donde se han llevado a cabo infraestructuras diversas como por ejemplo pistas de esquí.

El Parque Natural de Peñalara constituye un territorio de elevado valor natural, ya que el 92% de su extensión está ocupada por comunidades vegetales climáticas y permanentes. Tan sólo un 8% de la superficie se encontraría ocupada por comunidades seriales naturales, y el porcentaje de superficie ocupada por comunidades alteradas es prácticamente nulo. En la Zona Periférica de Protección el 68% del área está ocupado por vegetación climática y permanente, y el 22% por comunidades alteradas. En el resto de su superficie aparecen comunidades seriales con distinto grado de influencia antrópica (9%, comunidades seriales naturales y 1%, comunidades seriales con influen-



cia antrópica). El porcentaje de superficie ocupada por comunidades climácicas también es alto. Sin embargo, la extensión que alcanzan las comunidades alteradas es relativamente elevada, debido fundamentalmente a la superficie recubierta por repoblaciones de coníferas.

Aunque en numerosas ocasiones se ha cuestionado el carácter natural de los pinares de pino albar del Sistema Central, existen datos de diversa índole que demuestran la espontaneidad de estos bosques (Martínez García, 2002). Podríamos plantearnos la dudosa potencialidad de los pinares mesófilos de pino albar en algunas zonas del territorio, principalmente en las zonas más bajas que ocupan, donde, debido a los usos del monte, han sido favorecidos en perjuicio de los melojares. Pero en ningún caso se trata de repoblaciones. Actualmente, la mayoría de los autores aceptan la naturalidad de los pinares de pino albar en la Sierra de Guadarrama y su papel climácico, como lo demuestra el haber sido tipificados varios sintaxones relacionados con ellos (Rivas-Martínez *et al.*, 1999, 2002). Igualmente, mediante estudios palinológicos se ha demostrado la importancia de los pinares albares en el Valle del Paular desde hace, al menos, 8000 años (Sáinz Ollero, 1999). Una situación bastante real podría ser la existencia de bosques mixtos de melojo y pino albar, que aún persiste en algunas zonas de la ZPP. Parece ser que la dinámica postglacial en el ámbito mediterráneo ha sido la codominancia a lo largo de los últimos 12000 años de formaciones de *Quercus* y *Pinus* (Costa Tenorio *et al.*, 1998).

Directiva Hábitat 92/43 CEE

En la figura 6 se representa la superficie ocupada por las distintas comunidades cartografiadas según su inclusión o no en el inventario de la Directiva Hábitat de la Comunidad Europea (92/43 CEE) relativa a la conservación de los hábitat naturales y de la flora y fauna silvestres. Más del 80% de la superficie del Parque Natural de Peñalara se encuentra incluida en la Directiva, y algo más del 10% está constituida por hábitat prioritarios. Por su parte, casi la mitad de la superficie de la ZPP se encuentra ocupada por comunidades vegetales que se incluyen en distintos hábitat naturales de interés comunitario. El resto de la superficie se encuentra ocupada por comunidades que no se incluyen en estos hábitat, aunque podemos hacer algunas consideraciones. En primer lugar, las singulares comunidades de aulaga garbancera (*Astragalus nevadensis* subsp. *muticus*) que aparecen puntualmente en la ZPP no se encuentran aún tipificadas ni incluidas en la Directiva. Existen en el Sistema Ibérico comunidades similares que se incluyen en los hábitat 6170 y 4090 (Rivas-Martínez & Penas, 2003; CEE, 2003). Por otra parte, en el seno de los pinares mesófilos de

pino albar hemos cartografiado enclaves con bosquetes de acebos (*Ilex aquifolium*), tejos (*Taxus baccata*) y sabinas (*Juniperus thurifera*) que no se contabilizan en la tabla 2 por su reducida extensión, y porque no se trata de unidades de vegetación que se puedan separar de los pinares mesófilos (en la cartografía realizada, las manchas donde se sitúan figuran como “pinares mesófilos de pino albar con acebo”, “pinares mesófilos de pino albar con enclaves con tejos” y “pinares mesófilos de pino albar con enclaves con sabina albar”). Estos enclaves formarían parte de los hábitat: 9380 “Bosques de *Ilex aquifolium*”, 9560* “Bosques endémicos de *Juniperus* spp.” y 9580* “Bosques mediterráneos de *Taxus baccata*”, estos dos últimos prioritarios.

Otras comunidades naturales de gran importancia, como son los pinares orófilos de pino albar (*Avenello ibericae* – *Pinetum ibericae*), los cuales alcanzan una extensión importante en la zona de estudio y constituyen la vegetación potencial del piso orosubmediterráneo inferior, no se encuentran recogidos en los hábitat naturales de interés comunitario de la Directiva. Estos pinares constituyen una comunidad vegetal propia de la Sierra de Guadarrama y representativa de la vegetación forestal de coníferas de la alta montaña mediterránea. Asimismo, otras comunidades herbáceas o rupícolas naturales tampoco se encuentran en la Directiva (ver tabla 1), mientras que algunas con acusada influencia antrópica como son los majadales o los prados de siega sí aparecen en su anexo I (incluso los majadales constituyen un hábitat prioritario). Algunos autores han denunciado la ausencia de determinadas especies de flora endémica y amenazada en los anexos de la Directiva (Domínguez *et al.*, 1996). Cabría quizás plantearse también la ausencia de algunos hábitat que podrían ser considerados de interés comunitario. Por ello, creemos que el porcentaje de superficie incluido en la Directiva Hábitat debe ser interpretado con cierta precaución en la estimación de la naturalidad o la singularidad de los hábitat presentes en un territorio determinado.

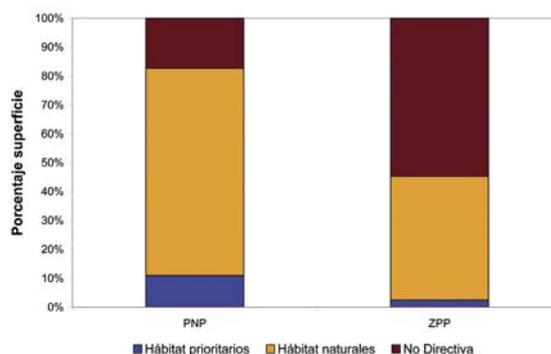


Figura 6.- Porcentaje de superficie ocupado por los distintos hábitat según la Directiva 92/43/CEE: hábitat naturales de interés comunitario, hábitat prioritarios y hábitat no incluidos en la Directiva.



Como resultado de este estudio podemos resaltar que las comunidades vegetales existentes en el Parque Natural de Peñalara, muchas de ellas de gran valor y representatividad de la vegetación de la alta montaña mediterránea, tienen una continuidad en la Zona Periférica de Protección. A esta continuidad en las zonas altas se une la aparición de otras interesantes comunidades en las zonas forestales y determinados afloramientos rocosos, como consecuencia del aumen-

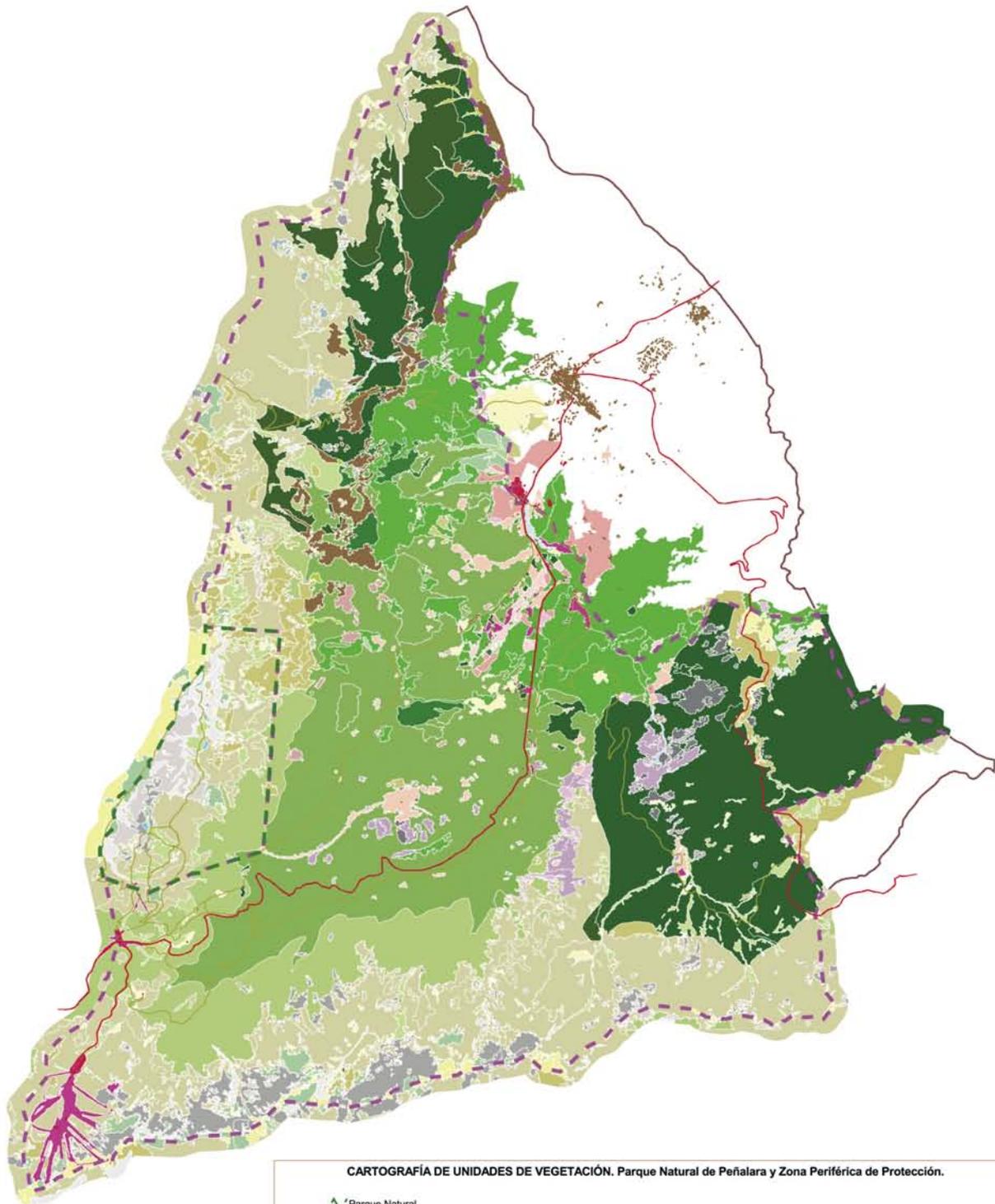
to de la diversidad litológica y de la intensidad de uso del territorio. La cartografía de la vegetación nos revela la existencia de un conjunto de enclaves de elevado interés botánico con el suficiente grado de singularidad y fragilidad como para ser merecedores de especiales medidas de conservación, similares a las existentes en el Parque Natural de Peñalara.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTOLOMÉ, C., J. ÁLVAREZ JIMÉNEZ, J. VAQUERO, M. COSTA, M.A. CASERMEIRO, J. GIRALDO y J. ZAMORA. 2005. *Los tipos de hábitat de interés comunitario de España*. Dirección General para la Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 287 pp.
- CEE, 2003. *Interpretation manual of European Union habitats*. European Commission, DG environment. 126 pp.
- COSTA TENORIO, M., C. MORLA y H. SÁINZ OLLERO, eds. 1998. *Los Bosques Ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Ed. Planeta. 597 pp.
- DOMÍNGUEZ LOZANO, F., D. GALICIA HERBADA, L. MORENO RIVERO, J.C. MORENO SAIZ y H. SÁINZ OLLERO. 1996. Threatened plants in Peninsular and Balearic Spain: a report base don the EU Habitats Directive. *Biological Conservation*, 76: 123-133.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F. 1988. *Estudio florístico y fitosociológico del valle del Paular (Madrid)*. Tesis Doctoral inédita, Facultad Biología, Universidad Complutense, Madrid. 759 pp.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F. 1991. La vegetación del valle del Paular (Sierra de Guadarrama, Madrid), I. *Lazaroa*, 12: 153-272.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F. 1999. La flora y la vegetación del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular (Madrid): implicaciones en la conservación de la biodiversidad. En: *Primeros Encuentros Científicos del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular*: 179-196. Consejería de Medio Ambiente, Comunidad de Madrid.
- MARTÍNEZ GARCÍA, F. 1999. *Los bosques de Pinus sylvestris L. del Sistema Central español. Distribución, historia, composición florística y tipología*. Tesis Doctorales INIA, serie forestal, nº1.
- MARTÍNEZ GARCÍA, F. 2002. ¿Qué valor tiene el argumento de las “re poblaciones antiguas”? El ejemplo de los pinares albares del Sistema Central. *Anales de Biología*, 24: 45-63.
- MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, J., O. FIZ, V. VALCÁRCEL y P. VARGAS. 2003. *Erysimum humile subsp. penyalarensis*. En BAÑARES, Á., G. BLANCA, J. GÜEMES, J.C. MORENO y S. ORTIZ, (Eds.) *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascul ar Amenazada de España*: 696-697. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- MOLINA, J.A., D. SÁNCHEZ-MATA y S. RIVAS-MARTÍNEZ. 2002. Bases científicas para una propuesta de restauración de la cubierta vegetal en áreas alteradas del Parque Natural de Peñalara. En: *Terceras Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular*: 133-147. Consejería de Medio Ambiente, Comunidad de Madrid.
- MONTOUTO, O. 2000. La flora vascular rara, endémica y amenazada del Parque Natural de Peñalara y su entorno (Madrid). Amenazas y necesidades de conservación en la finca de Los Cotos. En: *Segundas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular*: 33-53. Consejería de Medio Ambiente, Comunidad de Madrid.
- MONTOUTO, O. 2002. La flora vascular rara, endémica y amenazada del Parque Natural de Peñalara y su entorno. II. Contribución al conocimiento de su estado de conservación en el sector Laguna de Peñalara-Sistema Lagunar de Claveles. En: *Terceras Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular*: 149-165. Consejería de Medio Ambiente, Comunidad de Madrid.



-
- MONTOUTO, O. 2003. *Cartografía y evaluación de la flora vascular rara, endémica y amenazada del Parque Natural de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara y su entorno (Finca de los Cotos) (Madrid). Estudio integral corológico y distribución en sector sistema lagunar de Claveles-Pájaros/Operante*. Informe Técnico. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Comunidad de Madrid.
 - OZENDA, P. 1982. *Les végétaux dans la biosphère*. Ed. Doïn, París. 431 pp.
 - PÉREZBADIA, R., R. GAVILÁN y F. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ. 1998. *Astragalus sempervirens* subsp. *muticus* (Pau) Lainz y otras novedades florísticas para la Sierra de Guadarrama descubiertas en los mármoles del macizo de Peñalara. *Anales Jardín Botánico de Madrid* 56: 397-398.
 - RIVAS-MARTÍNEZ, S., P. CANTÓ, F. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, J.A. MOLINA, J.M. PIZARRO y D. SÁNCHEZ-MATA. 1999. Sinopsis of the Sierra de Guadarrama vegetation. *Itinera Geobotanica*, 13: 189-206.
 - RIVAS-MARTÍNEZ, S., T.E. DÍAZ, F. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, J. IZCO, J. LOIDI, M. LOUSA y A. PENAS. 2002. Vascular plant communities of Spain and Portugal. Addenda to the syntaxonomical checklist of 2001. Part I. *Itinera Geobotanica*, 15 (1): 5-432.
 - RIVAS-MARTÍNEZ, S., F. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, J. LOIDI, M. LOUSA y A. PENAS. 2001. Syntaxonomical checklist of vascular plant communities of Spain and Portugal to association level. *Itinera Geobotanica*, 14 (1): 5-341.
 - RIVAS-MARTÍNEZ, S., F. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, D. SÁNCHEZ-MATA y J.M. PIZARRO. 1990. Vegetación de la Sierra de Guadarrama. *Itinera Geobotanica*, 4: 3-132.
 - RIVAS-MARTÍNEZ, S. y A. PENAS, coord. 2003. *Atlas y Manual de los Hábitat de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 492 pp.
 - ROIG, S. 1999. *Caracterización edáfica de los principales pastizales naturales del valle del Paular (Madrid)*. Tesis Doctoral inéd., ETSI Montes, Universidad Politécnica, Madrid. 234 pp.
 - SÁINZ OLLERO, H. 1999. La importancia geobotánica del Valle del Paular a través de los estudios palinológicos. En: *Primeros Encuentros Científicos del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular*: 197-208. Consejería de Medio Ambiente, Comunidad de Madrid.



CARTOGRAFÍA DE UNIDADES DE VEGETACIÓN. Parque Natural de Peñalara y Zona Periférica de Protección.

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Parque Natural Zona Periférica de Protección Abedulares Berceales Brezales de brezo blanco Cambróñales Cervunales Choperas de álamo negro Comunidades de aulaga garbanocera sobre mármoles Comunidades de clavellinas sobre roquedos Comunidades de consueltas sobre roquedos Comunidades de dedaleras y clavellinas sobre roquedos Comunidades de saxifragas sobre roquedos Comunidades herbáceas y carneílicas nitrofilas acidófilas Enebrales de enebro rastrero Escobonales de retama blanca Escobonales de retama cenicienta Escobonales de retama negra Espinares Fresnedias Joragales Lagunas Majadales | <ul style="list-style-type: none"> Matorrales nanocamefiticos basófilos Matorrales Matorrales - pinares de pino albar Pastizales de helecho común Pastizales pleridofíticos sobre canchales Pastizales terofíticos silicícolas Pastizales vivaces saxícolas sobre gleras Pastizales vivaces sobre gleras terrosas y taludes Pastizales xero-orofitos Pinares mesófilos de pino albar Pinares orófilos de pino albar Piornales de piorno serrano Piornales de piorno serrano - enebrales de enebro rastrero Prados de diente Prados de siega Quejigares Repoblaciones de pino albar Repoblaciones de pino laricio Repoblaciones de pino negro Saucedas de sauco negro Saucedas salvícolas Temblares Tomillares silicícolas Vallicares Zonas alteradas |
|---|--|



500 0 500 1000 metros



RELACIÓN ENTRE DINÁMICA NIVAL Y EROSIÓN EN EL PARQUE NATURAL DE PEÑALARA Y ÁREAS PRÓXIMAS

DAVID PALACIOS ESTREMER A Y NURIA ANDRÉS DE PABLO

*Departamento Análisis Geográfico Regional y Geografía Física.
Facultad de Geografía e Historia.
Universidad Complutense.
Madrid 28040.*

INTRODUCCIÓN

El Parque Natural de Peñalara y los sectores superiores de otros macizos similares del Guadarrama están modelados, en su mayor parte, por procesos geológicos y climáticos pasados. Sus cumbres aplanadas reflejan los restos de una vasta penillanura que se formó ya hace más de 240 millones de años. Las laderas escarpadas de estos macizos son el resultado de la actividad tectónica que ha fracturado la corteza de la Tierra en este sector, formando fallas que delimitan grandes bloques de rocas graníticas y gneísicas, desplazándolos y desnivelándolos por decenas de kilómetros en un proceso que comenzó hace 65 millones de años y todavía no ha terminado. Son estos, sin duda, los acontecimientos más decisivos en la configuración del relieve de estas montañas, pero también procesos mucho más recientes han colaborado en su modelado de detalle. Uno de los procesos más importantes es la acción de los ríos y torrentes, así como la acción de los ciclos de hielo y deshielo, la alteración química del agua, la acción de la arroyada, los movimientos en masa en las laderas, etc. Estos procesos actúan con mayor o menor eficacia según el tipo de clima. Muchas formas del relieve actual fueron elaboradas durante periodos con climas diferentes al actual, donde alguno de estos procesos tuvo una mayor capacidad erosiva.

Tanto en las cumbres como en las laderas, los gneis glandulares que componen el macizo de Peñalara, así como las intrusiones graníticas y aplíticas, aparecen químicamente alteradas por el agua. Se trata de un

manto que puede llegar a tener hasta 4 ó 5 metros de profundidad y está formado por un saprolito arenoso, compuesto principalmente de cuarzo y ortosa, aunque alberga grandes núcleos de roca fresca. Cuándo se formó y bajo qué condiciones climáticas es todavía un misterio. Su composición nos indica que no es anterior al Cuaternario (Vaudour, 1979). Su alta debilidad ante la erosión lo habría hecho demasiado vulnerable a los grandes periodos áridos del Cuaternario, por lo que es lógico pensar que se ha formado y ha pervivido bajo unas condiciones de biostasia mínimas (González, 1986; García *et al.*, 1992), por lo que su origen estaría situado en el Cuaternario reciente, probablemente en el último interglaciar (hace entre 130.000 y 110.000 años). Este manto de alteración es muy sensible a los cambios climáticos y unas condiciones adversas pueden ocasionar su desestabilización y movilización por los agentes de la meteorización. Seguramente incluso la deforestación provocada por el hombre en la Sierra en los últimos 2000 años sea una de las causas de su cierta inestabilidad actual.

Otro signo evidente en Peñalara de la acción de climas pasados sobre el relieve de la Sierra es el conjunto de formas glaciares: circos, depresiones, morrenas, etc. Ya fueron determinadas en el siglo XIX como los restos glaciares más importantes que se conservan en la Sierra y han sido insistentemente estudiados posteriormente durante una centuria. Su edad no parece segura, pero es lógico pensar que son contemporáneos



a los glaciares que se extendieron por toda Europa en el periodo denominado “Último Máximo Avance Glaciar” y que se ha datado con exactitud en múltiples montañas europeas en 23.000/21.000 años antes del presente. Recientes dataciones absolutas realizadas en Peñalara, cuyos resultados están a punto de ser publicados, parecen confirmar esta hipótesis.

En realidad estos glaciares aprovecharon las condiciones previas. Cuando las circunstancias climáticas del último periodo glaciar provocaron que la temperatura media anual de 0 °C estuviera a una altitud más baja que las grandes plataformas cimera de la Sierra, herederas como ya hemos indicado de la vieja penillanura desnivelada por la tectónica, la nieve cayó sobre estas cumbres con abundancia durante muchos meses al año, especialmente durante la primavera. Las borrascas que traían la nieve, la barrían de las cumbres y la acumulaban sobre las cabeceras de los barrancos en las laderas. Allí la nieve sobrevivía al calor del verano, inferior en varios grados de media a la temperatura actual, y después de varios años pasaba a formar el hielo glaciar. Estas masas de hielo se deslizaban gracias a su plasticidad y barrían el manto de alteración, acumulando su detritus en grandes morrenas frontales.

Parece seguro que la última crisis fría pleistocena estuvo provocada por una circulación más meridional del frente polar. Por ese motivo, hace dos decenas de miles de años en la Sierra no sólo la temperatura era más baja que la actual, sino que recibía durante una gran parte del año la visita de las borrascas atlánticas propias de este frente. Así, los glaciares se acumularon a sotavento de los vientos del oeste entonces. Estos vientos fueron, al igual que lo son ahora (aunque en el momento presente con menos intensidad y frecuencia), los causantes de las tormentas de nieve. Los glaciares se sitúan, por tanto, al este de las grandes cimas de la Sierra, en una distribución relativamente similar a donde se acumula en la actualidad la mayor cantidad de nieve.

La gran crisis fría de finales del Pleistoceno no fue la única, pero ha sido la que nos ha dejado huellas evidentes de la existencia de glaciares en el Guadarrama. Algo antes, hace unos 80.000 años, la Sierra fue afectada por una intensa pulsación fría pero más seca, sin tanta abundancia de nieve. En las vertientes menos afectadas por la insolación el suelo se heló permanentemente, formándose el *permafrost*. Únicamente los niveles más superficiales se helaban y deshlaban estacionalmente. Estos ciclos periglaciares ocasionaron que los grandes bloques inmersos en el manto de alteración, mejores transmisores térmicos, fueran los primeros en acumular hielo en sus bases. Este hecho permitió que los bloques fueran ascendiendo frente a los elementos más finos hasta formar un nivel superficial, donde

únicamente afloran grandes bloques. Este nivel tendió a deslizarse ladera abajo sobre la superficie del nivel del suelo permanentemente helado, formado lenguas y lóbulos.

El relieve que se desarrolló con la retirada de los glaciares, hace unos 15.000 años, era muy similar al actual. Las grandes variaciones climáticas no habían conseguido desfigurar el modelado de la Sierra debido a la acción tectónica, la fundamental y dominante. El legado climático era sólo un ligero retoque a las formas tectónicas. En gran parte de las laderas y cumbres persistieron el manto de alteración y las formas del relieve propias de un clima cálido y húmedo. En las laderas septentrionales y noroccidentales se conservó el campo de bloques periglaciar. En cuencos (hoyas se llaman en la Sierra) con una orientación oriental, desde nororiental a suroriental, se desarrollan los circos glaciares, cerrados por cordones morrénicos.

Hace 8.000 años el clima ya es prácticamente semejante al actual. Desde entonces la temperatura media anual ha variado solamente en unos pocos grados como máximo. La evolución de las precipitaciones es más difícil de conocer, pero las diferencias tampoco han debido de ser muy grandes. En este último periodo postglaciar la erosión ha tenido poco tiempo de actuar, pero sí se observan ciertas modificaciones. Los torrentes han incidido sus cauces sobre las formas glaciares unos cuantos metros y se observa una tendencia a extender su red de drenaje sobre las laderas. De las grandes paredes rocosas se desprenden bloques que se desplazan por los antiguos canales glaciares y se acumulan en sus bases. Este proceso fue especialmente activo nada más retirarse el hielo. Los materiales sueltos: manto de alteración, formación periglaciar de bloques y morrenas se desestabilizan por la acción de los movimientos en masa lentos, solifluxión, o rápidos y repentinos, *debris flows*. La acción de la arroyada se concentra en algunos sectores y es especialmente eficaz sobre esos materiales sueltos.

Las características de este relieve climático heredado han sido bien estudiadas y delimitadas por numerosos autores desde finales del siglo XIX (véase síntesis de trabajos en Obermaier y Carandell, 1916; Vidal Box, 1948; Franzle, 1959; Daveau, 1971; Bullon, 1988; Sanz, 1988; Muñoz *et al.*, 1995; Martínez de Pisón y Palacios, 1998; Pedraza *et al.*, 2004). Más raros son los trabajos realizados sobre los procesos geomorfológicos actuales (Franzle, 1959; Asensio y Ontañón, 1972 y 1975; Bullón, 1977, 1988 y 1995; Sanz, 1979 y 1988).

La erosión postglaciar es lenta, pero puede resultar eficaz con el tiempo, a no ser que las condiciones climáticas cambien de nuevo. En cualquier caso, es



necesario preguntarse cómo y a causa de qué se lleva a cabo: quiénes son los agentes dominantes y quiénes son los limitantes. En definitiva, adentrarse en la dinámica actual del relieve y conocer la relación que hay entre erosión actual y clima. Este conocimiento nos permitirá poder predecir en el futuro el impacto del cambio climático y el de la propia actuación humana.

Este trabajo es una síntesis de las observaciones realizadas en las diferentes vertientes del macizo de Peñalara (Hoya de Pepe Hernando; Hoya de la Laguna; vertiente meridional; vertiente occidental y el puerto de Quebrantaherraduras al norte del macizo) y en la cabecera del río Manzanares (Figura 1) (Palacios y García, 1997 a y b; Palacios y Andrés, 2000; Palacios *et al.*, 2003 y 2004; Andrés y Palacios, 2004; Andrés *et al.*, 2006).

OBJETIVO E HIPÓTESIS

El objetivo del presente trabajo es conocer cuál es la dinámica actual de la erosión en el Parque Natural de Peñalara y los sectores superiores de otros macizos similares de la Sierra de Guadarrama. Es decir, cómo influyen las condiciones climáticas actuales en la erosión y qué tipo de relieve se va generando bajo estas condiciones.

Los únicos datos climáticos disponibles son los obtenidos a raíz de la prolongada serie de observaciones meteorológicas de la estación del Puerto de Navacerrada (40° 46'N y 4° 19'W, 1860 m de altitud), localizada a 8 km al suroeste del Pico Peñalara. Las medias anuales indican un clima característico de la alta montaña mediterránea con rasgos continentales.

La temperatura media anual es de 6,1 °C. Durante tres meses (diciembre a febrero) la temperatura media es inferior a 0° C. De noviembre a abril, la mínima media mensual es inferior a 0 °C y la media máxima mensual es siempre superior a 0 °C, sólo con 13 días al año de máxima por debajo de 0 °C.

Las precipitaciones superan los 1400 mm anuales y se concentran desde primeros de octubre a finales de mayo, presentando sus máximos a finales del otoño y principios del invierno, con un máximo secundario a principios de la primavera. El verano es árido: el total de precipitaciones entre julio y agosto es de 53 mm, concentradas en sólo 6 días. Los temporales de lluvia o nieve vienen dirigidos por claras situaciones de componente oeste, principalmente con vientos del oeste-suroeste y suroeste. También son frecuentes en invierno las situaciones del noreste que provocan olas de frío que, si bien no dejan tanta nieve como las anteriores, causan las temperaturas mínimas anuales. La media de días con el suelo cubierto de nieve, en este observatorio, es de 82.

Estos datos, que podrían considerarse válidos para el límite inferior del área de estudio, es decir el límite forestal, indican que el principal agente de la erosión, el agua, accede al terreno fundamentalmente en forma de nieve, con su peculiar distribución condicionada por la acción eólica. Este hecho estará más remarcado en cuanto ascendamos hacia las cumbres. A partir de este punto, podemos formular la hipótesis de que la nieve, con su capacidad ecológica, térmica y de aporte de agua líquida paulatina al terreno, es el agente principal que condiciona la dinámica geomorfológica actual en sectores de cumbres de Peñalara y otros macizos del Guadarrama.

Es importante tener en cuenta que los datos de la estación meteorológica de Navacerrada indican que la temperatura media de primavera ha sufrido un ascenso de 2° en los últimos treinta años, mientras que, siempre en íntima relación, el número de días con nieve durante esta estación ha disminuido en una media de 20 días durante este mismo periodo (Figura 2). Dadas las características del clima mediterráneo, con una fuerte sequía estival, estos datos indican el incremento de unas condiciones desfavorables para la prolongación de la permanencia de la nieve en el suelo en los últimos treinta años (Muñoz y García, 2004). Por lo tanto, según nuestra hipótesis, la actividad erosiva de estos sectores se habría ido paralizando en las tres últimas décadas.

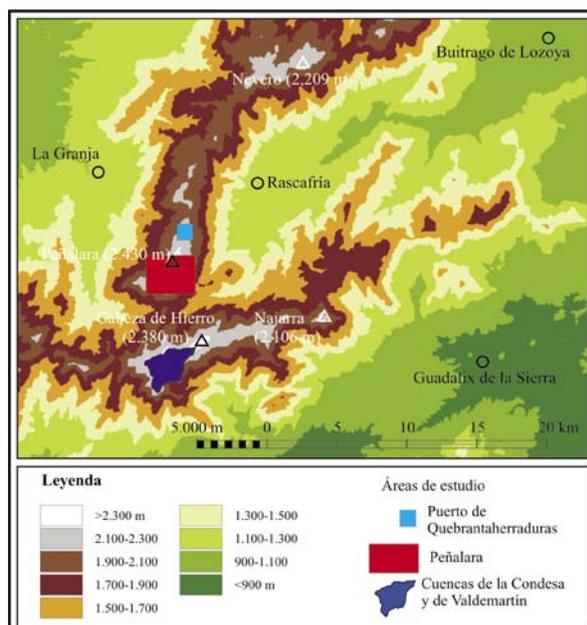


Figura 1.- Mapa de localización de las áreas de estudio



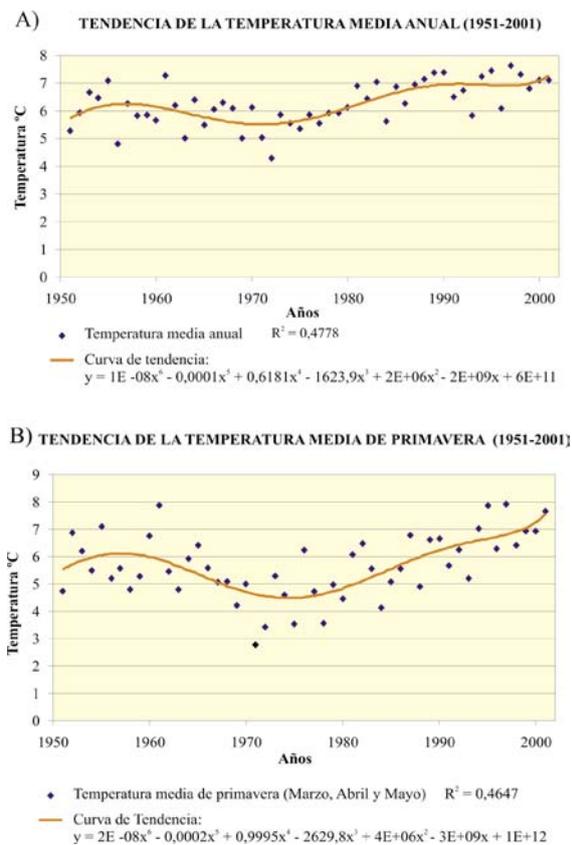


Figura 2.- Tabla de tendencias climáticas

LA NIEVE COMO AGENTE GEOMORFOLÓGICO

Resulta muy difícil formular una hipótesis sobre la capacidad geomorfológica de la nieve en una montaña media mediterránea como el Guadarrama, ante la casi total ausencia de estudios previos. En este sentido, es importante destacar la falta de referencias a las montañas mediterráneas en las síntesis sobre la acción geomorfológica de la nieve, desde las más antiguas a las más recientes (ver por ejemplo: Matthes, 1900; Bowman, 1916; Bryan, 1934; Dyson, 1937 y 1938; Tricart y Cailleux, 1962; White, 1976; Thorn, 1976, 1979 y 1988; Thorn y Hall, 1980; Shakesby, 1997; Thorn y Hall, 2002).

Es indudable que la mayoría de las observaciones realizadas en otros ámbitos climáticos son válidas para las montañas mediterráneas. De hecho, la actividad geomorfológica de la nieve es considerada clave, como reguladora del aporte de agua, como sistema de distribución espacial de ese aporte y como factor de control del régimen térmico del suelo (Rapp, 1984 y 1986; Hall, 1985; Strömquist, 1985; Thorn, 1988; Raczowska, 1990 y 1995; Nyberg, 1991; Ballantyne y Harris, 1994; Christiansen, 1996 y 1998). La larga permanencia de la nieve en el suelo puede ser la causa de la peculiar distribución de una gran variedad de procesos geomorfológicos, como son: la intensificación

de la acción fluvial (Lewis, 1939; Ballantyne, 1978; Thorn, 1976 y 1979; Nyberg, 1991; Raczowska, 1990, 1995 y 1997; Rapp, 1984 y 1986; Strömquist, 1985; y Caine, 1992 a y b); la intensificación del lavado de finos y de la remoción aislada de bloques (Ahlmann, 1919; Thorn, 1976; Strömquist, 1985; Nyberg, 1991; Caine, 1992 a; y Ballantyne y Harris, 1994); las diferencias en la distribución espacial y temporal de la gelifracción (Lewis, 1939; McCabe, 1939; Thorn y Hall, 1980; Thorn, 1988; y Hall, 1980, 1985 y 1993); la intensificación de soliflucción pronival (Lewis, 1936 y 1939; Thorn, 1976; Ballantyne, 1978; Strömquist, 1985; Nyberg, 1991; Ballantyne y Harris, 1994; y Christiansen, 1996 y 1998); y la formación de movimientos en masa rápidos (Rockie, 1951; Hall, 1985; Strömquist, 1985; y Nyberg, 1991). Los neveros permanentes o de larga duración provocan el retroceso de las paredes por caída libre, deslizamientos o flujos y remodelan su fondo y frente por el relleno de depresiones y por el desarrollo de enlosados nivales, abanicos nivo-aluviales y coladas de soliflucción pronivales (ver síntesis en Christiansen, 1996 y 1998).

Por otro lado, el contraste geomorfológico entre las vertientes de estas montañas mediterráneas, derivado de su carácter marginal en la acción glacial de finales del Pleistoceno, condiciona de forma decisiva la acción nival, ya que la nieve conserva el mismo sistema de acumulación, aunque se haya intensificado el de ablación. De esta manera, la nieve es efectiva en la actualidad únicamente donde los glaciares no barrieron por completo los materiales poco coherentes previos. Pero esta regla no es general, ya que nuevos eventos a lo largo del Holoceno pueden haber creado las condiciones topográficas necesarias como para permitir una intensa y duradera acumulación nival, en laderas donde no existieron glaciares previos. La mayoría de estos eventos, sino todos, son movimientos en masa, de grandes proporciones, aunque de escasa frecuencia. Una vez creada la cuenca inicial por estos movimientos de ladera, la acción geomorfológica de la nieve se encarga de ir ampliándola, capturando cada vez más cantidad de nieve, tal y como ha sido anteriormente citado (Lewis, 1939; Groom, 1959; Rapp, 1960).

La existencia de un manto de alteración en las cumbres de estas montañas, por encima de los 2000 m, también puede ser una característica del ámbito mediterráneo, gracias a sus templadas condiciones térmicas, lo que se convierte en otro factor positivo para intensificar la acción nival. Si bien, la actividad nival no sólo puede ayudar a barrer el manto de alteración, sino que, de alguna manera, lo podría generar, como ocurre en otras montañas (Williams, 1949; Rapp, 1960; Reynolds, 1971; Thorn, 1976; Ballantyne *et al.*, 1989; Caine, 1979, 1992b; Hall, 1993; Ballantyne y Harris, 1994; Darmody *et al.*, 2000; y Dixon *et al.*, 2001). La acidez de las aguas de

deshielo sería un factor decisivo en la acentuación de la alteración química. Por otro lado, el efecto de aislante térmico de la nieve, que amortigua los cambios de temperatura (Thorn y Hall, 1980; Hall, 1985), podría permitir la existencia de agua líquida en el subsuelo, bajo los neveros, durante muchos meses al año y acentuar, así, la acción química del agua.

LA RELACIÓN ENTRE NIEVE, VEGETACIÓN Y EROSIÓN

La vegetación se distribuye en franjas concéntricas alrededor de los núcleos de máxima nivación (Billings y Bliss, 1959; Soutadé, 1980; Swanson *et al.*, 1988; Evans *et al.*, 1989; Walker, 1993). Diversos trabajos han demostrado cómo esta distribución de la cobertura vegetal condiciona de forma sustancial la eficacia de la erosión nival (Strömquist, 1985; Nyberg, 1991; Caine, 1995; Raczkowska, 1990 y 1995).

En las montañas mediterráneas, a causa de la escasez de precipitaciones estivales, la diferencia morfogenética entre las áreas “no-nivales” y las áreas “nivales” puede ser mayor: las áreas “no-nivales” quedan desprovistas de agua desde finales de primavera hasta el otoño, es decir, de tres a cuatro meses, mientras que en las “áreas nivales” la temporada de sequía queda reducida a un mes o menos, por lo que en estas áreas el periodo de acción de los procesos relacionados con las aguas de deshielo aumenta considerablemente. Pero por otro lado, la vegetación no puede sobrevivir en estas áreas nivales. La prolongada permanencia de la nieve en el suelo acorta considerablemente el ciclo vegetal. Este efecto es máximo en las montañas mediterráneas, donde la marcada sequía estival y la extraordinaria evaporación limita aún más el crecimiento y desarrollo vegetal. Las áreas nivales en el Guadarrama son, ante todo, áreas sin cobertura vegetal, donde todos los procesos anteriormente citados, en especial los relacionados con la arroyada, son sumamente eficaces.

En concreto, la distribución de la vegetación en el área cimera de la Sierra de Guadarrama está condicionada por su resistencia a la permanencia del manto nival (Muñoz y García, 2004). Esta distribución ha sido ampliamente estudiada, principalmente por Rivas-Martínez, miembros de su cátedra y otros botánicos (Rivas-Martínez, 1963 y 1982; Rivas-Martínez *et al.*, 1990 y 1999; Luceño y Vargas, 1991; Fernández González, 1988, 1991 y 1999; Gavilán *et al.*, 1998). Según estos autores, el área de estudio se encuentra en el horizonte superior del piso bioclimático orosubmediterráneo y, por encima de los 2 150 m, en el horizonte inferior del piso criosubmediterráneo.

El termotipo orosubmediterráneo está limitado inferiormente por el bosque de pinos (*Pinus sylvestris* var. *iberica*) y está dominado climáticamente por un denso matorral de montaña formado por piornos (*Cytisus oromediterraneus*), enebros o jabinos (*Juniperus communis* subsp. *alpina*) y, en las situaciones más cálidas, cambroños o codesos (*Adenocarpus hispanicus*), conformando la serie de vegetación *Senecioni carpetani-Cytisetum oromediterranei*, en la que es dominante la asociación *Senecioni carpetanae-Cytisetum oromediterranei* Tüxen & Oberdorfer 1958 corr. Rivas-Martínez 1987, siendo su vegetación serial graminoide el *Hieracio castellani-Festucetum curvifoliae* Rivas-Martínez & Cantó 1977 corr. Rivas-Martínez, P. Cantó, F. Fernández-González, J. A. Molina, J. Pizarro & D. Sánchez Mata 1999.

En el piso criosubmediterráneo la vegetación climática se comporta como un mosaico (*Geosygetum*), el *Hieracio myriadeni-Festucetum curvifoliae*, dominando el ralo pastizal psicroxerófilo la *Festuca curvifolia*, asociación *Hieracio myriadeni-Festucetum curvifoliae* Rivas-Martínez 1964, corr. Rivas-Martínez, Fernández-González F. & Loidi J. 1999 y en el que, dependiendo de factores tales como la pedregosidad, la humedad y la microtopografía, se instalan comunidades, que también aparecen puntualmente en el orosubmediterráneo, y que tomadas aisladamente poseen carácter de comunidades permanentes. Así existe una asociación para los altos espolones rocosos libres de nieve, *Avenello ibericae-Juniperetum alpinae* Rivas-Martínez S., Fernández-González F., Loidi J., M. Lousa & A. Penas 2001, otra para los taludes inestables, *Digitali carpetanae-Senecionetum carpetani* Rivas-Martínez 1964, otra para las pedreras estables, *Cryptogrammo crispae-Dryopteridetum oreadis* Rivas-Martínez & Costa 1970, y otra en las concavidades húmedas y de mayor permanencia de la nieve, la asociación *Campanulo herminii-Festucetum ibericae* Rivas-Martínez 1964, quedando como la asociación más rupícola el *Saxifragetum willkommiana* Rivas-Martínez 1964. En los sectores donde la nieve permanece más tiempo existe un mosaico de cervunal, *Campanulo herminii Festucetum ibericae*, y vegetación de pedreras, tanto estables, *Cryptogrammo-Dryopteridetum oreadis*, como inestables, *Digitali carpetanae Senecionetum carpetani*, con especies resistentes a la nieve como *Sedum candollei* (*Mucizonia senoides*) y otras.

METODOLOGÍA APLICADA

Para comprobar la relación entre la erosión y la acumulación nival, se ha monitorizado la permanencia de la nieve en el suelo durante al menos siete temporadas nivales comprendidas entre 1990 y 2004, según las distintas áreas. La monitorización se ha llevado a



cabo mediante la toma de fotografías digitales oblicuas desde puntos clave, al menos una vez al mes y, durante las fases de deshielo, hasta semanalmente. Las fotos se han corregido y georreferenciado sobre el Modelo Digital del Terreno proporcionado por la Comunidad de Madrid, el cual tiene una precisión de 5 m. Siguiendo una metodología adaptada de Daly (1984) y Watanabe (1988), se han tratado estadísticamente los mapas derivados de las fotos y se ha obtenido un mapa de permanencia de la nieve en el suelo para el periodo de estudio. El mapa divide la superficie en 10 categorías según el número de días que, como media, la nieve permanece en el suelo, desde menos de 60 días a más de 220.

Para poder estudiar con exactitud la localización de las formas del relieve según su altitud, pendiente, orientación y, sobre todo, su relación con la nieve, se ha realizado una cartografía geomorfológica en detalle de cada sector. El levantamiento cartográfico se realizó inicialmente a una escala 1:10 000, usando como base cartográfica la proporcionada por la Comunidad de

Madrid. Los criterios aplicados para delimitar las formas se han basado en el aspecto puramente morfológico. Únicamente se ha realizado un seguimiento de la movilidad del suelo en las áreas consideradas nivales, para comprobar su actividad, para lo cual se ha usado la técnica de los bloques señalados, con una metodología adaptada de Rapp (1960); Soutadé (1980); y Rapp y Nyberg (1988). En estas áreas se ha señalado un bloque en una retícula de 10 m de lado y registrado su desplazamiento una vez al año, durante periodos de al menos siete años entre 1990 y 2004, según las distintas áreas.

Por otro lado, se realizó en algunos de los sectores estudiados una cartografía de la vegetación, siguiendo la propuesta de afinidad de las asociaciones vegetales y su relación con el manto nival de Palacios y García (1997 b), de esta forma, las áreas de estudio quedaron divididas en formaciones vegetales, clasificadas según su propia afinidad y su relación con la nieve.

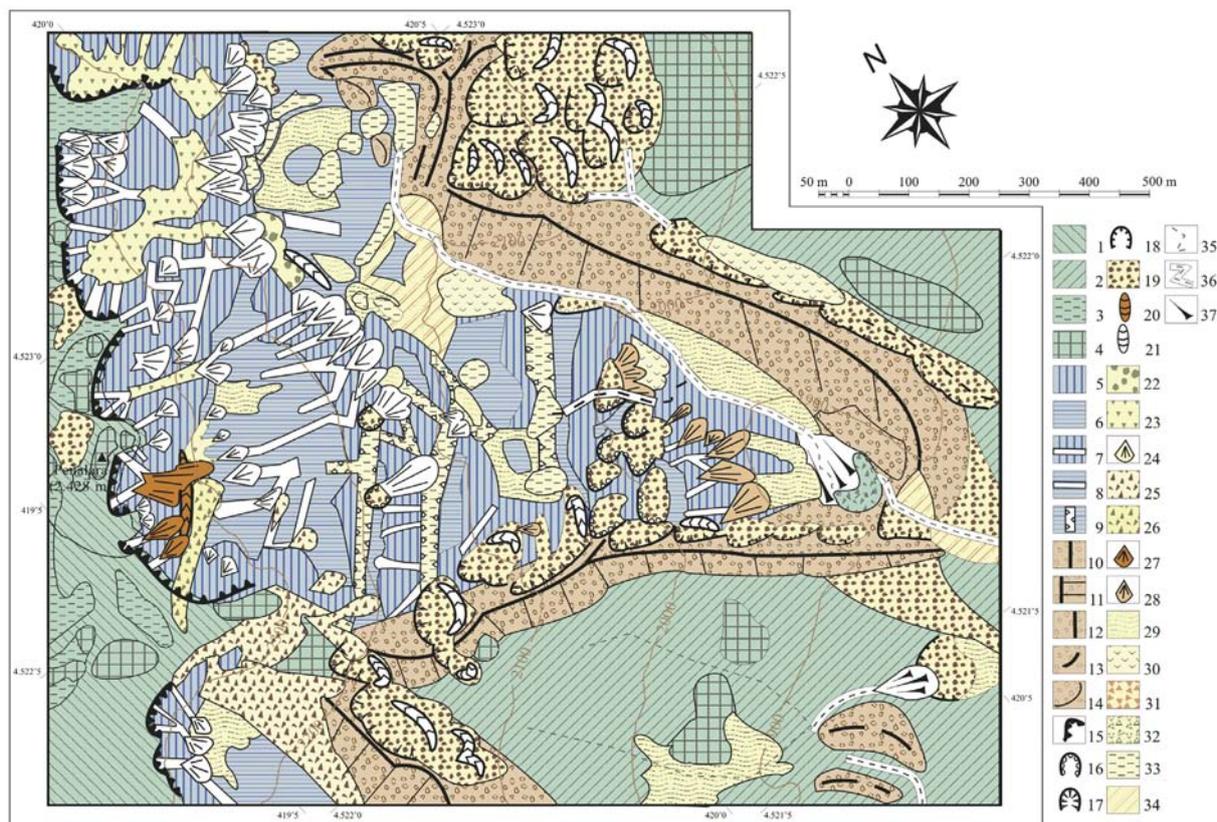


Figura 4.- Mapa geomorfológico de la Hoya de Pepe Hernando (Adaptado de Palacios y García, 1997. a). Leyenda:

A) Relieve preglaciar. 1.- Superficie del manto de alteración sobre cumbres; 2.- Superficie del manto de alteración sobre laderas; 3.- Campo de bloques periglacial; 4.- Tors y otros afloramientos rocosos;

B) Relieve glaciar. 5.- Pared de cabecera glaciar; 6.- Rocas aborregadas; 7.- Canales de pared; 8.- Incisiones longitudinales a la pendiente; 9.- Depresiones de sobre-excavación; 10.- Cresta de cordón morrénico; 11.- Ladera morrénica bien conservada; 12.- Ladera morrénica deformada; 13.- Morrena de empuje: periodo de máximo avance; 14.- Morrena de empuje: último reavance

C) Relieve postglaciar. 15.- Nichos nivales activos sobre cabecera glaciar; 16.- Nichos nivales activos sobre umbral glaciar; 17.- Nichos nivales activos sobre cresta morrénica; 18.- Nichos nivales inactivos; 19.- Fondo de nicho nival; 20.- Acumulaciones de bloques tipo "Protalus rampart"; 21.- Acumulaciones de bloques tipo "Protalus rampart" en laderas morrénicas; 22.- Bloques nivales dispersos. 23.- Canales de caída de bloques activos; 24.- Conos de gravedad activos; 25.- Lenguas de bloques activas; 26.- Campo de bloques activos; 27.- Conos de gravedad inactivos (alta altitud); 28.- Conos de gravedad inactivos (baja altitud); 29.- Lóbulos de soliflucción inactivos; 30.- Lóbulos de soliflucción activos; 31.- Bloques morrénicos removilizados; 32.- Campos de bloques por lavado de finos. 33.- Turberas. 34.- Cárcavas; 35.- Torrentes con una incisión menor a 2 m; 36.- Torrentes con una incisión mayor a 2 m; 37.- Abanicos aluviales.

De la relación entre el análisis de la acumulación nival, cubierta vegetal y de la erosión se obtendrán los resultados que permitan definir la interdependencia entre estos parámetros.

DINÁMICA NIVAL Y EROSIÓN EN LA HOYA DE PEPE HERNANDO

El circo glaciar de la Hoya de Pepe Hernando tiene un recorrido que no llega a los 2 km, pero con grandes acumulaciones morrénicas en su frente (Figura 3). Según el método indicado, se ha realizado un mapa geomorfológico de detalle (Figura 4). En primer lugar, se han diferenciado las formas preglaciares, como *tors*, laderas cubiertas por depósitos de origen complejo y las formaciones de alteración, características de las amplias superficies llanas de cumbres, y los campos de bloques periglaciares. La erosión glaciar ha resaltado las líneas tectónicas, formando depresiones de sobre-excavación en ellas y escalones y umbrales entre ellas (Figura 5). Las formas de sedimentación glaciar se agrupan en un único gran arco morrénico. Entre las formas post-glaciares, destacan las formas nivales, fundamentalmente nichos, siempre de escaso tamaño. Estos nichos se desarrollan fundamentalmente sobre las vertientes orientales de los cordones morrénicos (Figura 6), aunque pueden aparecer también en la base de algún escalón rocoso y sobre la superficie de cumbres. En el frente de algunos nichos aparecen algunos *protalus rampart* de escaso desarrollo. El resto de formas post-glaciares son incisiones torrenciales, conos de gravedad y lenguas solifluidales.

El resultado de la observación de la movilidad de los bloques (periodo de observación del 1990 al 1996) indica que la actividad se concentra fundamentalmente en las áreas consideradas como nichos nivales a causa

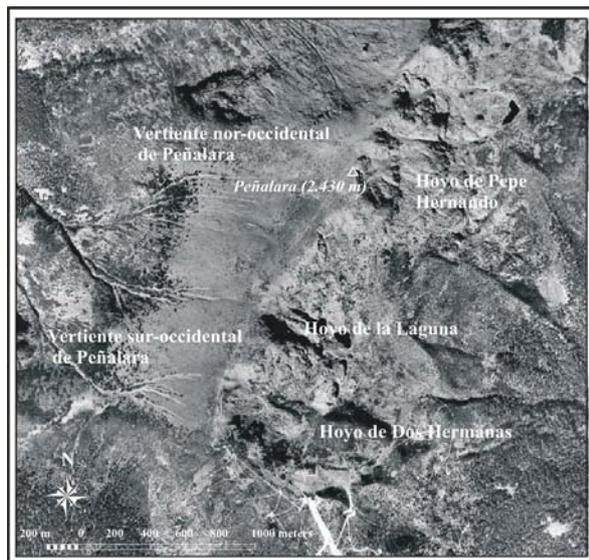


Figura 3.- Ortofoto de los Hoyos de Peñalara y vertiente occidental.

del lavado de finos. El resto de la actividad observada se ha detectado en la caída de bloques, las lenguas solifluidales y, sobre todo, la acción torrenciales. Si tenemos en cuenta el número de bloques desplazados, su causa de desplazamiento y su localización altitudinal, podemos distinguir tres pisos morfodinámicos: en el piso inferior (1 800/2 000 m), donde la actividad dominante es la acción torrenciales; un piso intermedio (2 000/2 200m), donde la nivación es la actividad principal; y el piso superior (2 200/2 400 m), en el que destaca la caída de bloques (Figura 7).



Figura 5.- Foto de uno de los umbrales y de la morrena lateral norte en la Hoya de Pepe Hernando (21 de marzo de 2003).

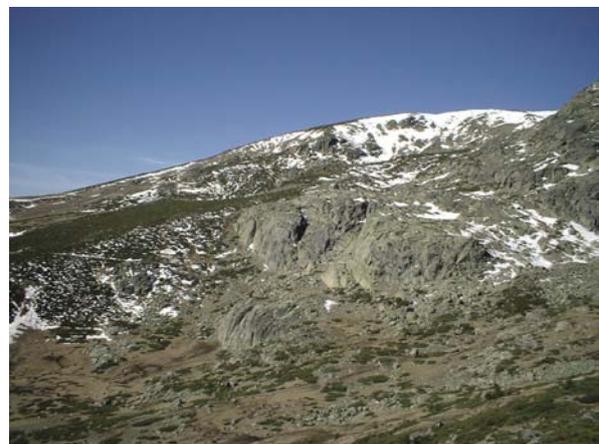


Figura 6.- Foto de la morrena lateral sur (vertiente noreste) en la Hoya de Pepe Hernando, deformada por los nichos nivales (25 de marzo de 2003).

2.400 m	Nivación 25%	Caída de rocas 75%	
2.200 m	Nivación 50%		Soliflucción 25%
2.000 m	Nivación 15%	Soliflucción 25%	Incisión torrenciales 60%

Figura 7.- Distribución de los procesos erosivos actuales según los distintos pisos altitudinales en la Hoya de Pepe Hernando (Adaptado de Palacios y García, 1997.a, según observaciones del periodo 1990-1996).



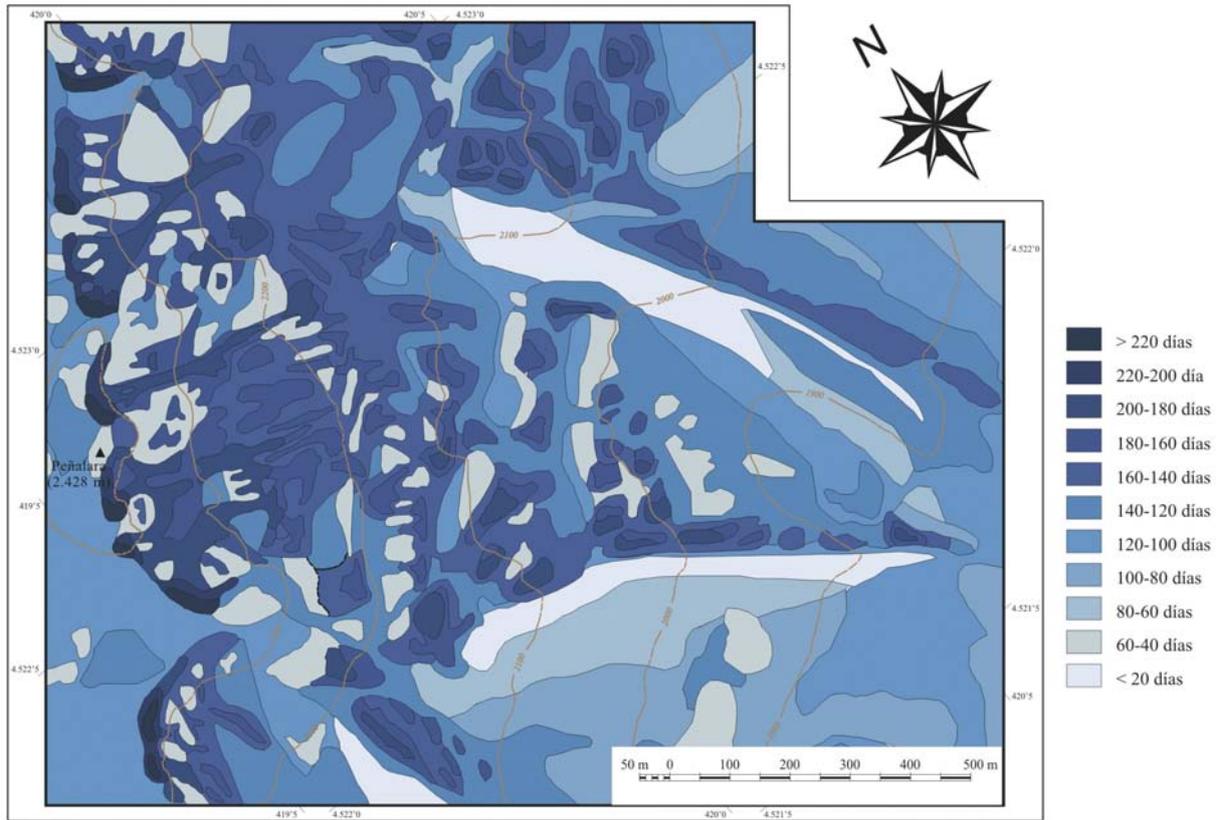


Figura 8.- Mapa de la duración de la cubierta nival de la Hoya de Pepe Hernando (Adaptado de Palacios y García, 1997.a, según observaciones del periodo 1990-1996).

El resultado de la elaboración del mapa de la cubierta nival (1990/1996) (Figuras 8 y 9) expone la existencia de los mismos tres niveles altitudinales. El nivel superior (2200/2400 m) se divide en dos sectores. En primer lugar, está la superficie de cumbres, donde la nieve no se acumula, excepto en depresiones extensas y poco profundas, sin llegar a alcanzar normalmente

1 m de espesor. Por contraste, en el borde oriental de esta superficie, cuando está orientado al noreste, se forman grandes cornisas que acaban adquiriendo su mayor espesor a principios de la primavera. Otro lugar importante de acumulación de nieve es al pie de las paredes orientales del circo, donde algunos meses se superan los 4 m de espesor. El resto de las laderas

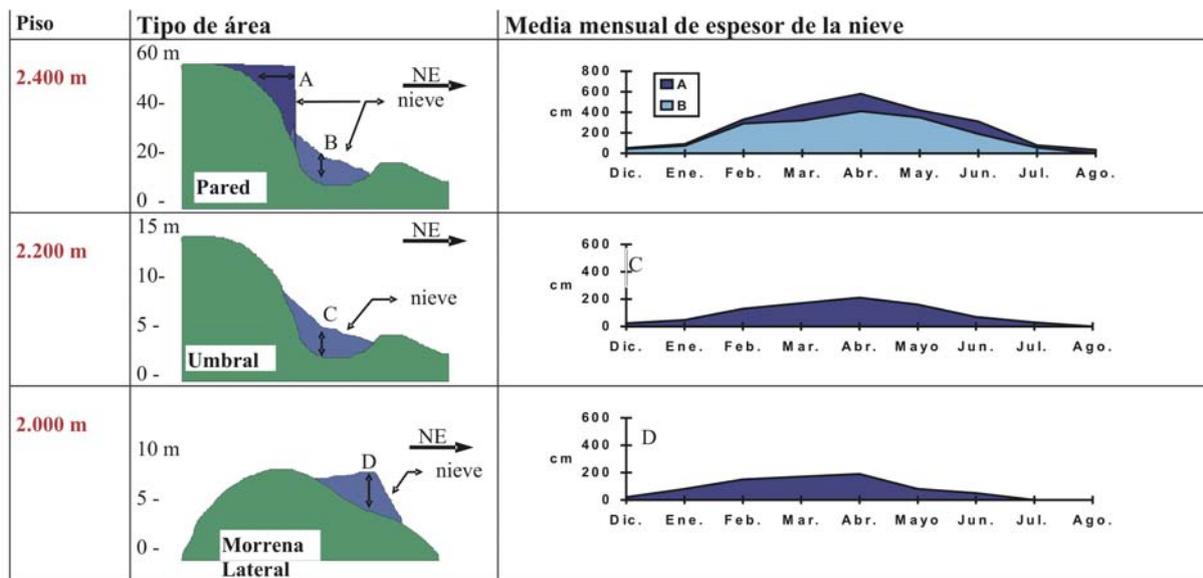


Figura 9.- Tipología de áreas de máxima acumulación nival en la Hoya de Pepe Hernando (Adaptado de Palacios y García, 1997.a, según observaciones del periodo 1990-1996).

de este sector también reciben gran cantidad de nieve, excepto en las directamente orientadas al suroeste, donde la nieve no se acumula casi nunca.

En el nivel intermedio (2000/2200 m) la nieve se acumula principalmente en dos tipos de localizaciones específicas. En primer lugar, destaca al pie de los escalones glaciares, con medias de profundidades máximas en abril de 2,11 m. La nieve aguanta en determinados puntos más de seis meses. Como siempre, las mayores acumulaciones se dan en las laderas orientadas hacia el noreste. Esta orientación es más destacada en las morrenas laterales. La nieve se acumula siempre al este de la cresta de la morrena. Los máximos espesores se alcanzan también en abril como media, con 1,9 m de profundidad. La permanencia supera siempre los seis meses. Por el contrario, la vertiente suroccidental de estas morrenas laterales son las áreas donde menos se acumula la nieve de todo el sector estudiado. No sólo la nieve se deshiela rápidamente, sino que de hecho, tal

y como se ha observado repetidas veces, la nieve nunca llega a acumularse en la mayoría de las nevadas.

El nivel inferior (1.800/2000 m) está caracterizado por una mayor acumulación de nieve únicamente en las vertientes nororientales de las morrenas laterales. Estos cordones ahora están mejor desarrollados y por tanto su efecto barrera frente al viento es mayor. Las vertientes opuestas siguen sin recibir casi nada de nieve. Este modelo se rompe cuando las dos morrenas laterales se acercan mucho y discurren paralelas antes de pasar a formar la morrena frontal. Por este motivo, la morrena meridional protege del viento a la ladera suroccidental de la morrena situada al norte.

Se realizó un mapa de la vegetación del área de estudio (Figura 10). En el mapa se observa en primer lugar la extensión del bosque cerrado de pinos (*Pinus sylvestris*). Su límite superior alcanza los 1.825 m de forma bastante regular, aunque la protección de la morrena sur sobre la norte, permite que el bosque alcance los 2000

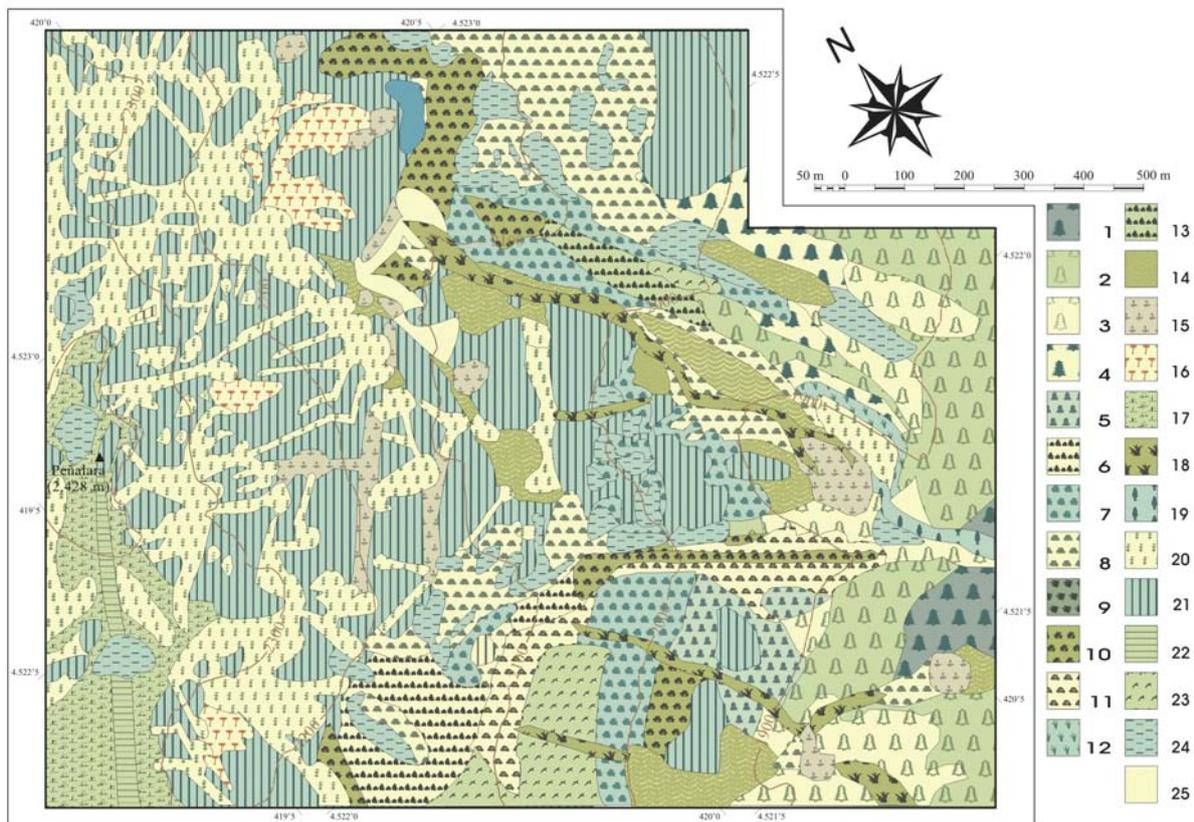


Figura 10.- Mapa de formaciones vegetales de la Hoya de Pepe Hernando (Adaptado de Palacios y García, 1997.b).

Leyenda:

1.- Bosque denso de *Pinus sylvestris* sin piso arbustivo; 2.- Bosque abierto de *Pinus sylvestris* con *Cytisus oromediterraneus*; 3.- Bosque abierto de *Pinus sylvestris* con *Cytisus oromediterraneus*; 4.- Bosque abierto de *Pinus sylvestris* con *Juniperus communis*; 5.- Matorral denso de *Cytisus oromediterraneus* y *Juniperus communis* con *Pinus sylvestris*; 6.- Matorral denso de *Cytisus oromediterraneus* y *Juniperus communis* sin *Pinus sylvestris*; 7.- Matorral denso de *Cytisus oromediterraneus*; 8.- Matorral denso de *Juniperus communis*; 9.- Matorral denso de *Adenocarpus hispanicus*; 10.- Matorral abierto de *Cytisus oromediterraneus*; 11.- Matorral abierto de *Adenocarpus hispanicus* con *Cytisus oromediterraneus* y *Juniperus communis*; 12.- Matorral abierto de *Erica arborea*; 13.- Matorral muy abierto de *Cytisus oromediterraneus* y *Juniperus communis* con *Festuca indigesta*; 14.- Prados húmedos móviles (*Caricetum ibericae*); 15.- Prados húmedos (*Campanulo herminii* y *Luzulo carpetanae*); 16.- Prados húmedos (*Allietum latiorifolii*); 17.- Prados xerófilos; 18.- Formaciones de matorral de ribera; 19.- Formaciones forestales de ribera; 20.- Vegetación de pedreras; 21.- Vegetación rupícola; 22.- Vegetación nitrófila; 23.- Vegetación pirófila (*Linarietum nivae*); 24.- Vegetación quionófila; 25.- Áreas sin vegetación debido a la actividad erosiva.





Figura 11.- Hoya de Pepe Hernando: cierre morrénico frontal. Se puede observar el ascenso del pinar por la vertiente suroccidental de la morrena norte, bajo la protección de la morrena sur (21 de marzo de 2003).

m en esta última (Figura 11). Por encima se extiende un bosque abierto con un sotobosque bien desarrollado compuesto fundamentalmente de *Juniperus communis* subsp. *alpina* y *Cytisus oromediterraneus*.

La segunda unidad está constituida por las formaciones de matorral de origen climácico pertenecientes a la misma la asociación *Senecioni carpetani-Cytisetum oromediterranei*. En las áreas no glaciadas hay una paulatina transición en altura del bosque abierto, al matorral con pinos sueltos hasta llegar al matorral puro. El tipo de matorral suele ser una mezcla de las tres especies más comunes: *Cytisus oromediterraneus*, *Juniperus communis* subsp. *alpina* y *Adenocarpus hispanicus*. Pero ante determinados factores locales se produce la preponderancia de alguna de las especies. El *Juniperus communis* subsp. *alpina* se hace dominante en suelos mal drenados o en áreas encharcadas por el desbordamiento temporal de los arroyos. El *Adenocarpus hispanicus* que es más termófilo, pasa a ser dominante en laderas soleadas. El *Cytisus oromediterraneus* es más pirófilo y pasa a ser dominante en áreas incendiadas después de haber sido colonizadas por series previas. Esta especie soporta mejor los fuertes vientos, por lo que pasa a ser dominante también en crestas y laderas muy expuestas.

En las áreas glaciadas la distribución es mucho más contrastada. El matorral se extiende fundamentalmente por las morrenas laterales. En las vertientes occidentales predomina *Cytisus oromediterraneus*, aunque tiene siempre una mezcla con *Juniperus communis* subsp. *alpina* y *Adenocarpus hispanicus*. Esta predominancia se hace absoluta en las crestas de las morrenas, donde la acción del viento es más intensa. Por el contrario, en las vertientes orientales, sobre todo en mayores altitudes, el *Juniperus communis* subsp. *alpina* es prácticamente exclusivo. También es exclusivo o muy predominante en los *protalus rampart* algo activos, en los escalones de las paredes y en los límites de las áreas húmedas. Sin embargo el *Cytisus oromediterraneus* coloniza mejor

las pedreras y los *protalus rampart* ya completamente inactivos, donde sustituye al anterior. La *Erica arborea* es mucho más escasa. Sólo es predominante en suelos afectados por agua bien oxigenada, por ejemplo sobre pedreras por donde corra el agua en su interior.

Los prados húmedos tienen un gran desarrollo en las diversas cubetas glaciares. Todos ellos pertenecen a la clase *Nardetea strictae* (Oberdorfer 1949; Rivas Goday en Rivas Goday & Rivas-Martínez 1963), donde siempre es predominante el *Nardus stricta*. En el área de cumbres, donde la insolación es más intensa, aparecen nuevas especies, dentro de estas mismas asociaciones. Una particular asociación es la que se forma sobre repisas de la pared con suelos arenosos y bien alimentadas por las aguas de fusión de las nieves durante toda la primavera y parte del verano. Esta asociación: *Allietum latiorifolii* ass.nova, esta presidida por un endemismo: *Allium schoenoprasum latiorifolium*.

Los prados psicroxerófilos se desarrollan fundamentalmente sobre dos tipos de áreas. En primer lugar, sobre las laderas, como sustituto natural de la asociación *Senecioni carpetani-Cytisetum oromediterranei* por causas naturales en laderas muy inclinadas, espolones, escalones u otras áreas con litosuelos, siempre que no acumulen gran cantidad de nieve. Está compuesta por muchos endemismos de las montañas ibéricas, pero sobresale la especie *Festuca aragonensis*. La asociación rehuye las áreas con gran acumulación de nieve, y se desarrolla bien sobre esta superficie gracias al efecto de barrido del viento sobre ella. Cuando la acumulación de nieve es algo mayor (al amparo de ciertos obstáculos) la asociación es sustituida por diversas especies, que se reducen a una, *Sedum candollei*, cuando la nivación es extrema.

Las formaciones de ribera se localizan rodeando fuentes o arroyos de aguas muy oxigenadas y frías, con pocos nutrientes. Especial interés tiene la vegetación sobre pedreras y campos de bloques. Las comunidades rupícolas y fisurícolas se desarrollan por las grandes paredes glaciares de Peñalara y están constituidas por la asociación *Saxifragetum willkommianae* (Rivas-Martínez 1963), que se presenta muy rica en el área de estudio. Al pie de las paredes o en grietas profundas, con suelos bien desarrollados, donde la nieve alcanza espesores importantes, aparecen concentraciones de *Gentiana lutea*. Los líquenes tienen también un valor paisajístico importante, ya que su color se impone en el paisaje en un 80% de la superficie. Se han distinguido dos formaciones según su distribución con respecto a la cubierta nival. En las áreas más expuestas se desarrollan los líquenes de tallus grisáceo oscuro, como *Umbicularia pustulata* (foliaceo) o *Aspicilia cinerea* (crustáceo). En las áreas más protegidas, con una mayor permanencia de la nieve, normalmente en

la parte inferior de la pared, aparecen los líquenes de color verde amarillento: *Rhizocarpon geographicum*, *Rhizocarpon macrosporum*, o marrón: *Umbicularia deusta*.

En el área de estudio se han localizado formaciones determinadas por el impacto antrópico como la asociación *Linarietum nivae* (Rivas-Martínez, 1963), que coloniza las áreas recién quemadas por incendios. Esta fue una práctica ganadera muy habitual hace unos años. Sustituye al matorral (*Senecioni carpetani-Cytisetum oromediterranei*). La primera colonizadora es *Linaria nivae*.

El resto de las áreas quedan descubiertas de vegetación. La causa fundamental es la permanencia de la nieve durante más de 220 días al año, lo que reduce el periodo de desarrollo vegetal al mínimo. Estas áreas aparecen desprovistas de vegetación con la excepción de una especie: *Sedum candollei*, con una extensión sumamente dispersa.

Del contraste entre el análisis de la dinámica geomorfológica, la dinámica de la cubierta nival y

la estabilidad de la cubierta vegetal en la Hoya de Pepe Hernando se puede deducir entre estos factores una serie de intensas relaciones de interdependencia. Podemos poner dos ejemplos de esta relación en dos sectores muy diferentes. En primer lugar, estudiamos este hecho en un sector de la superficie cimera, próximo a la cumbre del Pico Peñalara (Figura 12), donde una línea de menos de 40 m de recorrido corta el manto de alteración, una pequeña depresión y un campo de bloques. De la observación de la dinámica geomorfológica y nival (periodo 1990/1996) se puede deducir que, a pesar de la escasa profundidad de la depresión, ésta actúa como trampa para la nieve y la retiene durante más de 200 días al año. Este hecho impide que la vegetación de pasto xerófilo, donde la *Festuca curvifolia* es predominante, colonice la depresión. En ella sólo sobreviven individuos aislados de *Sedum candollei* con una mínima capacidad fitoestabilizadora. De hecho, en el interior de la depresión, que se puede considerar un nicho de nivación, es donde se dan las tasas de erosión más altas. El campo de bloques es una formación estable.

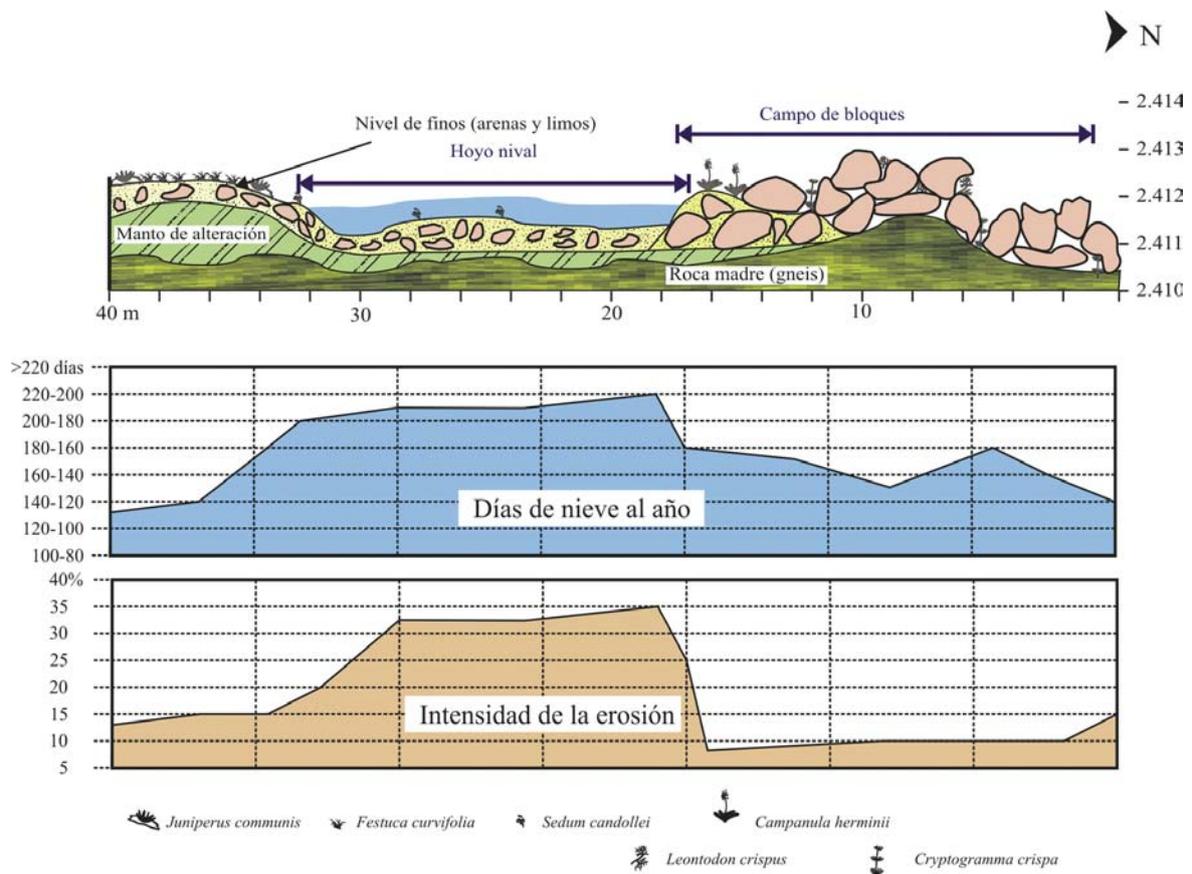


Figura 12.— Gráfico resumen de las características y dinámica de los nichos nivales en el área de cumbres en la Hoya de Pepe Hernando. El gráfico relaciona las formas del relieve, la colonización vegetal, los días de cobertura nival al año y el porcentaje de superficie removida por la erosión durante el periodo 1990-1996. El nicho se localiza a 150 m al norte de la cumbre del Pico Peñalara (Adaptado de Palacios y García, 1997.b).



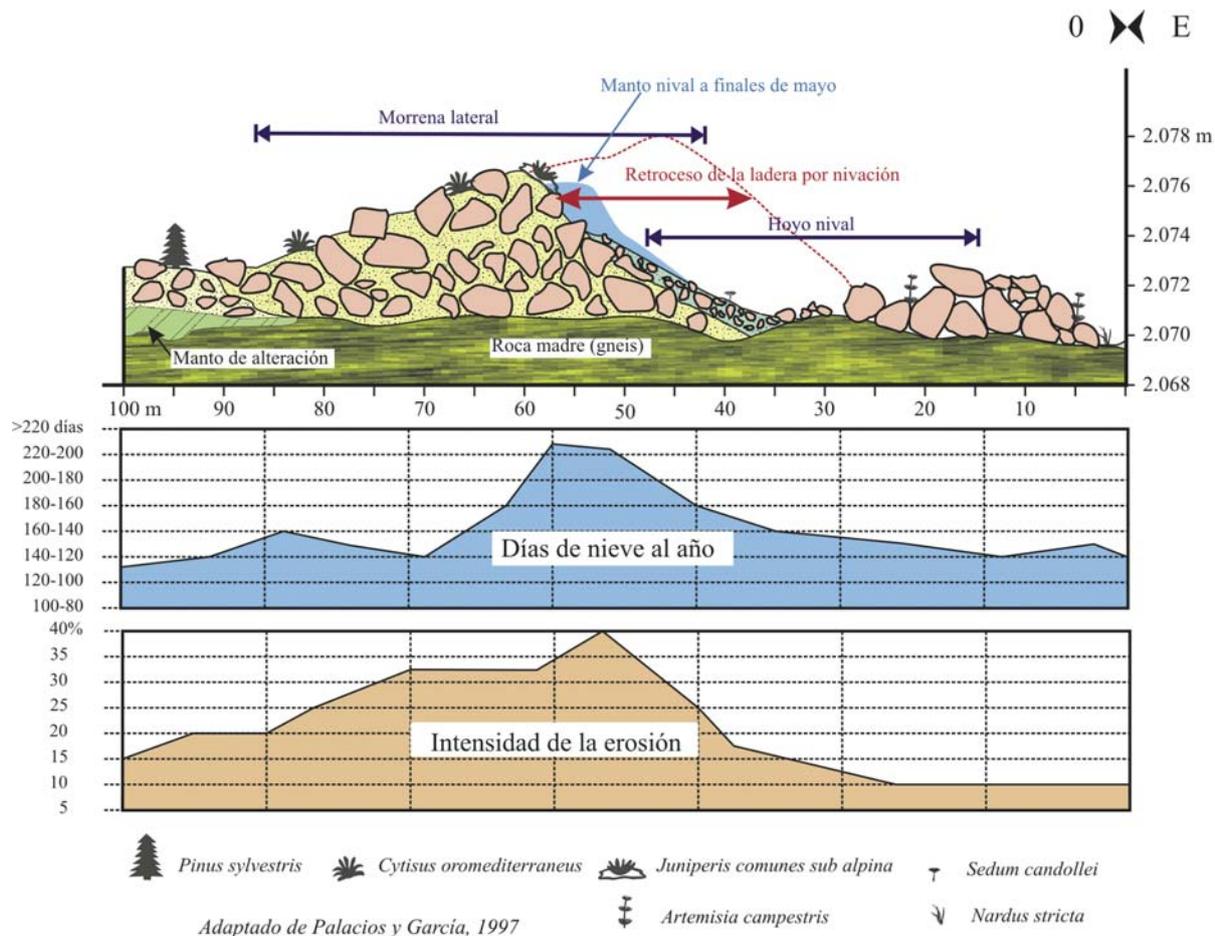


Figura 13.- Gráfico resumen de las características y dinámica de los nichos nivales en el área de la morrena lateral sur (vertiente este) en la Hoya de Pepe Hernando. El gráfico relaciona las formas del relieve, la colonización vegetal, los días de cobertura nival al año y el porcentaje de superficie removida por la erosión durante el periodo 1990-1996. El nicho se localiza a 2.070 m de altitud en la citada morrena (Adaptado de Palacios y García, 1997.b).



Figura 14.- Foto del nicho nival en el área de la morrena lateral sur (vertiente noreste) en la Hoya de Pepe Hernando a 2.070 m de altitud (25 de febrero de 2002).

Otro ejemplo de la gran interdependencia que existe entre la erosión, nieve y vegetación se puede observar en cualquiera de los nichos localizados en la vertiente oriental de la morrena sur, como el situado a una altitud de 2070 m (Figuras 13 y 14). La observación realizada

en el periodo 1990-1996 mostró la gran diferencia geodinámica existente entre las dos vertientes del cordón morrénico. La suroccidental es estable, no acumula nieve y permite la colonización del estrato arbustivo, mientras que la nororiental es muy inestable, retiene mucha nieve y su colonización vegetal es mínima. De hecho, se puede determinar el retroceso que ha sufrido la morrena en esta vertiente oriental como consecuencia de la acción de la nieve.

DINÁMICA NIVAL Y EROSIÓN EN LA HOYA DE LA LAGUNA Y DOS HERMANAS

Los glaciares finipleistocenos barrieron el manto de alteración de la vertiente oriental del cordal montañoso que discurre entre Dos Hermanas y el Pico Peñalara y, dejando en resalte los diversos escalones tectónicos, excavaron dos circos unidos en su base (Figura 3). En el circo septentrional, llamado la Laguna, la abrasión glaciaria fue eficiente y el manto de alteración fue barrido casi por completo, a excepción de algunos sectores culminantes de su pared (Figura 15). La acción abrasiva



Figura 15.- Foto del circo de la Laguna desde su morrena lateral izquierda. La cumbre de la Hermana Mayor se ve al fondo (25 de febrero de 2002).



Figura 16.- Foto del Circo de Dos Hermanas desde su morrena lateral derecha (27 de mayo de 2003).

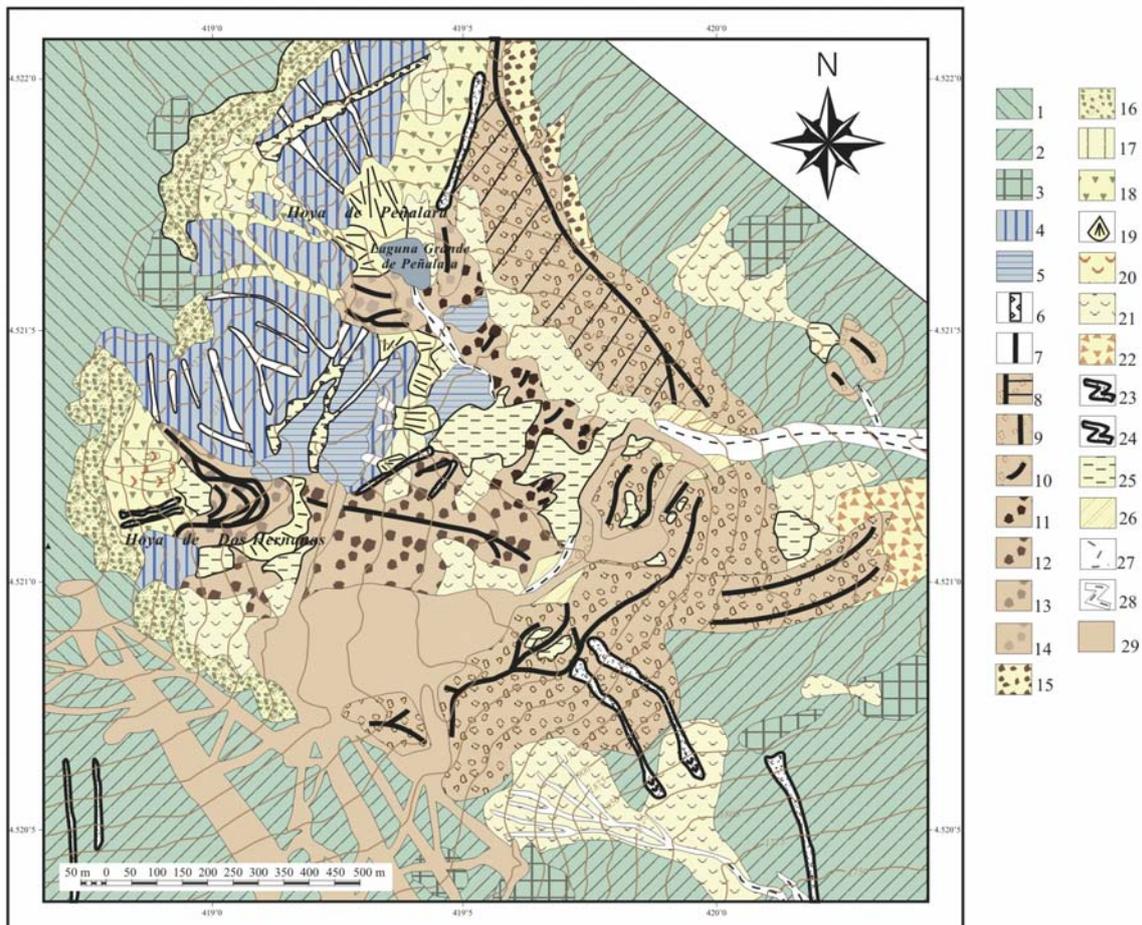


Figura 17.- Mapa geomorfológico del Circo de la Laguna de Peñalara (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2003).

Leyenda:

A) Relieve preglaciar

1.- Superficie del manto de alteración sobre cumbres; 2.- Superficie del manto de alteración sobre laderas; 3.- Tors y otros afloramientos rocosos.

B) Relieve glaciar

4.- Pared de cabecera glaciar; 5.- Rocas aborregadas; 6.- Depresiones de sobre-excavación; 7.- Cresta del cordón morrénico; 8.-Ladera morrénica bien conservada; 9.-Ladera morrénica deformada; 10.- Morrena correspondiente al máximo avance glaciar; 11.- Morrena de retroceso I; 12.- Morrena de retroceso II; 13.- Morrena de retroceso III; 14.- Morrena de retroceso III derivando a glaciar rocoso;

C) Relieve postglaciar

15.- Nichos nivales sobre morrenas; 16.- Nichos nivales sobre el manto de alteración; 17.- Canales de caída de bloques activos; 18.- Talud de gravedad; 19.- Conos de gravedad; 20.- Lengua de bloques; 21.- Lóbulos de soliflucción; 22.- Bloques dispersos desprendidos de la morrena; 23.- Canal de *debris flow* mal conservado; 24.- Canal de *debris flow* bien conservado; 25.- Turberas; 26.- Cárcavas; 27.- Torrentes con una incisión menor a 2 m; 28.- Torrentes con una incisión mayor a 2 m; 29.- Áreas degradadas por acción antrópica (antigua estación de esquí).



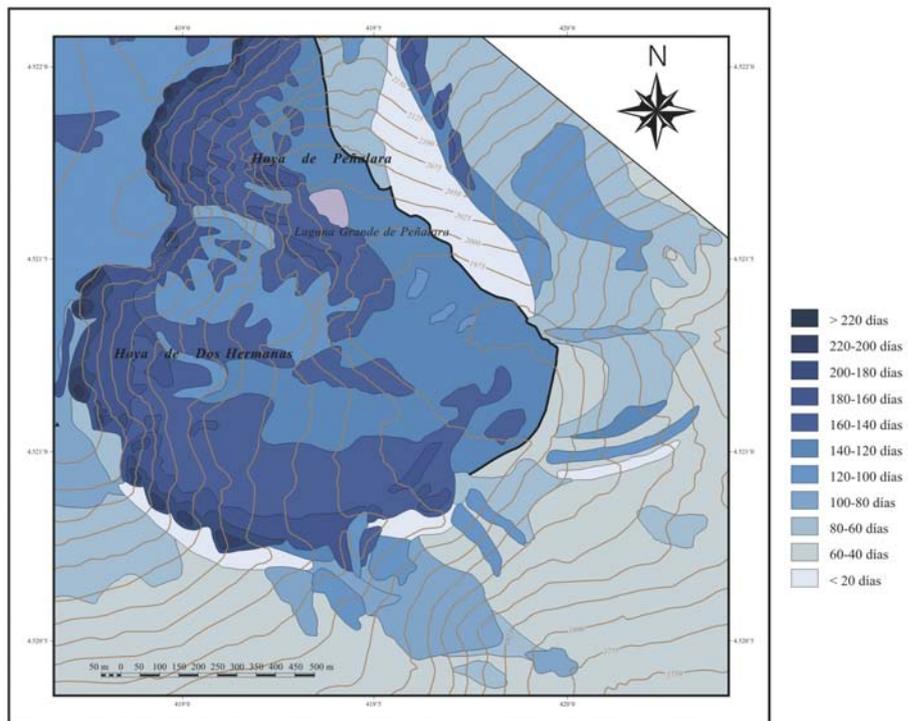


Figura 18.- Mapa de duración de la cubierta nival del Circo de la Laguna de Peñalara (Para el periodo 1994-2000) (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2003).

glaciar no fue tan efectiva en el circo meridional, Hoya de Dos Hermanas, donde permanecieron en su fondo numerosos afloramientos con restos del manto de alteración y donde prácticamente no existe una pared rocosa (Figura 16). Las formas de acumulación glaciar cierran la base de los dos circos con diversas series de arcos morrénicos. La morrena lateral izquierda destaca especialmente y su formación supuso la aparición de una nueva barrera topográfica a los vientos del oeste y del suroeste, dada su importante entidad y su desarrollo noroeste/sureste (Figura 17).

La intensidad y diversidad de los procesos erosivos actuales tienen una relación directa con la disposición previa de estos materiales sueltos: el manto de alteración y las morrenas. Los afloramientos del manto de alteración, colgados sobre la pared del circo de la Laguna, alimentan importantes conos de gravedad. Por el contrario, estos no existen en el Circo de Dos Hermanas, o tienen una entidad mínima. En este caso, las pendientes son menores y el manto tiende a fluir formando grandes lenguas de bloques y lóbulos de solifluxión.

El borde superior de las paredes de los dos circos aparece retranqueado, debido al desarrollo de pequeños hoyos y terrazas nivales. El manto de alteración es mucho más estable en los sectores de esta vertiente no afectados por la acción glaciar. Sin embargo, hay ocasionalmente coladas de gelifluxión, si las pendientes son inferiores a 20° y *debris flows*, cuando las pendientes superan los $20/25^\circ$.

Las formaciones morrénicas se ven también desestabilizadas por la solifluxión cuando se forman concavidades en áreas de confluencia entre varios cordones o entre uno de ellos y el resto de la ladera. En estos mismos casos, cuando las pendientes son importantes, se pueden originar *debris flows*. Por último, la vertiente oriental del cordón morrénico izquierdo, en su sector superior, aparece deformada por pequeños hoyos nivales.

El mapa de la permanencia nival (para el periodo 1994-2000) (Figura 18) obtenido en esta vertiente oriental indica una clara tendencia de acumulación de la nieve al este y, sobre todo, al noreste de los obstáculos topográficos. La nieve dura mucho más en el interior de los circos que en su entorno. Dentro del circo, las áreas de más prolongada acumulación nival son las cornisas culminantes de las paredes del circo y dentro de ellas, los pequeños nichos nivales, casi siempre orientados al este/noreste, donde se superan los 220 días al año de duración de cubierta nival.

Por el contrario, las áreas con una menor permanencia de la nieve son las orientadas al suroeste. Por este motivo, los mayores contrastes se dan en el límite meridional del circo de Dos Hermanas, formado por una estribación rocosa, donde la acumulación en la vertiente que mira al sur/suroeste es inferior a 40 días al año, mientras que a pocos metros, en la vertiente que mira hacia el interior del circo (orientación noreste), la duración de la nieve supera en algunos sectores los 200 días al año. Algo muy parecido ocurre en la morrena lateral izquierda del circo de la Laguna: en su vertiente

interior tampoco se superan los 40 días al año cubierta por nieve, a pesar de alcanzar altitudes superiores a los 2150 m, y por el contrario, en su vertiente exterior, orientada al noreste, hay nichos donde la nieve permanece más de 180 días al año.

En resumen, se puede concluir, que la permanencia de la nieve tiene unas condiciones óptimas en las orientaciones este/noreste, no sólo por estar más protegidas frente a la insolación, sino, sobre todo, porque la acumulación es mucho mayor, al estar situadas a sotavento de los vientos dominantes. Estas mismas circunstancias coinciden con las condiciones de acumulación glaciaria finales del Pleistoceno.

Para estudiar el grado de actividad de los nichos nivales en esta vertiente, se ha elegido un nicho situado en el sector más septentrional de la Hoya de Dos Hermanas (Figura 19), en el que la nieve permanece más días al año. El nicho está labrado sobre el manto de alteración (Figura 20) y su suelo se encuentra cubierto por un pedregal de cantos y bloques angulosos y subangulosos. En muchos lugares, los bloques están enraizados en el propio manto, por lo que su origen no da lugar a dudas. A lo largo de los últimos años, se ha observado una intensa movilidad anual de los bloques, muy frecuentemente durante el deshielo y en la temporada de lluvias otoñales. En la base del nicho, con pendientes menores y más abundancia de finos, se forman lenguas de solifluxión.

La cobertura vegetal es indicativa de la actividad del nicho (Figura 21). El área que rodea el nicho está cubierta por el clásico piornal-enebral (*Senecio pyrenaicum-Cytisetum oromediterranei*), o por un pastizal psicroxerófilo (*Hieracium myriadeni-Festucetum curvifoliae*), dominado por *Festuca curvifolia*. En ambos casos, la cubierta vegetal se extiende sobre un 80-85% del suelo. Hacia el interior del nicho, existe primero una zona de transición o de borde. La cobertura se ve ligeramente reducida respecto al exterior, en un 5-15%,



Figura 19.- Foto del nicho nival situado entre las Dos Hermanas (2 de enero de 2003).

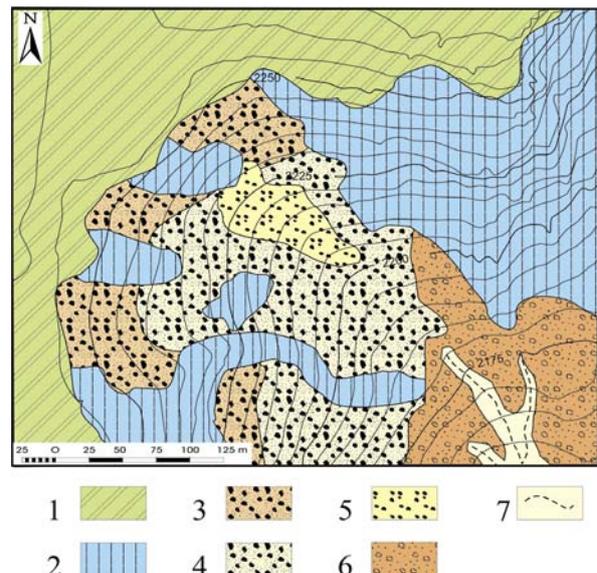


Figura 20.- Mapa geomorfológico del nicho nival de Dos Hermanas en el Circo de la Laguna de Peñalara (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2003).

Legenda:

- 1.- Superficie del manto de alteración; 2.- Pared rocosa; 3.- Manto de alteración degradado por la erosión; 4.- Formación nival de bloques con actividad moderada; 5.- Formación nival de bloques muy activa; 6.- Lóbulos de solifluxión; 7.- Incisiones torrenciales.

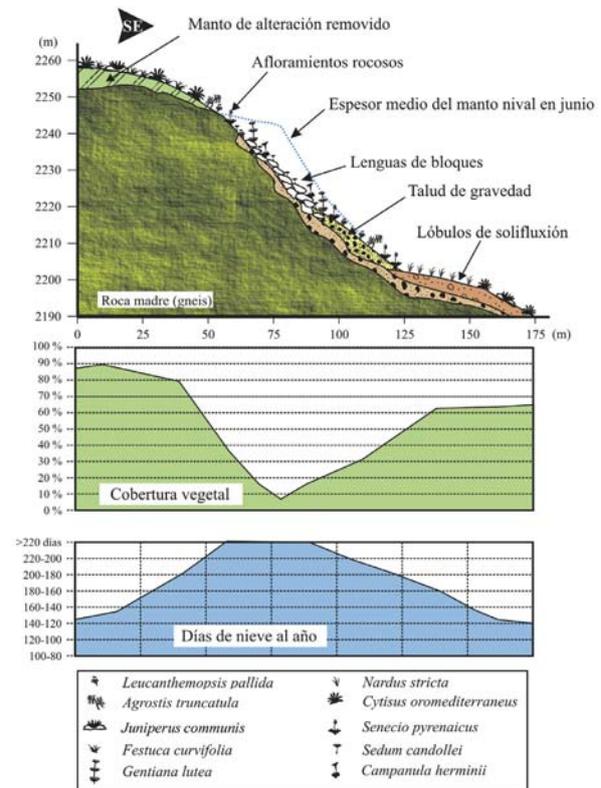


Figura 21- Gráfico resumen de las características y dinámica de los nichos nivales en Dos Hermanas en el Circo de la Laguna de Peñalara (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2003). El gráfico relaciona las formas del relieve, el tipo de colonización vegetal, la intensidad de la cobertura vegetal, los días de cobertura nival al año y el porcentaje de superficie removida por la erosión durante el periodo 1994-2000. El nicho se localiza a 250 m al norte de la cumbre de la Hermana Menor.



con lo que suele situarse entorno al 70%. No existe una menor riqueza florística, pero muchas especies aparecen sólo puntualmente como *Hieracium myriadenum*, *Festuca curvifolia*, *Avenella iberica* y *Jurinea humillis*. En esta zona todavía se observan especies arbustivas (*Juniperus communis* subsp. *alpina* y *Cytisus oromediterraneus*), pero con dimensiones muy reducidas y varios ejemplares muertos. Más hacia el interior del nicho, se desarrolla una zona interna media, donde la cobertura se ve reducida a menos de un 45%. La composición florística varía, destacándose poderosamente por las concentraciones de grandes plantas llamativas como *Senecio carpetanus* y *Gentiana lutea*. Es, asimismo, importante la abundancia de *Agrostis truncatula*, *Leucanthemopsis pallida*, *Jasione crispa*, *Paronychia polygonifolia* y *Festuca iberica*.

En el núcleo central de máxima duración de la nieve, la colonización vegetal no puede superar el 20%; el corto período de actividad vegetal y la gran aridez a la que se ven expuestas las especies vegetales con la desaparición de la nieve, llevan a una drástica reducción de las mismas (Figura 22). Desaparecen la mayoría de las especies citadas y, en cambio aparecen, o lo hacen en mayor abundancia, otras como *Sedum candollei*, *Festuca ibérica*, *Luzula carpetana* y *Campanula herminii*. Por último, en los enclaves más internos del nicho, allí donde la permanencia nival supera los 220 días al año, la única planta colonizadora asidua es *Sedum candollei*. En la base del nicho, donde hay una mayor acumulación de finos y donde la pendiente disminuye, por lo que son frecuentes las coladas de solifluxión, predomina del *Nardus stricta*, mezclado con especies nitrófilas (*Rumex pyrenaicus*, *Cerastium ramossissimum*, etc.) e hidrófilas (*Veronica langei*, *Campanula herminii*, etc.).



Figura 22.- Foto del nicho nival situado entre las Dos Hermanas (27 de mayo de 2003).

DINÁMICA NIVAL Y EROSIÓN EN LA VERTIENTE SUR-OCCIDENTAL DE PEÑALARA

La diversidad geomorfológica de la vertiente occidental es sumamente simple (Figura 3). En realidad, la mayor parte de la superficie está cubierta por un manto de alteración, con una media de 1,5 m de profundidad, aunque puede alcanzar los 4 y 5 m en disposiciones tectónicas y topográficas favorables (Figura 23). Por encima del manto de alteración, con una profundidad de unos pocos centímetros, se puede diferenciar un depósito de cantos y bloques empastados por una matriz limoarcillosa, que procede del mismo manto de alteración, al haber sido ligeramente movilizado por procesos de reptación y solifluxión. Únicamente de forma ocasional, sobre el manto de alteración sobresalen algunos tors.

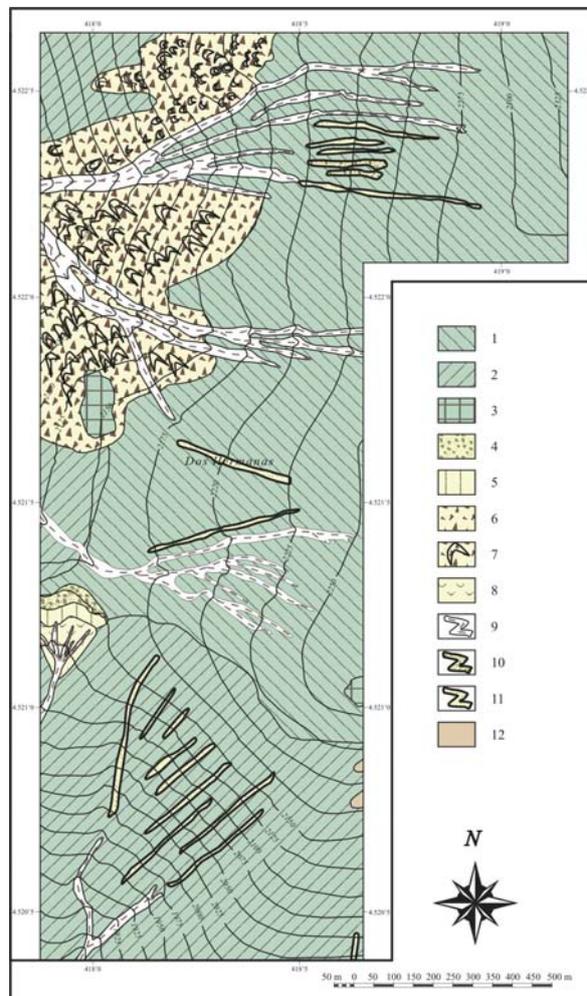


Figura 23.- Mapa geomorfológico del sector suroeste del macizo de Peñalara (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2003).

Leyenda:

- 1.- Superficie del manto de alteración sobre cumbres;
- 2.- Superficie del manto de alteración sobre laderas;
- 3.- Tors y otros afloramientos rocosos;
- 4.- Nicho de nivación;
- 5.- Fondo de nicho;
- 6.- Campo de bloques periglacial;
- 7.- Lenguas y lóbulos de bloques;
- 8.- Coladas de solifluxión;
- 9.- Incisión torrencial;
- 10.- Canal de *debris flow* mal conservado;
- 11.- Canal de *debris flow* bien conservado;
- 12.- Áreas degradadas por acción antrópica (antigua estación de esquí).

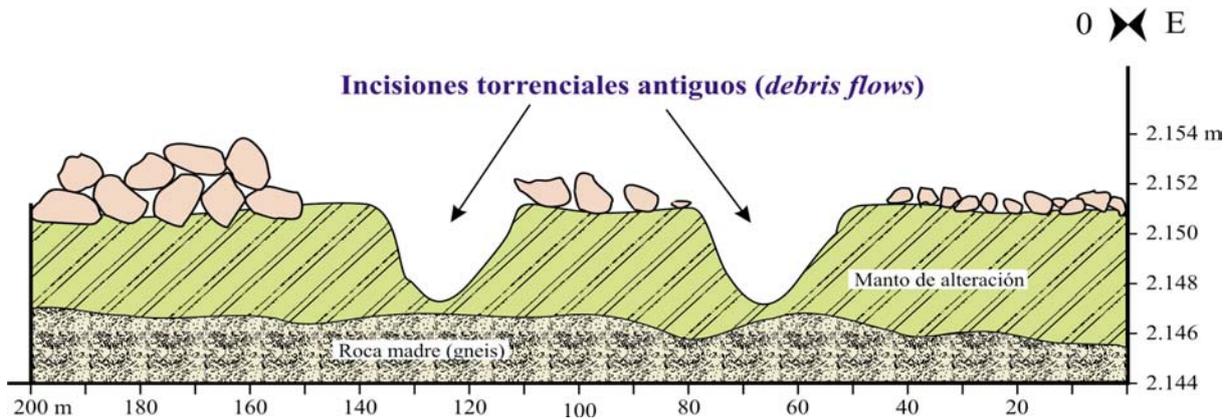


Figura 24.- Transecto de unos *debris flows* situados en la vertiente occidental del Pico Peñalara.

En algunos sectores, un campo de bloques se asienta sobre el manto de alteración, como se puede observar en la base de todas las incisiones torrenciales. La distribución espacial del campo de bloques no sigue criterios altitudinales, sino que muestra una clara preferencia por las laderas orientadas hacia el noroeste y hacia el norte, mientras que es casi inexistente en el área de cumbres.

La monotonía de estas formas de alteración se rompe por algunas incisiones provocadas por *debris flows* (Figura 24). La mayoría de estos canales han sido capturados por la red torrencial y, únicamente de forma ocasional, aparecen algunos canales aislados, sin capturar (Figura 25). En la vertiente meridional, en la cabecera del arroyo del Infierno, se encuentra de forma excepcional una amplia cubeta, con características morfológicas propias de los nichos nivales.

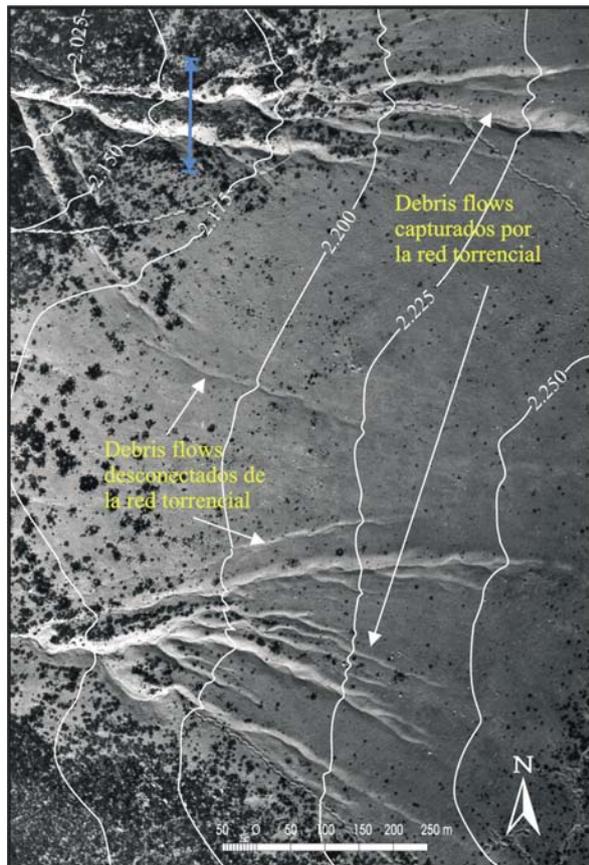


Figura 25.- Foto aérea de la vertiente occidental del macizo de Peñalara (agosto de 1986) (entre Dos Hermanas y Pico de Peñalara) donde se observan antiguos canales de *debris flows*, algunos retomados por la red de drenaje y otros todavía aislados (adaptado de Palacios y Andrés, 2000).

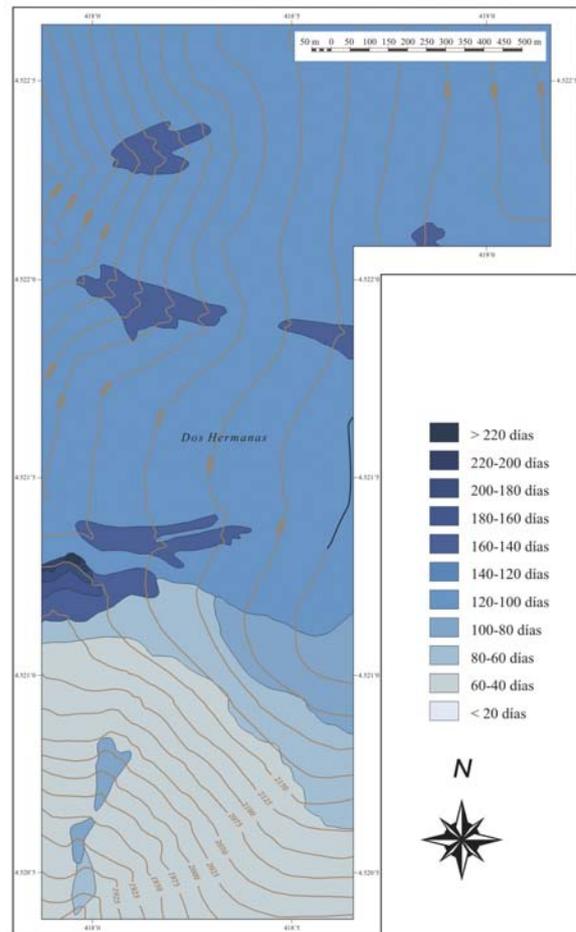


Figura 26.- Mapa de la duración de la cubierta nival del sector suroeste del macizo de Peñalara (para el periodo 1994-2000) (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2003).





Figura 27.- Foto de antiguos canales de *debris flows* reconvertidos en nichos de nivación, en la vertiente occidental de Dos Hermanas (22 de mayo, 2003).



Figura 28.- Foto del nicho nival del arroyo del Infierno, situado en la vertiente sur del collado entre Peña Citores y Dos Hermanas (22 de mayo, 2003).

El mapa obtenido de la cubierta de nieve (1994-2000) de esta vertiente (Figura 26), muestra que la mayor parte del área no supera los 3-4 meses de nieve al año, incluida la superficie de cumbres. Sólo existen dos excepciones: la primera la constituye el nicho nival citado, que alcanza las más altas tasas de permanencia de la nieve del macizo, con más de 220 días de cubierta nival, a pesar de su exposición sur; la otra excepción es el interior de algunos canales de *debris flows*, precisamente los más profundos, donde la nieve llega a quedar retenida más de 200 días al año.

Los resultados de la observación de la actividad geomorfológica en ese sector indican que la movilidad de los bloques se reduce a dos sectores: por un lado, los antiguos canales de los *debris flows*, que están siendo modificados por procesos nivales en la actualidad (Figura 27) y por otro, el nicho nival del arroyo del Infierno (Figura 28). El resto de los bloques movidos se deben a la acción de los torrentes. Al igual que pasaba en la vertiente oriental; allí donde la nieve ha permanecido más de 200 días al año, ha existido una clara actividad geomorfológica.

El nicho nival del arroyo del Infierno forma una concavidad excavada directamente sobre el manto de alteración, con una profundidad de 25 m (Figuras 29, 30 y 31). Mediante una reconstrucción de la topografía y siguiendo criterios geomorfológicos, se deduce que el nicho ha hecho retroceder la ladera unos 40 m. En la parte culminante del nicho aflora el manto de alteración degradado, que queda reducido en este sector a un canturreal suelto. Algo más abajo de esta unidad, justo donde la permanencia de la nieve es mayor, el manto de alteración aparece todavía peor conservado y tiene ya un carácter residual. La movilidad de los bloques observada en este sector, a lo largo de los seis últimos años, es reducida y se limita a la caída y rodamiento de algunos bloques aislados. Por debajo de esta unidad se extiende el fondo del nicho, constituido por una superficie bastante llana, cubierta por una formación sedimentaria de tipo aluvial, procedente de la acción de las aguas de deshielo nival, donde se destacan algunos abanicos aluvio-nivales, en la actualidad parcialmente activos. A una distancia entre 50 y 75 m de la pared, aparece un pequeño *protalus rampart*, de unos 0,5 a 1 m de altura. Esta formación se extiende ladera abajo y está afectada por procesos activos de solifluxión y por el abarrancamiento de los arroyuelos, que se forman más abajo del torrente del Infierno y que inciden en esta formación más de 3 m sin alcanzar la base.

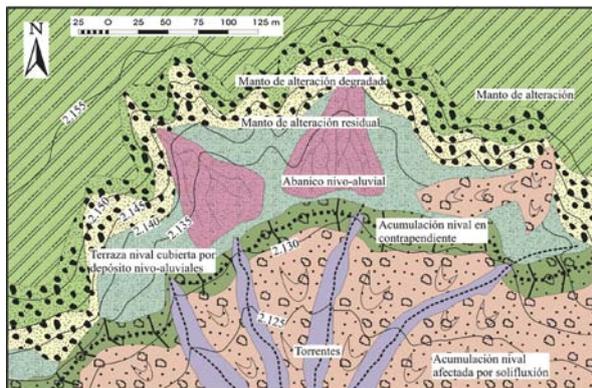


Figura 29.- Mapa geomorfológico del nicho nival del arroyo del Infierno, situado entre Peña Citores y Dos Hermanas, vertiente sur (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2003).

El área que rodea el nicho está cubierta por un denso matorral (*Juniperus communis* subsp. *alpina* y *Cytisus oromediterraneus*) o por un pastizal psicroxerófilo, dominado por *Festuca curvifolia*, con una densidad que varía entre un 90 y un 75%. En la parte superior, en la zona de transición al nicho, la cobertura vegetal se ve reducida respecto a la vegetación contigua exterior en un 5-10%. Por otro lado, van desapareciendo paulatinamente las especies arbustivas (*Juniperus communis* subsp. *alpina* y *Cytisus oromediterraneus*) y algunas herbáceas, como la *Festuca curvifolia*, *Hieracium myriadenum*, etc.



Figura 30.- Foto del nicho nival del arroyo del Infierno desde el sur (22 de mayo, 2003).

Algo más abajo, la cobertura vegetal que se va reduciendo progresivamente hasta el 35%, donde desaparecen totalmente las especies citadas anteriormente y aparecen o lo hacen en mayor proporción otras especies con cierto carácter primicolonizador o glerícola como *Gentiana*

lutea, *Sedum brevifolium*, *Paronychia polygonifolia*, *Leucantheropsis alpina*, *Festuca iberica* y *Linaria saxatilis*. Finalmente en el núcleo del nicho, la cobertura vegetal se reduce a menos del 35%, y aparecen otras especies vegetales más adaptadas a una mayor duración de la nieve, como *Sedum candollei* y *Digitalis carpentina*. La parte inferior del nicho, donde es mayor la acumulación de finos, está cubierta por un espeso pastizal de *Nardus stricta*, junto con algunas especies nitrófilas tales como *Rumex pyrenaicus*, *Cerastium ramosissimum*, *Veronica praecox*, etc.

Se ha realizado un estudio de la evolución de este nicho desde 1970 al año 2000, a través de la delimitación del área con menos de un 30% de cobertura vegetal en las distintas fotografías aéreas (Figura 32). El contraste de las fotografías muestra una permanente colonización vegetal, en especial de las formaciones de matorral (*Juniperus communis* subsp. *alpina* primero y *Cytisus oromediterraneus* después) del sector occidental del nicho, de tal manera que se ha reducido en más de un 50% en su extensión a lo largo de estos 30 años.

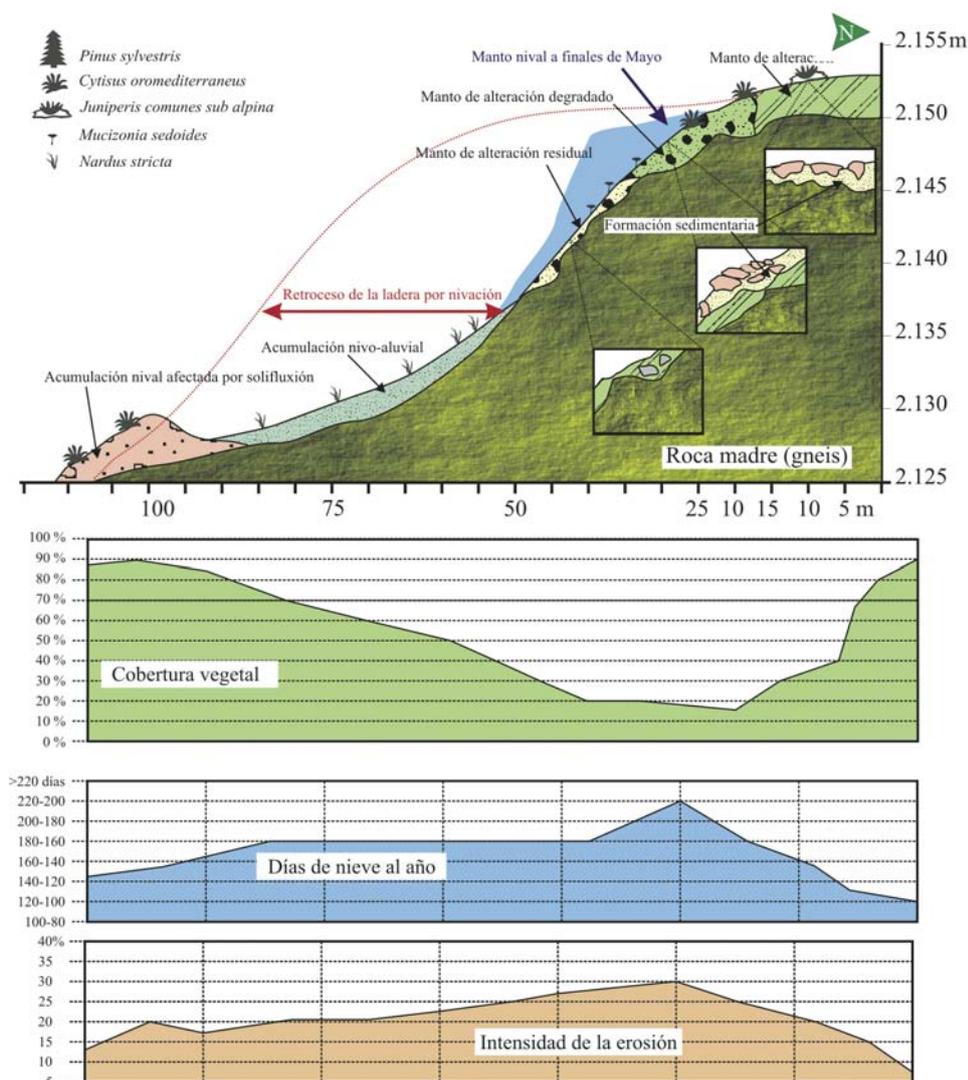


Figura 31.- Gráfico resumen de las características y dinámica del nicho nival del arroyo del Infierno, situado en la vertiente sur de Peñalara, entre Peña Citores y Dos Hermanas (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2003). El gráfico relaciona las formas del relieve, la colonización vegetal, los días de cobertura nival al año y el porcentaje de superficie removida por la erosión durante el periodo 1990-2000.



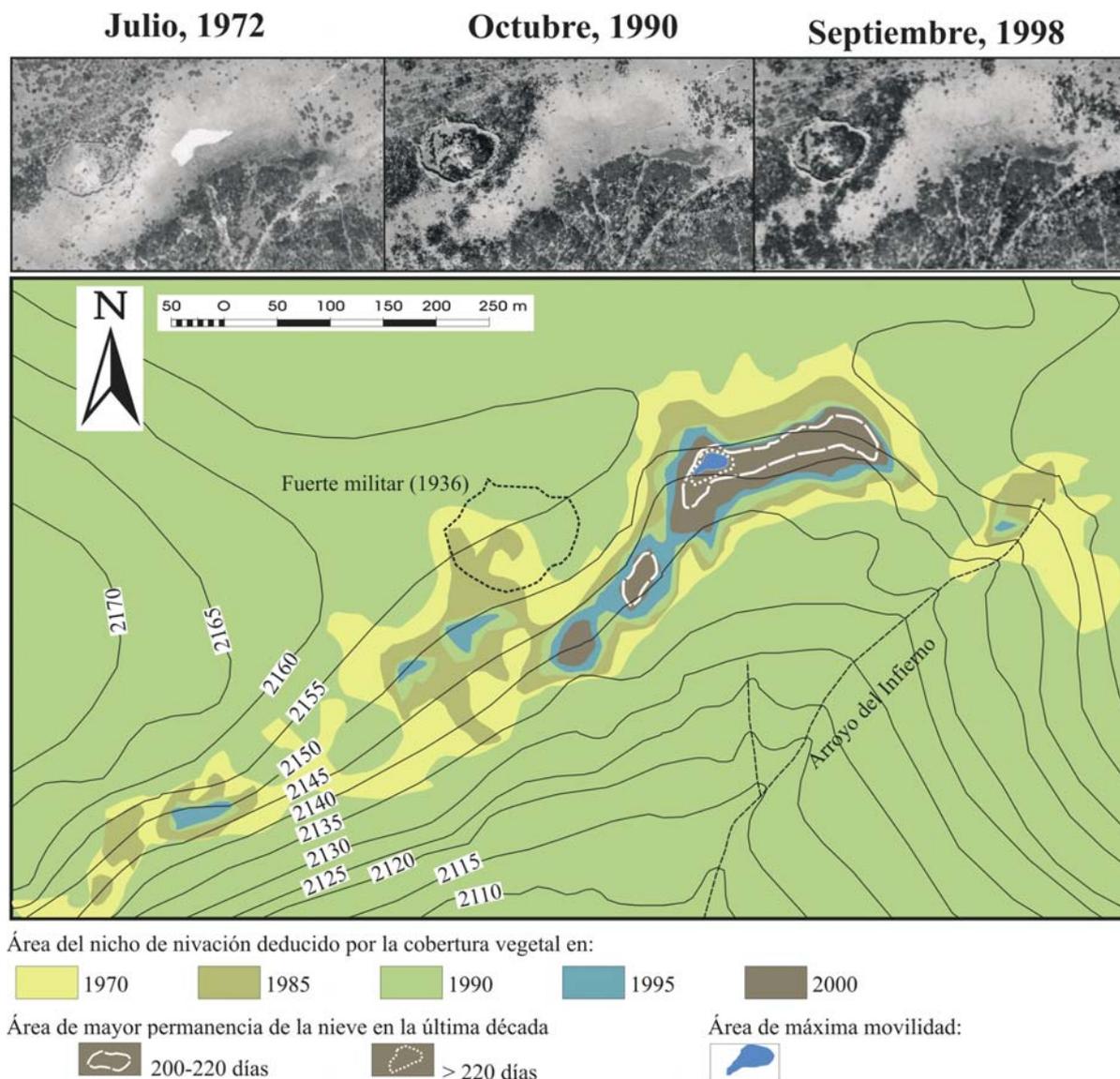


Figura 32.- Evolución reciente y situación actual de la actividad del nicho nival del arroyo del Infierno, situado entre Peña Citores y Dos Hermanas, vertiente sur (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2003).

Por otro lado, el área de máxima acumulación nival, que coincide con el de la máxima movilidad de los bloques, es todavía mucho más reducida que el de la mínima cobertura vegetal, por lo que es de esperar que el proceso de colonización vegetal del nicho continúe, en caso de mantenerse la tendencia de ascenso de las temperaturas de primavera, constante en estos últimos treinta años.

DINÁMICA NIVAL Y EROSIÓN EN LA VERTIENTE NOR-OCCIDENTAL DE PEÑALARA

La vertiente nor-occidental del Pico Peñalara está afectada intensamente por los procesos fríos (Figura 3). El manto de alteración no aflora directamente, sino que la ladera aparece cubierta de forma generalizada por un campo de bloques de carácter periglacial, bien conser-

vado en algunos sectores y dismantelado en otros, por procesos posteriores a su formación (Figura 33). Los bloques aparecen ordenados en lóbulos más o menos alargados en sentido de la pendiente, con una longitud entre 10 y 50 metros y una anchura que varía entre los 5 a 30 m. En el interior de estos lóbulos predominan los bloques pequeños, cantos y finos. En el anillo exterior se disponen los grandes bloques sin matriz fina, que poseen dimensiones medias de 1-1,5 m de diámetro, aunque a veces llegan a ser megabloques de hasta 3 m de eje máximo (Figura 34).

En la mitad de la ladera afloran las paredes del antiguo circo glaciar y a su pie, diversas formaciones morrénicas. El campo de bloques no afecta a los taludes de estas paredes ni a las morrenas, por lo que es más antiguo o al menos contemporáneo a los glaciares. La ladera forma una gran concavidad en su sector cen-

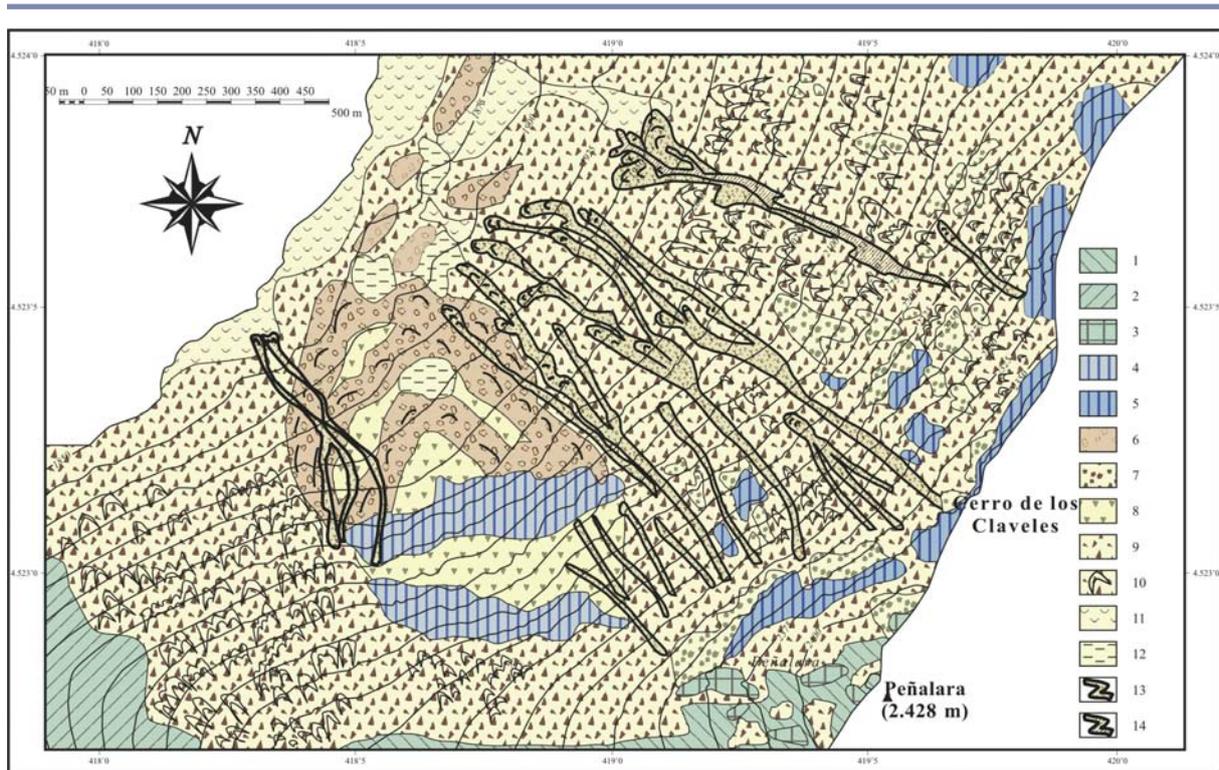


Figura 33.- Mapa geomorfológico de la vertiente nor-occidental del Pico Peñalara (adaptado de Palacios y Andrés, 2000).

Leyenda:

- 1.- Superficie del manto de alteración sobre cumbres;
- 2.- Superficie del manto de alteración sobre laderas;
- 3.- Tors;
- 4.- Pared de cabecera glaciar;
- 5.- Afloramientos rocosos afectados por la acción periglaciaria;
- 6.- Formaciones morrénicas;
- 7.- Nicho nival;
- 8.- Fondo de circo glaciar;
- 9.- Campo de bloques periglaciario;
- 10.- Lenguas y lóbulos de bloques;
- 11.- Coladas de soliflucción;
- 12.- Turberas;
- 13.- Canal de debris flow antiguo;
- 14.- Canal de debris flow reciente.

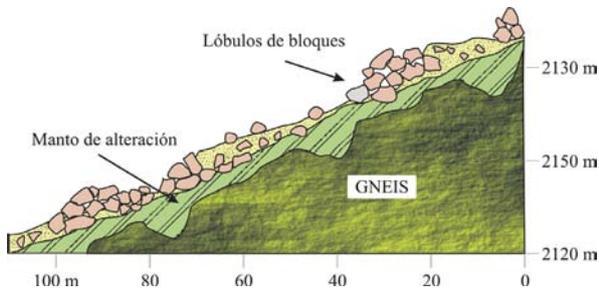


Figura 34.- Transecto de uno de los lóbulos de bloques situado en la vertiente occidental del Pico Peñalara.

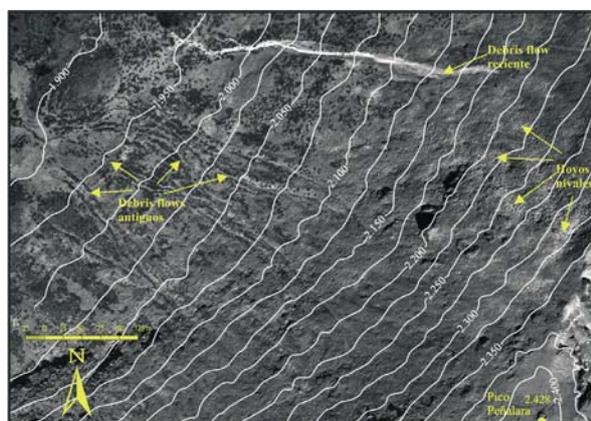


Figura 35.- Foto aérea de la vertiente Nor-occidental del Pico Peñalara (agosto de 1986), donde se observan debris flows antiguos, alguno moderno y la localización de los nichos nivales (adaptado de Palacios y Andrés, 2000).

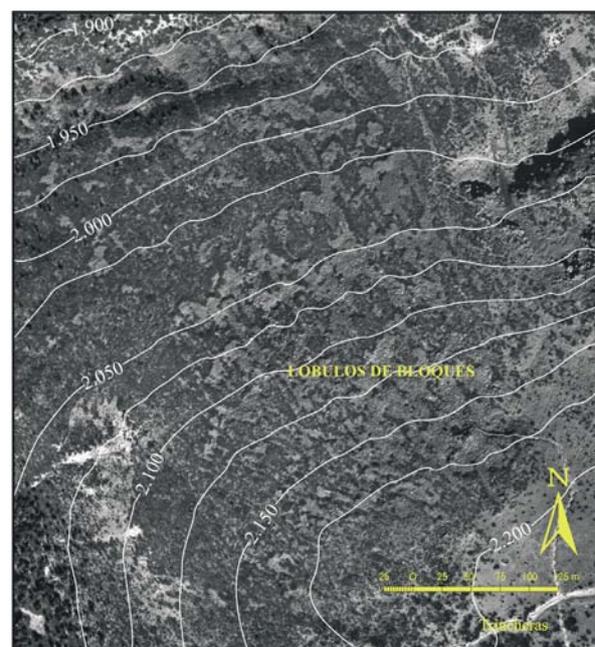


Figura 36.- Foto aérea de la vertiente occidental del Pico Peñalara (agosto de 1986) donde se observan las lenguas y lóbulos de bloques bien conservados (adaptado de Palacios y Andrés, 2000).



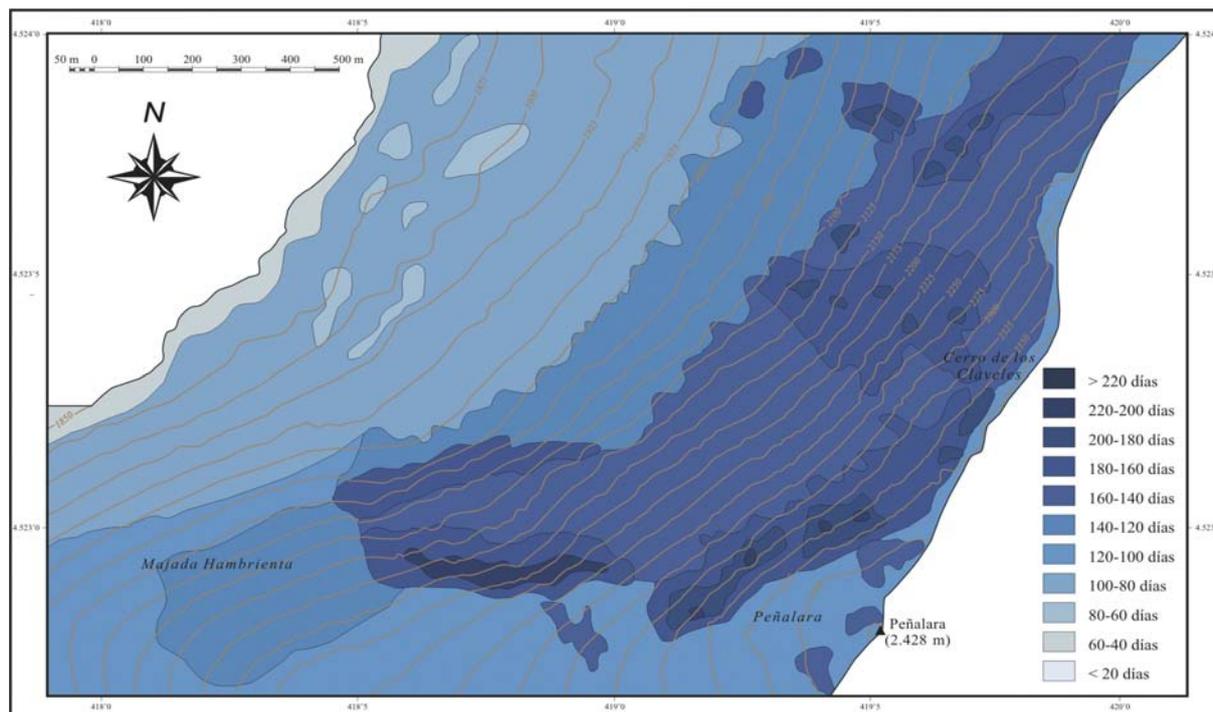


Figura 37.- Mapa de la duración de la cubierta de nieve en la vertiente nor-occidental del Pico Peñalara (adaptado de Palacios y Andrés, 2000).

tral, algo más al norte del circo glaciar. En este sector, el campo de bloques aparece parcialmente destruido por enormes *debris flows* y múltiples hoyos nivales de pequeño tamaño (Figura 35). Por el contrario, en el sector meridional de la ladera, al sur del circo glaciar, el campo de bloques y sus lóbulos se conservan prácticamente intactos (Figura 36). En este sector, la ladera tiene una forma convexa, en espolón. Por el contrario, el campo de bloques y sus lóbulos se conservan prácticamente intactos en el sector meridional de la ladera, al sur del circo glaciar (Figura 36), donde la topografía es convexa, en espolón.

La clave de este distinto comportamiento de los procesos posteriores a la formación del campo de bloques y del circo glaciar está, una vez más, en la diferente

distribución de la cubierta nival (Figura 37). La nieve se concentra en la cabecera del circo glaciar y en la cabecera de los *debris flows* citados, bajo la cumbre del Pico Peñalara y del Cerro de los Claveles (Figura 38). La nieve se acumula con especial intensidad también en los dispersos hoyos nivales (Figura 39).

En definitiva, el campo de bloques y los lóbulos de bloques se conservan mejor donde la acumulación de la nieve actualmente es menor. Esto ocurre en el sector más meridional de la ladera, en la llamada Majada Hambrienta (Figura 36).

Los *debris flows* que destruyen el campo de bloques tienen una magnitud impresionante: nacen en las áreas de máxima acumulación nival, se desarrollan sólo en



Figura 38.- Foto de los nichos nivales de la vertiente nor-occidental del Pico Peñalara, al sur del Pico (21 de mayo de 2003).



Figura 39.- Foto de la vertiente nor-occidental del Pico Peñalara, al norte del Pico, donde se observa uno de los nichos nivales (14 de mayo de 2003).

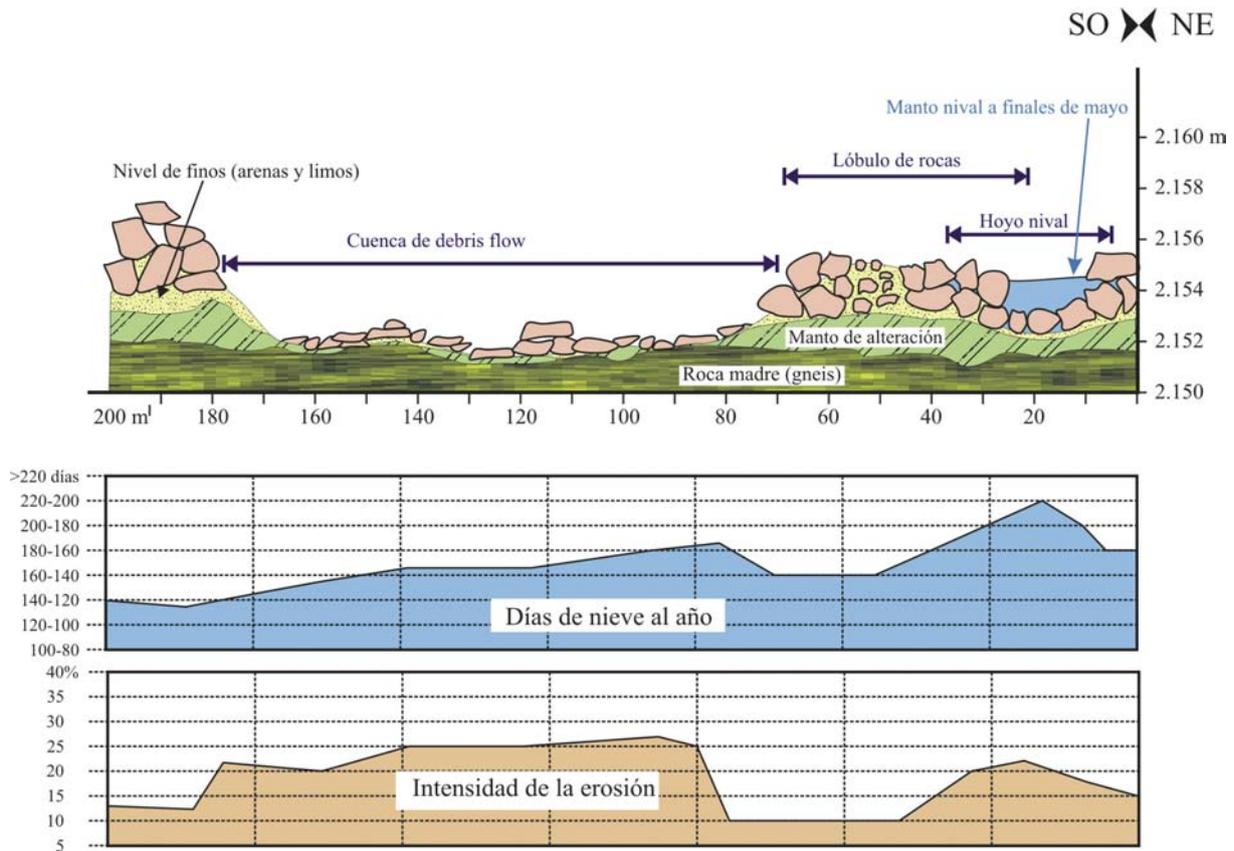


Figura 40.- Gráfico resumen de las características y dinámica de un nicho nival en la vertiente nor-occidental del Pico Peñalara (adaptado de Palacios y Andrés, 2000). El gráfico relaciona las formas del relieve, los días de cobertura nival al año y el porcentaje de superficie removida por la erosión durante el periodo 1990-2000.

este sector, donde la ladera adquiere una forma cóncava, que facilita la acumulación de agua y la concentración del flujo subterráneo; y recorren toda la ladera hasta alcanzar la superficie llana de su base. Su cuenca puede llegar a tener más de 100 m de anchura y la de los lóbulos frontales puede superar los 25 m. Estos *debris flows* aparecen completamente estabilizados, salvo uno, datado por fotografía aérea a mediados de siglo XX, de entidad mucho menor y desarrollado en el interior de otro antiguo. Un transecto en una cuenca de uno de estos *debris flows* muestra cómo el flujo barrió por completo el campo de bloques y el manto de alteración, dejando en la superficie la roca no alterada (Figura 40).

DINÁMICA NIVAL Y EROSIÓN EN EL PUERTO DE QUEBRANTAHERRADURAS

Un ejemplo donde se concentran numerosas áreas con características nivales lo constituye el Puerto de Quebrantaherraduras (40°52'N; 3°56'W; 2096 m), al norte del macizo de Peñalara (Figura 41). Las áreas nivales forman nichos que se distribuyen por las cabezeras de los arroyos de Hoyoclaveles y los Pájaros, en la vertiente oriental del Puerto, y por el arroyo de la Chorrancia en su vertiente occidental. Estos nichos

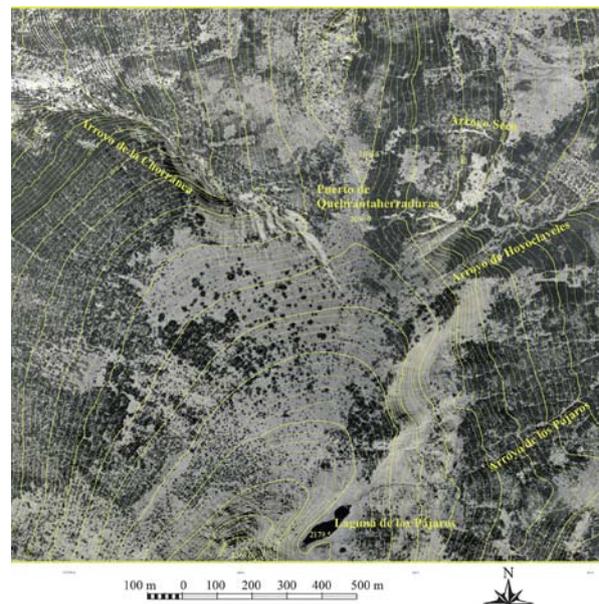


Figura 41.- Ortofoto del Puerto de Quebrantaherraduras (1998).



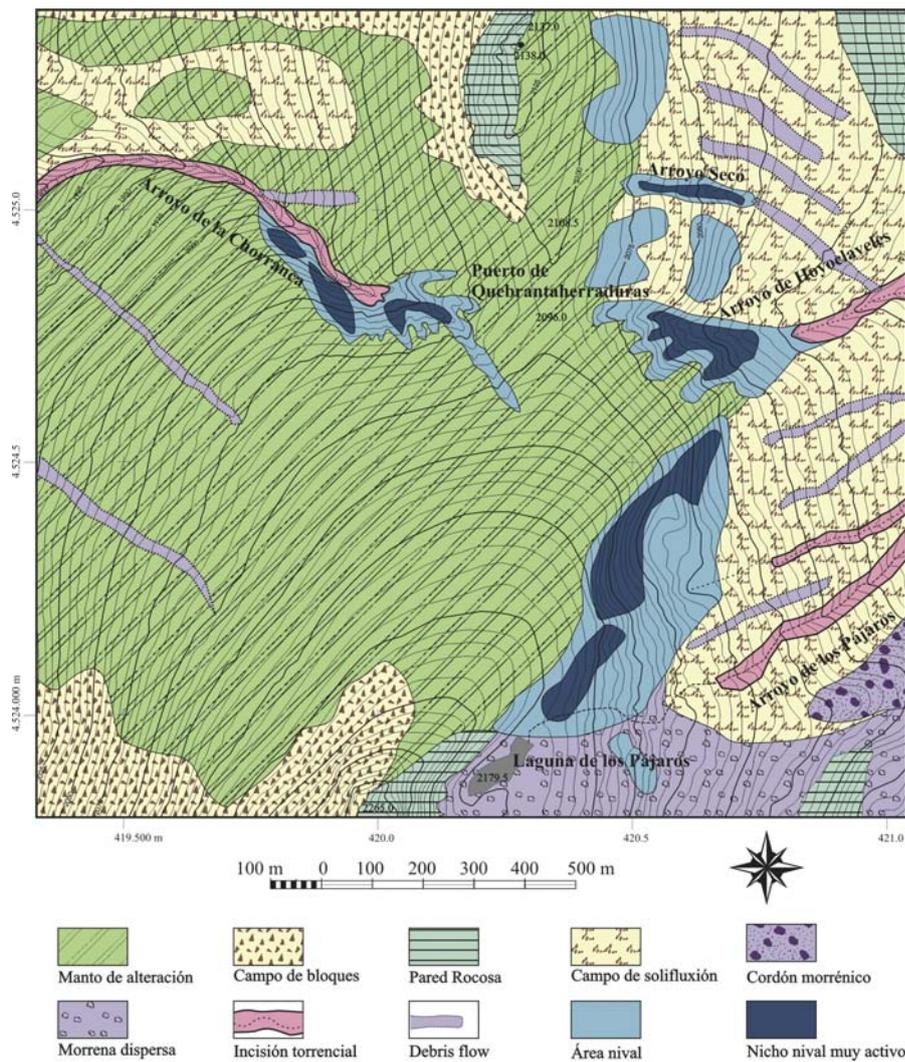


Figura 42.- Mapa Geomorfológico del área del Puerto de Quebrantaherraduras (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2004).



Figura 43.- Nicho de nivación en la vertiente occidental del Puerto de Quebrantaherraduras, en la cabecera del Arroyo de la Chorranca (3 de junio de 2003).

amparan los neveros de máxima duración de la Sierra del Guadarrama y con mucha frecuencia la nieve perdura más en ellos que en la cabecera del cercano Circo de Peñalara, a pesar de su menor altitud y de no haber estado glaciados, al menos durante el Pleistoceno reciente.

La mayoría del área de estudio, y en especial el área cimera y su vertiente occidental, aparece cubierta por un manto de alteración gneésico (Figura 42). Su espesor total se ha podido observar en algunas incisiones torrenciales y en canales de *debris flows* y oscila en unos 60-80 cm en el área cimera, hasta varios metros en el sector del collado. El manto genera una topografía suave y regular. A partir de algunos afloramientos rocosos, en los picos que flanquean el collado, se formaron coladas periglaciares de bloques que descienden por esta vertiente occidental. A lo largo de todo el periodo de estudio (1996-2002), no se ha podido detectar ningún tipo de transporte en estas formaciones. La actividad geomorfológica en esta vertiente se concentra en la cabecera del Arroyo de la Chorranca (Figura 43). Esta actividad de la cabecera no es propiamente torrencial, por el contrario, su fondo aparece ocupado por diversas coladas de soliflucción y no existen corrientes de agua, ni siquiera esporádicas. La actividad se desarrolla en estas coladas de la base y en las paredes del margen izquierdo, orientado al norte y noreste. En este último caso, los movimientos se han podido relacionar con desplazamientos de bloques y



Figura 44.- Nicho de nivación en la vertiente oriental del Puerto de Quebrantaherraduras, en la cabecera del Arroyo de los Pájaros (3 de junio de 2003).



Figura 45.- Nichos de nivación en la vertiente oriental del Puerto de Quebrantaherraduras, en la cabecera del Arroyo de Hoyoclaveles y los Pájaros (13 de agosto de 2002).

cantos aislados; pequeños desplazamientos solifluídales; ligeras incisiones temporales tipo *rill*; y *debris flows* de magnitudes decimétricas o, muy excepcionalmente, métricas. Todo el sector activo de la cabecera

se ha podido dividir entre áreas muy activas, donde se ha desplazado más del 80% de los puntos de control en un periodo de observación mínimo de al menos 5 años, y áreas de actividad media, donde se han desplazado el entre el 80 y el 50%.

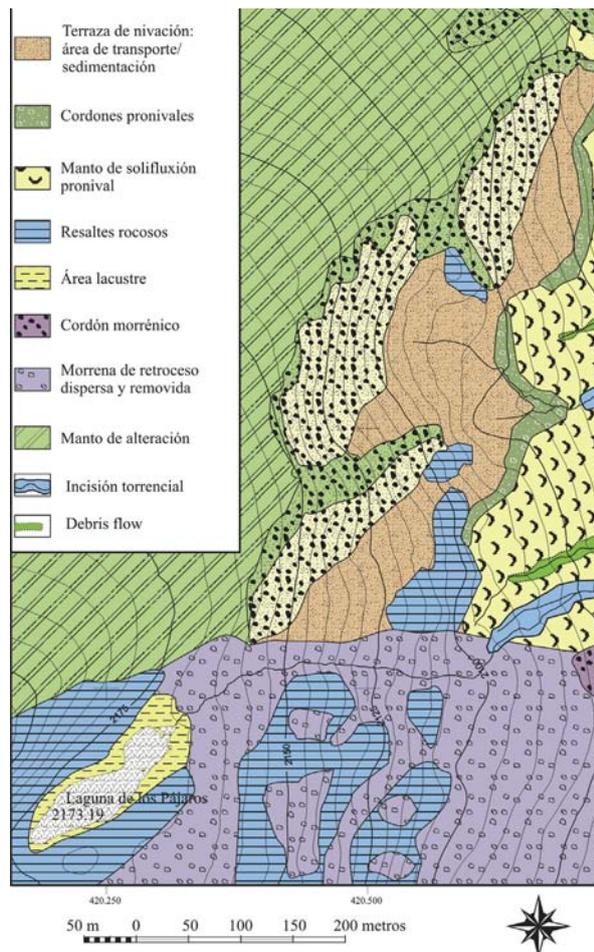


Figura 46.- Detalle del mapa geomorfológico de las cabeceras de los Arroyo de Hoyoclaveles y los Pájaros, vertiente oriental del Puerto de Quebrantaherraduras (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2004).

La vertiente oriental presenta claras diferencias morfológicas con respecto a la occidental: la superficie de alteración es mínima, su sector meridional está glaciado y no existen formaciones periglaciales. La cabecera del Arroyo de Hoyoclaveles tiene unas características muy similares a la de la Chorrancia (Figura 44). En su base también existen coladas solifluídales muy activas y en su pared del margen derecho, orientado al noreste, se detecta una intensa actividad geomorfológica. Más al norte existe un canal no torrencial, ya que carece de enlace con la red torrencial, llamado Arroyo Seco, con el fondo y las paredes muy activos. El resto de las áreas activas se concentran en una serie de replanos y cornisas, situados entre los arroyos de Hoyoclaveles y el de los Pájaros (Figura 45). Estos replanos presentan las características geomorfológicas típicas de las terrazas de crioplanación. Están limitados por unas paredes superiores ligeramente cóncavas, que se yuxtaponen unas a otras (Figura 46). En la parte superior de estas paredes aflora directamente el manto de alteración y en ella se detectan frecuentes caídas de bloques y cantos.

Por debajo, se desarrolla un talud inestable, donde son frecuentes los pequeños movimientos en masa y esporádicas incisiones de la arroyada concentrada. En la base de cada pared existe siempre un amplio rellano cubierto de pequeños abanicos aluviales, de sedimentos muy finos. En el contacto entre el llano y la rotura de la pendiente, queda en resalte un pequeño cordón compuesto por grandes bloques. Ladera abajo de ese cordón descienden múltiples coladas de soliflucción, donde sólo se ha podido detectar pequeños desplazamientos en sectores muy reducidos. En todos los



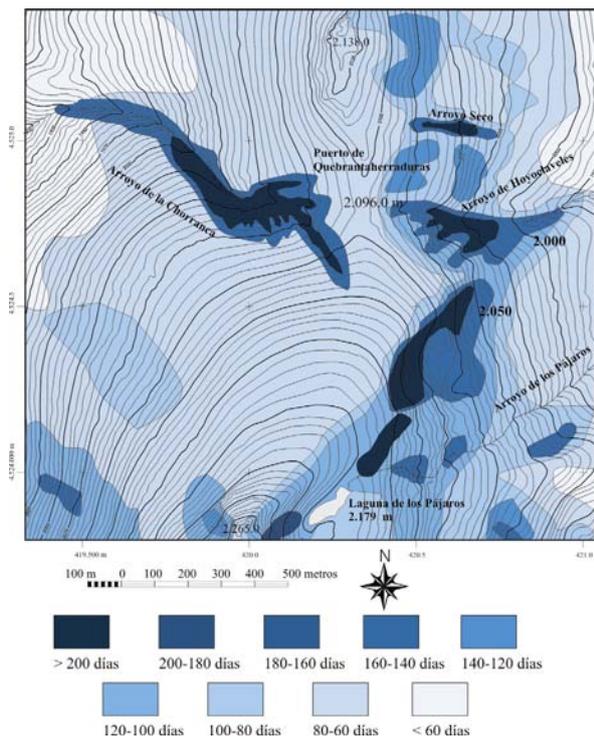


Figura 47.- Mapa de permanencia de la nieve en área del Puerto de Quebrantaherraduras (periodo 1992-2002) (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2004).



Figura 48.- Disimetría en la acumulación nival en la cabecera del Arroyo de la Chorranca, vertiente occidental del Puerto de Quebrantaherraduras (22 de febrero de 2002).

casos citados, se ha dividido el área de los nichos por su grado de actividad, según el mismo criterio aplicado al Arroyo de la Chorranca.

La misma disimetría observada en las características geomorfológicas entre las dos vertientes se da en la distribución de la nieve (Figura 47). La mayor parte de la vertiente occidental y del área de cumbres tiene una acumulación mínima, inferior a los 80 días al año para el periodo de observación (1992-2002). La excepción se da en la cabecera del Arroyo de la Chorranca, en cuya margen izquierda la acumulación supera los 180

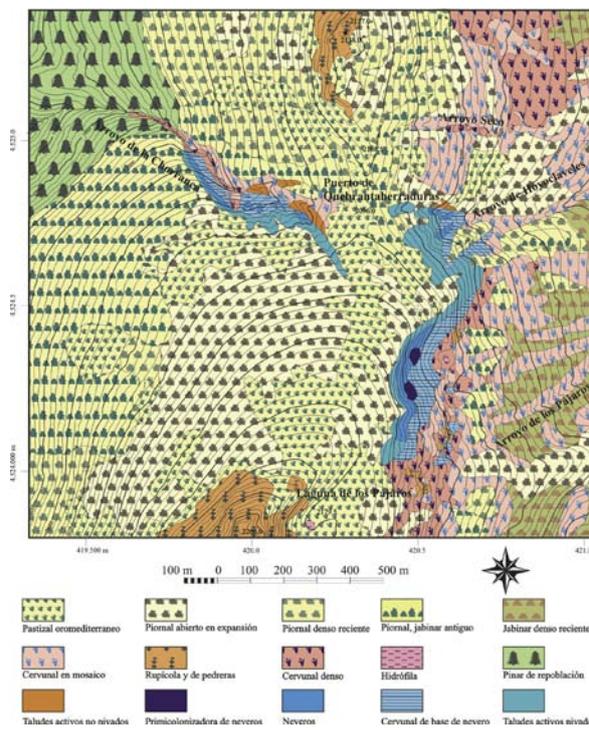


Figura 49.- Mapa de distribución de la vegetación del área del Puerto de Quebrantaherraduras (adaptado de Palacios, Andrés y Luengo, 2004).

días al año, e incluso en algunos sectores, los 200 días al año (Figura 48). Por lo general, la parte superior de la vertiente oriental acumula más nieve que la occidental, con más de 120 días al año como media. Aquí también hay áreas de máxima permanencia de la nieve, por encima de los 200 días al año, situadas en este caso en la cabecera del Arroyo de Hoyoclaveles, en el interior de Arroyo Seco y en los rellanos situados por encima del Arroyo de los Pájaros. Todas las áreas donde la nieve permanece más de 180 días al año presentan las mismas características topográficas: su orientación predominante es la noreste y se sitúan en laderas de fuerte desnivel ($> 25^\circ$), dispuestas inmediatamente por debajo de bruscas roturas de la pendiente.

En el área de estudio, la distribución biogeográfica presenta el mismo contraste entre las vertientes que en el caso de la geomorfología y la acumulación nival (Figura 49). En concreto, la distribución de la vegetación en la mayor parte de la vertiente occidental presenta la clásica distribución de los pisos oromediterráneo y criomediterráneo. En la base de la ladera aparece una vasta repoblación de *Pinus sylvestris*. Por encima de los 1.975 m, se desarrolla un piornal-jabinar, donde el enebro (*Juniperus communis* subsp. *alpina*, en su mayoría, y subsp. *hemisphaerica*) supera ligeramente la cobertura del piorno y donde en situaciones termófilas también aparece el codeso (*Adenocarpus hispanicus*). Por encima, a partir más o menos de los 2.075 m, se desarrolla un piornal abierto en clara

expansión, según el contraste de la fotografía aérea de 1972 y de 2001. Se trata del piornal guadarrámico típico, descrito como *Senecioni carpetani-Cytisetum oromediterranei* Rivas-Martínez 1964. En algunos sectores, en las últimas décadas se ha formado un piornal denso monoespecífico de gran talla y cobertura cercana al 100%, sin apenas estrato herbáceo, subasociación *Senecioni carpetani-Cytisetum oromediterranei cytisetosum oromediterranei* Rivas-Martínez, Belmonte *et al.* 1987. En las áreas cimeras o muy expuestas al viento, el piornal es substituido por un pastizal psicroxerófilo de escasa cobertura en el que se mezclan comunidades seriales del piso oromediterráneo, *Hieracio castellani-Festucetum curvifoliae* Rivas Martínez & Cantó 1987, y pastos del piso bioclimático superior, el crioromediterráneo, *Hieracio myriadeni-Festucetum curvifoliae* Tüxen & Oberdorfer 1958, pudiéndose encuadrar el ecotono de ambas comunidades en la subasociación *Hieracio castellani-Festucetum curvifoliae hieracetosum myriadeni* Fernández González 1991. Por encima de esta formación se desarrollan las formaciones rupícolas y de pedreras anteriormente citadas. Esta distribución en cinturones altitudinales se rompe en la cabecera del Arroyo de la Chorranca, justo en el mismo sector donde la nieve supera los 180 días de permanencia en el suelo como media.

En la vertiente oriental, por efecto de la nieve, la vegetación aparece formando un mosaico muy complejo. Hasta los 2000 m, la vegetación aparece organizada en bandas longitudinales a la pendiente, siendo escasos los piornales, relegados a espolones y lomos, y más abundantes las bandas de jabinares y cervunales. Aquí el jabinar es denso y en franca expansión, subasociación *Senecioni carpetani-Cytisetum oromediterranei juniperetosum alpinae* Rivas-Martínez *et al.* 1987. En las áreas más secas el jabinar es substituido por un pastizal, asociación *Hieracio castellanum-Festucetum curvifoliae* Rivas-Martínez 1964, con piornos y en menor

medida con jabinos. En áreas de mayor humedad se desarrolla un cervunal (*Nardus stricta*) en el que abunda la gramínea *Festuca iberica*, asociación *Campanulo herminii-Festucetum ibericae*, Rivas-Martínez 1964; en condiciones de mayor higrofilia aparece en los bordes de los arroyos la asociación *Campanulo herminii-Festucetum rivularis* Rivas-Martínez *et al.* 2001; y en las áreas encharcadas, el *Luzulo carpetanae-Pedicularietum sylvaticae* Tüxen & Oberdorfer 1958.

Por encima de estas formaciones, en la serie de nichos nivales situados en la parte superior de la vertiente oriental y en el Arroyo de la Chorranca (Figuras 50 y 51), en la vertiente occidental, se desarrolla una vegetación propiamente quionófila. La base de los nichos está cubierta por un cervunal quionófilo, con un pasto siempre verde de *Festuca iberica* dominante, y cervuno (*Nardus stricta*), recientemente descrito como la comunidad *Plantagini penyalarensis-Festucetum ibericae* Rivas-Martínez *et al.*, 2001. Aparecen también otras especies impropias del cervunal como *Cryptogramma crispa*, *Senecio pyrenaicus*, *Gentiana lutea*, *Sedum candollei*, *Silene elegans* y *Campanula herminii*, que lejos de su hábito disperso, se desarrollan aquí en agrupaciones monoespecíficas. Por encima de este cervunal quionófilo, las condiciones de ausencia de suelo mínimamente evolucionado y su movilidad permiten únicamente la colonización por especies poco exigentes edáficamente, como son las crasuláceas *Sedum brevifolium* y *Sedum candollei* y otras como la gramínea *Agrostis trunctatula*. En condiciones extremas, de máxima permanencia de la nieve, aguantan las anuales *Sedum candollei* y *Agrostis trunctatula*, y esporádicamente las vivaces *Luzula campestris*, *Poa cenisia* y alguna más que puede desarrollar un ciclo vegetativo tan extraordinariamente corto, aunque protegidas de los rigores térmicos por el manto nival y favorecidas por la humedad del deshielo en pleno rigor estival.



Figura 50.- Canal nival en las proximidades del arroyo de Hoyoclaveles, vertiente oriental del puerto de Quebrantaherraduras (3 de junio de 2003).



Figura 51.- Canales nivales en la cabecera del arroyo de la Chorranca, vertiente occidental del puerto de Quebrantaherraduras (3 de junio de 2003).

Por encima de este sector de máxima nivación se desarrolla un substrato pedregoso muy inestable sobre el que se instala una bien definida asociación, la *Digitali carpetanae-Senecionetum carpetani* Rivas-Martínez 1964, que presenta variaciones en su composición florística según las características granulométricas y de estabilidad del sustrato, aunque siempre están presentes *Paronychia polygonifolia*, *Senecio carpetanus*, *Linaria saxatilis*, *Cryptogramma crispa* y en proporción variable *Biscutella gredensis*, *Koeleria crassipes*, *Solidago fallit-tirones*, entre otras.

Existen algunas áreas activas no nivales, fundamentalmente en laderas socavadas por los arroyos. Estas áreas también acogen una cobertura vegetal muy pobre, menor del 25%, pero tienen una composición florística muy diferente a las nivales. Aquí las especies predominantes son: *Agrostis truncatula*, *Senecio pyrenaicus*, *Sedum brevifolium*, *Avenella iberica*, *Leontodon bourgeanus* y *Minuartia bigerrensis*.

DINÁMICA NIVAL Y EROSIÓN EN LAS CUENCAS DE LA CONDESA Y VALDEMARTÍN

Además del macizo de Peñalara, se ha estudiado la interacción entre la nieve y la erosión en el nacimiento del río Manzanares y, más en concreto, en las cuencas de sus dos afluentes iniciales: el arroyo de la Condesa y el de Valdemartín (Figura 52). La cuenca de la Condesa está comprendida entre las cumbres de la Maliciosa (2227 m; 40° 46' 10" N y 3° 58' 00" W), límite meridional del área de estudio; el Alto de las Guarramillas (2258 m; 40° 47' 10" N y 3° 58' 35" W), extremo occidental; y el Cerro de Valdemartín (2282 m; 40° 47' 40" N y 3° 57' 40" W) (Figura 53). La cuenca de Valdemartín está enmarcada entre esta última cumbre y la de la Cabeza de Hierro Menor (2.373 m, 40° 47' 56" N y 3° 56' 10" W), altitud máxima del área de estudio y su extremo oriental (Figura 54).

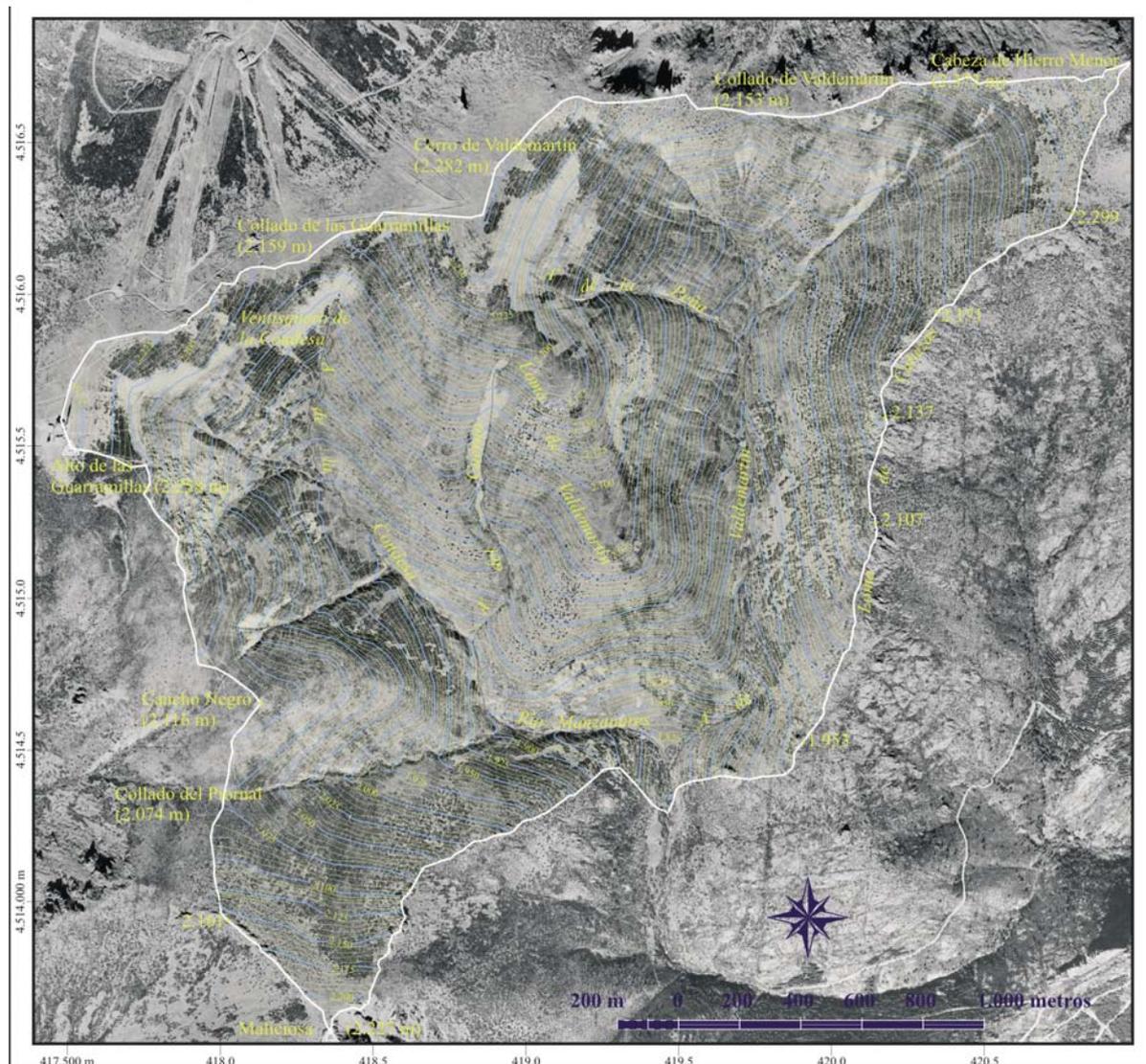


Figura 52.- Ortofoto (1998), con mapa topográfico superpuesto, de las áreas de estudio: Cuencas del Ventisquero de la Condesa y Valdemartín.



Figura 53.- Foto de la vertiente oriental de la Cuenca del Ventisquero de la Condese y Alto de las Guarramillas (2258 m), desde el Cerro de Valdemartín (2276 m). La mayor parte de esta vertiente está intensamente afectada por la erosión nival (25 de mayo de 2003).



Figura 54.- Foto de la vertiente sur-occidental de la Cuenca del Arroyo de Valdemartín y Cabeza de Hierro Menor (2373 m) desde el Cerro de Valdemartín. En contraste con las vertientes orientales, ésta destaca por la regularidad de sus formas, a excepción de algunos canales ligeramente remodelados por la acción nival (7 de junio de 2004).

Las cuencas de la Condese y Valdemartín presentan grandes similitudes geomorfológicas entre sí, debido a su común apertura hacia el sur, de tal manera que en ambas se observa la misma disimetría entre sus vertientes orientales y occidentales. En las vertientes orientales el manto de alteración aparece ampliamente desmantelado y el relieve muestra, en ambas cuencas, una serie de formas nivales características. Por el contrario, en las vertientes occidentales se conserva mayoritariamente el manto de alteración y únicamente ha sido afectado, ocasionalmente, por procesos de remoción en masa e incisiones torrenciales.

En el área de estudio se han distinguido 13 tipos de formas del relieve diferentes (Figura 55). En primer lugar, se han cartografiado los afloramientos rocosos sin diferenciar su origen. La mayor parte de estos afloramientos son tors, localizados principalmente en las crestas y lomos de los interfluvios. En este orden también se ha incluido la pared rocosa bajo el Alto de las Guarramillas, si bien ésta podría tener un origen en la excavación glacial o protoglacial. En su base no se han encontrado morrenas, pero la abundancia de rocas aborregadas induce a pensar en esta posibilidad. Esta unidad en su conjunto ocupa el 8% del área de estudio,

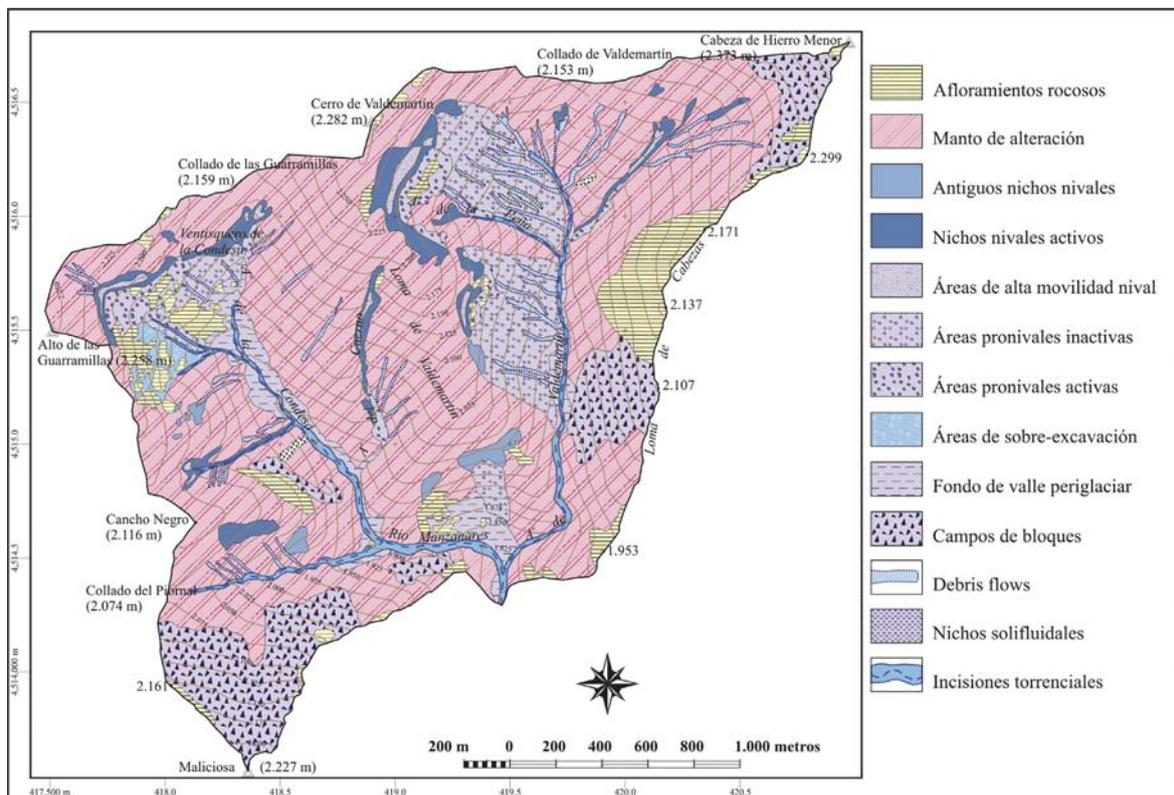


Figura 55.- Mapa geomorfológico de la cuenca Ventisquero de la Condese / Valdemartín (adaptado de Andrés y Palacios, 2004).



mientras que las formas cartografiadas como manto de alteración suponen el 57% del área y, como ya se ha destacado, dominan en las vertientes occidentales de las cuencas.

Las formas que se han considerado nivales ocupan el 15,4% del total del área de estudio, pero al ser el objeto principal de este trabajo se han dividido en dos grupos: la áreas puramente nivales (5,4% del total), cuya morfología es propia de los nichos de nivación (Figura 56) y se debe al estacionamiento de neveros de larga duración; y las áreas pronivales (10% del total), situadas ladera abajo de los nichos anteriores y que han sido remodeladas por el prolongado aporte de agua desde ellos (Figura 57). Dentro de los nichos de nivación, se han diferenciado entre: nichos no activos (0,9% del total del área), donde, para un periodo de 5 años, se han removido menos del 25% de los bloques señalados; nichos activos (3,9%), donde se han removido entre el 25 y el 80% de los bloques; y áreas de máxima actividad (0,6%), donde se han removido más



Figura 56.- Nicho nival en el Ventisquero de la Condesa (10 de junio de 2003).



Figura 57.- Foto de un nicho nival en la vertiente sur-oriental del Cerro de Valdemartín (10 de junio de 2003). En el nicho se diferencian las tres bandas características de una terraza de nivoplanación: la franja superior donde aflora el manto de alteración en proceso de dismantelamiento; una central formada por un rellano donde aflora la roca fresca y una franja más baja, donde se forman importantes coladas de solifluxión pronival.

del 80% de los bloques en los citados 5 años. Estas áreas se sitúan siempre en el interior de los nichos. Dentro de las áreas pronivales, se han diferenciado entre las inactivas (7,8% del total) y las activas (2,2%), siguiendo el mismo criterio que en los nichos.

Algunas depresiones situadas entre umbrales rocosos de la pared bajo el Alto de las Guarramillas, se han clasificado como depresiones de sobre-excavación (0,6% del área total), sin entrar a considerar si esta fue glaciario o nival, ya que no es el objeto de este trabajo. Dentro de las formas periglaciares, se han distinguido dos: los fondos planos de los valles (3,8% del área total), comunes en las dos cuencas, rellenos claramente en periodos fríos, donde las corrientes de agua no tenían capacidad de transporte, y los campos de bloques de las áreas cimerales (10,6% del total del área). Estos últimos se localizan en la ladera de la Maliciosa, la única que tiene una orientación claramente septentrional, y en algunos sectores de la vertiente occidental de la Loma de Cabezas, en este caso siempre bajo grandes afloramientos rocosos. Los campos de bloques son muy similares a los de otros sectores de la Sierra (Palacios *et al.*, 2000), formados por grandes bloques, dispuestos en lóbulos, con bloques más pequeños y finos en su núcleo. En la base de este nivel de bloques aparece siempre el manto de alteración descrito anteriormente.

Dentro de las formas de ladera, tienen importancia morfológica las coladas de derrubios o *debris flows*, no por su extensión superficial (ocupan sólo un 2,4% de la superficie), si no por el papel que pueden suponer en la propia evolución de las laderas. Son abundantes en las áreas pronivales, donde cruzan y drenan las coladas de solifluxión. Aunque en menor proporción, también se encuentran en vertientes poco nivadas. Se diferencian de las incisiones torrenciales por no estar jerarquizados y por que su sistema de drenaje es deficiente. Aunque es evidente, que como en otras áreas del Sistema Central (Palacios *et al.*, 2003 b), muchos de estos *debris flows* fueron capturados e incorporados a la red de drenaje. También se han localizado y delimitado algunos nichos solifluídales que no están relacionados con las áreas pronivales y que tienen una extensión mínima (0,1% del área total). Por último, se consideran incisiones torrenciales los canales que se encuentran jerarquizados y que al menos son recorridos por corrientes de agua estacionales (2,1% del área total).

En definitiva, el área de estudio está ocupada en su gran mayoría por formas relacionadas cronológicamente con el manto de alteración: afloramientos del propio manto de alteración, *tors* y campos de bloques periglaciares, con una extensión del 75,6% del total de la superficie. Del 24,4% restante, que se pueden calificar como formas holocenas activas o semiactivas, el 63,1% (15,4% del total de la superficie) son nivales.

De todos los periodos de permanencia de nieve establecidos en las superficies de las dos cuencas (Figura 58), los dos extremos cubren superficies pequeñas: el de más de 219 días ocupa el 1,2% de la superficie y el de menos de 60 días el 1%. Destaca por su mayor extensión el de 80 a 99 días, que ocupa el 26% del total. El segundo más abundante es el de 180 a 199 días, que ocupa el 15%. El resto de los periodos son muy homogéneos y se encuentran entre el 7% , para el de 160 a 179 días, y el de 11% para el periodo de 100 a 119 días (Figura 59).

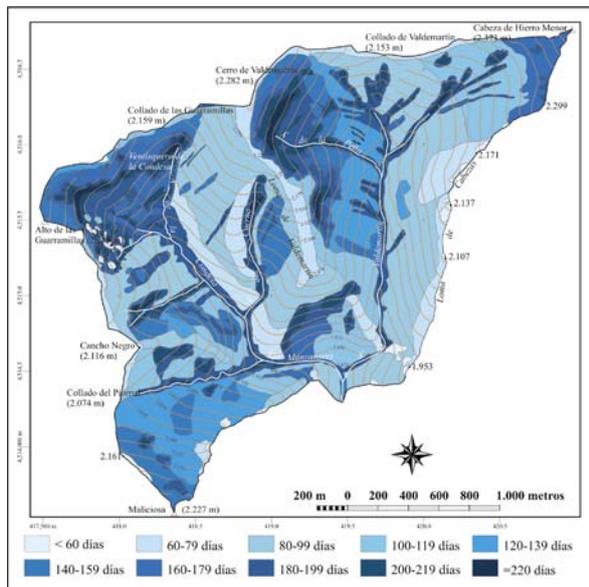


Figura 58.- Mapa de permanencia de la nieve en la cuenca Ventisquero de la Condesa / Valdemartín, del periodo 1996-2004 (adaptado de Andrés y Palacios, 2004).

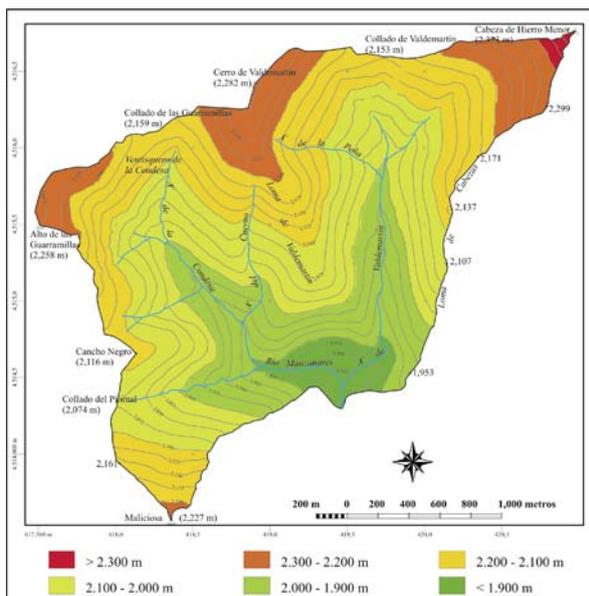


Figura 60.- Mapa de altitudes de la cuenca Ventisquero de la Condesa / Valdemartín (adaptado de Andrés y Palacios, 2004).

Con la herramienta SIG *ArcGis*, se realizó el análisis de las relaciones existentes entre las formas de relieve, la duración de la nieve en el suelo y las características orográficas del área de estudio. Los datos topográficos se han extraído de la base cartográfica digital, en formato .dgn, proporcionada por la Comunidad de Madrid a escala 1/5.000. Se han empleado las capas con datos de alturas (curvas de nivel, cotas y puntos de apoyo) para la creación del TIN, del que se ha conseguido en formato raster la información de alturas, pendientes y orientaciones. El rango de altitudes comprendido entre los 1.795 y los 2.373 m se ha dividido en cuatro clases iguales y dos abiertas en los extremos (Figura 60). La inclinación del terreno medida en grados se ha



Figura 59.- Muro de protección en el Ventisquero de la Condesa, restos de una dilatada tarea de aprovechamiento de la nieve para abastecer las necesidades de la población de Madrid (10 de junio de 2003).

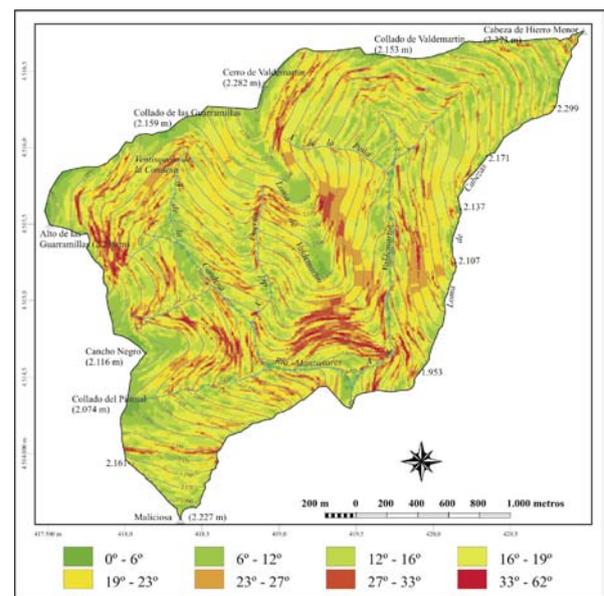


Figura 61.- Mapa de pendientes (en grados) de la cuenca Ventisquero de la Condesa / Valdemartín distribuidas en rangos naturales (principales rupturas de pendientes) según el programa *ArcGis* (adaptado de Andrés y Palacios, 2004).



clasificado en ocho categorías (Figura 61) divididas por rupturas de pendiente –según el gráfico de distribución de la variable que ofrece ArcGis para elaborar un mapa de pendientes, donde se nota que el 50% de la superficie de la cuenca tiene pendientes que oscilan entre 12 y 19°, el 2% posee inclinaciones inferiores a 6° y sólo el 1,28% presenta desniveles superiores a los 33°. Por último, las orientaciones se han distribuido en ocho clases de 45° cada una y se ha generado un mapa (Figura 62) donde se observa que el 67,2% de la superficie de la cuenca Ventisquero de la Condesa-Valdemartín queda orientado entre el este y el suroeste y sólo un 1,1% se dispone hacia el noroeste.

En las formas nivales se observan afinidades de las distintas unidades por determinados escalones

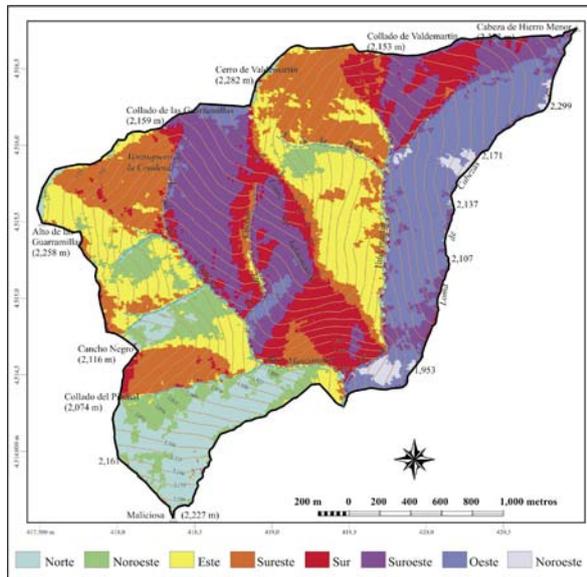
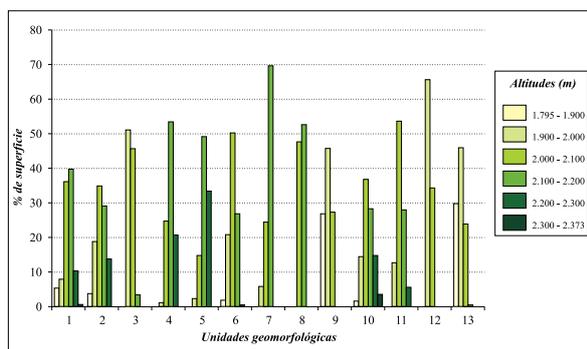


Figura 62.- Mapa de orientaciones de la cuenca Ventisquero de la Condesa / Valdemartín (adaptado de Andrés y Palacios, 2004).

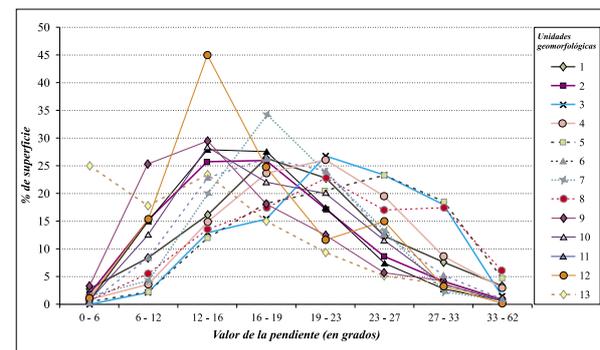


Altitudes (en metros)	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS (% superficie)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.795-1.900	5,24	3,61	0,00	0,00	0,00	1,97	0,00	0,00	26,93	1,60	0,00	0,00	29,84
1.900-2.000	7,87	18,97	50,90	1,11	2,41	20,68	5,77	0,00	45,73	14,70	12,68	65,62	46,06
2.000-2.100	36,03	34,80	45,61	24,74	14,97	50,21	24,52	47,49	27,34	36,84	53,82	34,38	23,90
2.100-2.200	39,88	28,85	3,49	53,32	49,15	26,79	49,71	52,51	0,00	28,37	27,79	0,00	0,19
2.200-2.300	10,40	13,77	0,00	20,84	33,46	0,33	0,00	0,00	0,00	14,95	5,71	0,00	0,00
2.300-2.373	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,54	0,00	0,00	0,00

Figura 63.- Porcentaje de superficie de cada una de las unidades geomorfológicas en cada uno de los rangos de altitud establecidos.

altitudinales (Figura 63). Los nichos nivales antiguos se encuentran localizados casi exclusivamente entre los 1900 y los 2100 m, con una mayor concentración en los primeros 100 m de este rango. Por el contrario, algo más del 50% de los nichos nivales activos se hallan entre los 2100 y los 2200 m con una escasa manifestación por debajo de los 2000 m y ausentes por encima de los 2300 m. Las áreas de alta movilidad nival muestran una distribución muy similar a la de los nichos activos, aunque tienen más extensión que éstos entre los 2200 y los 2300 m. Las áreas pronivales no se desarrollan por encima de los 2200 m: las activas tienen una presencia del 69,7% entre los 2100 y los 2200 m, mientras que la mayor parte de las inactivas (50%) se localizan 100 m más abajo y todavía extienden el 22,6% de su superficie en altitudes inferiores (frente al 5,7% en el caso de las activas).

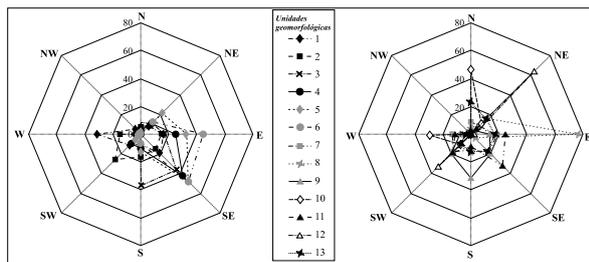
Las formas nivales también muestran preferencias por franjas específicas de pendientes (Figura 64). De esta manera, el 50% del área ocupada por los antiguos nichos nivales se encuentra entre los 17 y 27°, aunque su presencia en inclinaciones mayores no es despreciable (18% entre 27 y 33°). Los nichos nivales activos en el presente se localizan en laderas menos inclinadas (23,6% en pendientes de 16 a 19° y 26% con 19-23°), aunque las áreas de alta movilidad nival tienen su máxima extensión en desniveles mayores –el 23,4% con 23-27° de inclinación, el 20,4% entre 19 y 23° y el 18,6% entre 27 y 33°– e incluso tienen un desarrollo relativamente mayor, después de las áreas de sobre-excavación, en pendientes superiores a los 33°. Ladera abajo, las áreas pronivales se caracterizan por inclinaciones menores, con su máxima extensión sobre desniveles de 16-19°, aunque se observa una ligera diferencia según se trate de áreas inactivas o activas.



Pendiente (en grados)	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS (% superficie)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0-6	2,71	1,72	0,00	0,79	0,39	0,35	1,50	0,28	3,27	0,71	0,41	1,14	24,84
6-12	8,43	15,42	2,14	3,59	2,05	8,10	4,23	5,60	25,40	12,58	15,08	15,30	17,66
12-16	16,25	25,86	12,99	14,79	12,01	22,69	20,01	13,54	29,6	28,54	27,97	45,09	23,47
16-19	26,43	26,01	15,39	23,64	18,41	26,27	34,35	17,33	18,18	22,02	27,53	24,90	14,81
19-23	22,92	17,20	26,79	26,09	20,42	24,06	23,87	29,89	12,46	20,13	17,72	11,66	9,30
23-27	12,26	8,70	23,34	19,44	23,42	12,51	13,21	17,04	5,80	11,55	7,59	14,82	5,30
27-33	7,69	4,06	17,91	8,72	18,64	5,12	2,30	17,43	4,26	3,72	3,01	3,30	3,62
33-62	3,31	1,02	1,44	2,93	4,67	0,91	0,51	3,97	1,02	0,76	0,68	0,22	1,00

Figura 64.- Porcentaje de superficie de cada una de las unidades geomorfológicas en cada uno de los rangos de pendientes naturales.





* /	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
N	4,35	4,79	0,00	1,04	0,68	0,21	8,95	3,67	4,45	47,19	2,68	0,68	23,65
NE	7,97	8,50	10,59	10,63	1,80	0,32	7,97	16,73	2,90	10,52	2,77	64,07	15,49
E	13,42	14,76	16,73	24,38	31,91	44,47	17,02	76,71	12,86	1,35	25,34	2,04	17,48
SE	19,60	14,81	36,13	42,90	47,90	47,98	19,01	2,88	20,65	0,00	31,62	0,03	16,81
S	6,59	15,79	36,86	10,13	12,07	6,87	12,69	0,00	32,20	0,79	8,45	0,00	12,99
SW	11,16	25,71	0,00	8,48	5,06	0,15	18,50	0,00	18,95	10,26	17,87	33,18	9,96
W	31,22	14,72	0,00	2,38	0,58	0,00	14,77	0,00	7,97	29,08	11,28	0,00	3,54
NW	5,68	0,93	0,00	0,05	0,00	0,00	1,11	0,00	0,01	0,81	0,00	0,00	0,08

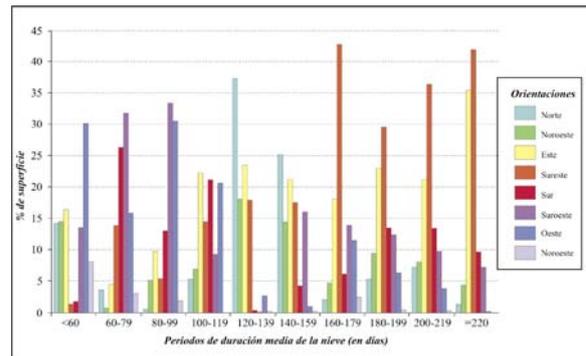
Figura 65.- Porcentaje de superficie de cada una de las unidades geomorfológicas en cada una de las orientaciones.

Mientras que las primeras se distribuyen uniformemente entre los tres escalones de pendientes de 12 a 23° (22, 26 y 24% de su superficie respectivamente), las áreas activas muestran una mayor concentración espacial en pendientes de 16 a 19° (34%) y una menor presencia en desniveles inferiores.

La orientación resulta también determinante en la distribución espacial de las formas nivales (Figura 65), que presentan una mayor extensión dispuesta hacia el sureste, aunque con algunas peculiaridades. En los nichos nivales antiguos, esta orientación dominante la comparten con las orientaciones sur (36% de la superficie para cada caso) y están ausentes de las laderas dispuestas hacia suroeste, oeste, noroeste y norte. Tampoco se encuentran en estas las áreas pronivales inactivas, que se desarrollan preferentemente mirando hacia el sureste (48%) y el este (44,5%). Estas mismas orientaciones son las preferidas por las áreas pronivales activas, aunque tienen una pequeña repre-



Figura 66.- Foto de la vertiente meridional del Collado de las Guarramillas (2159 m), cabecera del Arroyo de la Condesa, (5 de mayo de 2003). A pesar de la exposición meridional de la vertiente, la nieve se acumula en las laderas orientales de las cabeceras torrenciales.



* /	DURACIÓN DE LA NIEVE (en días)									
	<60	60-79	80-99	100-119	120-139	140-159	160-179	180-199	200-219	>219
N	14,22	3,58	0,55	5,26	37,32	25,29	2,09	5,25	7,10	1,31
NE	14,55	0,70	5,05	6,91	18,05	14,55	4,70	9,38	8,01	4,16
E	16,25	4,46	9,71	22,29	23,46	21,19	18,13	23,16	21,24	35,41
SE	1,33	13,89	5,43	14,48	17,92	17,51	42,68	29,65	36,44	41,94
S	1,74	26,35	13,05	21,08	0,27	4,25	6,13	13,50	13,44	9,78
SW	13,66	31,92	33,56	9,31	0,10	15,96	13,90	12,39	9,79	7,16
W	30,18	15,89	30,70	20,68	2,69	1,07	11,57	6,22	3,77	0,24
NW	8,08	3,21	1,94	0,00	0,19	0,18	0,80	0,45	0,21	0,01

Figura 67.- Porcentaje de superficie de cada una de las categorías de permanencia nival en cada una de las orientaciones en la cuenca Ventisquero de la Condesa / Valdemartín (adaptado de Andrés y Palacios, 2004).

sentación en disposiciones sureste (5,2%) y noreste (5,7%). Sobre las laderas orientadas hacia el sureste se desarrollan también gran parte de los nichos nivales activos (42,9% de su extensión), mientras que el resto se distribuye hacia el este (24,4%), noreste (10,6%) y sur (10,2%) (Figura 66). Por último, las áreas de alta movilidad nival presentan también una fuerte concentración espacial en orientaciones sureste (47,9%) y este (31,9%) y su presencia es mínima de suroeste a noreste.

La orientación es el criterio topográfico fundamental que condiciona el reparto de superficies cubiertas por la nieve durante distintos periodos de tiempo (Figura 67). El mayor porcentaje de superficie (30,2%) con permanencias inferiores a los 60 días al año se orienta hacia el oeste y el 45% se reparte de norte a este. Las áreas donde la nieve se mantiene entre 60 y 90 días se orientan en su mayoría hacia el suroeste, aunque también tienen cierta presencia en laderas encaradas hacia el sur y el oeste. Cuando la nieve supera los 99 días de permanencia, se empieza a apreciar una cierta preferencia por las exposiciones orientales y, así, la mayor superficie cubierta entre 100 y 119 días se orienta hacia el este, aunque todavía tiene cierta importancia la disposición hacia el oeste (20,7%). Entre 120 y 159 días de duración de la nieve, las mayores superficies aparecen en las laderas encaradas al norte, con escasa presencia las orientadas hacia el sur y noroeste, excepto para el caso de un 16% de superficie expuesta al suroeste y protegida entre 140 y 159 días. La nieve que perdura más de 159 días escasea en las orientaciones de noroeste a noreste y en cambio presenta sus máximas concentraciones en las laderas dirigidas hacia el suroeste, con máximos secundarios localizados hacia



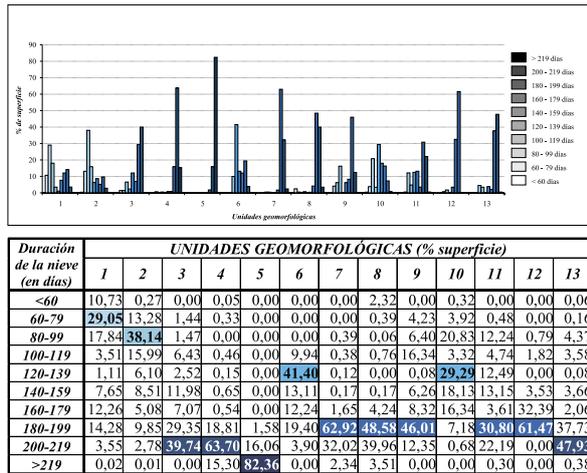


Figura 68.- Porcentaje de superficie de cada una de las unidades geomorfológicas cubierta por las diferentes grupos temporales de permanencia nival en la cuenca Ventisquero de la Condesa / Valdemartín (adaptado de Andrés y Palacios, 2004).

el este. El caso extremo lo constituyen las laderas cubiertas más de 219 días por el manto nival, ya que el 77,4% de su superficie se encuentra encarada entre el este y el sureste.

Al relacionar las distintas unidades geomorfológicas con los rangos de permanencia de la cobertura nival, se observan claras afinidades (Figura 68). Las unidades geomorfológicas nivales se caracterizan por una elevada permanencia de la nieve sobre el suelo. Los nichos nivales antiguos, expuestos hacia el este y el sureste, permanecen en un 69% cubiertos por el manto nival entre 180 y 219 días al año, no superan en ningún caso los 219 días y el resto de su superficie queda oculta bajo la nieve entre 60 y 179 días al año. En cambio, los nichos activos, con mayor extensión dispuesta hacia el sureste y localizados en cotas más elevadas que los anteriores, conservan la nieve más de 180 días al año en el 97,8% de su superficie y en el 63,7% la permanencia nival oscila entre 200 y 219 días (Figura 69). Las áreas de alta movilidad nival son los lugares de mayor duración de la nieve (el 98,4% de su



Figura 69.- El nicho nival de la vertiente sur-oriental del cerro de Valdemartín (20 de mayo de 2003).

superficie queda cubierto más de 199 días al año). En el caso de las áreas pronivales activas, el 94,9% de su superficie queda cubierta entre 180 y 219 días al año por la nieve. Las áreas pronivales inactivas permanecen ocultas bajo la nieve entre 120 y 199 días al año, la mayor parte (41,4%) entre 120 y 139 días. Entre los 2000 y los 2200 m se localizan las áreas de sobreexcavación, que presentan pendientes entre 12 y 33° repartidas uniformemente por su superficie. Gracias a su exposición oriental dominante, la duración de la nieve es de 180-219 días al año en la mayor parte de su área (88,4%).

Para cuantificar el grado de relación existente entre la duración de la nieve, la estabilidad de las formas de relieve y las orientaciones se ha llevado a cabo un análisis estadístico en el programa ArcGis (Andrés *et al.*, 2006). La información de partida se ha introducido en el modelo en formato raster: una capa con los datos de duración de la nieve, otra capa de orientaciones reclasificadas en función de los vientos dominantes (1=dominios de barlovento / 8=dominios de sotavento) y una última capa con la información relativa a la inestabilidad de las formas (valoradas de 1 a 13).

En el análisis de correlaciones se ha tenido en cuenta que las orientaciones al resguardo de los vientos dominantes están relacionadas con mayores espesores de nieve, que hacen suponer una mayor probabilidad de permanencia sobre el suelo. De hecho, los resultados

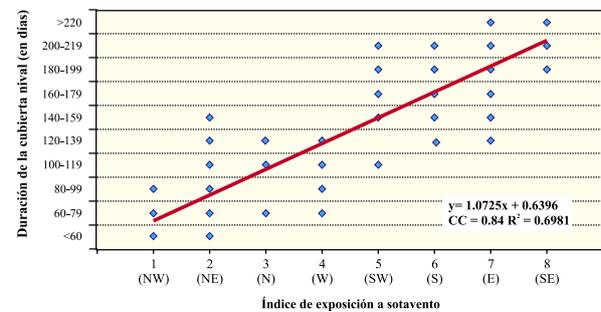


Figura 70.- Correlación entre la duración media de la cubierta nival en días y el índice de estabilidad erosiva en la cuenca Ventisquero de la Condesa / Valdemartín (adaptado de Andrés *et al.*, 2006).

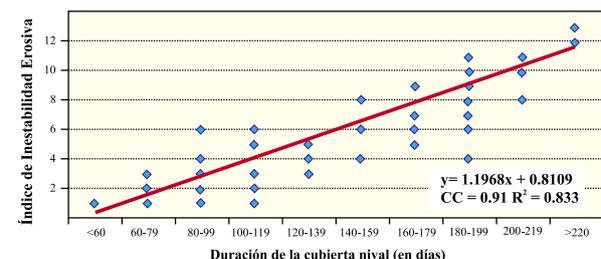


Figura 71.- Correlación entre la duración media de la cubierta nival en días y el valor medio de las orientaciones en la cuenca Ventisquero de la Condesa / Valdemartín (adaptado de Andrés *et al.*, 2006).

obtenidos indican que las exposiciones a sotavento condicionan el 70% de la variable “duración de la nieve” (Figura 70). A su vez, la duración de la cubierta nival condiciona en gran medida (coeficiente de correlación = 0,91) la actividad geomorfológica, como lo refleja el análisis de regresión (Figura 71).

DISCUSIÓN: EL ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS NICHOS NIVALES DEL GUADARRAMA

Los resultados del análisis realizado en el macizo de Peñalara y en la cabecera del río Manzanares permiten delimitar áreas, que reúnen unas características comunes relacionadas con la nieve, de tal manera que se pueden denominar áreas nivales activas. Estos caracteres son: una permanencia de la nieve superior a 180 días al año y a 200 para las áreas más activas; una cobertura vegetal específica por su carácter quionófilo, con una cubierta arbustiva sólo del 25%, incluso inferior al 5% en las áreas más activas; y una actividad erosiva destacada, donde se ha desplazado más del 50% de la superficie, en un periodo de observación mínimo de menos de 5 años, y más del 80% para los sectores de máxima actividad.

En realidad, las áreas con estas características son depresiones normalmente ocupadas por tres tipos de neveros bien conocidos en la toponimia local. El primero es un “canal” de nieve, el segundo caso se denomina “hoyo” de nieve y en el tercero “ceja” de nieve.

El concepto de nivación nació para resolver la búsqueda de una fase inicial en la serie evolutiva de las formas glaciares. El circo se consideraba la forma erosiva glacial más simple, si bien presentaba múltiples grados de evolución y crecimiento. Tras intensa polémica, se propuso como motor de ese crecimiento el conjunto de procesos erosivos que tenían lugar en la pared del circo (Johnson, 1904 y Penck, 1905). En la medida que el circo tuviese más capacidad de acumulación de nieve y hielo, tendría más capacidad de crecer (Davis, 1906). Pero, según esto: ¿cuál era el proceso que generaba una primera concavidad que permitiese, a su vez, el inicio de la primera acumulación glacial? Matthes (1900) había observado intensos procesos erosivos en las proximidades de neveros permanentes o de larga duración, que provocarían la sobre-excavación del terreno. Al conjunto de esos procesos los llamó “nivación” y a las formas derivadas, “nichos de nivación”. Hobbs (1910), siguiendo la lógica daivisiana, incorporó esta forma en el inicio de la evolución glacial; hipótesis que fue indiscutiblemente aceptada hasta la década de los 70 del pasado siglo y que todavía se mantiene en la gran mayoría de los manuales de geomorfología en uso. Hobbs (1910) aplicó su teoría a múltiples casos concretos y explicó muchas formas glaciares comple-

jas por el desarrollo y la coalescencia de formas nivales primarias. Ekblaw (1918) clasificó los nichos en tres tipos según su disposición con respecto a la ladera y ya intuyó que nichos nivales instalados en antiguos canales podrían hacer retroceder sus paredes y acabar por generar circos. Ahlmann (1919) propuso que el origen de los circos glaciares está en la remodelación nival de las cuencas en forma de embudo, creadas por desprendimientos en las paredes. Lewis (1936 y 1939) describió más en detalle la variedad morfológica de los nichos, los denominó: longitudinales, circos y transversales y vio una continuidad evolutiva entre los longitudinales y los circos. McCabe (1939) observó cómo la instalación de nichos de nivación en las cabeceras torrenciales podían originar su ensanche, sobre todo en su ladera de sotavento. Groom (1959) llegó a proponer que la incisión torrencial en una ladera generaba condiciones de acumulación de la nieve y podía provocar el inicio del proceso nival hasta llegar a dar origen a un glaciar. Rapp (1960) observó casos concretos, donde una concavidad formada por un deslizamiento acababa formando un nicho de nivación activo. Watson (1966) indicó que los circos nivales no retrocedían en todas sus laderas por igual, sino que lo hacían sobre todo en la de sotavento, por lo que se favorecía la formación de circos disimétricos.

St-Onge (1969) inició una nueva etapa, muy crítica, con el modelo evolutivo propuesto por Hobbs. En concreto, afirmó que la diversidad morfológica de nichos nivales obedecía a condicionamientos estructurales y no a su diferente grado de madurez. Con el desarrollo de la geomorfología climática, las críticas a Hobbs se intensificaron, poniendo en duda la validez de un modelo único, ante la diversidad de las condiciones climáticas (Derbyshire, 1976). En los años 70 del pasado siglo aparecieron los primeros trabajos experimentales sobre procesos nivales (Thorn, 1976). A partir de estos trabajos, la investigación sobre nivación se ha centrado casi exclusivamente en sus procesos, hasta llegar a negar la validez del término (Thorn, 1988), ya que no significa un proceso propio, sino que sólo aglutina otros procesos primarios. En realidad, desde entonces se abandona, casi por completo, el análisis morfológico. A veces, las escasas referencias a este aspecto parecen contradictorias. Así, Berrisford (1991) propone que los nichos crecen ladera abajo, mientras que Christiansen (1996) confirma la versión tradicional donde los nichos se amplían por el retroceso de la pared, ladera arriba. Tampoco los resultados sobre la eficacia de los procesos nivales son unánimes, aunque se acepta, de forma general, que sí son eficaces sobre materiales poco consolidados (ver, por ejemplo, Nyberg, 1991; Christiansen, 1998; y Thorn y Hall, 2002), especialmente en áreas áridas, donde la mayor parte de las precipitaciones son en forma de nieve (Christiansen, 1998; y Thorn y Hall, 2002).





Figura 72.- Nicho nival en un antiguo canal de *debris flows* en la vertiente meridional de Cabeza de Hierro Menor.



Figura 73.- Canal del Arroyo Seco, con escasa colonización vegetal a causa de la prolongada nivación.

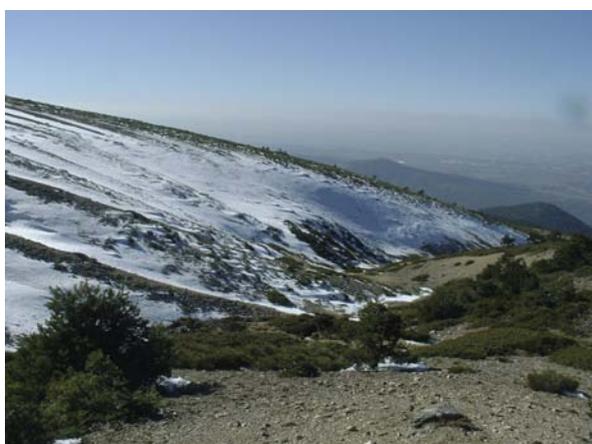


Figura 74.- Prolongada permanencia de la nieve en la vertiente nororiental de la cabecera del arroyo de la Chorranca, vertiente occidental del puerto de Quebrantaherraduras (22 de febrero de 2002).

La ausencia de un debate, en la actualidad, sobre la evolución de los nichos nivales deja a este trabajo sin puntos de referencia en la literatura científica actual. Sin embargo, son numerosas las referencias más antiguas que defendieron el hecho de que los nichos nivales pueden iniciarse a partir de la excavación originada sobre el terreno por un movimiento en masa (Ahlmann, 1919 y Rapp, 1960). En ese sentido, Rapp (1984 y 1986) y Raczkowska (1995 y 1997) citan numerosos ejemplos de nichos nivales originados en antiguos canales de *debris flows*. Ya hemos visto que muchos también argumentaron la idea de que los nichos longitudinales y antiguos canales se pueden remodelar, hacer retroceder sus laderas y convertirse en circos nivales (Ekblaw, 1918; McCabe, 1939; Lewis, 1939; Groom, 1959; Embleton y King, 1975). En varios casos, se observó que los circos, al crecer, modificaban su sistema de acumulación nival y, a la larga, su morfología (Groom, 1959 y Watson, 1966). También se ha propuesto la coalescencia de varios circos, como origen de las terrazas de crioplanación (Reger y Pewé, 1976; y Selby, 1985). Si bien el término de criopla-

nación puede resultar confuso, ya que, en realidad, la nieve es su único factor determinante (Thorn y Hall, 2002). En ese sentido, preferimos usar el término de “terrazas de nivoplanación”, para las plataformas nivales, transversales a la pendiente.

En realidad, la literatura sobre la morfología de nichos de nivación analiza formas aisladas, sin relacionarlas entre sí, a modo de eslabones sueltos de una cadena. Los resultados observados en el presente análisis permiten diseñar una teoría sobre cómo esas formas aisladas pueden ser en realidad distintas fases de un único proceso evolutivo.

El resultado del análisis geomorfológico, nival y biogeográfico efectuado permite formular una hipótesis de trabajo para futuras investigaciones, donde se aplique una experimentación más minuciosa y completa. Esta hipótesis admitiría la posibilidad de que todas las formas desarrolladas por los nichos de nivación en la Sierra de Guadarrama son en realidad fases de un mismo proceso evolutivo.

En laderas regulares, de suaves pendientes y sin roturas bruscas de la pendiente, como son las que genera un manto de alteración bien evolucionado, la nieve no se acumula. Como de hecho es frecuente en la Sierra, esta regularidad se puede romper por el desencadenamiento de deslizamientos o flujos tipo *debris flow*, en época de intensas precipitaciones o deshielo. Estos movimientos en masa generan depresiones coronadas por agudas roturas de la pendiente. A partir de este momento, esta cuenca o canal pasa a ser receptor de nieve (Figura 72). La nieve impide la colonización vegetal o la permite con una cobertura mínima, por lo que las laderas del canal se mantienen geomorfológicamente activas y tienden a retroceder (Figura 73). La amplitud del canal provoca, a partir de una determinada anchura, que la nieve se acumule únicamente en una de sus laderas, mientras que la otra, situada a barlovento, permanece la mayor parte del año, libre de nieve (Figura 74).



Figura 75.- Foto del sector final del Arroyo Alto, antes de su confluencia con el Arroyo de Valdemartín (20 de mayo de 2003). A pesar de que la vertiente tiene una orientación suroeste, la menos propicia para la acumulación nival, la nieve se acumula y persiste durante toda la primavera sólo en la vertiente suroriental del canal.



Figura 76.- Nicho disimétrico en el arroyo de la Cuerna, en la vertiente meridional del cerro de Valdemartín (10 de junio de 2003).



Figura 77.- Canal disimétrico, bajo el Cacho Negro (6 de junio de 2003). Obsérvese la disimetría de la actividad erosiva nival, localizada únicamente en las vertientes orientales de dicha cabecera.

En el caso de la Sierra de Guadarrama, la ladera del canal que recibe la acumulación nival será siempre la del cuadrante este al noreste, sin relación con que el canal esté en la vertiente occidental o incluso en la meridional (Figuras 75 y 76).

A partir de entonces, el hoyo tiende a deformarse lateralmente, por el retranqueo de una de sus laderas (Figura 77). De continuar esta evolución, el antiguo canal, se irá ensanchando, lo que le permitirá a su vez acumular más nieve, hasta formar un hoyo, con una pared transversal a la pendiente y con un amplio rellano en su base. El crecimiento de estos hoyos contiguos puede dar lugar a su coalescencia (Figuras 78 y 79). En cualquier caso, frente al rellano, a causa del aporte constante de las aguas pronivales, se forman extensas coladas de solifluxión, que tenderán a remover los materiales del manto de alteración. En este momento, el nicho ha adquirido una morfología en “ceja”, que coincide con la denominada científicamente “terrazza de nivoplanación” (Figuras 80 y 81).



Figura 78.- Hoyos coalescentes bajo el Cacho Negro (10 de junio de 2003).



Figura 79.- Foto de la vertiente meridional del Collado de las Guarramillas (2159 m), cabecera del Arroyo de la Condesa (5 de mayo de 2003). A pesar de la exposición meridional de la vertiente, la nieve se acumula en las laderas orientadas al este de las cabeceras torrenciales. La acción nival ha provocado la coalescencia de las mismas, pasando de ser un serie de “hoyos” para llegar a formar una “ceja”.



Figura 80.- Foto del nicho nival en el Ventisquero de la Condessa (7 de junio de 2003), en forma de ceja, aunque quedan vestigios de su origen en la coalescencia de antiguos hoyos.



Figura 81.- Nicho de nivación en la vertiente oriental del Puerto de Quebrantaherraduras, en la cabecera del Arroyo de los Pájaros (13 de agosto de 2003).

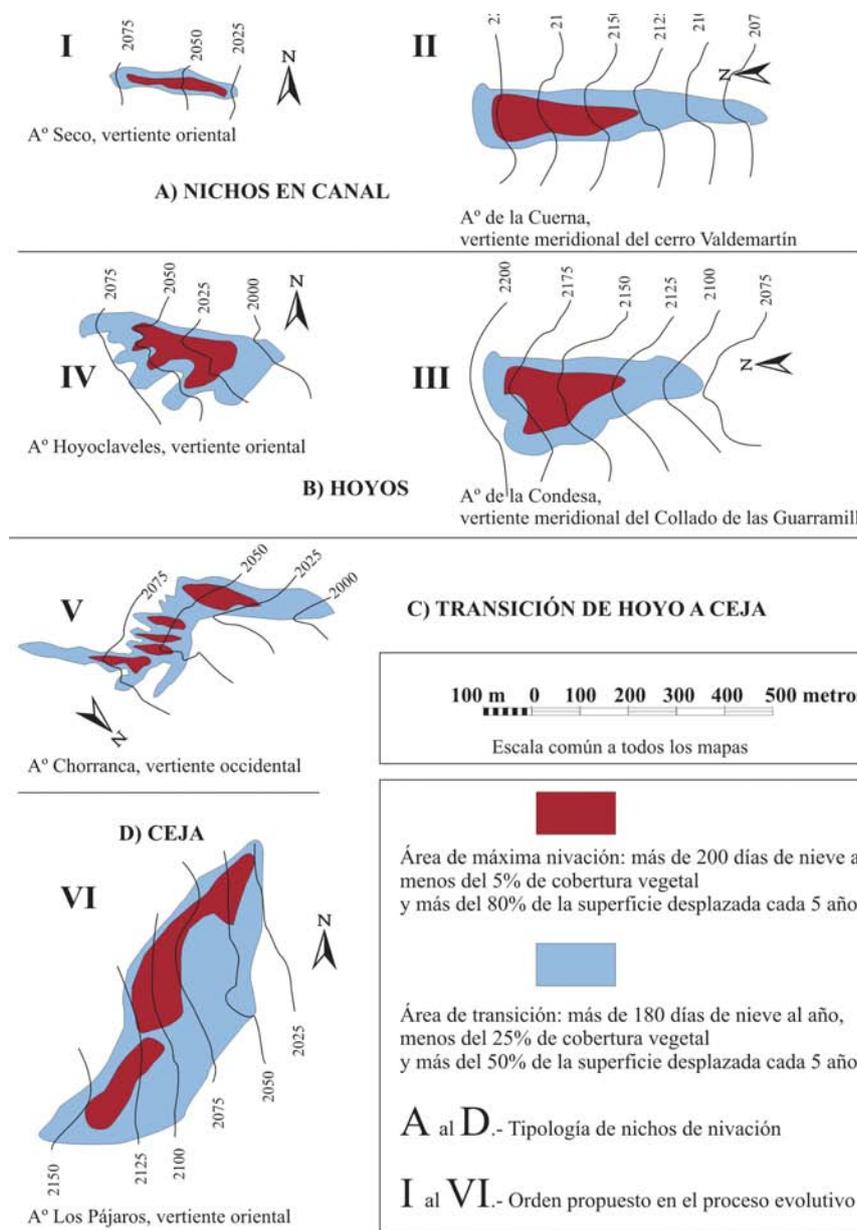


Figura 82. Tipología de formas nivales en la Sierra de Guadarrama y su posible orden evolutivo (adaptado de Andrés y Palacios, 2004).

Lo normal es que estos eventos masivos, en realidad principal causa del inicio del proceso descrito, sucedan en áreas próximas, ya que se pueden dar las circunstancias favorables de: a) máxima profundidad del manto de alteración por una adecuada preparación tectónica de la roca; y b) concavidad en la topografía que permita concentrar la afluencia de aguas subterráneas. Estas circunstancias son las que, por ejemplo, se dan de forma evidente en ambas vertientes los Puertos de Quebrantaherraduras y Guarramillas. En casos de múltiples eventos masivos próximos, cada canal generado por ellos sufrirá el proceso de transformación descrito a causa de la acumulación nival. Pero su progresiva ampliación lateral tendrá el límite impuesto por la confluencia con el canal más próximo. La coalescencia, por lo tanto, de múltiples canales tendrá como resultado la yuxtaposición de múltiples terrazas de nivoplanación.

A partir de estas observaciones, los nichos nivales analizados, sobre todo en áreas no glaciadas, se podrían ordenar según su estadio evolutivo (Figura 82). A partir de este orden, se puede formular una hipótesis sobre el origen y evolución de los nichos nivales en la Sierra de Guadarrama (Figura 83). Esta hipótesis permite explicar por qué se acumula la nieve con tanta intensidad en la actualidad en muchos nichos, a pesar de no haber sido áreas glaciadas. La razón se explica por el hecho de que los procesos de ladera que generaron la cuenca inicial de acumulación nival habrían sido post-glaciares. Por otro lado, la hipótesis sirve para explicar la ubicación de muchos circos glaciares guadarrámicos, cuyo inicio habría estado en relación con la última fase evolutiva de un nicho nival. En cualquier caso, las conclusiones de este estudio aportan

sólo una hipótesis de trabajo, que debe ser demostrada a través de una prolongada experimentación científica, que una la monitorización de la intensidad de los procesos con la tendencia evolutiva de la forma.

CONCLUSIONES

A pesar de la escasa altitud y latitud, la nivación es el agente más importante en la remodelación actual del macizo de Peñalara y otras áreas cimera del Guadarrama. Los neveros de larga duración (más de 200 días al año) se sitúan siempre por encima de los 2000 m de altitud, a sotavento de los obstáculos topográficos frente a los vientos dominantes del oeste, acumulándose principalmente en laderas que miran al este y sureste, o incluso al sur. Las consecuencias geomorfológicas de estos neveros son mínimas cuando se asientan sobre formas erosivas glaciares, predominantes en la vertiente oriental. Sin embargo, su acción es muy efectiva cuando se sitúan sobre el manto de alteración, donde socavan importantes nichos.

Esta eficacia erosiva se acentúa gracias a las características bioclimáticas de esta montaña mediterránea, ya que en las áreas donde la nieve supera los 200 días de permanencia, a causa de la escasez de precipitaciones estivales y a la alta evaporación, el suelo está desprotegido por completo de vegetación. De este modo, estas áreas sin vegetación son afectadas por los procesos derivados de las aguas de deshielo durante más de tres meses, precisamente los más áridos y estáticos, desde el punto de vista geomorfológico, en el resto de la montaña.

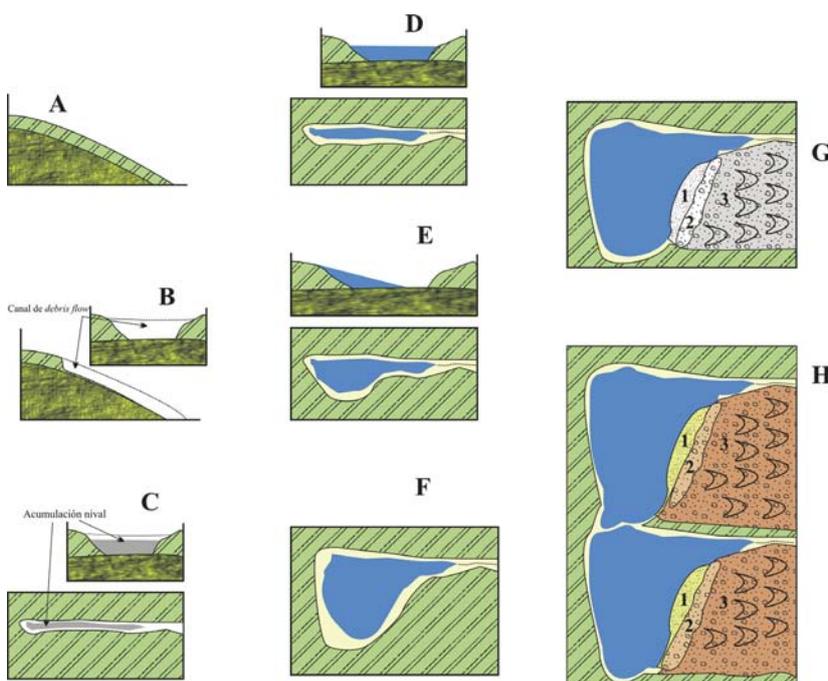


Figura 83. Hipótesis del modelo evolutivo de los nichos de nivación de la Sierra de Guadarrama, que terminaría formando terrazas de nivoplanación por coalescencia de nichos (adaptado de Andrés y Palacios, 2004). A) Ladera estable cubierta por un profundo manto de alteración. B y C) Formación de un canal de *debris flow*. D, E y F) Ampliación del canal y disimetría del mismo por acumulación nival en una de sus laderas. G) Formación de un hoyo nival en la cabecera del antiguo *debris flow*. H) Formación de una ceja por crecimiento lateral y coalescencia de los hoyos.



Esta relación entre la actividad erosiva y la cubierta vegetal es tan importante y sensible en esta montaña mediterránea, que cuando, durante un periodo de tiempo relativamente corto, la intensidad de las nevadas disminuye y, por tanto, la duración de la nieve no supera esos 200 días anuales, como ha ocurrido en los últimos treinta años en los sectores más externos de los nichos nivales estudiados, la vegetación coloniza estos sectores rápidamente y la actividad nival se paraliza por completo.

Por el contrario, en sectores donde la acumulación nival se acentúa, la actividad nival es tan eficaz, que es capaz de excavar nichos de cierta importancia en un periodo relativamente corto. Esto ocurrió cuando se formaron depresiones a partir de movimientos en masa sobre el manto de alteración, en vertientes donde no existieron glaciares pleistocenos. Estos nichos han aumentando su capacidad de acumulación nival de tal forma a lo largo del Holoceno, que en la actualidad, en ellos, la nieve permanece el mismo tiempo o más que en los antiguos circos glaciares.

Este trabajo pretende llamar la atención sobre la importancia que puede adquirir la nivación en las montañas mediterráneas, aspecto que no ha quedado reflejado anteriormente en la literatura científica. Sin embargo, se hace necesario la investigación en parcelas

experimentales para conocer cuál es exactamente la dinámica del modelado actual en estos nichos nivales mediterráneos, donde hay que determinar la interrelación entre todos los procesos derivados de la fusión nival, del aislamiento térmico de la nieve y de la dinámica vegetal. Esto se está aplicando en las parcelas experimentales del Parque Natural de Peñalara desde el año 2001 y cuyos resultados están a punto de ser publicados (ver unos primeros resultados en Marcos y Palacios, 2004).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de la Comunidad de Madrid (CAM 07M/0075/2000, CAM 07M/0055/2002 y CAM GR/AMB/0614/2004). En esta publicación se han incluido aportaciones de Julio Muñoz Jiménez, Arturo García Romero, Manuel García Sánchez-Colomer y Enrique Luengo Nicolau, procedentes de publicaciones conjuntas anteriores citadas en el texto. El Parque Natural de Peñalara ha colaborado con el trabajo de forma decisiva, facilitando la instrumentación y sirviendo de cauce al intercambio científico. Los autores dedican un especial agradecimiento a los vigilantes del Parque, que han tomado las medidas y fotografías de la nieve semanalmente y nos han prestado, de forma desinteresada, una gran ayuda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLMANN, H. W., 1919. Geomorphological studies in Norway. *Geografiska Annaler*, 1, 1-148 y 193-252.
- ANDRÉS, N. Y PALACIOS, D., 2004: Interrelación Nieve/ Geomorfología en la Sierra de Guadarrama: altas cuencas del Ventisquero de la Condesa y Valdemartín. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 30: 83-113.
- ANDRES, N.; GARCÍA, A.; MUÑOZ, J.; PALACIOS, D. (2006) Characterization of nivation areas in Mediterranean mountains: Manzanares Headvalley, Sierra de Guadarrama (Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, (en prensa).
- ASENSIO, I., ONTAÑÓN, J. M., 1972. Acumulaciones periglaciares en el Valle de las Guarramillas (vertiente septentrional de la Sierra de Guadarrama). *Estudios Geológicos*, 28 (6), 453-462.
- ASENSIO, I., ONTAÑÓN, J. M., 1975. Evolución de surcos de escorrentía sobre vertientes periglaciares. *Estudios Geológicos* 31, 625-627.
- BALLANTYNE, C. K., 1978. The hydrologic significance of nivation features in permafrost areas. *Geografiska Annaler*, 60A, 51-54.
- BALLANTYNE, C. K., BLACK, N.M.; FINLAY, D.P., 1989. Enhanced boulder weathering under late-lying snowpatches. *Earth Surface Processes and Landforms*, 14, 745-750.
- BALLANTYNE, C. K., HARRIS, C., 1994. *The Periglaciation of Great Britain*, Cambridge University Press.
- BERRISFORD, M.S. 1991. Evidence for enhanced mechanical weathering associated with seasonally late-lying and perennial snow patches, Jotunheimen, Norway. *Permafrost and Periglacial Processes*, 2(4): 331-340.
- BILLINGS, W.D., BLISS, L.C., 1959. An alpine snowbank environment and its effects on vegetation, plant development, and productivity, *Ecology*, 40: 388-397.
- BOWMAN, I., 1916. *The Andes of southern Peru*. American Geographical Society Special Publication, Washington, 295 pp.
- BRYAN, K., 1934. Geomorphic processes at high altitude. *Geographical Review*, 24, 655-666
- BULLÓN, T., 1977. Los fenómenos periglaciares de la Sierra de la Mujer Muerta (Sierra de Guadarrama). *V Coloquio de Geografía*. Granada, pp. 35-40.
- BULLÓN, T., 1988. *El Guadarrama Occidental*. Comunidad de Madrid, Madrid.



- BULLÓN, T., 1995. Hillslope erosion, environmental changes and land management on a Spanish mountain. *Physics and Chemistry of Earth*, 20 (3/4), 339-344.
- CAINE, N., 1979. Rock weathering rates processes in an alpine environment. *Catena*, 6, 131-144.
- CAINE, N., 1992a. Sediment transfer on floor of the Martinelli snowpatch, Colorado front Range, U.S.A., *Geografiska Annaler*, 74A, 133-144.
- CAINE, N., 1992b. Spatial patterns of geochemical denudation in a Colorado alpine environment. En Dixon, J.C.; Abrahams, A.D. (eds) *Periglacial geomorphology*, John Wiley & Sons Ltd, London, pp. 63-88.
- CAINE, N., 1995. Temporal trends in the quality of streamwater in an alpine environment: Green Lakes Valley, Colorado Front Range, U.S.A. *Geografiska Annaler*, 77 A (4), 207-220.
- CHRISTIANSEN, H.H., 1996. Nivation forms, processes and sediments in recent and former periglacial areas. *Geographica Hafniensia*, A4, Copenhagen, 185 pp.
- CHRISTIANSEN, H. H., 1998. Nivation forms and processes in unconsolidated sediments in Greenland. *Earth Surf. Process. Landforms*, 23, 751-760.
- DALY, C., 1984. Snow distribution patterns in the alpine krummholz zone, *Progress in Physical Geography*, 8 (2), 157-173.
- DARMODY, R.G.; THORN, C.E.; HARDER, R.L.; SCHYLTER, J.P.L. y DIXON, J.C., 2000. Weathering implications of water chemistry in an arctic-alpine environment, northern Sweden. *Geomorphology*, 34: 89-100.
- DAVEAU, S. 1971. La glaciation de la Serra da Estrela. *Finisterra*, 6 (11), 5-40.
- DAVIS, W.M. 1906. The sculpture of mountains by glaciers. *Scottish Geographical Magazine*, 22: 1-30.
- DERBYSHIRE, E. y EVANS, I.S. 1976. The climate factor in cirque variation. En: Derbyshire, E. (Ed.) *Geomorphology and Climate*, John Wiley, Londres, págs. 447-494
- DIXON, J.C.; THORN, C.E.; DARMONY, R.G.; SCHLYTER, P., 2001. Weathering rates of fine pebbles at the soil surface in Kärkevagge, Swedish Lapland. *Catena*, 45, 273-289.
- DYSON, J. L., 1937. Snowslide striations. *Journal of Geology*, 45, 549-557.
- DYSON, J. L., 1938. Snowline erosion. *Science*, 87, 365-366.
- EKBLAW, W.E. 1918. The importance of nivation as an erosive factor, and on soil flow as a transporting agency, in northern Greenland. *Proceedings National Academy of Science*, 4: 288-293.
- EMBLETON, C. y KING, C.A.M. 1975. *Periglacial Geomorphology*, Edward Arnold, Londres, 203 págs.
- EVANS, B.M. WALKER, D.A. BENSON, C.S. NORDSTRAND, E.A., PETERSEN, G.W. 1989. Spatial interrelationships between terrain, snow distribution and vegetation patterns at an arctic foothills site in Alaska, Holarctic *Ecology*, 12, 270-278.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F., 1988. *Estudio florístico y fitosociológico del Valle del Paular (Madrid)*. Tesis doctoral sin publicar, Facultad de Biología, Universidad Complutense, Madrid.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F., 1991. La vegetación del Valle del Paular (Sierra de Guadarrama, Madrid), *I. Lazaroa*, 12, 153-272.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F., 1999. La flora y la vegetación del Parque Natural de Peñalara y del Valle de el Paular (Madrid): implicaciones en la conservación de la biodiversidad. *Primeros encuentros científicos del Parque Natural de Peñalara y del Valle del Paular*. Comunidad de Madrid, pp. 179-196.
- FRÄNZLE, O., 1959. *Glaziale und periglaziale formbildung im östlichen kastilischen scheidegebirge Zentral-Spainen*. Bonner Geographische Abhandlungen, Bonn.
- GARCÍA, R., GONZÁLEZ, M.J., GONZÁLEZ J.A., JIMÉNEZ, R., 1992. Presencia de paleosuelos en formaciones crioclásticas cuaternarias en los valles de la cuenca del Tajo. En López, F. (edi) *Estudios de Geomorfología de España*. Sociedad Española de Geomorfología, Murcia, pp. 233-242.
- GAVILÁN, R., FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F., BLASIC, C., 1998. Climatic classification and ordination of the Spanish Sistema Central: relationships with potential vegetation. *Plant Ecology*, 139, 1-11.
- GONZÁLEZ, J.A., 1986. Manifestaciones frías mediterráneas en la cuenca baja del Tajuña durante el Cuaternario reciente. En Martínez de Pisón, E. y Tello Ripa, B. (Edi). *Atlas de Geomorfología*, Alianza Editorial. Madrid, pp. 229-237.
- GROOM, G. E., 1959. Niche glaciers in Bunsow Land, Vest-Spitsbergen. *Journal of Geology*, 44, 369-376.
- HALL, K., 1980. Freeze-thaw activity at nivation site in northern Norway. *Arctic and Alpine Research*, 12: 183-194.
- HALL, K., 1985. Some observations on ground temperatures and transport processes at a nivation site in northern Norway. *Arctic and Alpine Research*, 39: 27-37.
- HALL, K., 1993. Enhanced bedrock weathering in association with late-lying snowpatches: evidence from Livingstone Island, Antarctica. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18, 121-129.
- HOBBS, W.H. 1910. The cycle of mountain glaciation. *The Geographical Journal*, 35: 146-163 y 268-284.



- JOHNSON, W.D. 1904, Maturity in alpine glacial erosion. *Journal of Geology*, 12: 569-578
- LEWIS, W. V., 1936. Nivation, river grading and shoreline development in South-east Iceland. *Geographical Journal*, 88, 431-437.
- LEWIS, W. V., 1939. Snow patch erosion in Iceland. *Geographical Journal*, 94: 153-161.
- LUCEÑO, M., VARGAS, P., 1991. *Guía botánica del Sistema Central español*, Ed. Pirámide. Madrid.
- MARCOS, J. Y PALACIOS, D. (2004). Efectos de la nieve y la temperatura del suelo en la actividad geomorfológica: primeros resultados de su monitorización en la Sierra de Guadarrama (España). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.)*, 99 (1-4): 25-36
- MARTÍNEZ DE PISÓN, E., PALACIOS, D., 1998. Significado del episodio glaciar en la evolución morfológica y en el paisaje de la Sierra de Gredos. Sistema Central. En: Gómez Ortiz, A., Pérez Alberti, A. (Eds.), *Las Huellas Glaciares de las Montañas Españolas*. Geoforma, Barcelona, pp. 163-207.
- MATTHES, F.E., 1900. Glacial sculpture of the Bighorn Mountains, Wyoming, *U.S. Geological Survey 21st Annual Report 1899-1900*, pp. 167-190.
- MCCABE, L. H., 1939. Nivation and corrie erosion in West Spitsbergen. *Geographical Journal*, 94, 447-465.
- MUÑOZ, J.; PALACIOS, D., MARCOS, J., 1995. The influence of the geomorphologic heritage on present slope dynamics. The Gredos Cirque, Spain. *Pirineos*, 146, 35-63.
- MUÑOZ, J.; GARCÍA, A. 2004. Modificaciones climáticas y evolución de la cubierta vegetal en las áreas culminantes de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español) durante la segunda mitad del siglo XX: las altas cuencas del Ventisquero de la Condesa y Valdemartín. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 30: 117-146.
- NYBERG, R., 1991. Geomorphic processes at snowpatch sites in the Abisko mountains, northern Sweden, *Z. Geomorph. N.F.*, 35(3), 321-343.
- OBERMAIER, H. Y CARANDELL, J., 1917. Los glaciares cuaternarios de la Sierra de Guadarrama, *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales*, 19: 1-92.
- PALACIOS, D. GARCÍA, M. 1997 a. The Influence of Nival Erosion on the Distribution of High Mountain Vegetation: Peñalara, Spain. *Catena*, 30, 1-40.
- PALACIOS, D., GARCÍA, M., 1997 b. The influence of geomorphologic heritage on present nival erosion: Peñalara, Spain. *Geografiska Annaler*, 79 A(1-2), 25-40.
- PALACIOS, D. Y ANDRÉS, N., 2000. Morfodinámica supraforestal actual en la Sierra de Guadarrama y su relación con la cubierta nival: el caso de Dos Hermanas-Peñalara. En: Peña, J.L.; Sánchez-Fabre, M.; y Lozano, M.V. (Eds.) *Procesos y formas periglaciares en la montaña mediterránea*, págs. 235-264. Instituto de Estudios Turolenses, Teruel.
- PALACIOS, D.; ANDRÉS, N.; LUENGO, E., 2003. Distribution and effectiveness of nivation in Mediterranean mountains: Peñalara (Spain). *Geomorphology*, 54 (3-4): 157-178.
- PALACIOS, D.; ANDRÉS, N.; LUENGO, E., 2004. Tipología y evolución de nichos de nivación en la Sierra de Guadarrama, España. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.)*, 99 (1-4): 141-158.
- PEDRAZA, J.; CARRASCO, R.M.; MARTÍN-DUQUE, J.F.; SANZ, M.A. 2004. El macizo de Peñalara (Sistema Central Español). Morfoestructura y modelado. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.)*, 99 (1-4): 185-196.
- PENCK, A. 1905. Glacial features in the surface of the Alps. *Journal of Geology*, 13: 15-17.
- RACZKOWSKA, Z., 1990. Observations on nivation and its geomorphological effects in mountains at high latitude (with Mt. Njulla Massif in northern Sweden as example), *Pirineos*, 136, 19-32.
- RACZKOWSKA, Z., 1995. Nivation in the High Tatras, Poland. *Geografiska Annaler*, 77A (4): 251-258.
- RACZKOWSKA, Z. 1997. Nivation and its geomorphic significance- Examples from the Polish High Tatra and the Ortles-Cevedale Massif, The Italian Alps. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 31: 175-192.
- RAPP, A., 1960. Recent developemnt of mountain slopes in Kärkevagge and surroundings, north Scandinavia, *Geografiska Annaler*, 42: 65-200.
- RAPP, A., 1984. Nivation hollows and glacial cirques in Söderansen, Scania, South Sweden. *Geografiska Annaler*, 66A: 11-28.
- RAPP, A., 1986. Comparative studies of actual and fossil nivation in north and south Sweden. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.*, 60: 251-263.
- RAPP, A., NYBERG, R., 1988. Mass movements, nivation processes and climatic fluctuations in northern Scandinavian mountains. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 42: 245-253.
- REGER, R.D. y PEWÉ, T. L. 1976. Cryoplanation Terraces: indicators of a permafrost environment. *Quaternary Research*, 6: 99-110.
- REYNOLDS, R.C., 1971. Clay mineral formation in an alpine environment. *Clays and Clay Minerals*, 19, 361-374.

- RIVAS-MARTÍNEZ, S., 1963. Estudio de la Vegetación y Flora de las Sierras de Guadarrama y Gredos, *Anales del Instituto Botánico Cavanilles*, 21 (1), 5-325.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., 1982. *Mapa de las series de vegetación de la provincia de Madrid. Escala 1:200.000*. Publ.Serv.Forestal del Medio Ambiente y contra Incendios, Diputación, Provincial, Madrid.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F., SÁNCHEZ-MATA, D., PIZARRO, J., 1990. Vegetación de la Sierra de Guadarrama. Guía geobotánica de la Excursión de las II Jornadas de Taxonomía Vegetal. *Itinera Geobotánica*. Vol. 4. Asociación Española de Fitosociología, Madrid.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., CANTÓ, B.P., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F., MOLINA, J.A., PIZARRO, J.M., SANCHEZ-MATA, D., 1999. Synopsis of the Sierra de Guadarrama Vegetation. *Itinera Geobotánica*, 13, 189-206.
- ROCKIE, W. A., 1951. Snowdrift erosion in the Palouse. *Geographical Review*, 41: 34-48
- SANZ, C., 1979. El Mosaico de geofacies supraorientales en la zona más elevada de la Sierra de Guadarrama, *Actas del VI Coloquio de Geografía*, Murcia, pp. 240-247.
- SANZ, C., 1988. *El relieve del Guadarrama Oriental*. Consejería de Política Territorial, Comunidad de Madrid, Madrid.
- SELBY, M.J. (1985): *Earth's Changing Surface*, Oxford University Press. Oxford, 389 págs.
- SHAKESBY, R. A., 1997. Pronival (protalus) ramparts: a review of forms, processes, diagnostic criteria and palaeoenvironmental implications. *Progress in Physical Geography*, 21(3), 394-418.
- SOUTADÉ, G., 1980. *Modèle et dynamique actuelle des versants supra-forestiers des Pyrénées Orientales*, Cooperative du Sud-Ouest, Albi. 452 pp.
- ST-ONGE, D.A. 1969. Nivation landforms. *Geological Survey of Canadian Paper*, 69: 1-12.
- STRÖMQUIST, L., 1985. Geomorphic impact of snowmelt on slope erosion and sediment production. *Z. Geomorph. N. F.*, 29, 129-138.
- SWANSON, F.J. KRATZ, T.K. CAINE, N., WOODMANSEE, R.G. 1988. Landforms effects on ecosystem patterns and processes, *BioScience*, 38, 92-98.
- THORN, C. E., 1976. Quantitative evaluation of nivation in the Colorado Front Range, *Geological Society of America Bulletin*, 87: 1169-1178.
- THORN, C. E., 1979. Ground temperatures and surficial transport in colluvium during snowpatch; Colorado Front Range. *Earth Surface Processes* 4, 211-228.
- THORN, C. E., 1988. Nivation: a Geomorphic Chimera. En M. J. Clark (Ed.) *Advances in Periglacial Geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd, London, pp. 3-31.
- THORN, C. E., HALL, K., 1980. Nivation: an arctic-alpine comparison and reappraisal. *Journal of Glaciology*, 25, 109-124.
- THORN, C.E., HALL, K. 2002. Nivation and cryoplanation: the case for scrutiny and integration. *Progress in Physical Geography*, 26(4): 633-550.
- TRICART, J., CAILLEUX, A., 1962. *Traité de Geomorphologie*, Sedes, Paris. 390 pp.
- VADOUR, J., 1979. *La région de Madrid: altérations, sols and paléosols*. Ophrys, Paris. 390 pp.
- VIDAL BOX, C., 1948. Nuevas aportaciones al conocimiento geomorfológico de la Cordillera Central. *Estudios Geográficos*, 30, 5-52.
- WALKER, D.A. HALFPENNY, J.C. WALKER, M.D., WESSMAN, C.A., 1993. Long-term Studies of Snow-Vegetation Interactions, *Bio-Science*, 43(5), 287-301.
- WATANABE, T., 1988. Studies of snow accumulation and ablation on perennial snow patches in mountains of Japan. *Progress in Physical Geography*, 12(4), 533-559.
- WATSON, E. 1966. Two nivation cirques near Aberystwyth. *Biuoletyn Peryglacialny*, 8: 1-6.
- WHITE, S. E., 1976. Is frost action really only hydration shattering? A review. *Arctic and Alpine Research*, 9, 1-6.
- WILLIAMS, J. E., 1949. Chemical weathering at low temperatures, *Geographical Review*, 39, 129-135.



INFLUENCIA DE LA CUBIERTA NIVAL EN EL MICROCLIMA Y EN LA VEGETACIÓN DE ALTA MONTAÑA DEL PARQUE NATURAL DE PEÑALARA

ANA PINTADO Y LEOPOLDO G. SANCHO

*Departamento de Biología Vegetal II
Facultad de Farmacia
Universidad Complutense de Madrid
28040 Madrid
apintado@farm.ucm.es*

INTRODUCCIÓN

En la alta montaña la variación estacional de la cubierta nival es un factor clave que determina la estructura de la vegetación (Billings & Bliss 1959). En estas zonas podemos encontrar plantas vasculares que crecen en hábitats donde la duración de la nieve es de sólo unos pocos días hasta plantas vasculares que son capaces de vivir bajo un manto de nieve que dura 330 días (Körner 1999). Esta variabilidad en la cubierta nival depende de la latitud y del clima pero a pequeña escala, la duración de la nieve y sus patrones de distribución van a ser consecuencia de la topografía y de su interacción con los principales vectores climáticos. El resultado de estas interacciones es la formación en las laderas de neveros, cuya distribución espacial se repite año tras año determinando, a su vez, la estructura de la vegetación (Walker *et al.* 1993). Mientras que algunas especies de plantas están adaptadas y se beneficiarán de una cubierta nival prolongada, otras no son capaces de sobrevivir. En los lugares en donde la nieve permanece más tiempo crecerán plantas vasculares adaptadas a períodos vegetativos cortos, briófitos o líquenes, mientras que las comunidades arbustivas se desarrollarán en los márgenes de estos neveros (Fig. 1). Por otro lado, sobre todo en las laderas con pendiente marcada, los procesos erosivos asociados a la acumulación prolongada de la nieve también influyen de manera decisiva en la distribución de la vegetación (Palacios & García 1997). Pero además de este papel limitante, los neveros pueden ejercer un papel protector frente a temperaturas extremas o frente a la abrasión como consecuencia de las ventiscas invernales (Larcher & Siegwolf 1985). Al final de la primavera cuando se funde la nieve, en los hábitats más expuestos de las cimas y de las laderas, la topografía adquiere mayor relevancia promoviendo

microclimas muy diferentes en áreas muy próximas dando lugar a diferentes unidades de vegetación que también contribuyen a la formación de los mosaicos típicos de los microhábitats alpinos.

En las zonas de alta montaña de la región mediterránea en donde las lluvias estivales son muy escasas, el papel de los neveros como aporte hídrico frente a la sequía de verano puede ser fundamental. Teniendo en cuenta las limitaciones que suponen un período vegetativo corto y la sequía estival, se podría decir que las plantas de alta montaña mediterránea presentan un período de crecimiento muy reducido comparado con plantas de otras regiones alpinas en las que son frecuentes las precipitaciones durante el verano. Esta sería una



Figura 1. En esta foto tomada de Peña Citores podemos ver como las comunidades de matorral no penetran en la zona de los neveros. En la zona del nevero sólo se desarrollarán las plantas más adaptadas a la permanencia prolongada de la nieve.



de las causas principales por las que a estos sistemas de alta montaña mediterránea se les puede considerar especialmente vulnerables frente a un aumento de la temperatura como consecuencia del calentamiento global. Además de los efectos que supondría un aumento de la temperatura en la duración de la cubierta nival y, por tanto, en la reducción de la disponibilidad hídrica, en un reciente informe de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente (Fernández-González *et al.*, 2005), se predice que un calentamiento atenuará los efectos diferenciadores del relieve y de la microtopografía, reduciendo la diversidad de los microhábitats de alta montaña.

La mayor parte de los trabajos que muestran la influencia de los patrones de distribución de la nieve en la vegetación se han realizado en los Alpes y en otras montañas de zonas templadas (p. ej. Billings & Bliss, 1959; Stanton *et al.*, 1994; Walker *et al.*, 1995). En la montaña mediterránea los trabajos de Palacios & García (1997) y Muñoz & García (2004) muestran el efecto indirecto de la nieve a través de los procesos erosivos. Sin embargo, estudios a muy pequeña escala que incluyan medidas microclimáticas a largo plazo son por el momento muy escasos en la alta montaña (uno de los pocos ejemplos en la literatura es el de Moser *et al.*, 1977 en los Alpes). Estos estudios ayudarían a predecir la evolución de la cubierta nival y de los ecosistemas vegetales de alta montaña frente a un aumento de la temperatura global. Las cumbres de la Sierra de Guadarrama resultan idóneas para este tipo de estudios como modelo de alta montaña mediterránea con gran diversidad de microhábitats muy próximos, con marcados contrastes en su cobertura nival y situaciones de estrés hídrico que, junto con los modelos edáficos creados por el relieve, explican su elevada biodiversidad vegetal. Además son frecuentes los endemismos y algunas especies encuentran en estas montañas su límite de distribución meridional. Concretamente el macizo de Peñalara es, como se ha constatado en numerosos trabajos, uno de los territorios montañosos de mayor diversidad florística peninsular teniendo en cuenta su reducida extensión (Fernández-González, 1999; Montouto, 2002). La declaración en 1990 de Parque Natural de Peñalara supone además contar con una zona natural protegida y con todo el apoyo logístico que este tipo de investigaciones a largo plazo requieren.

El objetivo de nuestra investigación fue establecer las bases para las medidas a largo plazo de cambios en la vegetación de alta montaña mediterránea que sirvan como referente para poder investigar su posible relación con cambios globales. Para ello nos propusimos varios objetivos parciales:

- 1- Registrar el microclima, a lo largo de varios años, de especies típicas de comunidades vegetales de la alta montaña mediterránea y establecer su relación con la cubierta nival y exposición, ambos factores estrechamente ligados a la topografía.
- 2- Describir las comunidades muestreadas mediante inventarios durante varios años para ver si existen cambios en su estructura.
- 3- Por último, investigar la correlación entre el macroclima y el microclima y así poder predecir la evolución de la estructura de las comunidades de alta montaña atribuible a cambios climáticos. Es decir, qué especies se verán más favorecidas o más perjudicadas en cada caso. Esta investigación sigue en curso en el momento presente. En este artículo se muestran los resultados relacionados con el microclima.

ÁREA DE ESTUDIO Y VEGETACIÓN

Nuestro estudio se llevó a cabo en el sector sur del macizo de Peñalara en donde la acción erosiva de los glaciares dio lugar a dos circos: La Laguna al norte y Dos Hermanas al sur. En esta ladera la acumulación de nieve es mayor como consecuencia de la acción de los sistemas de componente Oeste, principal aporte de nieve en la Sierra de Guadarrama. El estudio se confinó al Circo de Dos Hermanas (2250 m.s.n.m.) en donde, según estudios recientes, los neveros permanecen durante más tiempo (>220 días/año, Palacios *et al.*, 2002). En las zonas de cumbre la vegetación potencial está representada por la asociación fitosociológica *Hieracio myriadeni - Festucetum curvifoliae* (Rivas-Martínez *et al.*, 2001) y corresponde a los pastizales psicroxerófilos de alta montaña. Estas comunidades se desarrollan sobre suelos que reciben agua de lluvia y de la fusión de la nieve pero que no permanece durante períodos prolongados debido a la acción de los fuertes vientos y a la elevada radiación, y están compuestas por plantas adaptadas a condiciones extremas (gramíneas hemicriptófitas como *Festuca curvifolia* o caméfitos pulviniformes como *Armeria caespitosa*). En las laderas, más afectadas por la acción erosiva de la acumulación prolongada de la nieve nos encontramos con comunidades de pedregales constituidas por plantas adaptadas a suelos inestables como *Senecio pyrenaicus* o plantas adaptadas a la permanencia prolongada de la nieve como *Sedum candollei*. En los hábitats más protegidos de los roquedos marginales se desarrollan comunidades rupícolas o casmofíticas en las que abunda el helecho *Cryptogramma crispum*. En las zonas más bajas en donde la acumulación de nieve también es prolongada y los suelos son más profundos y húmedos, se desarrollan comunidades edafohigrófilas típicas

constituídas principalmente por *Nardus stricta*. Este tipo de vegetación potencial ocurre por encima de los 2000 m.s.n.m. en el piso bioclimático crioro-submediterráneo (Rivas- Martínez & Loidi, 1999).

SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN

Para nuestro estudio dispusimos de una parcela vallada por el Parque Natural de Peñalara en el Circo de Dos Hermanas a 2250 m.s.n.m.. En ella establecimos diferentes estaciones de muestreo a lo largo de un transecto comenzando por el borde del nevero y terminando en la zona apical más expuesta al viento de un roquedo (Fig 2). Estas estaciones las denominamos: *nevero 1* en el borde, *nevero 2* a 4 m del borde, *grieta* a 7 m y *apical* a 10 m en la zona apical de la roca. En general las comunidades vegetales están compuestas fundamentalmente por plantas vasculares perennes principalmente hemicriptófitos y caméfitos que presentan diferencias en cuanto a su distribución altitudinal y ecología (Gavilán *et al.*, 2002, Giménez-Benavides *et al.*, 2005). Además están presentes dos especies de briófitos y un pteridófito. El análisis de la vegetación se llevó a cabo mediante inventarios de las distintas estaciones. Se muestrearon áreas de 0,25 m² en todas las estaciones excepto en la apical, con plantas de mayor porte, en donde el área inventariada fue de 0,5 m². En cada inventario se registraron el número de especies y el porcentaje de cobertura de la vegetación.

MEDIDAS MICROCLIMÁTICAS

Los datos microclimáticos de las distintas localidades se registraron cada 15 minutos desde el 1 de julio de 2001 al 31 de junio de 2002, utilizando un

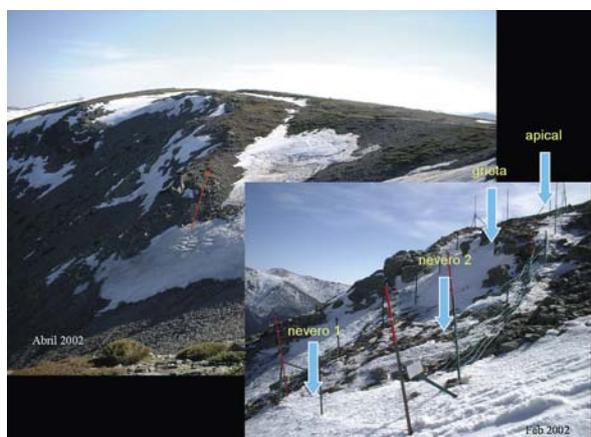


Figura 2. Parcela en el nicho de nivación de Dos Hermanas a 2250 m.s.n.m. en donde se establecieron las estaciones de muestreo a lo largo de un transecto comenzando por el borde del nevero hasta la zona de cresta: *nevero 1* en el borde, *nevero 2* a 4 m del borde, *grieta* a 7 m y *apical* a 10 m en la cresta del roquedo.

data logger de alta capacidad (Squirrel 100, Grant Instruments, UK) alimentado por una batería de litio, que se instaló en una caja completamente hermética fijada a una roca. A ella se conectaron los distintos sensores de temperatura, humedad y radiación para registrar los parámetros microclimáticos a lo largo del transecto. En cada estación se instalaron diferentes sensores dependiendo de los parámetros que se propusieron registrar y atendiendo a razones logísticas (limitaciones por distancia al data logger). De cada estación se seleccionaron especies características para las medidas microclimáticas. En la estación *nevero 1* se instalaron sensores de temperatura muy finos (0,6 mm diam.) de tipo termistor en contacto directo con las plantas seleccionadas (FMUVL50, Thermistor, Grant, UK); en *nevero 2* se instalaron asimismo sensores de temperatura en contacto directo con las plantas, sensores de humedad relativa y temperatura del aire muy próximas a la comunidades vegetales objeto de estudio (HUMICAP, Vaisala, Finlandia) y sensores de luz que miden radiación fotosintéticamente activa situados en la misma orientación que las comunidades vegetales (Sky, Li-Cor, USA); en la estación *grieta* se instalaron sensores de humedad relativa y temperatura del aire próximas a la comunidades vegetales objeto de estudio y un sensor de luz fotosintéticamente activa; en la estación *apical* se instalaron sensores de temperatura en contacto directo con las plantas, sensores de humedad relativa y temperatura del aire próximo a las comunidades vegetales objeto de estudio y sensores de luz en la misma orientación que las plantas.

RESULTADOS

Análisis de la vegetación

Los inventarios de las distintas estaciones mostraron grandes diferencias en cuanto a su composición florística observándose un claro gradiente desde el borde del nevero hasta la zona de cresta (Tabla 1). En la estación más próxima al nevero (estación *nevero 1*) nos encontramos como plantas más abundantes el musgo *Polytrichum juniperinum*, *Avenella flexuosa* subsp. *iberica* y *Sedum candollei*. *A. flexuosa* subsp. *iberica* es una gramínea hemicriptófito con un amplio rango de distribución tanto altitudinal, desde el piso supra-submediterráneo (SM) hasta el al crioro-submediterráneo (COM), como ecológico ocupando pastizales y pedreras. *S. candollei* es una planta anual de distribución restringida a la alta montaña (COM) y se considera pionera en colonizar lugares donde la cubierta nival permanece durante largo tiempo (Fernández-González, 1991). En menor abundancia crecen *Agrostis truncatula*, *Silene ciliata* subsp. *elegans* y *Leucanthemopsis pallida* subsp. *alpina*. *A. truncatula* es una gramínea hemicriptófito de amplia distribución altitudinal (desde



el SM al COM) mientras que las otras dos especies (*S. ciliata* subsp. *elegans*, cariofilácea caméfito pulviniforme y *L. pallida* subsp. *alpina*, compuesta hemicriptófito) ocurren sólo en los pisos bioclimáticos más altos (oro-submediterráneo, OM, y COM). En la estación a 4 m del nevero (estación *nevero 2*), un poco más protegida del viento por estar situada en una leve pendiente, aparecen como especies más abundantes *A. flexuosa* subsp. *iberica* y *Cryptogramma crispa* helecho característico de pedreras y comunidades casmofíticas de alta montaña, si bien *P. juniperinum* y *A. truncatula* siguen siendo relativamente abundantes. Menos representadas aparecen: *S. ciliata* subsp. *elegans*, *L. pallida* subsp. *alpina*, *Sedum brevifolium* (crasulácea hemicriptófito de amplia distribución altitudinal) y *Solidago virgaurea* subsp. *fallit-tirones* (compuesta hemicriptófito típica de pedreras y de amplia distribución altitudinal). En la estación a 7 m de distancia del nevero, en una grieta de la pared del roquedo (estación *grieta*) aparecen mayoritariamente *C. crispa* y un briófito del género *Hypnum*. Por último en la estación de la cresta a 10 m del borde del nevero (estación *apical*) nos encontramos como especie

más abundante el enebro rastrero *Juniperus communis* subsp. *alpina*, que presenta su óptimo de distribución en el OM, junto con *Thymus praecox* subsp. *penyalarensis* de distribución restringida a la alta montaña (OM y COM) y *Festuca curvifolia*, especie típica de los prados psicoxerófilos más expuestos.

Microclima a lo largo de un año

De cada estación se seleccionaron especies características para las medidas microclimáticas: en *nevero 1* medimos la temperatura de *P. juniperinum* y *A. flexuosa* subsp. *iberica*; en *nevero 2* medimos la temperatura de *P. juniperinum* y de *C. crispa* y en la estación *apical* la temperatura de *F. curvifolia* y *J. communis* subsp. *alpina*. Los resultados mostraron marcadas diferencias en el microclima entre las distintas especies en una misma estación como entre los microhábitats a lo largo del transecto. En la Fig. 3 se muestra la temperatura a lo largo del año de *P. juniperinum* y *A. flexuosa* subsp. *iberica* de la estación *nevero 1*. Las diferencias en las

TABLA 1. In□
índices ex□

En negrita aparecen las especies seleccionadas para las medidas microclimáticas.

Altitud: 2250 m

Localidad	nevero 1		nevero 2		grieta	apical
Distancia nevero (m)	0	0	4	4	7	10
Número	1	2	3	4	5	6
Cobertura (%)	80	100	80	90	90	100
Numero de especies	5	6	4	4	3	10
Área (m ²)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5

Especies:						
<i>Polytrichum juniperinum</i>	4	3	2	.	.	.
<i>Sedum candollei</i>	4	1	.	.	.	.
<i>Agrostis truncatula</i>	2	2	.	2	.	.
<i>Silene ciliata</i> subsp. <i>elegans</i>	1	+	.	1	.	1
<i>Leucantheropsis pallida</i> subsp. <i>alpina</i>	+	+	1	.	.	.
<i>Avenella flexuosa</i> subsp. <i>iberica</i>	.	4	3	.	.	1
<i>Sedum brevifolium</i>	.	.	1	.	2	1
<i>Cryptogramma crispa</i>	.	.	.	3	3	.
<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>fallit-tirones</i>	.	.	.	1	.	.
<i>Hypnum</i> cf.	.	.	.	.	3	.
<i>Juniperus communis</i> subsp. <i>alpina</i>	.	.	.	.	.	5
<i>Armeria caespitosa</i>	.	.	.	.	.	+
<i>Thymus praecox</i> subsp. <i>penyalarensis</i>	.	.	.	.	.	2
<i>Saxifraga willkommiana</i>	.	.	.	.	.	+
<i>Festuca curvifolia</i>	.	.	.	.	.	2
<i>Hieracium vahlii</i> subsp. <i>myriadenum</i>	.	.	.	.	.	+
<i>Murbeckiella boryi</i>	.	.	.	.	.	+



TABLA 2. Temperaturas máximas absolutas de las especies seleccionadas y del aire en ese mismo momento registradas en las distintas estaciones de muestreo. Máxima amplitud diurna alcanzada en cada estación.

Localidad/Especie	T _{planta} (°C)	T _{aire} (°C)	T _{planta} - T _{aire} (K)	Amplitud diurna (K)
nevero 1				
<i>Avenella flexuosa</i> subsp. <i>iberica</i>	35,90	12,0	23,9	39,1
<i>Polytrichum juniperinum</i>	47,6	23,8	23,8	38,0
nevero 2				
<i>Polytrichum juniperinum</i>	57,4	26,9	30,5	48,4
<i>Cryptogramma crispera</i>	28,3	23,0	5,3	21,8
apical				
<i>Festuca curvifolia</i>	42,1	22,5	19,6	36,2
<i>Juniperus communis</i> subsp. <i>alpina</i>	41,6	23,0	18,6	36,6

temperaturas fueron muy marcadas durante los meses de verano en los que el musgo alcanzó temperaturas por encima de los 40 °C (máxima 47,6 - 24 agosto, Tabla 2) mientras que *A. flexuosa* subsp. *iberica* se mantuvo la mayor parte del verano a temperaturas alrededor de los 30 °C (máxima 35,9 - 29 abril, 29 julio, Tabla 2). Durante los meses de invierno y hasta mediados de abril las plantas permanecieron bajo la cubierta nival manteniéndose a una temperatura próxima a 0 °C (Fig. 3). En la estación *nevero 2* la humedad relativa del aire próximo a las comunidades vegetales estudiadas descendió por debajo del 20 % en los meses de verano (Fig. 4). En invierno mientras permaneció la cubierta nival se mantuvo por encima del 90%. La radiación fotosintéticamente activa (PPFD) mostró valores máximos en el verano próximos a 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En otoño la radiación descendió y a finales del otoño el sensor quedó tapado por la nieve hasta mediados de abril, cuando comenzó la fusión. Como consecuencia de la fuerte insolación de los meses de verano y de la situación de esta estación, en ligera pendiente protegida del viento *Polytrichum juniperinum* alcanzó valores de temperatura de más de 50 °C (máxima 57,4 - 2 julio, Tabla 2). Esta temperatura contrasta notablemente con las temperaturas alcanzadas por *Cryptogramma crispera* que crecía entre las piedras y que mantuvo temperaturas próximas a 20 °C

ligeramente inferiores a las del aire circundante. De nuevo en invierno, durante el período de permanencia de nieve, las temperaturas fueron próximas a 0 °C en ambas especies si bien *C. crispera* mostró períodos con temperaturas mínimas por debajo de -15 °C a finales de otoño y principios de invierno muy próximas a la temperatura del aire y coincidiendo con períodos de muy baja humedad relativa del aire. En general a lo largo del año las temperaturas mínimas alcanzadas por las plantas fueron similares y muy próximas a la temperatura del aire exceptuando a principios de invierno y primavera en que las diferencias en las temperaturas mínimas fueron mayores como consecuencia de la variabilidad de la cubierta nival. En la estación *grieta* la humedad relativa se mantuvo la mayor parte del año por encima del 60 % (Fig. 5). Debido a la situación de esta estación en la pared vertical de la roca, la radiación fue menor, no superó los 1300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y no se vio afectada por la permanencia prolongada de nieve. La temperatura del aire en la grieta se mantuvo durante los meses del verano alrededor de los 20 °C, aproximadamente 10 K por debajo de la temperatura del aire de la localidad *nevero 2*. En la estación *apical*, la más ventilada, la humedad relativa del aire alcanzó valores bajos a lo largo de todo el año, pero especialmente en verano (Fig. 6). La radiación alcanzó valores próximos a los 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y fue similar a la del *nevero 2*

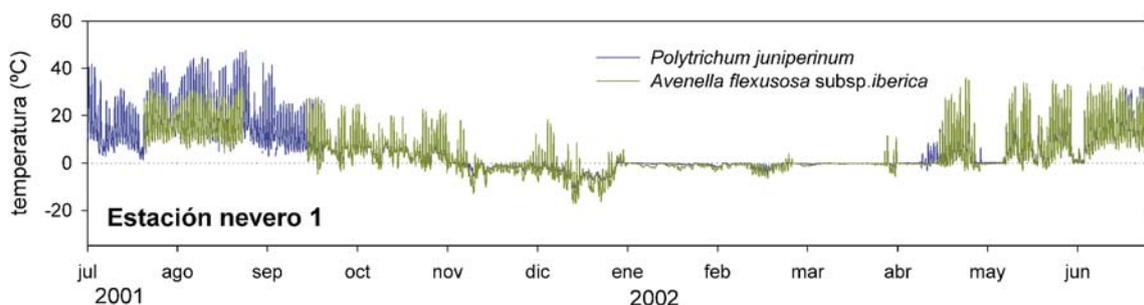


Figura 3. Temperaturas de *Polytrichum juniperinum* y *Avenella flexuosa* subsp. *iberica* registradas a lo largo de un año en la estación *nevero 1*, localizada en el borde del nevero. Las interrupciones en los registros fueron consecuencia de la rotura de los sensores o fallos del data logger.



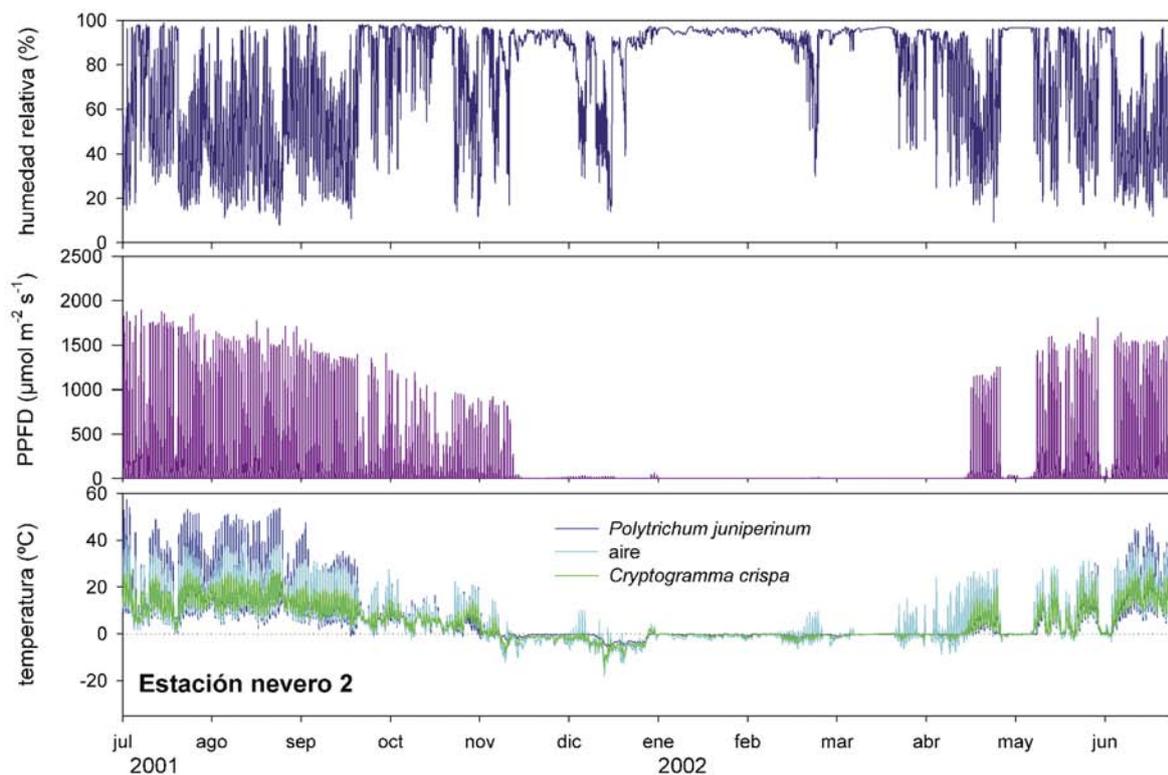


Figura 4. Microclima a lo largo de un año en la estación *nevero 2*, localizada a 4 m del borde del nevero. Gráfico superior: humedad relativa; Gráfico del centro; radiación fotosintéticamente activa (PPFD); Gráfico inferior: temperaturas de *Polytrichum juniperinum*, *Avenella flexuosa* subsp. *iberica* y aire.

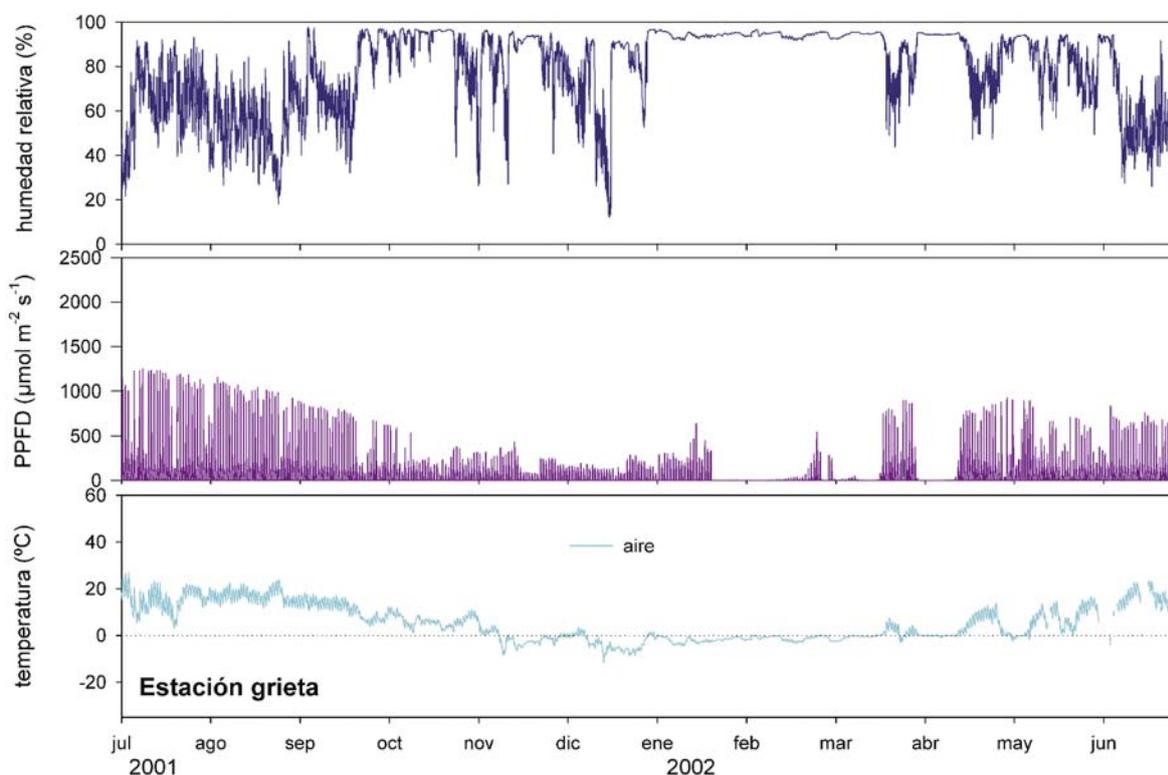


Figura 5. Microclima a lo largo de un año en la estación *grieta*, localizada a 7 m del borde del nevero en una grieta de la pared vertical del roquedo. Gráfico superior: humedad relativa; Gráfico del centro; radiación fotosintéticamente activa (PPFD); Gráfico inferior: temperatura del aire.

durante los meses de verano pero durante los meses de invierno, la radiación se mantuvo alrededor de los 500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sólo afectada por muy cortos períodos de cobertura nival. *F. curvifolia* y *J. communis* subsp. *alpina* mostraron temperaturas muy similares. Durante el verano alcanzaron temperaturas alrededor de 40 °C y durante el invierno se mantuvieron la mayor parte del tiempo por debajo de 0 °C, registrándose las mínimas absolutas a mediados de diciembre (-17,5 °C en *F. curvifolia* y -19,1 °C en *J. communis* subsp. *alpina*).

La temperatura absoluta más alta la alcanzó el musgo oscuro *Polytrichum juniperinum* en la estación *nevero 2* en el mes de julio (57,4 °C), 30 K por encima de la temperatura del aire (Tabla 2). Esta temperatura fue 10 K superior a la máxima registrada por la misma especie en la estación *nevero 1* solamente a 4 m de distancia. *Cryptogramma crista* de zonas protegidas alcanzó una temperatura máxima de 28,3 °C, próxima a la temperatura del aire que le rodea (23 °C). Durante el verano, las amplitudes diurnas de temperatura alcanzaron valores más altos (entre 38 y 48 K) en las plantas que crecen en las suaves pendientes de los microhabitats del nevero protegidas del viento (*Polytrichum juniperinum*, *A. flexuosa* subsp. *iberica*) que en las plantas que crecen en los microhabitats más ventilados de las crestas (alrededor de 36 K en *F. curvifolia* y *J. communis* subsp. *alpina*, Tabla 2).

Discusión

Las plantas exhiben requerimientos de microhábitat específicos que están afectados por el relieve y la duración de la cubierta nival es uno de los más importantes. Estos requerimientos determinan la distribución espacial de las especies, el vigor en su crecimiento y su comportamiento reproductivo. (Billings & Bliss, 1959; Galen & Stanton, 1995). El presente estudio del análisis de la relación entre la cubierta nival, el microclima y la vegetación en el Parque Natural de Peñalara constituye el primero a largo plazo llevado a cabo en la alta montaña mediterránea. Los resultados mostraron que si bien estas plantas de alta montaña mediterránea experimentan temperaturas alrededor de 0 °C en todos los meses, como cabría esperar en la alta montaña, desde abril a octubre debido a la elevada radiación, las plantas experimentan temperaturas por encima de 30 °C. Esto contrasta con las condiciones de la alta montaña de bioclimas templados, como los Alpes, en donde los días claros y despejados son bastante raros (Moser *et al.*, 1977).

El análisis a escala de microhábitat mostró marcadas diferencias microclimáticas. Las plantas más influenciadas por el nevero que permanecieron bajo la cubierta nival durante aproximadamente 3-4 meses (*Polytrichum juniperinum*, *Avenella flexuosa* subsp.

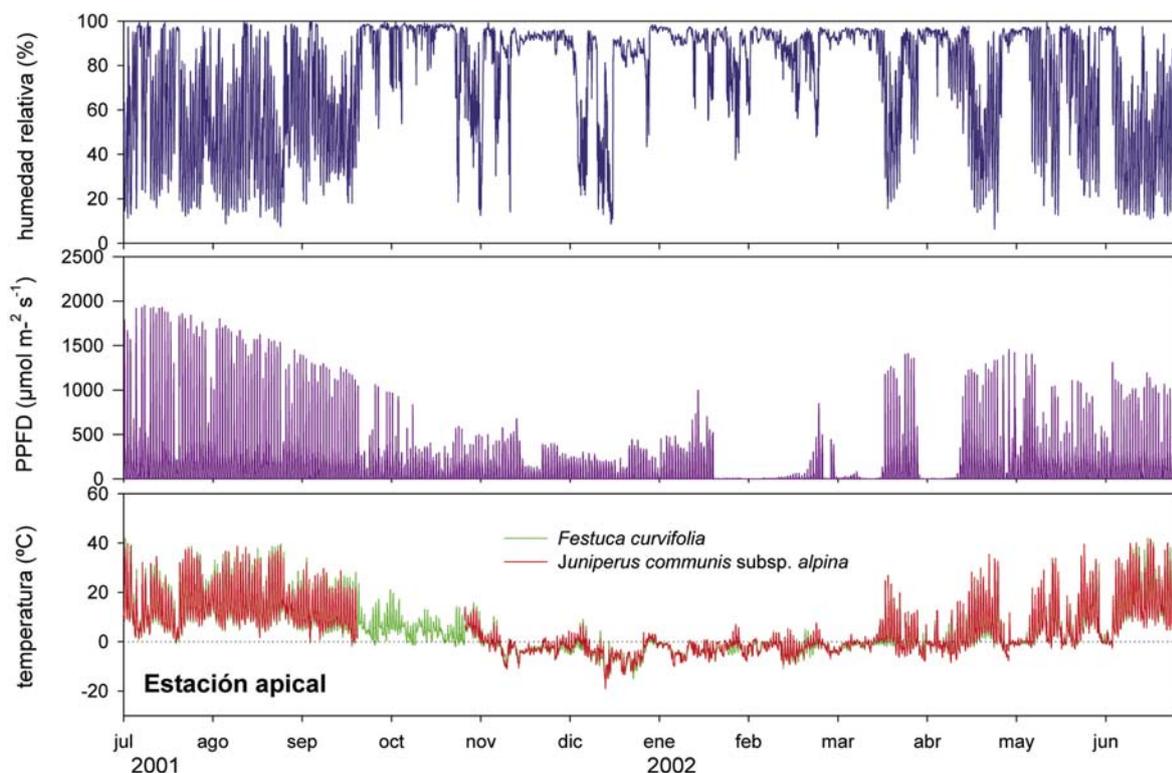


Figura 6. Microclima a lo largo de un año en la estación *apical*, localizada a 10 m del borde del nevero en la cresta del roquedo. Gráfico superior: humedad relativa; Gráfico del centro: radiación fotosintéticamente activa (PPFD); Gráfico inferior: temperaturas de *Festuca curvifolia* y *Juniperus communis* subsp. *alpina*.



iberica, *Cryptogramma crispera*) registraron temperaturas por debajo de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante menos tiempo (< 85 días) que las plantas más expuestas de las zonas apicales (*Festuca curvifolia*, *Juniperus communis* subsp. *alpina*) (110-140 días). Estas últimas alcanzaron las temperaturas mínimas más extremas ($-17,5$ y $-19,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente). Esto es lo que cabría esperar como consecuencia del efecto amortiguador de la cubierta nival. Sin embargo, la situación cambia drásticamente durante los meses del verano en que las plantas del nevero alcanzan temperaturas más extremas que las plantas que crecen en las crestas de las rocas mucho más ventiladas. La importancia de la topografía se manifestó por los grandes contrastes de temperatura registrados en *P. juniperinum* con una diferencia de 10 K en sólo 4 m de distancia en las ligeras pendientes del nevero. Moser y colaboradores (1977) ya habían subrayado los grandes contrastes térmicos que podían experimentar las plantas a la misma altitud, pero su investigación se llevó a cabo en laderas con pendientes muy marcadas y con distintas orientaciones (norte, sur y apical). Sin embargo, el trabajo de Bliss (1956) en las Montañas Rocosas de Norteamérica no mostró diferencias microclimáticas considerando suaves pendientes. Además, cabe destacar en nuestro estudio, que las diferencias interespecíficas fueron más marcadas en las comunidades del nevero. Si bien las diferencias observadas en la estación nevero 2 entre *P. juniperinum* y *C. crispera* fueron debidas a los microhabitats tan distintos colonizados por estas especies (totalmente expuestos y protegidos entre las rocas), las diferencias observadas en la estación nevero 1 deben ser consecuencia de las características de las plantas (biotipo, coloración, etc.). El musgo *P. juniperinum* de coloración oscura y que crece pegado al suelo alcanza temperaturas más altas durante los meses de verano que la gramínea *A. flexuosa* subsp. *iberica* de un porte un poco mayor. Sin embargo, en primavera cuando la nieve comienza a fundirse y la radiación no es tan elevada, *A. flexuosa* subsp. *iberica* alcanza temperaturas mayores. Estos resultados ponen de manifiesto la importancia del biotipo en las plantas alpinas como ya ha sido demostrado en otros trabajos (p.e. Körner & Cochrane, 1983). Por el contrario, en el microhábitat de cresta, *F. curvifolia* y *J. communis* subsp. *alpina*, no muestran diferencias en sus temperaturas a pesar de las diferencias en su biotipo (gramínea hemicriptófita y caméfito).

Como conclusión de estos resultados podemos decir que el relieve tanto de manera directa, como a través de la cubierta nival, afecta profundamente al microclima de las plantas. Esto es algo obvio pero hay pocos datos que lo corroboren y en la alta montaña mediterránea son los primeros. En contra de lo que se podía prever, el hábitat del nevero es el más estresante. Es decir, el hábitat del nevero no es "microclimáticamente favorable", sólo mantiene condiciones favorables en las

semanas de fusión de la nieve (meses de abril y mayo). Después, durante el verano, las condiciones en cuanto a temperaturas son más extremas que la zona de cresta. Por ello, estas ligeras pendientes de los neveros son hábitats ecológicamente exigentes, muy estresantes en época vegetativa, que implican que estén colonizados por plantas muy adaptadas como *Polytrichum juniperinum* o *Sedum candollei* que probablemente presenten una baja productividad anual. Los resultados sugieren que, desde el punto de vista microclimático, el nevero sería el hábitat más característico de la alta montaña mediterránea. Es decir el que más diferenciaría la alta montaña mediterránea de otras regiones alpinas (considerando neveros de igual permanencia). Los resultados apuntan a que la vegetación de alta montaña mediterránea tiende a ser muy estable en su distribución porque depende tanto de las condiciones extremas del verano mediterráneo como de las variaciones de acumulación de nieve invernal (cuando no hay hidromorfia). Por ello se podría predecir que mientras se mantenga el clima mediterráneo las zonas de nevero protegidas del viento no experimentarán grandes variaciones en cuanto a la estructura de su vegetación. Está por determinar qué factor es más limitante en la colonización vegetal. ¿La duración de la nieve o las condiciones extremas estivales?. Para poder contestar a estas preguntas el siguiente paso sería investigar la productividad anual de las plantas en este mismo gradiente con respecto al nevero. Con ello se podría elaborar un modelo que combine duración de la nieve, biomasa y productividad que nos permitiese predecir la dinámica de la vegetación en la alta montaña mediterránea bajo las presiones del cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Juan Vielva Juez, Director-Conservador del Parque y a su equipo técnico, muy especialmente a Ignacio Granados por el apoyo institucional y logístico. Al resto de los miembros del proyecto: David Palacios y Javier de Marcos, del Departamento de Análisis geográfico y regional y geografía física (UCM), responsables de los estudios de la cubierta nival y a Rosario Gavilán y Daniel Sanchez-Mata, del Departamento de Biología vegetal II (UCM), responsables del análisis de la vegetación, por su colaboración en la realización de este trabajo. Este trabajo se integró dentro del proyecto financiado por la Comunidad de Madrid GR/AMB/0614/2004.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BILLINGS W.D. & BLISS, L.C. (1959) An alpine snowbank environment and its effects on vegetation, plant development, and productivity. *Ecology* 40: 388-397.
- BLISS, L.C. (1956) A comparison of plant development in microenvironments of arctic and alpine tundras. *Ecological Monographs* 26: 303-337.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F. (1999) La flora y la vegetación del Parque Natural de Peñalara y del Valle del Paular (Madrid): implicaciones en la conservación de la biodiversidad. En: *Primeros Encuentros Científicos del Parque Natural de Peñalara y del Valle del Paular*: 179-196. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid.
- FERNÁNDEZ- GONZÁLEZ, F., LOIDI, J. & MORENO SAIZ, J.C. (2005) Impactos sobre la biodiversidad vegetal. En: *Impactos sobre el cambio climático en España*. Ministerio de Medio Ambiente, Oficina Española para el Cambio Climático: 183-247.
- GALEN, C. & STANTON, M.L. (1995) Responses of snowbed plant species to changes in growing-season length. *Ecology* 76:1546-1557.
- GAVILÁN, R.G., SÁNCHEZ-MATA, D., ESCUDERO, A. & RUBIO, A. (2002) Spatial structure and interspecific interactions in Mediterranean high mountain vegetation (Sistema Central, Spain). *Israel Journal of Plant Sciences* 50: 217-228.
- GIMÉNEZ-BENAVIDES, L., ESCUDERO, L. & PÉREZ-GARCÍA, F. (2005) Seed germination of high mountain Mediterranean species: altitudinal, interpopulation and interannual variability. *Ecological Research* 20: 433-444.
- KÖRNER, C. (1999) *Alpine plant life: Functional plant ecology on high mountain ecosystems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- KÖRNER, C. & COCHRANE, P. (1983). Influence of plant phytionomy on leaf temperature on clear midsummer days in the Snowy Mountains, south-eastern Australia. *Acta Oecol, Oecol Plant* 4: 117-124.
- LARCHER, W. & SIEGWOLF, R. (1985) Development of acute frost drought in *Rhododendron ferrugineum* at the alpine timberline. *Oecologia* 67: 298-300.
- MONTOUTO, O. (2002) La flora vascular rara, endémica y amenazada del Parque Natural de Peñalara y su entorno. II Contribución al conocimiento de su estado de conservación en el sector Laguna de Peñalara-Sistema Lagunar de Claveles. En: *Terceras Jornadas Científicas del parque Natural de Peñalara y del Valle del Paular*: 149-165. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid.
- MOSER, W., BRZOSKA, W., ZACHHUBER, K. & LARCHER, W. (1977) Ergebnisse des IBP-Projekts "Hoher Nebelkogel 3184m". *Sitzungsber Oesterr Akad Wiss (Wien) Math Naturwiss Kl Abt I* 186:387-419.
- MUÑOZ, J. & GARCÍA, A. (2004). Modificaciones climáticas y evolución de la cubierta nival en las áreas culminantes de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central español) durante la segunda mitad del siglo XX: las altas cuencas del Ventisquero de la condesa y Valdemartín. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 30:117-146.
- PALACIOS, D. & GARCÍA, M. (1997). The distribution of high mountain vegetation in relation to snow cover: Peñalara, Spain. *Catena* 30: 1-40.
- PALACIOS, D., DE ANDRÉS N. & LUENGO, E. (2002) Distribution and effectiveness of nivation in Mediterranean mountains: Peñalara (Spain). *Geomorphology* 54: 157-178.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. & LOIDI, J. (1999). Bioclimatology of the Iberian Peninsula. *Itinera Geobotanica* 13: 5-348.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F., LOIDI, J., LOUSÀ, M & PENAS, A. (2001) Sintaxonomical checklist of vascular plant communities of Spain and Portugal to association level. *Itinera Geobotanica* 14: 5-341.
- STANTON, M.L., REJMANEK, M. & GALEN, C. (1994) Changes in vegetation and soil fertility along a predictable snowmelt gradient in the Mosquito Range, Colorado, USA. *Arctic and Alpine Research* 26: 364-374.
- WALKER, D.A., HALFPENNY, J.C., WALKER, M.D. & WESSMAN, C.A. (1993) Long-term studies of snow-vegetation interactions. *Bioscience* 43: 287-301.
- WALKER, M.D., INGERSOLL, R.C. & WEBBER, P.J. (1995) Effect of interannual climate variation on phenology and growth of two alpine forbs. *Ecology* 76: 1067-1083



PLANTAS DE ALTA MONTAÑA MEDITERRÁNEA ¿CÓMO ENFRENTARSE AL CAMBIO CLIMÁTICO?

LUIS GIMÉNEZ-BENAVIDES, RAÚL GARCÍA CAMACHO Y ADRIÁN ESCUDERO

*Área de Biodiversidad y Conservación. Escuela Superior de Ciencias
Experimentales y Tecnología
Universidad Rey Juan Carlos. 28933 Móstoles (Madrid).
luis.gimenez@urjc.es
raul.garcia@urjc.es
adrian.escudero@urjc.es*

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es hoy en día incuestionable y sus efectos sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos empiezan ya a ser fenómenos evidentes. En los últimos años se han acumulado numerosas evidencias científicas del impacto a múltiples escalas, desde los individuos y sus poblaciones hasta las comunidades y paisajes que los albergan (Sala, 2000). No obstante, aún se desconoce en gran medida la magnitud de esos impactos, así como la capacidad de respuesta de los diferentes organismos a estos cambios.

El incremento global de las temperaturas durante el siglo XX en nuestro planeta se ha cifrado en unos 0.6 ± 0.2 °C. Este aumento coincide con el progresivo aumento de las emisiones de dióxido de carbono y otros gases causantes del efecto invernadero (IPCC, 2001). Los modelos que se han desarrollado predicen un aumento de las temperaturas máxima y mínima durante el día, junto con una mayor frecuencia de días calientes y olas de calor, mientras que disminuirá el número de olas de frío y días de helada (Easterling *et al.*, 2000). En el caso de las precipitaciones, aumentará la frecuencia de sequías estivales junto con lluvias torrenciales en muchos lugares del interior de los continentes. En la Península Ibérica, los modelos climáticos sugieren un incremento de 1.2 °C en invierno y 2 °C en verano cada 30 años, lo que constituye uno de los calentamientos más acusados en el contexto europeo. Las precipitaciones tenderán a disminuir en toda la región Mediterránea, si bien el régimen de precipitaciones puede aumentar en ciertas regiones (de Castro *y col.*, 2004).

Bajo estas nuevas condiciones ambientales cabría esperar de los organismos tres tipos de respuesta: extinción, migración o adaptación local a las nuevas condiciones. Existen numerosas evidencias de desplazamientos recientes en la distribución de especies originados por factores climáticos, muchos de ellos con reducciones importantes de la superficie de ocupación. Sin embargo, la capacidad adaptativa de las especies y sus comunidades para enfrentarse a estos rápidos cambios ambientales ha sido menos explorada. Algunos autores han argumentado que, ante un calentamiento tan extremadamente acelerado como el actual, los organismos sésiles como las plantas no tendrán capacidad de migrar lo suficientemente rápido, por lo que su persistencia dependerá principalmente de la plasticidad fenotípica de los individuos (o capacidad fisiológica para adaptarse a condiciones cambiantes) y del potencial evolutivo de sus poblaciones (o capacidad genética para evolucionar hacia genotipos mejor adaptados). Sin embargo, un calentamiento excesivamente rápido podría también superar la tolerancia y la capacidad evolutiva de las especies, poniendo en serio peligro su persistencia local a largo plazo.

Los ecosistemas de alta montaña son especialmente vulnerables a los cambios climáticos, ya que están fuertemente controlados por las condiciones ambientales y muchas de sus especies crecen próximas a sus límites fisiológicos de tolerancia. Por esta misma razón, estos lugares se consideran especialmente útiles para el estudio de los impactos del cambio climático, ya que sus efectos pueden ser detectados en cortos periodos de tiempo y a escalas geográficamente reducidas.



En estos ecosistemas extremos, más que el aumento de las temperaturas en sí, el efecto más relevante del cambio climático lo origina el cambio en la acumulación de nieve y su posterior deshielo. La acumulación de nieve durante el invierno y el momento del deshielo en primavera, ambos directamente correlacionados con la precipitación y la temperatura, son factores determinantes de los ciclos biogeoquímicos y de la humedad edáfica, y por extensión del inicio y la duración de la temporada de crecimiento de las plantas. Algunos científicos han puesto de manifiesto cómo estos dos factores controlan en gran medida la fenología de la floración y de la fructificación, así como el éxito reproductivo de muchas plantas alpinas. En general, los estudios realizados hasta la fecha en ecosistemas árticos y alpinos muestran que las temperaturas se han hecho menos limitantes para el crecimiento y la reproducción de las plantas, alargándose la temporada de crecimiento. Una de las consecuencias más evidentes del calentamiento es la ascensión del límite altitudinal del bosque observada en sistemas montañosos de todo el mundo. Del mismo modo, muchas especies no arbóreas han ido migrando lentamente hacia las cumbres, observándose en algunas regiones un aumento de la riqueza de especies en cotas altas. Sin embargo, bajo esta aparente mejora de las condiciones de vida en las montañas se esconden muchos problemas e incertidumbres.

En el caso de la alta montaña Mediterránea, las limitaciones ambientales vienen determinadas principalmente por el agua y no por la temperatura. Por ello, mientras en la región Atlántica y Centro-Europea el calentamiento puede provocar un aumento en la productividad primaria de los ecosistemas, en la región Mediterránea probablemente genere una disminución de esta por escasez de agua. Además, la ascensión de especies de cotas inferiores puede traer consigo la reducción o desaparición por competencia de las especies típicamente orófilas. Y puesto que no todas las especies responden del mismo modo ante los cambios ambientales, las interacciones planta-planta como las de facilitación en ambientes estresantes, y planta-animal como las establecidas con los polinizadores, dispersadores o depredadores, pueden verse alteradas ocasionando desacoplamiento de consecuencias difícilmente predecibles.

En la Sierra de Guadarrama el cambio climático también ha empezado a manifestarse notablemente. Aunque ciertamente escasos, algunos trabajos científicos han demostrado el incremento regional de las temperaturas y descrito algunos de los efectos que a día de hoy comienzan a percibirse. Mediante reconstrucciones climáticas a partir de fósiles de quironómidos (Diptera: Insecta) acumulados en las lagunas de montaña, Granados *et al.* (2002) estimaron el acusado

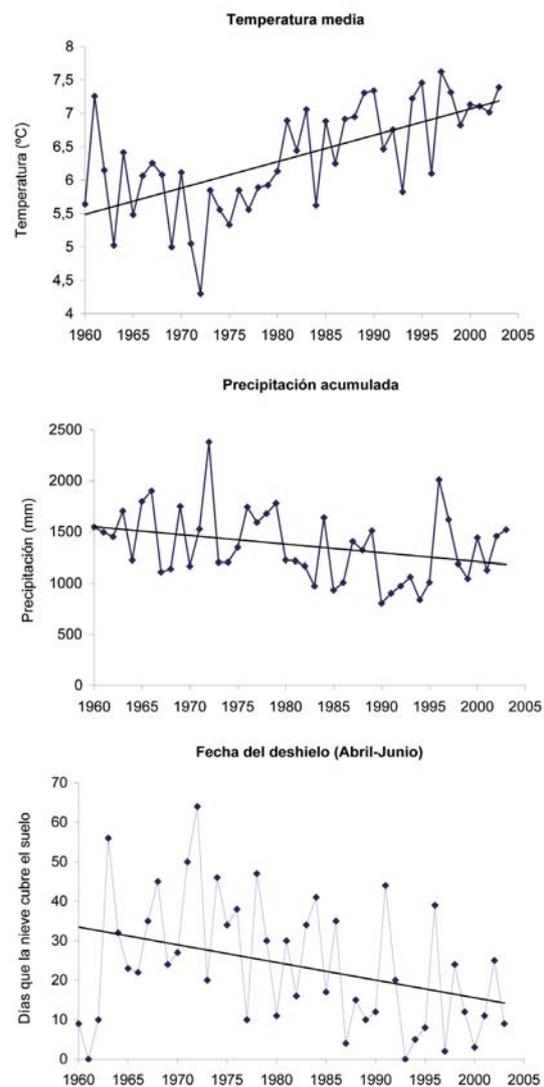


Figura 1. Tendencias climáticas de la estación de Navacerrada (1970-2005).

aumento de las temperaturas durante el último siglo en el Sistema Central. En la Figura 1 podemos ver cómo en el Puerto de Navacerrada se ha producido un progresivo calentamiento (1.8 °C más de media anual) y un sustancial adelantamiento del momento de deshielo primaveral (19.7 días antes) en los últimos 45 años, mientras que las precipitaciones han sufrido cambios menos importantes, al menos en valores absolutos. Como consecuencia de estos cambios de temperatura, muchas de las especies de mariposas presentes en la sierra han sufrido un severo desplazamiento hacia arriba de sus límites inferiores de distribución desde la década de los 70 hasta la actualidad (Wilson *et al.*, 2005). Del mismo modo, los pastizales que coronan las cumbres más altas de la Sierra de Guadarrama están siendo progresivamente reemplazados por el enebroalpino oromediterráneo procedente de cotas inferiores (Sanz-Elorza *et al.*, 2003). Es precisamente en este tipo de comunidad vegetal, el pastizal psicroxerófilo de alta montaña, donde centramos nuestros estudios.

Nuestro objetivo durante los últimos años ha sido valorar el impacto que el cambio climático actual puede generar sobre las comunidades de la alta montaña mediterránea del centro de la Península Ibérica, y en especial sobre los procesos de reproducción, crecimiento, potencial adaptativo y viabilidad poblacional de sus especies. Para ello seleccionamos dos elementos representativos de los pastos psicroxerófilos oro-crioromediterráneos, y estudiamos su biología reproductiva y dinámica poblacional a lo largo del rango altitudinal de distribución de cada una de ellas en la Sierra de Guadarrama. El uso de un gradiente altitudinal amplio nos permite trabajar con la hipótesis de que las poblaciones situadas en el límite inferior de distribución sufrirán temperaturas más altas, deshielos más tempranos y en definitiva un mayor estrés hídrico que las situadas en cotas superiores. De esta manera podremos explorar las causas del éxito o fracaso reproductivo de las poblaciones y su viabilidad a largo plazo en función de las condiciones ambientales que soportan, así como determinar hasta qué punto la plasticidad fenológica de las especies puede contrarrestar los efectos perniciosos del cambio climático. Estas comparaciones nos ayudarán a predecir la capacidad de respuesta de las especies.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Los pastizales o joragales psicroxerófilos de alta montaña constituyen la vegetación potencial de las cumbres de la Sierra de Guadarrama por encima de los 2000-2200 m. Están compuestos principalmente por gramíneas duras entre las que destaca *Festuca curvifolia*, y un importante número de caméfitos rastrojos y almohadillados como *Silene ciliata*, *Armeria caespitosa*, *Minuartia recurva* o *Jasione crispa* subsp. *centralis*, muchos de ellos endémicos de las montañas ibéricas. Una serie de especies de óptimo alpino-pirenaico como *Phyteuma hemisphaericum* o *Agrostis rupestris* aparecen aquí refugiadas en su límite sur de distribución, enriqueciendo la composición de estos pastos y dotándolos de un valor florístico y biogeográfico destacado (Fernández-González, 1999). Estos pastos se diferencian de los genuinamente alpinos por el periodo de sequía intensa que sufren en verano, lo que unido a la fuerte insolación recibida confiere a sus especies caracteres propios de la vegetación xerofítica: cutículas gruesas, colores glaucos, abundancia de especies leñosas, etc. Como consecuencia de su singularidad y su reducida superficie estos ecosistemas están incluidos dentro de la Directiva Habitats de la Unión Europea (Consejo C.E.E., 1992).

Especies estudiadas.

- *Silene ciliata* es un elemento orófito de porte almohadillado distribuido por todo el arco mediterráneo septentrional. En la Península Ibérica aparece acantonado en los principales sistemas montañosos por encima de los 1000 m de altitud (Pirineos, Cordillera Cantábrica, Sistema Ibérico y Sistema Central). El Sistema Central constituye el límite meridional de distribución de la especie, donde ocupa un amplio rango altitudinal desde los 1900 m hasta los 2500 m.

Seleccionamos tres poblaciones de *S. ciliata* dentro del Parque Natural de las Cumbres, Circo y Lagunas de Peñalara (Figura 2). La primera de ellas se situó en los depósitos morrénicos frontales del circo glaciar de Peñalara (1960 m). A esta altura, *S. ciliata* se encuentra en el límite inferior de su distribución local, presentando poblaciones muy pequeñas y fragmentadas. Las otras dos poblaciones se situaron en el pico Dos Hermanas (2280 m) y pico Peñalara (2430 m), donde *S. ciliata* es una de las especies dominantes y representativas de la comunidad. Las tres localidades se seleccionaron tratando de abarcar en la medida de lo posible todo el rango altitudinal (470 m) y la variabilidad de microambientes en los que aparece la especie en la sierra, pero evitando introducir grandes diferencias estructurales.

- *Armeria caespitosa* es una especie orófila endémica del Sistema Central. Se trata de un caméfito de porte almohadillado, hábito común entre las especies de estas comunidades. Sus flores rosadas se agrupan en capítulos cimosos sustentados por unos escapos muy cortos, característicos de la especie. Cada flor puede producir una única semilla que se dispersa dentro del cáliz, engrosado durante el proceso de



Figura 2. Localización de las tres poblaciones de estudio de *S. ciliata* dentro del Parque Natural de Peñalara. (1) morrena frontal del circo glaciar (1960 m); (2) Cumbre de Dos Hermanas (2280 m) y (3) Cumbre del pico Peñalara (2420 m). Fuente: Google Earth.



maduración. *A. caespitosa*, como la mayoría de las especies del género, es una especie autoincompatible estricta. Sus poblaciones se distribuyen desde la Sierra de Ayllón por el este hasta el Macizo Oriental de la Sierra de Gredos por el oeste, en altitudes comprendidas entre los 1500 y los 2430 metros del Pico Peñalara. Se desarrolla en dos hábitats bien diferenciados: pastos psicroxerófilos de *Festuca curvifolia* y roquedos graníticos y gneísicos.

Para el estudio de esta especie seguimos un esquema metodológico similar al de *S. ciliata*, seleccionando poblaciones a lo largo del rango altitudinal de distribución de la especie en Guadarrama. En este caso, además de la variabilidad altitudinal pretendíamos estudiar la variabilidad en el éxito reproductivo en los dos microhábitats que ocupa la especie, para lo cual seleccionamos cuatro poblaciones: dos en roca y dos en pasto, correspondientes a las localidades más elevadas y más bajas de ambos microhábitats en la zona de estudio (Figura 3). Estas poblaciones se distribuyen en tres localidades: (1) Cuerda de los Porrones (1750 m), la localidad más baja de la especie sobre roca; (2) Loma de Cabezas, alrededor de los 2000 m, donde se encuentra la población más baja sobre suelo; y (3) Cabezas de Hierro Menor (2350m), donde se sitúan las dos poblaciones más elevadas en ambos microhábitats.

Diseño de los muestreos.

Antes del inicio de la floración marcamos de 60 a 170 individuos de cada especie en cada una de las poblaciones según los tamaños de población locales. Medimos el diámetro de cada planta como estima del tamaño y para cada individuo obtuvimos variables a tres niveles:

(1) Descriptores de la fenología o secuencia temporal de la floración (inicio y duración de la floración, días hasta el pico de máxima floración y sincronía de esta con la de los demás individuos de su población).



Figura 3. Localización de las poblaciones de estudio de *A. caespitosa* en la Sierra de los Porrones (1), Loma de Cabezas (2) y Cuerda Larga (3).

(2) Descriptores del microambiente (cobertura de otros individuos de la misma especie y distancia al individuo más próximo, cobertura de otras plantas perennes y cobertura de roca).

(3) Descriptores del éxito reproductivo (cuajado de flores, cuajado de semillas y número de semillas totales producidas).

El estudio se llevó a cabo durante los periodos 2002-2003 en *S. ciliata* y 2004-2005 en *A. caespitosa* con objeto de explorar la variabilidad temporal. Usamos diferentes herramientas estadísticas para modelizar cuáles de estos factores eran los responsables del éxito o fracaso reproductivo.

Adicionalmente, con *S. ciliata* realizamos un experimento de germinación *in situ* con objeto de estudiar las limitaciones ambientales sobre el proceso de germinación y supervivencia de plántulas. Mediante un experimento de siembras recíprocas entre poblaciones de *S. ciliata* situadas a lo largo de su rango altitudinal (Figura 4), determinamos dónde se generan las condiciones más restrictivas para la regeneración por semilla, así como el grado de adaptación a las condiciones locales de cada una de las poblaciones.

Nuestro estudio con estas dos especies se completa con un seguimiento demográfico a largo plazo de sus poblaciones para determinar si éstas se encuentran en

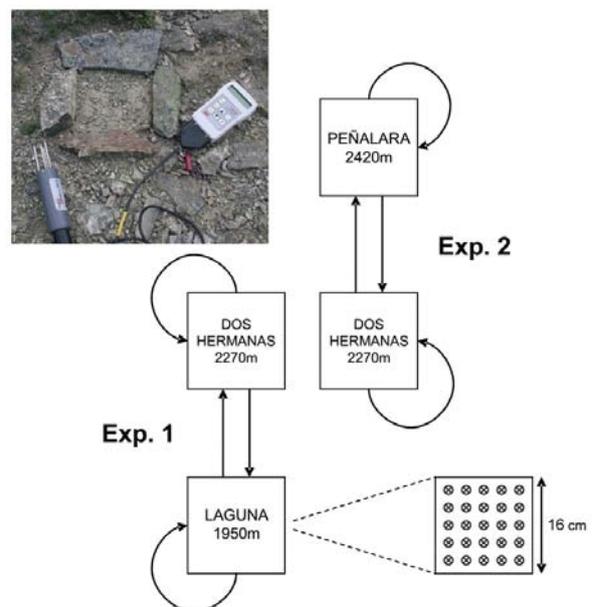


Figura 4. Esquema del experimento de siembras translocadas destinado a estudiar las limitaciones de la germinación y la supervivencia de plántulas de *S. ciliata*. El diseño (sembrando en la población de origen de las semillas y en la más próxima en altura) nos sirve también para detectar efectos de adaptación local de las semillas al lugar donde fueron producidas. En la fotografía, una de las unidades experimentales de siembra y el sistema de medición de humedad edáfica.

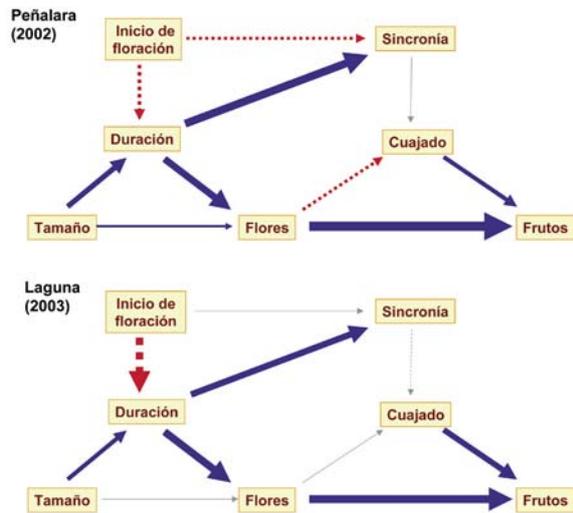


Figura 5. Modelo SEM simplificado donde podemos observar las relaciones causa-efecto establecidas entre las variables fenológicas y reproductivas en *S. ciliata*. Las flechas azules indican relación causal positiva y las rojas negativa, el grosor representa la importancia de la relación causal, flechas grises indican relaciones no significativas.

proceso de expansión, regresión o persistencia, del que sólo presentaremos algunos resultados para *S. ciliata*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condicionantes del éxito reproductivo

- ***Silene ciliata***. Mediante el uso de modelos de ecuaciones estructurales (SEM) exploramos una serie de relaciones causa-efecto entre variables fenológicas y reproductivas, las cuales fueron evaluadas durante los dos años de estudio. Durante los años en que desarrollamos el trabajo las condiciones ambientales variaron de forma muy significativa. Así el primero fue un año normal (2002) mientras que el segundo se alcanzaron temperaturas extremadamente altas y precipitaciones estivales prácticamente nulas (2003), lo que resulta especialmente interesante para comparar la respuesta de las plantas a un cambio tan drástico.

El período de floración de *S. ciliata* es muy tardío en comparación con el resto de especies de su comunidad. Éste se inicia a finales de junio, prolongándose hasta principios de septiembre, cuando ya casi todas las especies han completado su ciclo reproductivo. Por lo tanto, al contrario que para muchas especies de ambientes innivados durante buena parte del año, el deshielo y el aumento de temperaturas no parecen controlar el inicio de la floración, si no que ésta viene controlada por el fotoperiodo. Esta estrategia limita fuertemente el aprovechamiento del agua del deshielo para una fase tan crítica como la reproductiva, especialmente en el

Éxito reproductivo de *S. ciliata* en el P. N. Peñalara

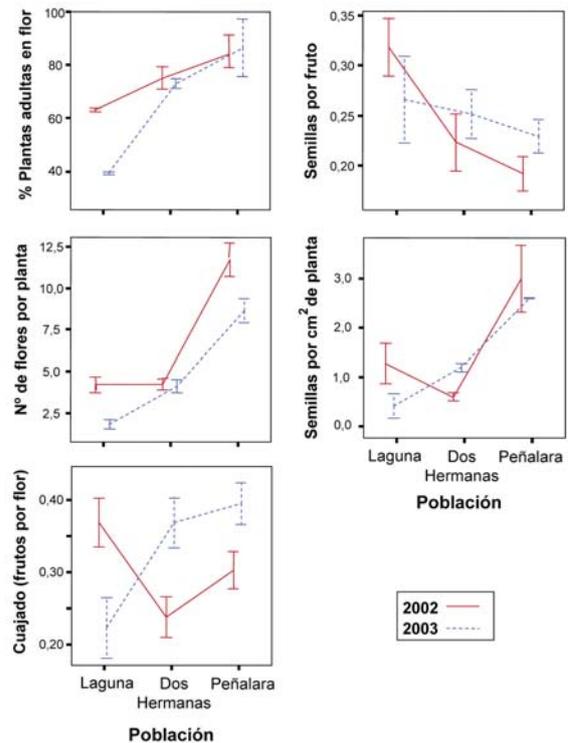


Figura 6. Variación de los distintos componentes del éxito reproductivo en *S. ciliata* a lo largo de los dos años de estudio.

clima mediterráneo donde las lluvias de verano son muy escasas. Como podemos observar en la Figura 5, los modelos SEM construidos mostraron que el éxito reproductivo individual (número de frutos en este caso) está determinado en gran medida por el intervalo de tiempo transcurrido entre el momento del deshielo y el inicio de la floración: cuanto más tarde florece una planta dispone de menos agua, dura menos su floración y por tanto produce menos frutos. Además, las plantas de las poblaciones situadas a mayor altitud se reprodujeron significativamente mejor que las situadas en el límite inferior, siendo estas diferencias más acentuadas durante el año 2003 de extrema sequía y altas temperaturas (Figura 6). En resumen, una fuerte sequía estival puede ocasionar un alto fracaso reproductivo en *S. ciliata* especialmente en las poblaciones más bajas. A pesar de la existencia de una selección fenotípica hacia una floración temprana, el periodo reproductivo de la especie parece estar controlado genéticamente por factores que no permiten una plasticidad lo suficientemente amplia como para aprovechar los recursos hídricos más favorables al principio de la estación. Bajo el escenario de altas temperaturas, escasas precipitaciones estivales y deshielo progresivamente más temprano, *S. ciliata* puede ver seriamente comprometido su éxito reproductivo en cotas bajas (Giménez-Benavides *et al.*, 2007a).



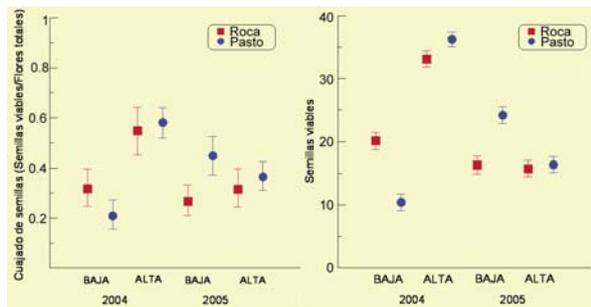


Figura 7. Medias e intervalos de confianza para el número de semillas viables y el cuajado de frutos de *A. caespitosa*.

- ***Armeria caespitosa***. Es una de las especies de floración más temprana en las distintas comunidades que ocupa. El inicio de su floración coincide con el de algunos geófitos (*Narcissus* sp., *Gagea* sp.). En 2004 la floración duró dos meses: desde mediados de mayo hasta mediados de julio, mientras que en 2005 la floración comenzó una semana antes y duró una semana menos. Ambos años fueron más cálidos y secos que la media. El año 2005 fue extremadamente cálido, de hecho el segundo más cálido en 45 años de registros tras 2003, y tuvo unas precipitaciones muy escasas durante la temporada de crecimiento.

En *A. caespitosa* el éxito reproductivo individual depende en gran medida del tamaño de cada planta. Así las mayores son capaces de producir más flores y más semillas, aunque la tasa de cuajado de frutos no es dependiente del tamaño. Hay que señalar además que en el microhábitat roca, los individuos parecen vivir más y alcanzar mayores tamaños. Por otro lado, los individuos más sincrónicos y que alcanzan el pico de floración más tarde producen más semillas viables, mientras que aquellos que tienen un periodo de floración largo ven penalizado el cuajado de frutos. Al igual que en *S. ciliata*, también hay importantes diferencias en el éxito reproductivo a lo largo del gradiente altitudinal, el microhábitat y las condiciones ambientales de cada año. En 2004 la especie tuvo un mayor éxito reproductivo a mayor altitud. En dicho año, las plantas en su límite altitudinal inferior tuvieron más éxito en la roca, mientras que en el nivel superior no se encontraron diferencias significativas. En el 2005 no encontramos dichas diferencias debido principalmente a una reducción del éxito reproductivo en las poblaciones a mayor altitud (Figura 7). En general, el tamaño de cada planta es el factor que explica un mayor porcentaje de varianza en cada una de las variables reproductivas modelizadas con GLMs, mientras que la variabilidad ambiental es más importante a escala de paisaje (altura y microhábitat) que a pequeña escala (predictores del microambiente) (Figura 8).

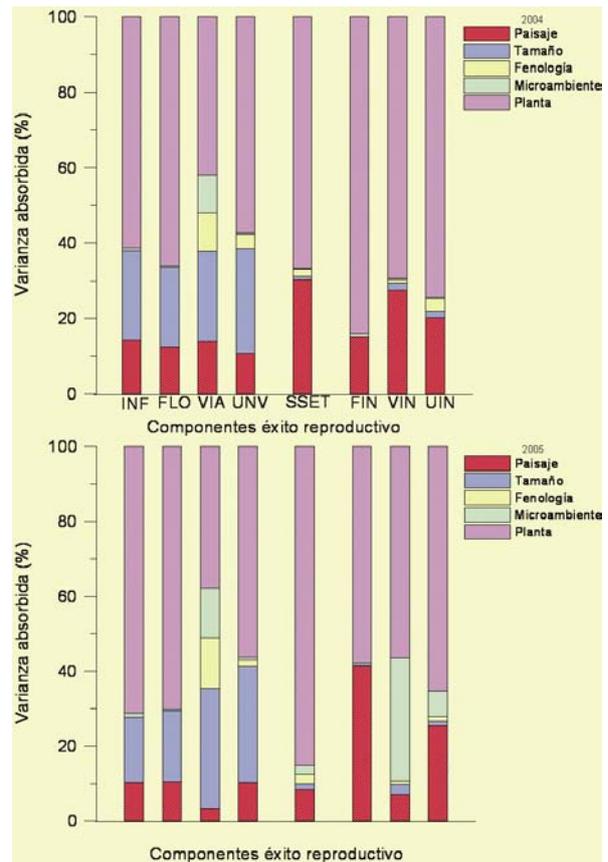


Figura 8. Varianza absorbida por los diferentes elementos que afectan a los componentes del éxito reproductivo de *A. caespitosa* (variabilidad ambiental a escala de paisaje y a pequeña escala (microambiente), fenología, tamaño y varianza individual). INF: número de capítulos, FLO: flores, VIA: semillas viables y UNV: semillas abortadas; SSET: seed set, FIN: flores por capítulo, VIN: semillas viables por capítulo y UIN: abortos por capítulo). Arriba los modelos para 2004 y abajo los del 2005.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos para *S. ciliata*, ya que las poblaciones a menor altitud muestran un peor éxito reproductivo. En este sentido, parece que las condiciones más cálidas y secas del límite inferior de altitud podrían estar limitando la reproducción de la especie. En el año menos desfavorable (2004) el microhábitat parece tener importancia, ya que las plantas muestran mejores valores reproductivos en roca que en pasto en el límite altitudinal inferior. Sin embargo, durante el año más desfavorable (2005), las diferencias entre microhábitats parecen desaparecer e incluso las poblaciones a mayor altitud ven reducido su éxito reproductivo. Por lo tanto, parece que la capacidad de la especie para vivir en dos microhábitats bien contrastados podría estar aliviando las condiciones desfavorables en el límite inferior de distribución, donde el ambiente de roca parece ser más estable para la especie en términos reproductivos, al menos en los años de condiciones menos desfavorables. Las diferencias encontradas en la distribución de tamaños, con plantas mayores en roca, parecen denotar la presencia de diferentes

estrategias demográficas entre ambos microhábitats que permiten una mayor longevidad en el hábitat rocoso. El seguimiento demográfico que iniciamos en 2004 nos permitirá explorar esta y otras cuestiones relativas a la viabilidad a largo plazo de la especie en un escenario de cambio global extremadamente acentuado.

Establecimiento de plántulas de *Silene ciliata*. ¿Existe adaptación local?

Como factores críticos del proceso de regeneración natural de las especies, es de esperar que la germinación y el establecimiento de las plántulas estén sometidos a procesos de selección natural y evolución adaptativa. En la alta montaña mediterránea parecer ser también la sequía estival el factor más limitante, y ésta se acentúa a medida que se desciende en altitud y aumentan las temperaturas. Quisimos comprobar si las condiciones ambientales para la germinación y supervivencia se vuelven más restrictivas en las poblaciones situadas a menor altitud, y si a pesar de ello puede existir un cierto grado de adaptación local de las semillas a las condiciones de su población de origen, de manera que el efecto negativo del estrés hídrico en el límite inferior se vea reducido. Mediante el experimento de siembras recíprocas entre poblaciones que se representa en la Figura 4 tratamos de responder a estas cuestiones (Giménez-Benavides *et al.*, 2007b).

La germinación en campo de las semillas de *S. ciliata* se concentra inmediatamente después del deshielo, lo que favorece el aprovechamiento de la escasa humedad edáfica. El estrés hídrico estival constituye la principal causa de muerte de plántulas de *S. ciliata*, el cual va acentuándose y provocando mayor mortalidad a medida que avanza el verano (Figura 9a). Los resultados de nuestros experimentos de siembras recíprocas entre poblaciones demostraron que la especie germina y sobrevive mejor en el centro de su distribución local que en los límites inferior y superior. Sin embargo, a pesar de la existencia de ambientes en general más favorables para la regeneración, detectamos ciertos niveles de adaptación local que afectaron a la supervivencia y crecimiento de las plántulas emergidas. Es decir, las plántulas sobrevivieron mejor y crecieron más cuando se sembraron en sus lugares de origen que cuando se transplantaron a otras poblaciones (Figura 9b). La existencia de procesos de adaptación evolutiva como éstos pueden ayudar a contrarrestar los efectos del cambio climático si se hacen efectivos al menos con la misma rapidez con la que cambian las condiciones ambientales. En este caso, un escenario de persistencia en lugar de desplazamiento altitudinal podría ser factible como respuesta en estas plantas.

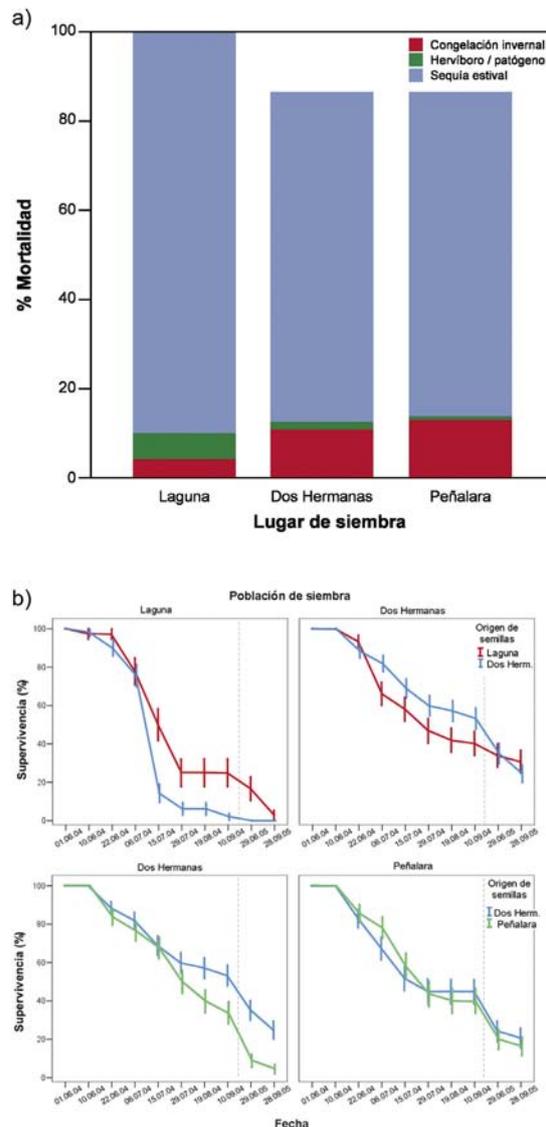


Figura 9. a) Causas de mortalidad de plántulas de *S. ciliata* en las tres poblaciones estudiadas. b) Curva de supervivencia de plántulas a lo largo de los dos años de seguimiento. Como puede verse la supervivencia final, aunque muy baja, es mayor en las poblaciones situadas a una altitud intermedia y alta, y mayor para las semillas sembradas en su lugar de origen, denotando la existencia de adaptación local.

Viabilidad de las poblaciones de *Silene ciliata*. ¿Crecimiento, persistencia o regresión?

Por último, estudiamos la dinámica poblacional de *S. ciliata* en las tres poblaciones de la especie en la Sierra de Guadarrama. Las preguntas a las que pretendemos responder son: ¿se encuentran estas poblaciones en declive?, si es así, ¿qué factores condicionan la supervivencia de las poblaciones?, ¿qué fases del ciclo vital resultan más críticas para su supervivencia a largo plazo?, y ¿son estas las mismas para las poblaciones en sus límites de distribución (sometidas a condiciones más limitantes) que para las situadas en su centro? Por



lo tanto, si ante las condiciones de calentamiento actuales se estuviera dando un progresivo desplazamiento de la especie hacia cotas más altas, esto debería verse reflejado en los parámetros demográficos de las poblaciones estudiadas (Giménez-Benavides, 2006).

El seguimiento demográfico mostró claras diferencias entre las poblaciones a lo largo del rango altitudinal. El tamaño medio de las plantas fue considerablemente mayor en la población inferior, reflejando una población más envejecida que las situadas en cotas superiores, donde se observó una predominancia de plantas de pequeño tamaño y un mayor reclutamiento de plántulas. Los valores de la tasa finita de crecimiento (λ) confirman la tendencia claramente decreciente en la población inferior ($\lambda= 0.85$), la relativa estabilidad de la población intermedia ($\lambda= 0.99$) y la ligera tendencia creciente de la población superior ($\lambda= 1.03$). Un análisis exhaustivo reveló que las etapas críticas del ciclo vital que más afectan a λ fueron la supervivencia de los individuos adultos, la menor longevidad de estos y el bajo reclutamiento de plántulas, especialmente en el límite inferior. Todo ello indica que las poblaciones situadas más abajo deben estar sufriendo una serie de condiciones ambientales que limitan enormemente su persistencia a largo plazo.

CONCLUSIONES

- Las plantas de alta montaña mediterránea no pueden beneficiarse del alargamiento de la temporada de crecimiento producido por el calentamiento ya que, al contrario que en los ambientes ártico-alpinos, la desaparición temprana de la nieve, fuente principal de la humedad edáfica durante el verano, acentúa el estrés hídrico sufrido por las plantas.
- Bajo las actuales condiciones, las poblaciones de plantas de alta montaña como *S. ciliata* y *A. caespitosa* situadas en su límite de distribución inferior muestran claros síntomas de pérdida de capacidad reproductiva, especialmente en años extremadamente secos y de altas temperaturas.
- Sin embargo, ciertos microhábitats como los afloramientos rocosos graníticos en el caso de *A. caespitosa* pueden servir de refugio, pues aportan ambientes más estables en años adversos que los prados psicroxerófilos.
- Fenómenos como la adaptación local de las poblaciones a su ambiente, en especial en etapas críticas como el establecimiento de plántulas, pueden ayudar a contrarrestar parcialmente los efectos del calentamiento.
- El seguimiento demográfico sugiere una escasa capacidad de las poblaciones situadas en cotas inferiores para hacer frente a unas condiciones ambientales estresantes, lo que obliga a la especie a desplazarse hacia cotas más elevadas. Dado que actualmente algunas poblaciones ya se encuentran habitando las cumbres más altas de la Sierra de Guadarrama, estos procesos pueden llevar a una seria reducción del rango altitudinal de distribución de la especie, con la consiguiente reducción del área de ocupación total.
- La realización de este tipo de estudios y su mantenimiento a largo plazo puede ayudarnos a hacer un diagnóstico exhaustivo de la salud de las poblaciones, especies y comunidades de nuestros ecosistemas, y a detectar sus principales factores de amenaza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONSEJO C.E.E. 1992. *Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora*. Bruselas.
- DE CASTRO, M., MARTÍN-VIDE, J. & ALONSO, S. 2004. El clima de España: Pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. En: ECCE. *Impactos del Cambio Climático en España*. Pp. 1-64. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- EASTERLING, D.R., MEEHL, G.A., PARMESAN, C., CHANGNON, S.A., KARL, T.R. & MEARN, L. O. 2000. Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science*, 289: 2068.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F. 1999. La flora y la vegetación del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular (Madrid): implicaciones en la conservación de la biodiversidad. *Primeros Encuentros Científicos del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular*. Pp. 179-196.
- GIMÉNEZ-BENAVIDES, L. 2006. Cambio climático en la alta montaña mediterránea. Ecología reproductiva, potencial adaptativo y viabilidad poblacional de *Silene ciliata*. Tesis doctoral Universidad Rey Juan Carlos. Móstoles, Madrid.
- GIMÉNEZ-BENAVIDES, L., ESCUDERO, A. & IRIONDO, J.M. 2007a. Reproductive limits of a late-flowering high mountain Mediterranean plant along an elevational climate gradient. *New Phytologist* 173: 367-382.
- GIMÉNEZ-BENAVIDES, L., ESCUDERO, A. & IRIONDO, J.M. 2007b. Local adaptation enhances offspring success at the southernmost limit of a high mountain Mediterranean plant. *Annals of Botany*, en prensa.
- GRANADOS, I., TORO, M., ROBLES, S., RODRÍGUEZ, J.M., GUERRERO, M.C. & MONTES, C. 2002. La paleolimnología como fuente de información ambiental: ejemplos de las lagunas de alta montaña del sistema central. *Terceras Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular*. Pp. 17-32.
- IPCC 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- SALA, O.E., CHAPIN III, F.S., ARMESTO, J.J., BERLOW, E., BLOOMFIELD, J., DIRZO, R., HUBER-SANWALD, E., HUENNEKE, L. F., JACKSON, R.B., KINZIG, A., LEEMANS, R., LODGE, D.M., MOONEY, H.A., OESTERHELD, M., POFF, N.L., SYKES, M.T., WALKER, B.H., WALKER, M. & WAIL, D.H. 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, 287: 1770.
- SANZ-ELORZA, M., DANA, E. D., GONZÁLEZ, A. & SOBRINO, E. 2003. Changes in the high-mountain vegetation of the Central Iberian Peninsula as a probable sign of climate warming. *Annals of Botany* 92: 273-280.
- WILSON, R.J., GUTIÉRREZ, D., GUTIÉRREZ, J., MARTÍNEZ, D., AGUDO, R., & MONTSERRAT, V. 2005. Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters*, 8, 1138-1146.



ECOLOGÍA DE RÍOS: EL PAPEL DE LOS MACROINVERTEBRADOS DEL LOZOYA

JOSE M. GONZÁLEZ

Área de Biodiversidad y Conservación. ESCET.
Universidad Rey Juan Carlos.
C/ Tulipán s/n. 28937 Móstoles (Madrid).
jose.gonzalez@urjc.es

INTRODUCCIÓN

Los ríos son ecosistemas ricos y complejos cuya estructura y función está muy ligada a la de los ecosistemas terrestres circundantes (Hawkins *et al.*, 1982; Cummins *et al.*, 1989). El medio terrestre proporciona energía a las comunidades fluviales en forma de materia orgánica muerta procedente de la vegetación de ribera (Anderson & Sedell, 1979; Wallace *et al.*, 1997) y de invertebrados terrestres que entran al río (Wipfli, 1997; Nakano *et al.*, 1999). Sin embargo, las interacciones entre medio acuático y terrestre se dan en ambos sentidos, pues cuando las larvas de gran parte de los insectos fluviales se transforman en adultos, pasan a ser una fuente de alimento importante para los depredadores terrestres que utilizan las riberas (Nakano & Murakami, 2001; Sabo & Power 2002).

Los invertebrados son uno de los componentes fundamentales para el funcionamiento ecológico de los ríos (Malmqvist, 2002). Las características de sus comunidades presentan cambios predecibles desde el nacimiento hasta la desembocadura de los ríos que son explicados por el Concepto de Continuo Fluvial de Vannote *et al.* (1980) como resultado de gradientes en su geomorfología e hidrología. El Concepto de Continuo Fluvial sólo es aplicable a ríos que no han sufrido alteraciones humanas y que presentan bosques en sus cabeceras (para una revisión, ver Benke *et al.*, 1988 y Giller & Malmqvist, 1998)

Según este esquema general, en los tramos altos de los ríos (esto es, en sus cabeceras) predominan los invertebrados fragmentadores, que son animales

capaces de alimentarse directamente de hojarasca proveniente de las riberas del río. El predominio de estos organismos se debe a que el bosque circundante limita en gran medida el crecimiento de las algas dentro del propio río, a la vez que le proporciona gran cantidad de hojas muertas.

En los tramos medios, los ríos aumentan su anchura; un hecho con dos consecuencias importantes para el funcionamiento del ecosistema. La primera es que la luz va a poder entrar directamente en el cauce, permitiendo el crecimiento de algas y macrofitos. La segunda es que la entrada de materia orgánica procedente de las riberas va a ser menos importante que en los tramos altos. Como resultado, en las comunidades de macroinvertebrados de los tramos medios ya no predominan los fragmentadores, sino los raspadores. Los raspadores son organismos capaces de alimentarse de las algas que crecen en los ríos.

Dadas estas interrelaciones entre el medio acuático y el terrestre, hay numerosos estudios publicados que señalan que la destrucción de la vegetación de ribera (Wallace *et al.*, 1988; Hernandez *et al.*, 2005) o que los cambios en su composición (Cummins *et al.*, 1989; Stout *et al.*, 1993) o en su estructura física (Hill *et al.*, 1995; Melody & Richardson, 2004) afectan a la estructura de las comunidades acuáticas, especialmente en tramos de cabecera. De todos modos, la bibliografía sobre ecología de ríos señala que hay otros factores que también pueden ejercer gran influencia sobre las comunidades fluviales. Entre ellos, destacan las carac-



terísticas físicas y químicas del agua, la composición del lecho y el régimen hidrológico (para una revisión, ver Resh & Rosenberg, 1984 y Giller & Malmqvist, 1998).

La cuenca alta del Lozoya tiene varias características que lo convierten en un buen sistema para realizar estudios de ecología de ríos. En primer lugar, las aguas de la subcuenca se conservan en un estado prístino, lo que permite que la zona pueda servir para fijar las condiciones de referencia de ríos similares en entornos más alterados. Por otro lado, presenta gran número de cauces con diferentes tamaños y morfologías que pueden ser utilizados para evaluar la influencia de los factores físicos sobre el funcionamiento del ecosistema y la estructura de sus comunidades. Además, la vegetación que cubre la zona y las riberas presenta grandes variaciones espaciales, lo que permite plantear estudios sobre los efectos de la vegetación terrestre sobre las comunidades acuáticas.

En este sentido, es importante señalar que la vegetación de ribera de parte de los cauces de la cuenca alta del Lozoya está compuesta casi en exclusiva por *Pinus sylvestris* L. En general, la hojarasca de las coníferas es un alimento de menor calidad para los fragmentadores que la de los árboles caducifolios (Iversen, 1974; Friberg & Jacobsen 1994). Además, las acículas de *P. sylvestris* se descomponen más lentamente que las hojas de la mayoría de los árboles caducifolios (Escudero *et al.*, 1991; Collen *et al.*, 2004), por lo que pueden ser arrastradas río abajo antes de ser utilizables como alimento por los fragmentadores (Bärlocher *et al.*, 1978).

En este trabajo se exponen los primeros resultados del estudio sobre la ecología de los ríos de la cuenca alta del Lozoya iniciado en enero de 2004 por el grupo de ecología fluvial de la Universidad Rey Juan Carlos. Los objetivos de esta primera fase son (1) describir las características de la comunidad de macroinvertebrados y sus dinámicas temporales en un tramo de la cuenca alta del Lozoya., (2) estudiar sus respuestas a la variabilidad de su ambiente físico y (3) establecer si la ausencia de arbolado caducifolio en las riberas tiene consecuencias sobre la fauna fluvial.

Materiales y métodos

Área de estudio

La recogida de muestras se ha realizado en un tramo de orden 3 (*sensu* Strahler, 1952) del río Guarramillas, aguas arriba de su confluencia con el arroyo de la Laguna de Peñalara (Sierra de Guadarrama, Madrid). Sus coordenadas U. T. M. son 30TVL212201 y está a una altitud de 1.500 m. La longitud del tramo estudiado

es de 50 m. Se trata de una zona donde el río tiene escaso gradiente y adopta la típica morfología de rápidos seguidos de pozas. La vegetación de la subcuenca está constituida principalmente por pinares de *P. sylvestris* en las partes más bajas y piornales de *Cytisus oromediterraneus* Rivas Mart. & al. y pastizales de montaña en las zonas a mayor altitud. No existen poblamientos humanos ni agricultura aguas arriba del tramo de estudio. La zona está dedicada principalmente al aprovechamiento forestal y a la ganadería.

En el lecho del tramo de estudio predominan materiales gruesos, sin presencia de macrofitos. Tampoco presenta troncos, acumulaciones de madera o grandes bloques que actúen reteniendo el material transportado por el río. Las riberas están cubiertas casi exclusivamente por *P. sylvestris*; la abundancia del resto de árboles es muy baja: 2 pies de *Betula alba* L. y uno de *Ilex aquifolium* L. Las aguas son ligeramente ácidas (rango observado durante 2004: 6,1 - 7,0), poco mineralizadas (valores de conductividad entre 29,8 y 82,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y bien oxigenadas (rango observado de % de saturación de oxígeno: 94,2 - 103,7).

Toma y procesado de muestras

Las muestras de bentos fueron recogidas una vez al mes entre enero y diciembre de 2004 excepto en el mes de marzo, cuando, debido a la climatología adversa, no se pudo acceder al tramo de estudio. En cada fecha de muestreo, se tomaron 10 muestras con una red Surber de área 0,09 m² y malla de 500 μm en lugares determinados aleatoriamente. Simultáneamente a la recogida del bentos, se hizo una estima visual de la composición granulométrica de las áreas de 0,1 m² muestreadas (precisión: 5 %) y se midió la velocidad de la corriente y la profundidad en esos mismos puntos. Estas variables fueron usadas para caracterizar los microhábitats donde se recogió la fauna.

Las muestras así recogidas fueron introducidas en recipientes de plástico y llevadas al laboratorio dentro de una nevera portátil; allí fueron almacenadas a 4 °C y lavadas sobre un sistema de tamices (mínimo tamaño de malla 500 μm). La fauna fue separada del resto de material y conservada en alcohol al 70 % hasta su identificación posterior. Todo este proceso se hizo durante las 12 horas siguientes a la recogida de las muestras.

Los invertebrados fueron contados e identificados al nivel taxonómico más preciso posible en función de las claves de determinación disponibles (principalmente García de Jalón, 1979, Tachet *et al.*, 2000 y Vieira-Lanero, 2000): orden para los oligoquetos y ácaros y familia, género o especie para el resto de los grupos. La fauna fue asignada a los diferentes grupos funcionales



(grupos de organismos que se alimentan de la misma manera, Cummins, 1973) utilizando la información recogida en Tachet *et al.* (2000).

Análisis de los resultados

Los cambios temporales en la densidad de fauna fueron analizados mediante análisis de la varianza (ANOVA, Sokal & Rohlf, 1995). No se realizó ninguna transformación previa de los datos de densidad total debido a que no se observó heteroscedasticidad y que el diagrama de cuantiles normales y el test de Kolmogorov-Smirnov no indicaron desviaciones de los datos respecto a los de una distribución normal (Sokal & Rohlf, 1995). Sin embargo, para evitar problemas de heteroscedasticidad, se utilizó la transformación logarítmica con las densidades de raspadores y fragmentadores antes de realizar los ANOVAs correspondientes.

La relación entre (1) las condiciones ambientales de los lugares donde se tomaron las muestras (profundidad y velocidad del agua y porcentaje de bloques, cantos, guijarros y grava en el bentos) y sus fechas de recogida, y (2) la densidad de invertebrados fue evaluada utilizando procedimientos de ordenación multivariante directa. En primer lugar, se transformaron las densidades de fauna a raíz cuadrada para evitar que los taxones más abundantes en la comunidad determinaran demasiado los resultados de los análisis. El tipo de respuesta de la comunidad de invertebrados a los gradientes ambientales se determinó mediante un análisis de correspondencias sin tendencias (DCA, Hill & Gauch, 1980; ter Braak, 1987). Como las respuestas observadas fueron monótonicas, se eligió el procedimiento del análisis de redundancias (RDA, Rao, 1964) para realizar las ordenaciones directas. El RDA es un análisis multivariante que selecciona la combinación lineal de variables que explican la mayor porción de la varianza total en una matriz de datos dada (ter Braak, 1987).

El efecto de la fecha de recogida sobre la fauna encontrada en las muestras también fue incluido en los RDAs. En lugar de tratar a esta variable como lineal, se la consideró circular (esto es, se consideró que la comunidad en enero de 2004 debería ser más semejante a la observada en diciembre de ese año que a la de julio). En consecuencia, en lugar de utilizar directamente la fecha de los muestreos en los RDAs, se utilizaron las variables seno (D) y coseno (D), donde D es el producto de 2π y el número de días transcurridos desde el primer muestreo, dividido por 365.

Se siguió un procedimiento de selección de variables hacia delante para retener sólo a aquellas características

ambientales que fueran significativas para el análisis ($p < 0,05$ tras 1000 simulaciones tipo Monte Carlo).

Los efectos de las condiciones ambientales de los microhábitats donde se tomaron las muestras sobre la comunidad de invertebrados fueron desligados de los de la fecha de recogida utilizando el procedimiento de partición de la varianza descrito en Borcard *et al.* (1992). Esta técnica permite medir la porción de la varianza que es explicada en una determinada ordenación directa por (1) un grupo de variables, (2) otro grupo diferente y (3) la interacción entre ambos grupos de variables.

Todos los análisis de ordenación fueron realizados con el programa CANOCO 4.5 (GLW-CRPO, Wageningen).

RESULTADOS

Hasta el momento, se han procesado las muestras tomadas de enero a octubre de 2004, por lo que los resultados mostrados en este trabajo se refieren únicamente a dicho periodo de tiempo.

Se han identificado 93 taxones diferentes de invertebrados fluviales. Gran parte de ellos presentaron escaso número de individuos en las muestras, de modo que los 18 taxones más abundantes constituyeron el 86,9 % del total de individuos recogidos en el tramo de estudio (Tabla 1). La mayoría de estos taxones fueron insectos pertenecientes a los órdenes Trichoptera, Plecoptera, Ephemeroptera y Diptera.

Los cambios temporales en la densidad total de macroinvertebrados no fueron significativos, pero estuvieron cerca de serlo ($F = 2,01$, $p = 0,056$, ANOVA; Figura 1). Los raspadores fueron el grupo funcional más abundante en las muestras y, en promedio, constituyeron el 47,7 % de la fauna recogida. Los fragmentadores, en cambio, sólo constituyeron el

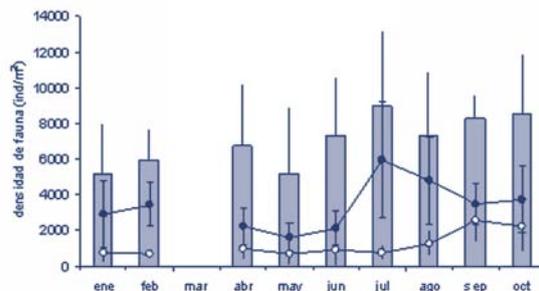


Figura 1.- Cambios temporales en la densidad total de fauna (barras grises), densidad de raspadores (círculos negros) y densidad de fragmentadores (círculos blancos). Las líneas verticales indican las desviaciones típicas de cada variable.



Tabla 1. Densidad media (ind/m²) de los taxones más abundantes durante el periodo de estudio. Se indica además las abreviaturas utilizadas en la figura 6 y medias observadas.

Taxón	abrev.	orden	grupo funcional	media	desviación típica	rango
Chironomidae	Chi	Diptera	Recogedor	1026,8	1181,4	216,7 - 2576,7
<i>Sericostoma</i>	Ser	Trichoptera	Fragmentador	786,8	817,6	351,1 - 1672,2
Baetidae	Bae	Ephemeroptera	Raspador	700,9	811,3	92,2 - 2334,4
<i>Larcasia partita</i>	Lpa	Trichoptera	Raspador	579,3	1138,4	0 - 2564,4
<i>Esolus parallelepipedus</i>	Epa	Coleoptera	Raspador	465,8	657,9	58,9 - 1491,1
<i>Rhithrogena</i>	Rhi	Ephemeroptera	Raspador	442,8	415,8	132,2 - 852,2
<i>Epeorus</i>	Epe	Ephemeroptera	Raspador	399,0	505,1	74,4 - 1072,2
<i>Serratella hispanica</i>	Shi	Ephemeroptera	Recogedor	211,4	309,1	27,8 - 515,6
<i>Anomalopterygella chauviniana</i>	Ach	Trichoptera	Raspador	198,5	358,8	0 - 541,1
Oligochaeta	Oli		Recogedor	188,9	711,0	37,8 - 735,6
<i>Leuctra</i>	Leu	Plecoptera	Fragmentador	185,2	210,1	84,4 - 348,9
<i>Calliarctus humillis</i>	Chu	Ephemeroptera	Recogedor	159,1	198,1	8,9 - 321,1
<i>Hydropsyche</i>	Hyd	Trichoptera	Filtrador	156,7	333,6	12,2 - 468,9
<i>Amphinemura</i>	Amp	Plecoptera	Fragmentador	146,7	330,6	0 - 582,2
Simuliidae	Sim	Diptera	Filtrador	145,4	723,9	0 - 1066,7
<i>Micrasema</i>	Mic	Trichoptera	Raspador	142,2	339,2	0 - 727,8
<i>Dupophilus</i>	Dup	Coleoptera	Raspador	123,7	142,4	5,6 - 282,2
<i>Dinocras cephalotes</i>	Din	Plecoptera	Depredador	118,1	136,1	46,7 - 302,2

17,0 % de la comunidad y, en general, su densidad fue significativamente menor que la de los raspadores ($F = 134,06$, $p < 0,001$ para el factor grupo funcional en un ANOVA de 2 vías tiempo x grupo funcional); de todos modos, hubo meses en que esas diferencias no fueron significativas ($F = 2,99$, $p < 0,005$ para la interacción grupo funcional x tiempo en el ANOVA de 2 vías).

El tricóptero *Sericostoma* fue el fragmentador con más importancia cuantitativa pues supuso el 66,6 % de la densidad media de este grupo funcional (Figura 2). También fueron relativamente abundantes los plecópodos *Leuctra* y *Amphinemura* (14,7 y 12,6 % de los fragmentadores). El resto de fragmentadores fueron muy escasos y aportaron, en conjunto, el 6,1 % del total de este grupo.

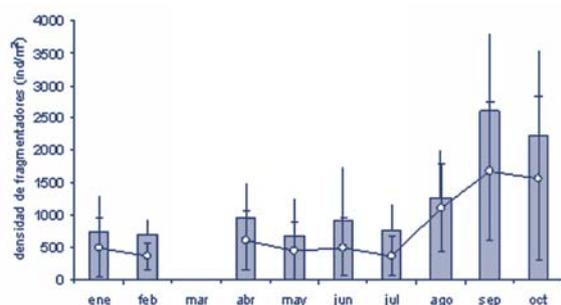


Figura 2.- Cambios temporales en la densidad total de fragmentadores (barras grises) y de *Sericostoma* (círculos blancos). Las líneas verticales indican las desviaciones típicas de cada variable.

Los resultados del DCA se muestran en la figura 3. Puede observarse que a partir del muestreo de mayo, las muestras tomadas en la misma fecha tendieron a aparecer agrupadas y a presentar poca afinidad con las muestras recogidas en meses alejados en el tiempo. Esta característica es especialmente patente en el periodo de junio-agosto. Por el contrario, las muestras tomadas entre enero y abril estuvieron muy mezcladas entre ellas.

En la tabla 2 se presentan las características físicas de los puntos donde fueron recogidas las muestras de invertebrados. El RDA mostró que los factores ambientales con efecto significativo sobre la estructura de la comunidad de invertebrados fueron la fecha de muestreo, la profundidad, la velocidad de agua y la proporción de grava en el lecho. En conjunto, estas variables

Tabla 2. Media, desviación típica y rango de variación de las características ambientales medidas en los puntos de recogida de muestras ($n = 90$)

	media	desviación típica	rango
% Bloques	20,9	25,0	0 - 80
% Cantos	30,1	26,6	0 - 100
% Guijarros	30,5	28,4	0 - 100
% Grava	18,4	25,3	0 - 100
Profundidad (cm)	14,8	5,3	3 - 25
Velocidad (m/s)	0,108	0,067	0,002 - 0,322



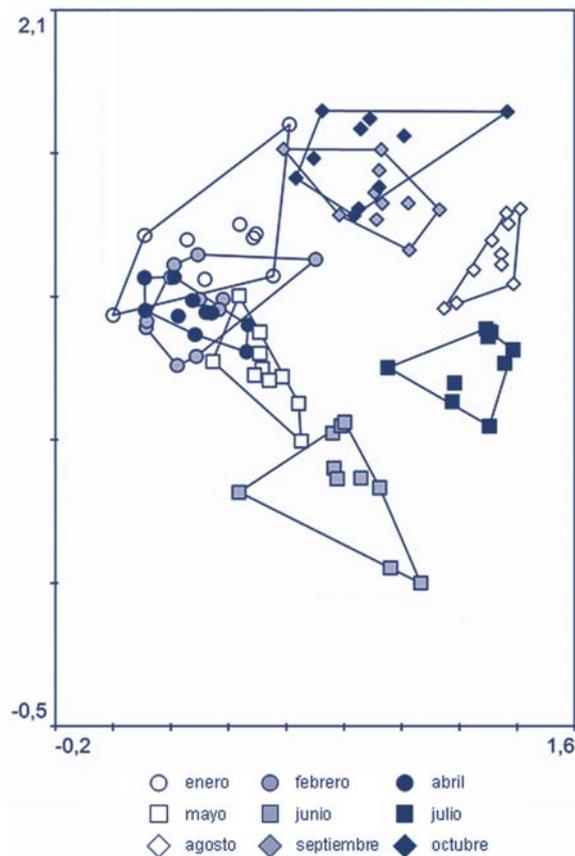


Figura 3.- Resultados de la ordenación DCA de las muestras de fauna.

explicaron el 33,2 % de la variabilidad de los datos de invertebrados. El valor máximo de los factores de inflación de la varianza fue 1,26, lo que indica que no hubo multicolinealidad entre las variables ambientales analizadas. La relación entre las variables explicativas seleccionadas y la abundancias de invertebrados fue muy significativa ($p = 0,001$ tras 1000 permutaciones).

La variable más influyente de las consideradas en el RDA fue la fecha de muestreo, responsable del 27,8



Figura 4.- Porcentaje de la variación de la comunidad de invertebrados explicado por la fecha de muestreo y las características físicas del microhábitat (Microhábitat). Se representa la varianza explicada por cada factor en solitario con columnas blancas; la explicada por la interacción de factores se representa con color gris.

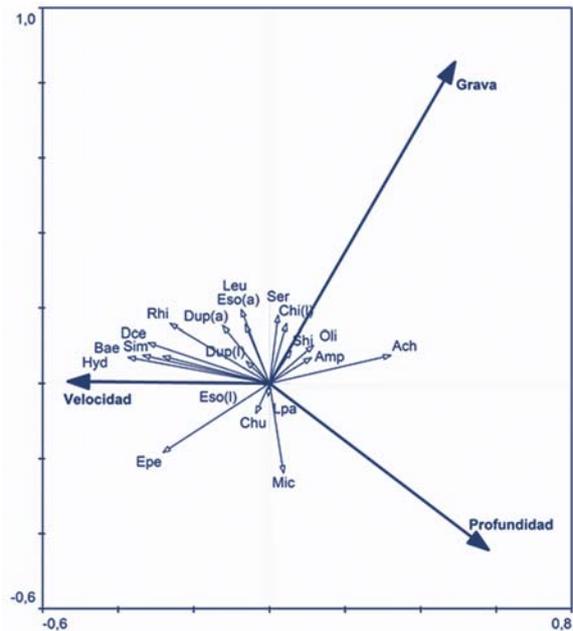


Figura 5.- Resultados de la ordenación RDA después de eliminar el efecto de la fecha de muestreo. Los vectores más gruesos representan las variables ambientales. Los vectores finos, la densidad de los invertebrados más abundantes. Las abreviaturas para los taxones son las usadas en la tabla 1, excepto l: larvas, a: adultos

% de la varianza total, mientras que los descriptores físicos de los microhábitats explicaron sólo el 7%. La partición de la varianza explicada por el análisis (Figura 4) mostró que el solapamiento entre los efectos de la fecha de muestreo y los descriptores físicos fue del 1,6 %.

El porcentaje de grava en el lecho tuvo un efecto positivo o neutro sobre la mayoría de los taxones más abundantes en las muestras (Figura 5); de todos modos, hubo excepciones, como la relación negativa que tuvo con la densidad de *Epeorus*. En cambio, el efecto de la profundidad del agua fue negativo para la densidad de la mayor parte de los taxones más abundantes, si bien algunos de ellos como *Anomalopterygella chauviniana* (Stein) y *Micrasema* mostraron una ligera preferencia hacia aguas profundas.

El efecto de la velocidad de la corriente fue más variable, presentando una relación positiva con la densidad de unos taxones (por ejemplo, *Sericostoma* y Chironomidae) y negativa con otros (*A. chauviniana*).

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo destacan la importancia de los cambios en la estructura de las comunidades fluviales a lo largo del año. Tales alteraciones pueden ser interpretadas desde un punto de vista determinista si tenemos en cuenta que los ciclos de vida de cada especie deben estar ajustados a las variaciones tempo-



rales en factores como la temperatura o la disponibilidad de alimento y que cada especie puede presentar requerimientos diferentes para estas variables (Giller & Malmqvist, 1998). Otra posibilidad para explicar los grandes cambios temporales observados sería atribuirlos a la existencia de perturbaciones durante el periodo de estudio. Sin embargo, los resultados del DCA no sostienen esta posibilidad, pues no muestran alteraciones abruptas en la estructura de la comunidad, sino cambios graduales. Además, las grandes diferencias en la estructura de la comunidad en junio-agosto, que contrastan con los escasos cambios observados entre los meses de enero, febrero y abril, favorecen la primera explicación dada, pues el verano es la época en la que se producen la mayor parte de las eclosiones de los invertebrados del tramo estudiado (González, datos sin publicar). Los resultados, sugieren, por tanto, que los cambios observados en la estructura de la comunidad fueron consecuencia del ajuste entre la fenología de los ciclos de vida de sus integrantes y las condiciones ambientales.

Las características de los microhábitats tuvieron una influencia menor sobre las comunidades de invertebrados. La proporción de grava en el lecho fue uno de los factores con efectos significativos, tal y como se ha señalado en otros estudios que señalan que la composición del lecho afecta a la estructura de las comunidades de invertebrados fluviales (Hawkins *et al.*, 1982; Cole *et al.*, 2003). También tuvieron efectos significativos la profundidad y la velocidad del agua, lo que coincide con los resultados de otros autores que señalan que el uso del espacio por las comunidades fluviales está muy condicionado por las condiciones hidráulicas de los diferentes microhábitats (Jowett, 2003; Johnson *et al.*, 2004).

La partición de la varianza del RDA detectó que una porción importante del efecto de las características de los microhábitats sobre la comunidad se solapaba con el de la fecha de muestreo. Este resultado puede ser debido a variaciones a lo largo del periodo de estudio de las variables ambientales significativas en el análisis. Sin embargo, también hay que tener en cuenta que durante su crecimiento, los invertebrados van cambiando sus requerimientos ambientales y, por tanto, sus preferencias de hábitat (Buffagni & Crosa, 1995; Hanquet *et al.* 2004), lo que puede explicar, al menos en parte, el solapamiento observado.

El resultado más notable de este trabajo ha sido encontrar que los fragmentadores son relativamente poco abundantes en el tramo de estudio. En el estado actual de conocimiento sobre la ecología de los ríos del alto Lozoya, se pueden proponer varias hipótesis para explicar este hecho.

En primer lugar, la escasa calidad nutricional de la hojarasca de pino puede tener consecuencias sobre la abundancia de los fragmentadores. Experimentos de laboratorio han mostrado que el tricóptero fragmentador *Lepidostoma unicolor* (Banks) es incapaz de crecer cuando es sometido a una dieta de acículas de conífera que han sido colonizadas durante 5 meses por los hongos acuáticos (Grafius & Anderson, 1980). Otros experimentos indican que *Sericostoma personatum* Carr. crece más lentamente alimentado con acículas de conífera que con especies caducifolias (Friberg & Jacobsen, 1999).

De todos modos, si la relación entre calidad de hojarasca y densidad de fragmentadores fuera tan simple y directa, la abundancia de estos invertebrados sería siempre menor en los ríos rodeados por coníferas que en los rodeados por caducifolios. Sin embargo, estudios de otros autores muestran que la abundancia de fragmentadores puede ser mayor (Friberg *et al.*, 2002), semejante (Hawkins *et al.*, 1982), o, incluso, menor (Molles, 1982) en los ríos con riberas de caducifolios que en ríos con riberas de coníferas.

En realidad, la calidad de la hojarasca para la fauna no permanece constante en el tiempo, sino que desde el momento en que entra en el río es colonizada por hongos y bacterias cuya biomasa y actividad enzimática facilita el uso de la hojarasca como alimento (Cummins, 1974; Graça, 1993). Una vez que los microorganismos han actuado el tiempo suficiente, los fragmentadores pueden consumir incluso especies de muy baja calidad inicial (Golladay *et al.*, 1983; Pozo *et al.*, 1998). De este modo, se puede sugerir que el problema que afrontarían los fragmentadores del tramo de estudio no sería la escasa calidad del material original, sino que este no permanezca en el tramo el tiempo suficiente para ser utilizable.

Los estudios en los que ha aumentado experimentalmente la capacidad de los ríos para retener hojarasca (retentividad), han detectado casi invariablemente un aumento de la abundancia de los fragmentadores (ver, entre otros, Dobson & Hildrew, 1992; Negishi & Richardson, 2003). La excepción a este patrón es explicada por los propios autores como consecuencia de la destrucción de la cobertura de musgos acuáticos durante la introducción de las estructuras retentivas (Muotka & Laasonen, 2002). Estos resultados han llevado a hacer recomendaciones para disminuir el impacto de los monocultivos de coníferas sobre las comunidades fluviales aumentando la retentividad de los cauces (Laitung *et al.*, 2002; Pretty & Dobson, 2004). Medidas de este tipo podrían resultar adecuadas para algunas secciones de los cauces de la cuenca alta del Lozoya donde coinciden riberas que aportan hoja-

rasca de baja calidad nutricional con escasez de estructuras capaces de retener la hojarasca que entra al río.

Es muy frecuente destinar el párrafo final de los artículos sobre ecología a explicar la conveniencia de completar o confirmar la información aportada en ellos mediante estudios adicionales. En este caso, expresar la necesidad de nuevos trabajos sobre el tema es imprescindible. Hay que tener en cuenta que los resultados expuestos aquí se refieren a un solo tramo de río y a un tiempo relativamente corto. Por tanto, es preciso aumentar la escala espacial y temporal de los análisis de comunidades de macroinvertebrados fluviales de la zona para confirmar o matizar así los resultados de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido posible gracias a la autorización recibida del Director Conservador del Parque Natural de Peñalara para realizar los muestreos. Asimismo, la S. A. Belga de los Pinares del Páular, permitió la entrada a su finca para así acceder al tramo de estudio. También es grato reconocer la paciencia y buena disposición del personal científico que trabaja para el Parque Natural en temas afines, las personas contactadas en la Oficina Comarcal y los Agentes Forestales de la Comunidad de Madrid encargados de la zona. El agradecimiento es extensivo a los compañeros/as del Área de Biodiversidad y Conservación y del Grupo de Geología de la Universidad Rey Juan Carlos, que han colaborado en este estudio proporcionando material de campo y de laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, N. H. & SEDELL, J. R. 1979. Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. *Ann. Rev. Entomol.*, 24: 351- 377.
- BÄRLOCHER, F. & OERTLI, J. J. 1978. Inhibitors of aquatic hyphomycetes in dead conifer needles. *Mycologia*, 70: 964-974.
- BENKE, A. C., HALL, C. A. S., HAWKINS, C. P., LOWE-MCCONELL, R. H., STANFORD, J. A., SUBERKROPP, K. & WARD, J. V. 1988. Bioenergetic considerations in the analysis of stream ecosystems. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7: 480-502.
- BORCARD, D., LEGENDRE, P. & DRAPEAU, P. 1992. Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 73: 1045-1055.
- BUFFAGNI, A., CROSA, G. & MARCHETTI, R. 1995. Size-related shifts in the physical habitat of two mayfly species (Ephemeroptera). *Freshwat. Biol.*, 34: 297-302.
- COLE, M. B., RUSSELL, K. R. & MABEE, T. J. 2003. Relation of headwater macroinvertebrate communities to in-stream and adjacent stand characteristics in managed second-growth forests of the Oregon Coast Range mountains. *Can. J. For. Res.*, 33: 1433-1443.
- COLLEN, P., KEAY, E. J., & MORRISON, B. R. S. 2004. Processing of pine (*Pinus sylvestris*) and birch (*Betula pubescens*) leaf material in a small river system in the northern Cairngorms, Scotland. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 8: 567-577.
- CUMMINS, K. W., WILZBACH, M. A., GATES, D. M., PERRY, J. B. & TALIAFERRO, W. B. 1989. Shredders and riparian vegetation. *BioScience*, 39: 24-30.
- CUMMINS, K. W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Ann. Rev. Ent.*, 18: 183-206.
- CUMMINS, K.W. 1974. Structure and function of stream ecosystems. *BioScience*, 24: 61-64.
- DOBSON, M. & HILDREW, A. G. 1992. A test of resource limitation among shredding detritivores in low order streams in southern England. *J. Anim. Ecol.*, 61: 69-78
- ESCUDERO, A., SANZ, S., DEL ARCO, J. M. & GARRIDO, M. V. 1991. Leaf litter decomposition in a mountain stream. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24: 1987-1993.
- FRIBERG, N. & JACOBSEN, D. 1994. Feeding plasticity of two detritivore-shredders. *Freshwat. Biol.* 32: 133-142.
- FRIBERG, N. & JACOBSEN, D. 1999. Variation in growth of the detritivore-shredder *Sericostoma personatum* (Trichoptera). *Freshwat. Biol.*, 42: 625-635.
- FRIBERG, N., LARSEN, A.D., RODKJÆER & THOMSEN, A.G. 2002. Shredder guilds in three Danish forest streams contrasting in forest type. *Arch. Hydrobiol.*, 153: 197-215.



- GARCÍA DE JALÓN, D. 1979. *Estudio de las comunidades de macroinvertebrados, especialmente del orden Trichoptera, del río Lozoya*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- GILLER, P. S. & MALMQVIST, B. 1998. *The biology of streams and rivers*. Oxford University Press, Oxford.
- GOLLADAY, S. W., WEBSTER, J. R. & BENFIELD, E. F. 1983. Factors affecting food utilization by a leaf shredding aquatic insect: leaf species and conditioning time. *Holarct. Ecol.*, 6: 157-162.
- GRAÇA, M. A. S. 1993. Pattern and processes in detritus-based stream systems. *Limnologica* 23: 107-114.
- GRAFIUS, E. & ANDERSON, N. H. 1980. Population dynamics and role of two species of *Lepidostoma* (Trichoptera: Lepidostomatidae) in an Oregon coniferous forest stream. *Ecology*, 61: 808-816.
- HANQUET, D., LEGALLE, M., GARBAGE, S. & CÉRÉGHINO, R. 2004. Ontogenetic microhabitat shifts in stream invertebrates with different biological traits. *Arch. Hydrobiol.*, 160: 329-346.
- HAWKINS, C. P., MURPHY, M. & ANDERSON, N. 1982. Effects of canopy, substrate composition and gradient on the structure of macroinvertebrate communities in Cascade Range streams of Oregon. *Ecology*, 63: 1850-1856
- HERNANDEZ, O., MERRITT, R. W. & WIPFLI, M. S. 2005. Benthic invertebrate community structure is influenced by forest succession after clearcut logging in southeastern Alaska. *Hydrobiologia*, 533: 45-59.
- HILL, M. O. & GAUCH, H. G. 1980. Detrended correspondence analysis, an improved ordination technique. *Vegetatio*, 42: 47-48.
- HILL, W. R., RYON, M. G. & SCHILLING, E. M. 1995. Light limitation in a stream ecosystem: responses by primary producers and consumers. *Ecology*, 76: 1297-1309.
- IVERSEN, T. M. 1974. Ingestion and growth in *Sericostoma personatum* (Trichoptera: Sericostomatidae) in relation to the nitrogen content of ingested leaves. *Oikos*, 25: 278-282.
- JOHNSON, R. K., GOEDKOP, W. & SANDIN, L. 2004. Spatial scale and ecological relationships between the macroinvertebrate communities of stony habitats of streams and lakes. *Freshwat. Biol.*, 49: 1179-1194.
- JOWETT, I. G. 2003. Hydraulic constraints on habitat suitability for benthic invertebrates in gravel-bed streams. *River Res. Applic.*, 19: 495-507.
- LAITUNG, B., PRETTY, J. L., CHAUVET, E. & DOBSON, M. 2002. Response of aquatic hyphomycete communities to enhanced stream retention in areas impacted by commercial forestry. *Freshwat. Biol.*, 47: 313-323.
- MALMQVIST, B. 2002. Aquatic invertebrates in riverine landscapes. *Freshwat. Biol.*, 47: 679-694.
- MELODY, K. J. & RICHARDSON, J. S. 2004. Responses of invertebrates and algae of a boreal coniferous forest stream to experimental manipulation of leaf litter inputs and shading. *Hydrobiologia*, 519: 197-206.
- MOLLES, M. C. 1982. Trichopteran communities of streams associated with aspen and conifer forests: long-term structural change. *Ecology*, 63: 1-6.
- MUOTKA, T. & LAASONEN, P. 2002. Ecosystem recovery in restored headwater streams: the role of enhanced leaf retention. *J. Applied. Ecol.*, 39: 145-156.
- NAKANO, S. & MURAKAMI, M. 2001. Reciprocal subsidies: Dynamic interdependence between terrestrial and aquatic food webs. *PNAS*, 98: 166-170.
- NAKANO, S., MIYASAKA, H. & KUHARA, N. 1999. Terrestrial-aquatic linkages: riparian arthropod inputs alter trophic cascades in a stream food web. *Ecology*, 80: 2435-2441.
- NEGISHI, J. N. & RICHARDSON, J. S. 2003. Responses of organic matter and macroinvertebrates to placements of boulder clusters in a small stream of southwestern British Columbia, Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 60: 247-258.
- POZO, J., BASAGUREN, A. ELÓSEGUI, A., MOLINERO, J., FABRE, E. & CHAUVET, E. 1998. Afforestation with *Eucalyptus globulus* and leaf litter decomposition in streams of northern Spain. *Hydrobiologia*, 373: 101-110.



-
- PRETTY, J. L. & DOBSON, M. 2004. The response of macroinvertebrates to artificially enhanced detritus levels in plantation streams. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 8: 550-559.
 - RESH, V. H. & ROSENBERG, D. M. 1984. The ecology of aquatic insects. Praeger, Nueva York.
 - SABO, J. L. & POWER, M. E. 2002. River-water-shed exchange: effects of riverine subsidies on riparian lizards and their terrestrial prey. *Ecology*, 83: 1860-1869.
 - SOKAL, R. R. & ROHLF, F. J. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W. H. Freeman and Co. Nueva York.
 - STOUT, B. M., BENFIELD, E. F. & WEBSTER, J. R. 1993. Effects of a forest disturbance on shredder production in southern Appalachian headwater streams. *Freshwat. Biol.*, 29: 59-69.
 - STRAHLER, A. N. 1952. Dynamic basis of geomorphology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 63, 923-938.
 - TACHET, H., RICHOUX, P., BOURNAUD, M. & USSEGLIO-POLATERA, P. 2000 - *Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie*. CNRS Editions, Paris.
 - TER BRAAK, C. J. F., 1987: Ordination. En JONGMAN, R. H. G., TER BRAAK, C. J. F. and VAN TONGEREN, O. F. R. (eds.), *Data analysis in community and landscape ecology*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen: 91-173.
 - VANNOTE, R. L., MINSHALL, G. W., CUMMINS, K. W., SEDELL, J. R. & CUSHING, C. E. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 130-137.
 - VIEIRA-LANERO, R. 2000. *Las larvas de los tricópteros de Galicia (Insecta: Trichoptera)*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
 - WALLACE, J. B., GURTZ, M. E. & CUFFNEY, F. S. 1988. Long-term comparisons of insect abundances in disturbed and undisturbed Appalachian headwater streams. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 23: 1224-1231.
 - WALLACE, J. B., EGGERT, S. L., MEYER, J. L. & WEBSTER, J. R. 1997. Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. *Science*, 277: 102-104.
 - WIPFLI, M. S. 1997. Terrestrial invertebrates as salmonid prey and nitrogen sources in streams: contrasting old-growth and young-growth riparian forests in southeastern Alaska, U.S.A. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54: 1259-1269.



CLAUSURA DE LAS JORNADAS CIENTÍFICAS DEL PARQUE NATURAL DE PEÑALARA Y DEL VALLE DE EL PAULAR

ANTONIO HERNANDO

*Director del Instituto de Magnetismo Aplicado de Madrid
Catedrático de Magnetismo de la Universidad Complutense de Madrid*

Deseo comenzar agradeciendo al Director Conservador del Parque la gentileza que ha tenido invitándome a clausurar estas interesantísimas jornadas. Sin duda es mi doble condición de científico en activo y cuasi-vecino de este valle lo que ha motivado tal deferencia.

La Física que es el campo de mi actividad ha sido una ciencia desarrollada de forma rotunda en la primera mitad del siglo XX. A comienzos de este siglo sabemos que hace quince mil millones de años una sopa cósmica constituida mayoritariamente por fotones, neutrinos, electrones y positrones, estalló evolucionando posteriormente hasta alcanzar en la actualidad la fisonomía de este universo que nos sorprende y abruma en su infinitud. Entre los avatares del proceso hay que señalar, si bien solo por su importancia para nosotros, que hace unos cuatro mil quinientos millones de años en el entorno de una estrella media de una modesta galaxia se formó un planeta que llamamos Tierra. Se escucha hoy con frecuencia que el siglo XXI que acaba de comenzar será el siglo de la Biología y existen fundadas esperanzas de que vaya a ser así. En la situación actual que es la inicial para el despegue del conocimiento en Biología contamos con algunas bases científicas bien establecidas que sirven a su vez de punto de arranque y de polo atractivo para los jóvenes estudiantes. Podríamos condensarlas en los tres siguientes asertos: 1) la materia, sin necesidad de un programador externo es capaz de evolucionar por sí misma, siguiendo sus propias reglas, hasta llegar a construir objetos tan potentes y complejos como el cerebro humano, 2) la vida, como resultado de la dinámica interna de la materia bajo ciertas condiciones críticas, surgió una sola vez en la Tierra, hace aproximadamente más de

tres mil millones de años, y de esa célula inicial somos descendientes los musgos, las algas marinas, los robles del valle del Lozoya, los caballos y los seres humanos. 3) La aparición del cerebro humano supuso en el proceso evolutivo un salto cualitativo. A los mecanismos de la evolución como son la selección natural y la simbiosis hubo que añadir la actividad del cerebro humano. Este nuevo mecanismo, o la humanidad, ha generado un nuevo tipo de evolución conocido como evolución cultural para distinguirla de la evolución darwiniana natural que era la única activa hasta la aparición del cerebro.

¿Ante un panorama de tan extrema variabilidad temporal en el que lo evolutivo y cambiante se convierte en lo esencial que significado tiene el título de Conservador del Parque de Peñalara? ¿Qué relación puede existir entre la Ciencia que motiva esta Jornadas que es actividad cultural propia del cerebro humano y esencialmente hirviendo en aumento continuo de profundidad y extensión de conocimientos rigurosos, con la Conservación de un Parque?

Las respuestas a estas preguntas hay que buscarlas en la complejidad del cerebro que poseedor de una enorme abanico de capacidades es capaz de generar pautas de evolución cultural opuestas a la dinámica requerida por una vida satisfactoria integral del propio ser humano. El progreso es fruto del cerebro tanto como lo son otros tantos desastres contrarios a la vida cuyos medios de producción y propagación se ven a su vez amplificadas por el mismo progreso. La ciencia ha puesto de manifiesto que la composición química de la atmósfera terrestre es completamente diferente de la esperada en un estado de equilibrio químico. Como la



vida, todo su entorno, la llamada Biosfera, parece retar continuamente a las leyes de la termodinámica. Si bien como cualquier fenómeno material no puede eludir el inevitable sometimiento a las leyes de la materia como son las termodinámicas, sí puede obedecerlas de modo *temerario*. De hecho la obediencia de lo *vivo* a las leyes de la Física es tan temeraria que la muerte es consustancial con la vida. Así, los seres vivos son capaces de disminuir la entropía en el volumen que ocupan a costa de aumentarla en el entorno. El cerebro, mediante la inteligencia, ha sido consciente de que la vida requiere unas condiciones físico-químicas muy especiales y que tales condiciones resultan de un complejo entramado de fenómenos difíciles de distinguir como causas o efectos y que constituyen los ecosistemas. Es también consciente de que su propia actividad puede romper el articulado interno que genera la textura de tales ecosistemas. Los ecosistemas como los organismos vivos evolucionan bajo los efectos de los propios procesos vitales que propician. El oxígeno de la atmósfera resulta de la actividad fotosintética de las plantas y ha generado una evolución de la vida como manifiesta, por ejemplo, la aparición de la respiración. No es de extrañar que ante un panorama tan rico en correlaciones generadoras de evolución y cambio la Biosfera haya sido considerada como un apéndice de un ser vivo único y que, por tanto, se haya considerado como parte viva. La hipótesis Gaia, introducida por Lovelock en 1979 y respaldada por científicos de la talla de Lynn Margulis, constituye un atractivo y sugestivo punto de vista que acrisola aspectos científicos ciertos con una marcada estética poética.

La Ciencia nos ha permitido comenzar a comprender la físico-química de la vida. La utilización de los fenómenos físicos y químicos ha impulsado, también, que la capacidad de manipulación del entorno aumentara hasta límites que da vértigo constatar. El progreso asociado al aumento del conocimiento científico es una fuerza irrenunciable de la naturaleza humana, es decir, de las leyes de evolución de la materia. El progreso se puede encauzar pero nunca se podrá frenar. Ante estas tensiones dialécticas sólo la Ciencia será capaz de la síntesis deseada. El progreso del conocimiento nos hace conocer mejor las condiciones de vida plena y satisfactoria y nos proporciona la capacidad irrenunciable de progresar y cambiar. La síntesis lógica consiste pues en utilizar el progreso que lleva asociado un cambio, una evolución cultural, para cambiar las condiciones óptimas de vida a mejor en lugar de destruirlas o mantenerlas fijas. En resumen, la Ciencia nos debe indicar, como resultado de su investigación, lo que esencialmente hay que conservar para mejorarlo si es posible. Dicha conservación selectiva es sinónima del encauzamiento científico del progreso.

En el contexto de este análisis elemental se infiere que la actividad investigadora que conlleve un aumento del conocimiento de los ecosistemas- y fundamentalmente de la cadena de interacciones y correlaciones que los mantiene- es urgente y necesaria para todos ya que es la única fuente fiable de datos para el ecologismo. La investigación científica rigurosa es especialmente urgente e importante para las personas sensibles a la necesidad de preservar las condiciones de vida satisfactorias ya que de sus resultados se derivará tanto lo que hay que conservar como cuales son los métodos eficaces de conservación. Esperemos que el desarrollo de la Biología y de la Ecología sean suficientemente rápidos para evitar desastres y mientras tanto haremos uso del Principio de Precaución tratando de conservar en lo posible las condiciones óptimas conocidas. No obstante debemos tener muy presente que el conocimiento científico podría cambiar, en un futuro ya próximo, el panorama y la jerarquía que tenemos a día de hoy respecto a lo urgentemente conservable

Como he tratado de resumir, la potenciación de la componente científica de los trabajos de conservación lejos de ser un adorno constituye la esencia de la actividad conservadora inteligente y progresista. Esperemos que estas Jornadas sirvan para inducir y extender la sensibilidad ciudadana hacia la importancia que tiene la Ciencia en el enfoque riguroso y eficaz de la sensibilidad al medio ambiente. En la síntesis de ambas sensibilidades, con la misma contribución en importancia de cada una, habrá que buscar los programas y proyectos serios de futuro. Es de justicia reconocer que las organizaciones ecologistas y las administraciones han venido realizando un esfuerzo importante en potenciar la sensibilidad de todos hacia la conservación medioambiental. La labor a este respecto del Conservador del Parque de Peñalara llevada a cabo a pie de obra y, por esta razón, no exenta de dificultades sencillas de entender, merece ser reconocida como ejemplar. Modestamente animaría a las mismas organizaciones y administraciones y, por supuesto a nuestro Conservador, a que no olviden la importancia de inculcar sensibilidad científica en el sentido de que sólo dentro del marco de la investigación se podrán progresivamente definir con rigor y precisión los propios objetos de conservación. Afortunadamente la mera celebración de estas Jornadas, tanto como su magnífica calidad, pone de manifiesto que estamos en la dirección deseada.

Antonio Hernando
Rascafría diciembre 2005



