

JULIO MUÑOZ JIMÉNEZ* y ARTURO GARCÍA ROMERO**

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

**Departamento de Geografía Física. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México

Variación climática y cambios recientes de la vegetación supraforestal en el área de El Nevero-puerto de Navafría (sierra de Guadarrama, España)

RESUMEN

Se analiza la dinámica de la vegetación supraforestal en la sierra de Guadarrama y su correlación con la evolución de los parámetros climáticos en las últimas décadas. Los resultados sugieren que el aumento de las temperaturas y la disminución del volumen y de la permanencia de la nieve se han traducido en una reducción de ventisqueros, pastizales y matorrales abiertos y en una ampliación del área de matorrales densos.

RÉSUMÉ

Changements climatiques et modifications récentes de la végétation supraforestal dans les environs de El Nevero-Puerto de Navafría (Sierra de Guadarrama, Espagne).- On analyse la dynamique de la végétation supraforestal dans la Sierra de Guadarrama et sa corrélation avec l'évolution des paramètres climatiques dans les dernières décennies. Les résultats suggèrent que l'augmentation des températures et la diminution du volume et de la permanence de neige ont entraîné une diminution des creux de nivation, des prairies et broussailles ouverte et une expansion de la zone de fourré dense.

ABSTRACT

Climate variation and recent changes in supratimberline vegetation in the area of El Nevero-Puerto de Navafría (Sierra de Guadarrama, Spain).- We analyze the supratimberline vegetation dynamics in the Sierra de Guadarrama and its correlation with the evolution of climatic parameters in the last decades. The results suggest that increased temperatures and decreased volume and permanence of snow have resulted in a reduction of nivation hollows, grasslands and open scrub and an expansion of the area of dense scrub.

PALABRAS CLAVE/MOTS CLÉ/KEYWORDS

Cambios climáticos, vegetación supraforestal mediterránea, nieve, Sistema Central Español, sierra de Guadarrama.

Changements climatiques, végétation supraforestal méditerranéenne, neige, Système Central Espagnol, Sierra de Guadarrama.

Climate change, supraforestal Mediterranean vegetation, snow, Spanish Central System, Sierra de Guadarrama.

I. ANTECEDENTES, OBJETIVOS Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Continuando la línea de investigación desarrollada por el Grupo de Geografía Física de Alta Montaña de la UCM, este trabajo tiene como objeto describir los cambios registrados desde mediados del siglo xx en la vegetación de las áreas supraforestales de la sierra de Guadarrama (Sistema Central Español) y analizar sus

relaciones con las modificaciones recientes del clima, en especial con las que se refieren a la abundancia y a la duración de la nieve. En varios artículos ya publicados, los autores han estudiado este tema en una cabecera torrencial, la cuenca de la Condesa-Valdemartín (sector occidental de la Cuerda Larga) (Muñoz Jiménez y García Romero, 2004; Andrés, García Romero, Muñoz Jiménez y Palacios, 2007a y 2007b) y en un alto collado, el puerto de los Neveros (sector central de la Cuerda de los

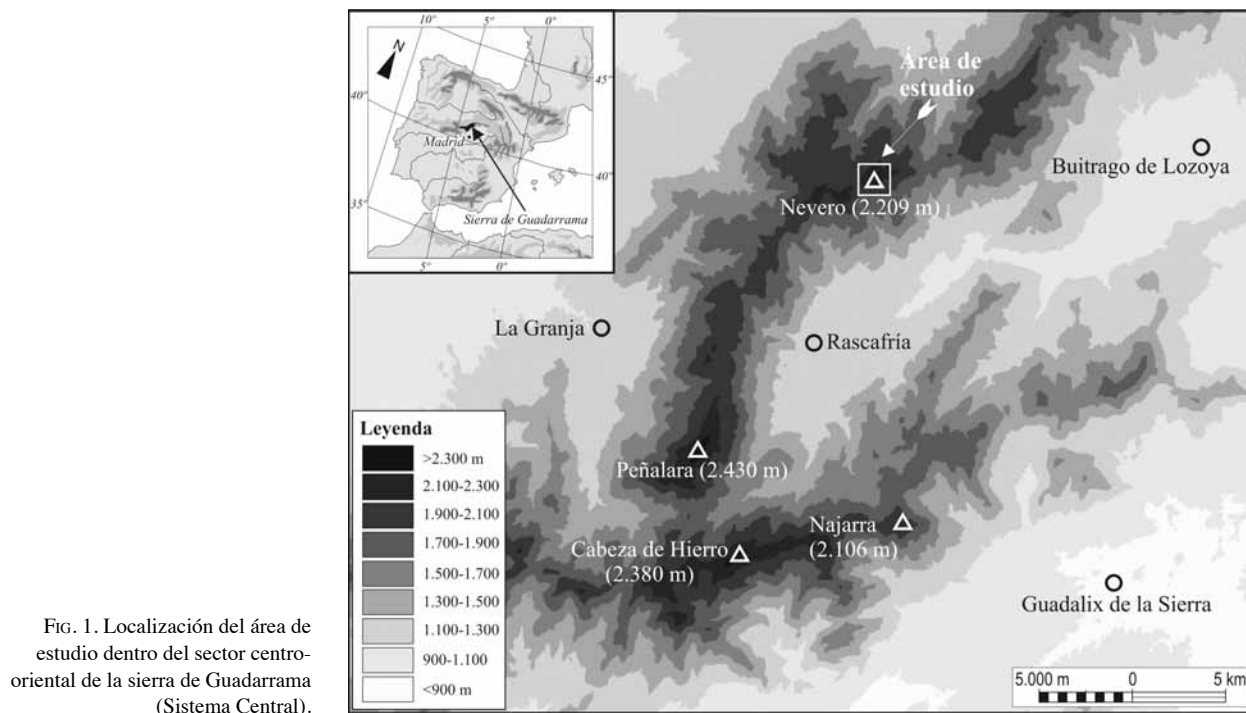


Fig. 1. Localización del área de estudio dentro del sector centro-oriental de la sierra de Guadarrama (Sistema Central).

Montes Carpetanos) (García Romero y Muñoz Jiménez, 2010). El área analizada ahora es un tramo de esta última cuerda, ubicado en su extremo nororiental junto al puerto de Navafría, caracterizado por una superficie culminante aplanada y relativamente amplia, que sobrepasa ligeramente los 2.200 m en el vértice de El Nevero, y unas laderas de pendiente marcada que descienden por el norte al valle del Cega (cuena del Duero) y por el sur al valle del Lozoya (cuena del Tajo) (Fig. 1).

Concretando, el área delimitada para el análisis es un cuadrado de 278,5 ha, el 84 % de cuya superficie se encuentra entre los 2.000 m y los 2.211 m de altitud, que en la cartografía topográfica más reciente se atribuyen al citado vértice de El Nevero. Su altura mínima es de 1.800 m, su altura media alcanza los 2.065 m y en sus proximidades no se encuentran picos u otros relieves vigorosos que destaquen sobre ella (Fig. 2).

Su roquedo es casi sin excepción metamórfico (corresponde a diversos tipos de neises) y está frecuentemente atravesado por diques de pórfido y, sobre todo, de cuarzo, una de cuyas intrusiones de mayor importancia se manifiesta vigorosamente en el relieve de la vertiente meridional, formando un pitón de color blanco conocido como Peña Cuervo (1.940 m). Lo normal es que los neises presenten un manto de alteración bastante bien desarrollado en las vertientes y una capa superficial de es-

caso espesor fragmentada por la meteorización mecánica en la superficie culminante (Bellido y otros, 1991). En la vertiente meridional del área, al pie de la altiplanicie culminante, se encuentran huellas muy claras del glaciario cuaternario: el circo y el arco morrénico del Hoyo Grande de Lozoya; y el circo de El Nevero con su fondo sobreexcavado en el que se acogen dos lagunas (Sanz, 1988).

De acuerdo con los registros termométricos automáticos realizados a lo largo de los últimos diez años en el Parque Natural de Peñalara (situado dentro de la misma alineación montañosa, a corta distancia) en la elevada altiplanicie de El Nevero la temperatura media anual es en la actualidad ligeramente superior a 5,0° y no pasa de 7,0° en las vertientes que la enmarcan (Durán Montejano, 2007). Durante los tres primeros meses de año las temperaturas medias son negativas y sólo durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre superan los 10°. La media anual de las temperaturas máximas diarias ronda los 8,0° y la media anual de las temperaturas mínimas apenas pasa de los 2,0°; y con muy pocas excepciones la temperatura desciende por debajo de los 0,0° todas las noches desde mediados de diciembre hasta mediados de abril. Utilizando como referencia los registros del observatorio meteorológico del puerto de Navacerrada (situado a 20 km al suroeste y a una altura de 1.892 m) correspondien-



FIG. 2. Imagen oblicua desde el sureste del área de estudio, en la que se observan la superficie aplanada culminante y los ventisqueros (Google Earth).

tes a la primera década del presente siglo, la pluviosidad media anual se aproxima a los 1.250 mm y se recibe en alrededor de 120 días, teniendo forma de nieve en algo más de la mitad de los casos (prácticamente en la totalidad de las precipitaciones registradas en la estación invernal) (Agencia Estatal de Meteorología, 2001-2010).

Esta combinación de temperatura y precipitaciones en forma sólida hace posible que la nieve se mantenga sobre el suelo en superficies despejadas de pendiente moderada más de 120 días al año por término medio y que en determinados enclaves, favorables para su acumulación, tenga una permanencia significativamente mayor. En estos enclaves, que reciben el nombre de «ventisqueros» o «neveros», la nieve puede alcanzar espesores importantes y persistir sobre el suelo a lo largo de más de 200 días (Andrés y Palacios, 2004; Palacios, Andrés y Luengo, 2003 y 2004), introduciendo modificaciones apreciables en la dinámica geomorfológica (Palacios y Andrés, 2000 y 2007; Marcos y Palacios, 2004). Varios fueron objeto de explotación hasta comienzos del siglo xx y uno de ellos, el ventisquero de la Reguera, es el primero que recoge volúmenes importantes de nieve (ya en noviembre) y el único que mantiene algunas manchas residuales de ésta a comienzos del mes de julio; ello significa una duración próxima a los 300 días/año y explica la explotación a la que secularmente fue sometido y de la que se conservan huellas evidentes (Corella Suárez, 1988a).

Las observaciones realizadas, junto con los testimonios recogidos y los estudios publicados sobre el tema del comercio de la nieve en la sierra de Guadarrama, señalan que el volumen y la persistencia del manto nival era ma-

yor con anterioridad y que se ha venido reduciendo apreciablemente a partir de la década de 1960, coincidiendo con el incremento también apreciable de las temperaturas. Ambos fenómenos se observan con claridad en los registros del observatorio del puerto de Navacerrada y pueden ser extrapolados con bastante aproximación al área de estudio. Teniendo en cuenta que en este collado la temperatura media anual en el periodo decenal 1965-1974 era de 5,7° y la nieve tenía una duración media de 165 días, hay que pensar que hace medio siglo la superficie culminante de El Nevero, que tiene una altura 300 m mayor, registraría un temperatura media anual inferior a 4,0° y la nieve podría permanecer en ella al menos el mismo número medio de días que en el citado observatorio meteorológico de la Red Principal (Alarcón López, Martínez Martínez y Martínez Molina, 1984; Instituto Nacional de Meteorología, 1995 y 2002).

En conformidad con los caracteres climáticos descritos, propios de la transición entre el horizonte superior del piso oromediterráneo y el piso criomediterráneo, la cubierta vegetal potencial está constituida por matorrales monoespecíficos o mixtos de *Cytisus carpetanus* (piorno) o *Juniperus alpina* (enebro rastrero o jabino), que se extienden por los sectores relativamente más bajos. En los sectores más altos y expuestos estos matorrales son sustituidos por pastizales psicroxerófilos dominados por *Festuca curvifolia* (joraga) y en los fondos más protegidos y húmedos por praderas higrófilas de *Nardus stricta* (cervuno), siendo la vegetación muy escasa en los roquedales y en las pedreras, donde la roca neísica se muestra sin alterar (Sanz, 1979; Rivas-Martínez y otros, 1999; Izquierdo, 2007). En las áreas particularmente favorables para la acumulación y la persistencia de la nieve, es decir, en los neveros o ventisqueros, la cubierta vegetal corresponde, por su parte, a formaciones herbáceas con alta presencia de especies quionófilas o moderadamente higrófilas: *Sedum candollei*, *Rumex acetosella* y *Senecio pyrenaicus*, en unos casos, *Rumex suffruticosus* y *Gentiana lutea*, en otros (Palacios y García, 1997a; Pintado y García, 2007). En la actualidad, una parte del área potencial de los matorrales está ocupada por pinares de repoblación de *Pinus sylvestris* medianamente desarrollados y la presencia de renuevos o ejemplares jóvenes de esta conífera es frecuente en el ámbito de las restantes formaciones vegetales, incluso en el de los pastizales de las áreas culminantes (Rivas-Martínez y otros, 1987; Fernández González, 1991).

Desde el punto de vista administrativo, el territorio analizado se ubica en el límite entre los municipios segovianos de Torre Val de San Pedro, Navafría y Ceguilla

y los madrileños de Lozoya y Pinilla del Valle, siendo la práctica totalidad de su superficie de titularidad pública. Al igual que los espacios supraforestales que lo circundan, es objeto de un aprovechamiento muy poco intenso y casi exclusivamente centrado en la ganadería vacuna. Anteriormente, hasta las primeras décadas del siglo xx, esta actividad ganadera estante y extensiva (que incluía la presencia de otros tipos de ganado —caprino, ovino— y la quema periódica de piornales) era algo más importante y se combinaba con la ya indicada explotación de los ventisqueros para abastecer de nieve a las ciudades y reales sitios próximos (Corella Suárez, 1988b y 1989).

II. DIFERENCIACIÓN DE LOS TIPOS DE CUBIERTA VEGETAL Y RECONOCIMIENTO DE SU EVOLUCIÓN SUPERFICIAL

Mediante trabajo de campo se ha procedido a la definición de las facies o formaciones elementales que componen la cubierta vegetal del área de estudio, se las ha agrupado en tipos y se ha delimitado y medido su área respectiva en ortoimágenes procedentes de fotografías aéreas realizadas en cinco fechas: 1975, 1984, 1991, 1998 y 2009. Por otro lado, se han sometido a tratamiento estadístico los datos del periodo 1965-2009 proporcionados por la Estación de Observación Meteorológica del Puerto de Navacerrada (Alarcón López, Martínez Martínez y Martínez Molina, 1984; Instituto Nacional de Meteorología, 1995 y 2002; Agencia Estatal de Meteorología, 2001-2010). Estos datos se refieren a 17 parámetros climáticos, de los cuales 7 son termométricos y 10 pluviométricos, y constituyen la fuente de información más completa y fiable de la evolución climática reciente de los sectores más elevados de la sierra de Guadarrama.

Partiendo de la hipótesis que esta evolución del clima se desarrolla del mismo modo, aunque dentro de niveles térmicos más bajos, en el área de estudio y considerando que la dimensión relativa y la distribución espacial de las facies que componen la cubierta vegetal han de reflejar en mayor o menor medida las condiciones climáticas reinantes en los años inmediatamente anteriores a la fecha en la que son captadas por las cámaras fotográficas aéreas, en el indicado periodo de registro meteorológico se han diferenciado los cinco tramos de diez años inmediatamente anteriores a las fechas de realización de los vuelos utilizados y se han obtenido los valores medios de los parámetros climáticos en cada uno de ellos.

A continuación, las superficies ocupadas por los componentes de la cubierta vegetal al concluir cada uno

de los seis tramos decenales se han correlacionado con los correspondientes valores medios de los parámetros climáticos, definiendo y cuantificando de este modo las relaciones entre las variables climáticas y la estructura de la vegetación supraforestal en la segunda mitad del siglo xx y en los primeros años del xxi. Para estas operaciones la información ha sido tratada con el programa de cálculo Microsoft Excel, utilizando líneas polinómicas para apreciar las tendencias de las variables climáticas tomadas en consideración y el coeficiente de Pearson para valorar su correlación con la superficie de las formaciones vegetales.

El reconocimiento directo del terreno, que se ha realizado en varias visitas llevadas a cabo siempre entre los meses de julio y septiembre (cuando la cubierta nival está ausente o es mínima) a partir del año 2007, ha permitido diferenciar en el área 13 tipos elementales de cubierta vegetal, de los cuales 7 son de carácter herbáceo (pastizales, herbazales) y 5 de carácter prioritariamente arbustivo o subarbustivo (matorrales); sólo uno, introducido por el hombre, tiene naturaleza forestal (bosque de repoblación). Teniendo en cuenta las similitudes de su composición y de su significado ecológico, estos tipos o componentes elementales se han agrupado en los 7 grandes tipos genéricos que se describen a continuación.

1. HERBAZALES/PASTIZALES MUY ABIERTOS DE ROQUEDALES Y PEDRERAS

Aparecen en el terreno como áreas descubiertas en las que, sin manto de alteración, aflora directamente el roquedo gneísico masivo o donde se acumulan masas sueltas y relativamente inestables de clastos angulosos, principalmente bloques, resultantes de la fragmentación del mismo y de las rocas filonianas intruidas en él. Al igual que en el resto de los ámbitos análogos de las cumbres y altas laderas de la sierra de Guadarrama, en ellas la cubierta vegetal es extremadamente laxa, limitándose a pequeños grupos de plantas acogidos en fisuras o a ejemplares aislados en huecos entre los bloques más estabilizados. Las especies más frecuentes en la vegetación fisurícola de los roquedales son *Dianthus hispanicus* (clavel), *Digitalis thapsi* (dedalera), *Saxifraga willkomiana* (saxifraga), *Hieracium carpetanum* (pelosilla), *Criptogama crispa* (helecho de roca), *Avenella iberica* (avenilla) y *Agrostis rupestris* (agrostis de roca), mientras que en las pedreras sueltas sólo aparecen de forma muy dispersa *Agrostis truncatula* (ciacina), *Senecio pyrenaicus* (senecio), *Sedum brevifolium* (arrocillo) y *Avenella ibe-*



FIG. 3. Fotografía de la superficie aplanada culminante colonizada por pastizales psicroxerófilos abiertos de *Festuca curvifolia* (joraga). En primer plano, enclave marginal ocupado por matorrales densos de *Juniperus alpina* (jabino).

rica (avenilla) (Rivas-Martínez y otros, 1989 y 1999). La extensión que suman estas áreas (roquedales y pedreras) en el espacio analizado es relativamente pequeña (algo más del 4 % de la superficie en la actualidad) y se ha modificado muy poco a lo largo del intervalo temporal considerado.

2. PASTIZALES DENSOS PSICROXERÓFILOS (JORAGALES)

Son formaciones de césped denso de muy baja talla y ciclo estacional marcado, claramente reconocibles en la fotografía aérea, que en unos sectores aparecen limpios de arbustos y en otros salpicadas por matas poco desarrolladas de *Cytisus carpatanus* (piorno), por algún ejemplar rastrero de *Juniperus alpina* (jabino o enebro de montaña) o por pies jóvenes y dispersos de *Pinus sylvestris* (pino silvestre). Están formadas por gramíneas pertenecientes a especies resistentes al frío y al viento pero poco tolerantes a cubiertas nivales espesas y duraderas, entre las que destaca fuertemente por su abundancia *Festuca curvifolia* (joraga), y en ellas tienen una presencia significativa otras especies herbáceas de baja talla capaces también de soportar la dureza del clima de los ambientes más ventosos y desabrigados de la alta montaña, como *Hieracium vahlii* (oreja de ratón), *Jasione crispa* (botón azul), *Silene ciliata* (silene ciliada), *Armeria caespitosa* (erizo de sierra) y *Erysimum penyalarensense* (alhelí de Peñalara) (Sanz, 1979; Rivas-Martínez y otros, 1999). Estos joragales psicroxerófilos, que ocupan la práctica



FIG. 4. Fotografía del ventisquero de La Reguera, colonizado en sus laderas por herbazales/pastizales quionófilos de *Senecio pyrenicus* (senecio), *Agrostis truncatula* (agrostis), *Koeleria caudata* (llantén) y *Avenella iberica* (avenilla). La parte inferior, donde se conservan muros heredados de la época en la que se explotaba la nieve, está ocupado por pastizales higrófilos siempre verdes de *Nardus stricta* (cervuno) y *Festuca iberica* (festuca).

totalidad de la superficie culminante que (por encima de los 2.000 m de altitud) se desarrollan en el entorno de la cumbre de El Nevero, incluyen actualmente en su área el 23,1 % del territorio analizado y desde 1975 (en que se acercaban al 23 %) han registrado una ligera aunque constante reducción (Fig. 3).

3. HERBAZALES/PASTIZALES ABIERTOS DE VENTISQUEROS

Aparecen en las fotografías aéreas, tomadas a finales de primavera o comienzos de de verano, como ámbitos aparentemente descubiertos dentro de los que se conservan acumulaciones o retazos de nieve más o menos importantes según los años. Si se los reconoce desde tierra a mediados o finales de la estación estival, se observa que en ellos aflora un potente manto de alteración con abundantes fragmentos de neis o existe un manto de formaciones coluviales empastadas sobre las que se desarrolla un recubrimiento herbáceo normalmente muy abierto en el que se mezclan, en distintas proporciones según los casos, plantas quionófilas rastreras o de pequeña talla como *Sedum candollei* (uña de gato), *Rumex acetosella* (acederilla), *Paronychia polygonifolia* (florete blanca), *Leucantemopsis pallida* (crisantemo pálido) y *Linaria saxatilis* (linaria), plantas herbáceas de talla media o alta capaces de tolerar una larga duración de



FIG. 5. Fotografía de matorral abierto de *Cytisus carpetanus* (piorno) con plantas dispersas de *Juniperus alpina* (jabino) y *Gentiana lutea* (genciana de flor amarilla) colonizando la parte alta de una ladera. En el fondo, bosques de repoblación de *Pinus sylvestris*.



FIG. 6. Fotografía de matorral denso de *Cytisus carpetanus* (piorno) y *Juniperus alpina* (jabino) colonizando la ladera en el entorno de un ventisquero (el ventisquero de Peña Cuervo). A la derecha, pinos dispersos en el borde de los sectores repoblados.

la nieve, como *Senecio pyrenaicus* (senecio) y *Rumex suffruticosus* (acedera), o una saturación hídrica temporal del suelo, como *Gentiana lutea* (genciana amarilla), y gramíneas adaptadas también a ambientes pedregosos y relativamente húmedos de alta montaña, como *Agrostis truncatula* (agrostis), *Koeleria caudata* (llantén) y *Avenella iberica* (avenilla) (Fernández González, 1991; Palacios y García, 1997b). Desde el punto de vista del stock florístico concreto y de la densidad de la cobertura vegetal se aprecian diferencias claras entre los ventisqueros: en los de mayor altura y más expuestos al viento el recubrimiento vegetal es extremadamente abierto y en él predominan las quionófilas de pequeña talla y las gramíneas junto con los senecios; por el contrario, en los relativamente más bajos y abrigados la vegetación alcanza tasas de cobertura más importantes con gran presencia de gencianas y acederas. Sumando las dos modalidades indicadas (asimilable a un pastizal, la primera, y a un herbazal, la segunda), este tipo de vegetación llegaba a ocupar en los años sesenta y setenta del siglo XX un 6,7 % de la superficie del área de estudio y en la actualidad, después de una continuada reducción, su extensión no llega ya al 5,4 % (Fig. 4).

4. PASTIZALES MUY DENSOS HIGRÓFILOS (CERVUNALES)

Son formaciones de gramíneas siempre verdes fuertemente enraizadas en formaciones edáficas de textura y naturaleza turbosas ricas en humedad e incluso local-

mente saturadas que se diferencian con claridad tanto en la fotografía aérea como sobre el terreno. Estos pastizales cespitosos, de muy alta densidad, están compuestos por gramíneas de montaña particularmente higrófilas, entre las que destacan por su abundancia *Nardus stricta* (cervuno) y *Festuca iberica* (festuca). Estas dos especies dominantes se encuentran acompañadas por *Luzula campestris* (lúzula), *Hieracium pilosilla* (pelosilla), *Ranunculus bulbosus* (ranúnculo), *Polytrichum juniperinum* (musgo de suelo) y *Trifolium repens* (trébol blanco), en los sectores no saturados de agua, y por *Spagnum* sp. (esfagno o musgo de turbera), *Carex nigra* (cárex negro), *Carex echinata* (cárex espinoso), *Viola palustris* (violeta de pantano), *Erica tetralix* (brezo de turbera) y *Drosera rotundifolia* (atrapamoscas), en enclaves pantanosos o próximos a cursos de arroyos (Sanz, 1979; Rivas-Martínez y otros, 1999). Estos cervunales, que con frecuencia aparecen salpicados por grandes matas rastreras de *Juniperus alpina* (jabino) o por rodales de *Gentiana lutea* (genciana amarilla), suman una extensión equivalente a algo menos del 2 % del área de estudio y han registrado una reducción apreciable entre el año 1975 (en el que se acercaban al 3 %) y el 2009 (Fig. 4).

5. MATORRALES ABIERTOS O MUY ABIERTOS

Bajo esta denominación se incluyen las formaciones arbustivas de mediana o baja densidad existentes en el área y que están compuestas, en unos casos, de forma

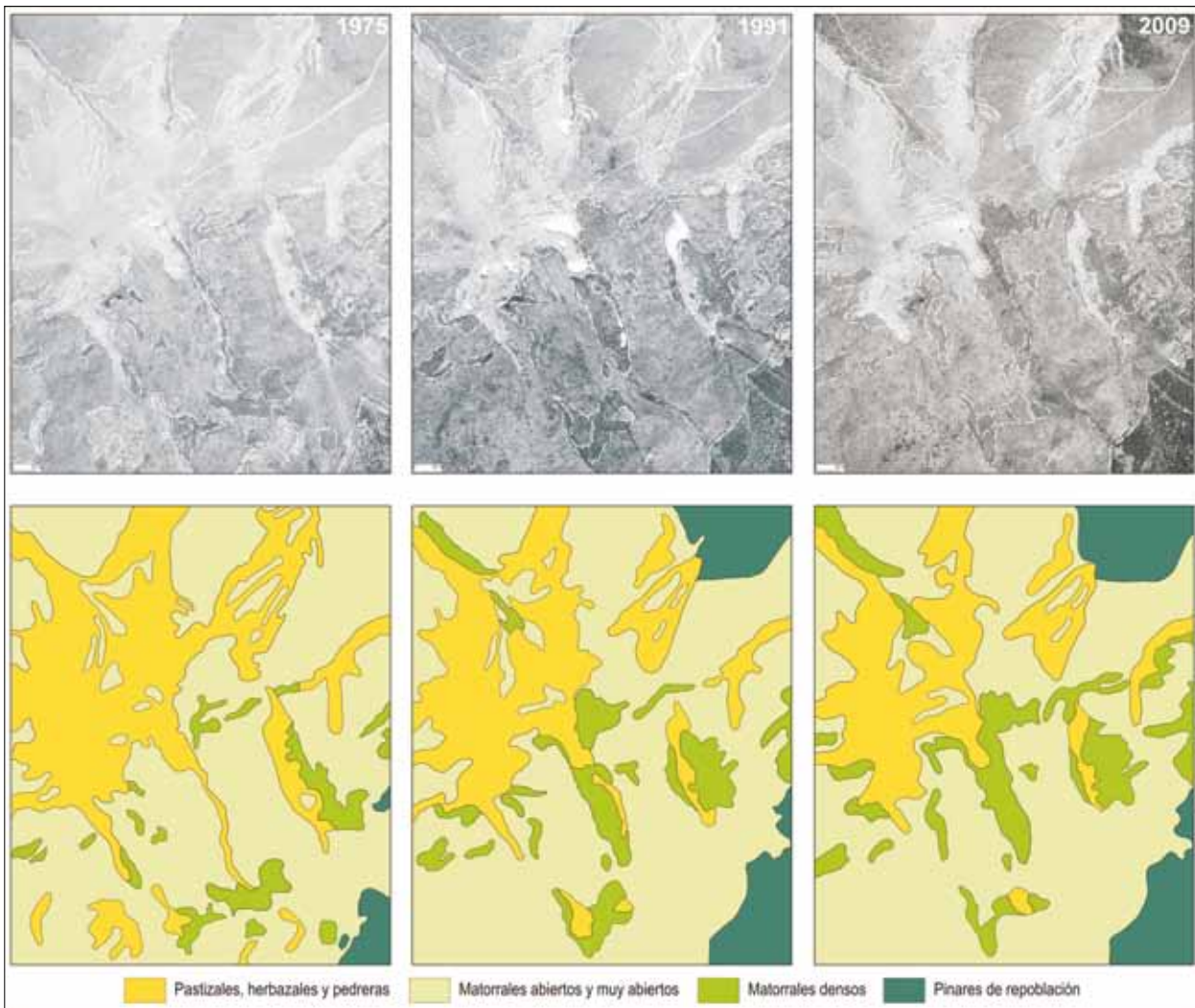


FIG. 7. Evolución de los principales tipos de cubierta vegetal en el área entre 1975 y 2009.

prácticamente exclusiva por *Cytisus carpetanus* (piorno) o por *Juniperus alpina* (jabino) y, en otros, por una mezcla de ambas especies. En los sectores ocupados por ellas los ejemplares o grupos de estos arbustos dejan entre sí espacios libres, ocupados sólo por vegetación herbácea, cuya extensión relativa puede llegar a ser tan grande que sitúe a estas formaciones en la transición entre un verdadero matorral y un pastizal psicroxerófilo salpicado de matas. En este estrato herbáceo predominan las gramíneas (sobre todo *Avenella iberica* [avenilla], *Festuca curvifolia* [joraga] y *Koeleria caudata* [llantén]) y se encuentran con frecuencia *Rumex suffruticosus* (accedera) y *Rumex acetosella* (acederilla); también, en algunos sectores próximos a los ventisqueros, aparecen ejemplares

dispersos de *Gentiana lutea* (genciana amarilla) (Rivas-Martínez y otros, 1999) (Fig. 5).

Los matorrales de este tipo, que colonizan prioritariamente depósitos coluviales de textura media o fina y mantos de alteración homogéneos con pocos afloramientos de roca sana, se extienden sobre gran parte de la ladera suroriental y los sectores más elevados de la noroccidental (donde enlazan progresivamente con los joragales de la planicie culminante) y suman una superficie equivalente a poco menos de la mitad del territorio estudiado. Se trata en consecuencia del tipo de cubierta vegetal más importante en los ámbitos supraforestales de El Nevero-puerto de Navarría y su preeminencia se ha mantenido a lo largo de todo el periodo estudiado, pese

CUADRO 1. Superficie ocupada (%) por las formaciones herbáceas (sin contar las de los roquedales y pedreras) y las formaciones de matorral en las fechas correspondientes a las coberturas de fotografía aérea

	1975	1984	1991	1998	2009
Pastizales y herbazales	32,37	32,06	31,11	30,82	30,43
Matorrales	63,44	63,67	64,42	64,70	65,19

a que el análisis de las sucesivas imágenes aéreas permite observar una leve reducción superficial (del 53 % en 1975 al 49,5 % en 2009). A lo largo de dicho periodo son minoritarios dentro de estas formaciones arbustivas abiertas y muy abiertas los matorrales mixtos de piorno y jabino, predominando siempre con claridad los piornales o los jabinales casi puros.

6. MATORRALES DENSOS

También aparecen en el territorio analizado áreas cubiertas por vegetación arbustiva densa localizadas mayoritariamente en sectores de ladera de pendiente moderada o alta. En ellas dominan las mismas especies de talla arbustiva que en los matorrales de menor densidad antes analizadas: el piorno (*Cytisus carpetanus*) y el jabino (*Juniperus alpina*). Los individuos de éstas, acompañados en algunos casos por matas de *Adenocarpus hispanicus* (cambroño o codeso), están tan próximos que apenas quedan huecos donde puede desarrollarse un estrato herbáceo (Fig. 6).

Este estrato, cuando existe, es laxo, pero cuenta con una notable riqueza florística, teniendo una presencia significativa *Avenella iberica* (avenilla), *Arrhenatherum elatius* (hierba triguera), *Festuca curvifolia* (joraga), *Hieracium myriadenum* (vellosilla), *Thymus praecox* (tomillo rastrero), *Senecio pyrenaicus* (senecio), *Luzula lactea* (lúzula) y *Rumex acetosella* (acederilla) (Rivas-Martínez y otros, 1987, 1989 y 1999). En conjunto, estos matorrales densos son el tipo de vegetación que ha registrado un mayor crecimiento en términos relativos, ya que a mediados de la década de 1970 su área apenas representaba el 10,5 % de la superficie estudiada y en 2009 sobrepasa el 15,5 %. Esta progresión espacial ha ido acompañada de una mayor integración de las dos especies, ya que, mientras los matorrales densos puros (casi siempre de jabino) se han mantenido prácticamente sin variación en torno al 2,5 %, los matorrales densos mixtos (piornal-jabinales) han ampliado significativamente su extensión, pasando del 7,5 % a casi el 12,0 %.

CUADRO 2. Superficie ocupada(%) por los tipos de vegetación diferenciados en las fechas correspondientes a las coberturas de fotografía aérea

	1975	1984	1991	1998	2009
1. Herbazales/pastizales muy abiertos de roquedales y pedreras	4,19	4,27	4,47	4,48	4,38
2. Herbazales/pastizales abiertos de ventisqueros	6,69	6,43	5,57	5,36	5,35
3. Pastizales densos psicroxerófilos	22,82	23,14	23,25	23,28	23,11
4. Pastizales muy densos higrófilos	2,86	2,49	2,29	2,18	1,97
5. Matorrales abiertos y muy abiertos	53,00	52,47	49,90	50,27	49,50
6. Matorrales densos	10,44	11,20	14,52	14,43	15,69

7. BOSQUES ABIERTOS DE REPOBLACIÓN

En los bordes nororiental y suroriental del área analizada se encuentran varias manchas de pinar de repoblación que constituyen el límite superior de las plantaciones de coníferas (muy mayoritariamente de *Pinus sylvestris*) que ocupan las partes altas tanto de la vertiente segoviana como de la madrileña (Izquierdo, 2007). Su extensión ha pasado de algo más del 2,0 % en 1975 a casi el 8 % en 2009 y, teniendo en cuenta que está influida más por las acciones antrópicas que por las modificaciones del ambiente climático, este tipo de cubierta vegetal no ha sido tomada en consideración en el estudio (Figs. 5 y 6).

La interpretación de las sucesivas coberturas de fotografía aérea permite apreciar cómo en el área de El Nevero-puerto de Navafría no se han producido a lo largo de las últimas cuatro décadas cambios en el reparto del territorio entre los diversos tipos de formaciones capaces de modificar sustancialmente la estructura básica del recubrimiento vegetal. Desde el comienzo hasta el final del periodo controlado los matorrales, con una cobertura próxima al 60 %, constituyen la vegetación dominante, seguidos por las formaciones herbáceas, que colonizan en torno al 30 %. A diferencia de lo ocurrido en otros sectores supraforestales de la sierra de Guadarrama, no se ha pasado de una situación de dominio de las formaciones herbáceas a otra caracterizada por un claro predominio de los matorrales; tampoco se aprecia una densificación generalizada de éstos (Sanz-Elorza y otros, 2003; Muñoz Jiménez y García Romero, 2004; García Romero y Muñoz Jiménez, 2010). Pero, aunque no hayan sido capaces

CUADRO 3. Superficie ocupada (%) por los tipos de vegetación de matorral según su el carácter de su composición, en las fechas correspondientes a las coberturas de fotografía aérea

	1975	1984	1991	1998	2009
Matorrales monoespecíficos	50,77	49,38	47,16	47,32	47,64
Matorrales mixtos	12,67	14,29	17,26	17,38	17,55

CUADRO 4. Superficie ocupada (%) por los tipos de vegetación de matorral según la especie dominante, en las fechas correspondientes a las coberturas de fotografía aérea

	1975	1984	1991	1998	2009
Matorrales de piorno	22,32	20,85	21,29	21,42	21,79
Matorrales de jabino	28,45	28,53	25,87	25,90	25,85
Matorrales mixtos	12,67	14,29	17,26	17,38	17,55

de transformar los rasgos básicos de la configuración y la estructura del tapiz vegetal, la progresión de las formaciones arbustivas y el incremento de su densidad se han registrado también en el área de estudio; y lo mismo ha ocurrido con la reducción del área de las formaciones herbáceas, en especial de los pastizales y herbazales más vinculados a la humedad edáfica y a la acumulación nival. Así se deduce de la evolución de las superficies de los tipos genéricos de vegetación obtenida de la interpretación de las fotos aéreas de 1975, 1984, 1991, 1998 y 2009 (Fig. 7, y cuadro 1).

III. IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES TENDENCIAS EVOLUTIVAS DE LA CUBIERTA VEGETAL

El análisis de la cobertura de fotografía aérea más reciente permite apreciar cómo en la actualidad predominan con claridad en el área las formaciones de matorral, que cubren casi dos tercios de su superficie, correspondiendo algo más del tercio restante a formaciones compuestas por herbáceas. Esta relación dimensional básica de los grandes tipos genéricos de cubierta vegetal no ha variado de forma apreciable a lo largo del periodo analizado, ya que, como se observa en las fotografías de fechas anteriores, los herbazales y pastizales en conjunto siempre han ocupado a lo largo del periodo considerado entre el 36,5 % y el 34,5 % y los matorrales entre el 63,5 % y el 65,5 % del territorio. No obstante, dentro de unos márgenes limitados, es indudable la tendencia progresiva de éstos (+2,8 %) y la tendencia regresiva de las formaciones herbáceas (-4,8 %).

Tomando en consideración los seis tipos de vegetación diferenciados y anteriormente descritos, se aprecia que los matorrales abiertos constituyen la cobertura vegetal predominante en el año 2009, ya que se extienden por prácticamente la mitad del área, seguidos a gran distancia por los pastizales psicixerófilos que cubren algo menos de una cuarta parte de la misma. Los siguen

los matorrales densos (15,7 %), los herbazales de ventisquero (5,3 %), las formaciones herbáceas muy abiertas de roquedales y pedreras (4,4 %) y los pastizales húmedos (2,0 %). Las variaciones registradas en las últimas décadas han sido moderadas en términos absolutos y en todo caso no han modificado nunca el orden de preeminencia superficial de las formaciones vegetales que se acaba de señalar. En términos relativos, sin embargo, dichas variaciones son más significativas y permiten reconocer tendencias evolutivas claras en la mayor parte de los casos (cuadro 2).

Apreciando el sentido de la variación superficial de su área, han crecido de forma muy significativa los matorrales densos (un 50,3 %) y moderadamente los herbazales y pastizales muy abiertos de pedregales y pedreras (un 4,5 %) y los pastizales psicixerófilos (un 1,3 %). Por el contrario, ha disminuido en una medida apreciable el área de los pastizales húmedos (un 31,1 %) y los herbazales de ventisquero (un 20,0 %) y de forma más moderada la de los matorrales abiertos (6,6 %). Puede decirse, en consecuencia que, dentro del marco de una lenta «matorralización» (ya que en conjunto las formaciones arbustivas han crecido un 2,8 %, al tiempo que las herbáceas se han reducido un 4,8 %) en el entorno de la cumbre de El Nevero y del puerto de Navafría, los procesos más activos que afectan a la cubierta vegetal son la densificación de los matorrales y la reducción del espacio ocupado por los cervunales y los ventisqueros (Fig. 8).

Desde la perspectiva de su composición florística, dentro de los matorrales han predominado y predominan con claridad los monoespecíficos: y dentro de éstos los formados por jabino (*Juniperus alpina*) han ocupado y ocupan una extensión algo mayor que los formados por piorno (*Cytisus carpetanus*). Sin embargo, a lo largo del periodo considerado los jabinales y los piornales puros han ido reduciendo su superficie (-6,2 %), al tiempo que los matorrales mixtos compuestos por ambas especies la han aumentado de forma apreciable (+38,5 %) (cuadros 3 y 4).

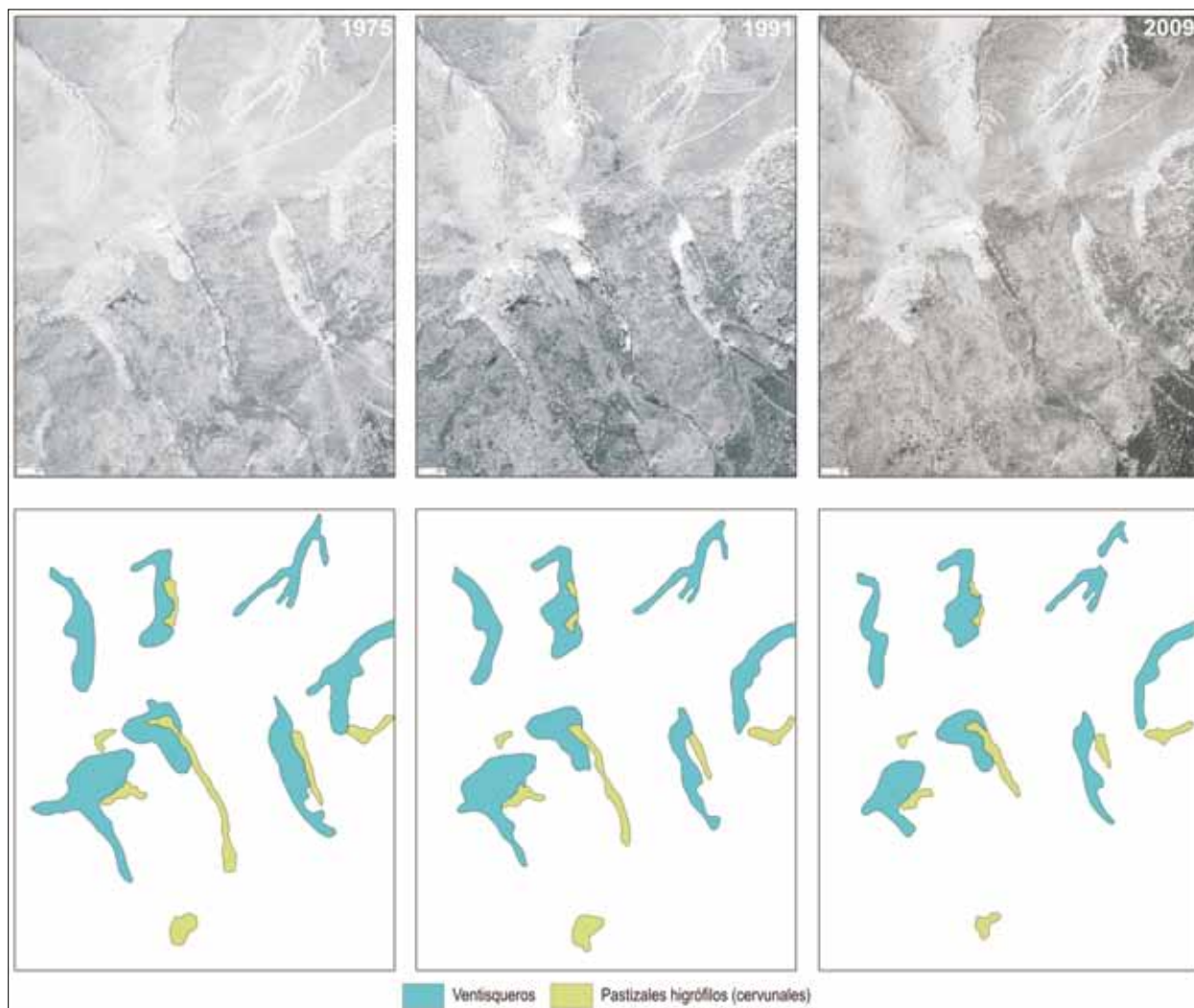


FIG. 8. Evolución de los tipos de cubierta vegetal más relacionados con la nieve entre 1975 y 2009.

Así pues, dentro del ámbito de los matorrales de alta montaña el principal proceso es la progresiva mezcla del piorno y el jabino que se manifiesta en el significativo aumento (que se acaba de señalar) de la superficie ocupada por matorrales mixtos en los que la tasa de cobertura de ambas especies está equilibrada. Le acompaña un apreciable pero menor retroceso de las formaciones arbustivas donde existe un claro dominio de una u otra. Dicho retroceso afecta en mayor medida a los matorrales de *Juniperus alpina* (cuya superficie ha disminuido un 9,1 %) que a los de *Cytisus carpetanus* (que han registrado un retroceso del 2,4 %). Desde esta perspectiva puede decirse que en el área de estudio se registra una clara tendencia favorable a la coexistencia y la mezcla del jabino y el piorno (cuadro 4).

IV. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS Y VALORACIÓN DE SUS MODIFICACIONES RECIENTES

Las tendencias y los cambios detectados en la distribución del espacio del área de El Nevero-puerto de Navafría entre las diferentes formaciones arbustivas y herbáceas que componen su vegetación han coincidido en el tiempo con modificaciones apreciables en el clima de la sierra de Guadarrama y concretamente en las condiciones climáticas de sus sectores de mayor elevación. Analizando los registros del observatorio meteorológico del puerto de Navacerrada (situado 20 km al suroeste del área de estudio y a una altura de 1.892 m), estas modifi-

CUADRO 5. Valores termométricos medios anuales en las décadas anteriores a la fecha de los vuelos (observatorio del puerto de Navacerrada)

	Década anterior a 1975	Década anterior a 1984	Década anterior a 1991	Década anterior a 1998	Década anterior a 2009
T media anual	5,60	6,03	6,73	6,91	7,10
T máxima media anual	8,98	9,30	10,33	10,71	11,06
T mínima media anual	2,32	2,88	3,21	3,15	3,09

caciones en el periodo 1965-2009 se pueden resumir en una tendencia al incremento de todos los valores termométricos y en una tendencia a la reducción de gran parte de los valores pluviométricos y, sobre todo, nivométricos (Alarcón López, Martínez Martínez y Martínez Molina, 1984; Instituto Nacional de Meteorología, 1995 y 2002; Agencia Estatal de Meteorología, 2001-2010). El progresivo aumento de las temperaturas medias, máximas y mínimas ha sido corroborado en los últimos diez años por los termómetros automáticos instalados en el Parque Natural de Peñalara a altitudes que van de los 1.937 m a los 2.237 m, análogas a las del área de estudio de la que este espacio protegido dista menos de diez kilómetros (Durán Montejano, 2007).

Para evaluar de la forma más precisa posible este cambio en el ambiente climático de las más elevadas vertientes y cumbres de la sierra de Guadarrama se han seleccionado entre los datos proporcionados por el observatorio del puerto de Navacerrada para el periodo 1965-2009 los correspondientes a siete variables termométricas y diez pluvio-nivométricas. Las variables referentes a la temperatura han sido la temperatura media anual, la temperatura media anual de las máximas, la temperatura media anual de las mínimas, la temperatura media de primavera, la temperatura media de verano, la temperatura media de otoño y la temperatura media de invierno; las referentes a los aportes de lluvia y nieve han sido la precipitación media anual, el número medio de días de precipitación al año, el número medio de días de nevada al año, el número medio de días de duración de la nieve sobre el suelo al año, el número medio de días de nevada en otoño, el número medio de días de duración de la nieve sobre el suelo en otoño, el número medio de días de nevada en invierno, el número medio de días de duración de la nieve sobre el suelo en invierno, el número medio de días de nevada en primavera y el número medio de días de duración de la nieve sobre el suelo en primavera.

CUADRO 6. Valores termométricos medios estacionales en las décadas anteriores a la fecha de los vuelos (Observatorio de Puerto de Navacerrada)

	Década anterior a 1975	Década anterior a 1984	Década anterior a 1991	Década anterior a 1998	Década anterior a 2009
T media primavera	2,87	2,82	3,54	4,57	5,14
T media verano	14,00	14,09	15,22	15,37	15,56
T media otoño	6,51	7,27	8,22	7,38	7,63
T media invierno	-1,03	0,04	0,07	0,07	0,20

Con el objeto de valorar la posible relación del indicado cambio de ambiente climático con las modificaciones observadas en la cubierta vegetal de área de estudio a través del análisis de las fotografías aéreas realizadas en 1975, 1984, 1991, 1998 y 2009 se han calculado los valores medios de las variables seleccionadas en la década anterior a la fecha de realización de cada uno de los cinco vuelos.

El análisis de estos valores medios decenales y de las líneas de tendencia correspondientes a las variables termométricas pone de manifiesto un incremento notable del nivel de las temperaturas entre 1965 y 2009. Tanto la temperatura media anual como las temperaturas medias anuales de las máximas y de las mínimas han aumentado de forma significativa para alcanzar en los últimos años de la serie unos valores superiores entre 0,75° y 2,75° a los que se registraban al comienzo de la misma (cuadro 5). Teniendo en cuenta la mayor altitud del área de estudio (300 m por encima de la del observatorio del puerto de Navacerrada) y aplicando los gradientes obtenidos a partir de los datos de los termómetros automáticos del Parque Natural de Peñalara, se puede calcular que en el entorno de la cumbre de El Nevero la temperatura media anual ha pasado en el periodo indicado de 3,8° a 5,2°, la media anual de las máximas ha crecido de 6,0° a 8,2° y la media anual de las mínimas de 1,6° a 2,2°.

Del mismo modo, los análisis estadísticos y las líneas de tendencia muestran cómo el nivel térmico medio ha aumentado entre 1,00° y 2,50° en todas las estaciones del año (cuadro 6).

Aplicando los gradientes termométricos altitudinales obtenidos a partir de los datos de los termómetros automáticos instalados en el Parque Natural de Peñalara, puede calcularse que en los sectores más elevados del área de estudio (cuya altitud es 300 m superior a la del

CUADRO 7. Valores pluviométricos y nivométricos medios anuales en las décadas anteriores a la fecha de los vuelos (observatorio del puerto de Navacerrada)

	Década anterior a 1975	Década anterior a 1984	Década anterior a 1991	Década anterior a 1998	Década anterior a 2009
P media anual	1516,60	1391,10	1195,30	1205,60	1260,80
Días de P/año	161,40	150,30	134,70	146,70	117,00
Días de nieve/año	87,20	78,70	69,60	66,20	67,20
Duración nieve/año	165,00	134,60	120,50	116,50	123,60

puerto de Navacerrada) la temperatura media de invierno ha pasado, en el intervalo temporal considerado, de $-3,2^{\circ}$ a $-2,6^{\circ}$ y la de primavera de $1,7^{\circ}$ a $2,3^{\circ}$; por su parte, la temperatura media ha pasado en verano de $10,0^{\circ}$ a $13,7^{\circ}$ y en otoño de $4,8^{\circ}$ a $6,6^{\circ}$.

Los datos pluviométricos obtenidos en el observatorio del puerto de Navacerrada (que en este caso son los únicos disponibles) ponen de manifiesto cómo de forma simultánea al indicado calentamiento la pluviosidad anual ha tenido en conjunto una tendencia negativa clara. Esta tendencia particularmente marcada durante la primera parte del período considerado, en la que se pasó rápidamente de 1.516,6 mm a 1.260,8 mm, ha sido sucedida por una práctica estabilización en las tres últimas décadas. Análoga tendencia al descenso ha tenido el número total de días de precipitación año, que ha pasado de 161,4 días/año a menos de 117,0 días/año, aunque en este caso las reducciones más marcadas se han producido en la última década del periodo. En todo caso, se aprecia con claridad que entre el comienzo y el final de éste tanto el volumen anual como la frecuencia de las precipitaciones se han reducido de forma apreciable (en torno a un 20-25 %) en las altas laderas de la sierra de Guadarrama (cuadro 7).

También la frecuencia de las precipitaciones en forma de nieve se ha reducido, con un ritmo de descenso particularmente marcado al comienzo del período y una práctica estabilización en los tramos finales del mismo. Como resultado de ello, los días de nevada al año en altitudes próximas a los 1.900 m han pasado de 87 a 67 (es decir, se han reducido entre un 20 % y un 25 %). Pero el parámetro climático anual que muestra un cambio más significativo es la permanencia media de la nieve sobre el suelo en estas elevadas áreas de montaña: de los 165 días/año por término medio en el tramo decenal 1965-

CUADRO 8. Valores nivométricos medios estacionales en las décadas anteriores a la fecha de los vuelos (observatorio del puerto de Navacerrada)

	Década anterior a 1975	Década anterior a 1984	Década anterior a 1991	Década anterior a 1998	Década anterior a 2009
Días de nieve/otoño	13,40	11,00	8,60	10,70	9,80
Duración nieve/otoño	16,70	12,90	6,10	7,50	16,70
Días de nieve/invierno	41,10	35,00	33,60	33,70	33,90
Duración nieve/invierno	81,70	66,60	69,30	73,60	75,30
Días de nieve/primavera	32,70	32,50	26,60	21,00	26,50
Duración nieve/primavera	66,60	55,10	44,20	35,40	34,40

1975 se pasó a 135 días/año en el tramo 1981-1991 y, desde entonces hasta 2009, se ha estabilizado entre los 115 y los 125 días año, lo cual significa una reducción próxima al 25 %.

La disminución de la importancia de la nieve como carácter del ambiente climático y como condicionante del desarrollo y de la distribución de la vegetación se aprecia también de forma clara en los valores de frecuencia y duración correspondientes a las tres estaciones del año en las que las precipitaciones en forma sólida están presentes en altitudes próximas a 1.900 m. Por lo que se refiere a la frecuencia, tanto en otoño como en primavera las nevadas son en el tramo decenal más reciente (2000-2009) entre un 17 % y un 19 % menos numerosas que en el primero de los tramos considerados (1966-1975); y en invierno los son en un 27 %. Por lo que se refiere a la permanencia de la cubierta nival, la tendencia a la reducción no está clara en otoño y es poco significativa en invierno; sin embargo es particularmente marcada en primavera. En esta parte del año, fundamental para el inicio de la actividad vegetativa de las plantas, la duración media de la nieve sobre el suelo ha sufrido una reducción del 50 %, ya que abarca al final del periodo 34 días, prácticamente la mitad de los 67 días que abarcaba al comienzo del mismo (cuadro 8).

El análisis de los datos expuestos pone de manifiesto que en las áreas más elevadas de la sierra de Guadarrama, dentro de las que se encuentra la cumbre de El Nevero, y su entorno próximo al puerto de Navafría, se han registrado desde finales de la década 1960-1970 hasta el presente modificaciones apreciables de numerosos parámetros climáticos, que se sintetizan globalmente en un

CUADRO 9. Índices de correlación entre los parámetros termométricos considerados y la superficie colonizada por formaciones arbustivas (matorrales)

	Matorrales
T media anual	0,97
T máx. media anual	0,99
T min. media anual.	0,78
T media primavera	0,96
T media verano.	0,97
T media otoño	0,64
T media invierno	0,72

CUADRO 10. Índices de correlación entre los parámetros pluviométricos y nivométricos considerados y la superficie colonizada por formaciones herbáceas (pastizales y herbazales)

	Pastizales y herbazales
P media anual	0,87
Días de P/año	0,86
Días de N/año.	0,95
Duración N/año	0,84
Días N/otoño	0,73
Duración N/otoño.	0,30
Días N/invierno	0,78
Duración N/invierno	0,14
Días N/primavera	0,83
Duración N/primavera	0,98

calentamiento, una reducción de los aportes pluviométricos y una disminución de la presencia de la nieve. Entre estas modificaciones destacan, por su importancia relativa y por la capacidad que se les atribuye de incidir en el desarrollo y el comportamiento espacial de los diversos tipos de vegetación que colonizan estos ámbitos supraforestales, el marcado ascenso de la temperatura media en primavera y la clara disminución de la duración de la nieve en esta misma estación, así como el descenso también muy apreciable del volumen de las precipitaciones y de la duración de la nieve en el conjunto del año. Puede decirse que el área de estudio, en el periodo considerado, se ha ido haciendo menos fría, menos lluviosa y menos afectada por la presencia de la nieve

V. CORRELACIÓN ENTRE LA EVOLUCIÓN ESPACIAL DE LOS TIPOS DE CUBIERTA VEGETAL Y LAS MODIFICACIONES DE LOS PARÁMETROS CLIMÁTICOS

Para apreciar y valorar la covariación entre la evolución de los parámetros climáticos y los cambios en la extensión de los componentes de la cubierta vegetal medida en las sucesivas coberturas de fotografía aérea desde 1975 hasta 2009, se han obtenido los índices de correlación que figuran en este apartado.

Por lo que se refiere a la superficie de los dos géneros de cobertura vegetal (matorrales y formaciones herbáceas) que se reparten el área, todos los parámetros termométricos muestran altas correlaciones positivas con los primeros y negativas con los segundos. Las más significativas corresponden a la temperatura media anual de las máximas (0,99) y a la temperatura media anual (0,97), junto con las temperaturas medias de verano (0,97) y primavera (0,96). Por el contrario, todos los parámetros

pluviométricos y nivométricos presentan correlaciones altas que son negativas con los matorrales y positivas con los pastizales/herbazales, alcanzando el mayor nivel de significación las correspondientes a duración de la nieve en primavera (0,98) y el número medio de días de nevada al año (0,95); también son altamente significativos los índices de correlación de la pluviosidad media anual (0,87), del número medio de días de precipitación al año (0,86) de la duración media anual de la nieve (0,84) y de número medio de días de nevada en primavera (0,83) (cuadros 9 y 10).

Puede decirse, pues, que el crecimiento de la superficie ocupada por las formaciones arbustivas a costa de la colonizada por las formaciones herbáceas que se registra en el área está vinculado al aumento del nivel de las temperaturas (en especial de las máximas) a lo largo del año y al calentamiento particularmente marcado en primavera y verano. Del mismo modo se vincula al menor volumen y frecuencia de las precipitaciones en el conjunto del año, así como a la disminución de las nevadas y de la duración de la nieve tanto en el conjunto del año como, de forma especialmente clara, en la estación primaveral. Esta progresión espacial de los matorrales, que siempre han sido la cobertura vegetal mayoritaria, ha estado acompañada (según se ha dicho) por modificaciones apreciables en su composición florística y en su densidad.

Dentro de las modificaciones florísticas destaca la progresión espacial de los matorrales mixtos de piorno y jabino y la correlativa regresión de los matorrales monoespecíficos. Como indican los datos, se trata en realidad de la introducción creciente del primero en sectores ocupados antes en exclusiva por el segundo. Este proceso manifiesta una correlación especialmente significa-

CUADRO 11. Índices de correlación entre los parámetros termométricos considerados y la superficie de los tipos de matorral según su composición florística

	Matorrales monoespecíficos (total)	Matorrales monoespecíficos de <i>Cytisus carpetanus</i>	Matorrales monoespecíficos de <i>Juniperus alpina</i>	Matorrales mixtos (total)
T media anual	-0,95	-0,24	-0,94	0,99
T máx. media anual	-0,90	-0,11	-0,95	0,96
T mín. media anual	-0,97	-0,62	-0,82	0,94
T media primavera	-0,72	0,11	-0,83	0,82
T media verano	-0,93	-0,07	-0,99	0,97
T media otoño	-0,88	-0,55	-0,75	0,83
T media invierno	-0,84	-0,73	-0,64	0,83

CUADRO 12. Índices de correlación entre los parámetros pluviométricos y nivométricos considerados y la superficie de los tipos de matorral según su composición florística

	Matorrales monoespecíficos (total)	Matorrales monoespecíficos de <i>Cytisus carpetanus</i>	Matorrales monoespecíficos de <i>Juniperus alpina</i>	Matorrales mixtos (total)
P media anual	0,99	0,44	0,92	-0,97
Días de P/año	0,73	0,12	0,75	-0,80
Días de N/año	0,98	0,37	0,92	-0,99
Duración N/año	0,96	0,61	0,81	-0,94
Días N/otoño	0,90	0,56	0,76	-0,86
Duración N/otoño	0,66	0,56	0,50	-0,53
Días N/invierno	0,91	0,71	0,72	-0,88
Duración N/invierno	0,45	0,98	0,11	-0,35
Días N/primavera	0,85	0,13	0,88	-0,86
Duración N/primavera	0,93	0,28	0,91	-0,97

tiva con el aumento de las temperaturas medias (0,99), máximas (0,96) y mínimas (0,94) a lo largo del año y, sobre todo, en verano (0,97), así como con la disminución de la pluviosidad anual (0,97), del número de días de nevada (0,99) y del número de días de permanencia de la nieve (0,94). Los parámetros climáticos que registran mayor nivel de covariación son, pues, prácticamente los mismos que en el caso de la ampliación del conjunto de la superficie ocupada por las formaciones arbustivas, a la que se acaba de hacer referencia (cuadros 11 y 12).

Y en la misma línea se encuentra la densificación de los matorrales, que ha acompañado a la progresión espacial y al enriquecimiento florístico de éstos, ya que correlaciona prioritariamente, de un lado, con el aumento de la temperatura media (0,98), de la media de las máximas (0,99), de la temperaturas medias de verano (0,99) y primavera (0,89) y, de otro, con la disminución de los días de nevada (0,95), de la pluviosidad anual (0,90) y de la frecuencia de las precipitaciones (0,88).

Con respecto a la retracción espacial de los pastizales hígrófilos (cervunales), se aprecia también una vinculación estadística muy significativa con el incremento de la temperatura media anual (0,98), de la temperatura media anual de las máximas (0,96) y de la temperatura media en verano (0,92) y con la disminución del número de nevadas (0,95) y de la duración de la nieve tanto en el conjunto del año (0,89) como, especialmente, en primavera (0,97) (cuadros 13 y 14).

La reducción del área ocupada por ventisqueros (colonizados por formaciones herbáceas más o menos laxas de clara afinidad quionófila), que es sin duda uno de los procesos más destacados de la evolución de las áreas supraforestales de la sierra de Guadarrama en las últimas décadas, presenta valores de correlación muy elevados tanto con los parámetros climáticos que definen el calentamiento climático como con los referentes a la disminución del volumen y la persistencia de los aportes pluvio-nivales (Fig. 8). Los factores más significativos

CUADRO 13. Índices de correlación entre los parámetros termométricos considerados y la superficie de las coberturas básicas de vegetación

	Roquedales y pedreras	Herbazales y pastizales de ventisquero	Pastizales psicroxerófilos	Pastizales higrófilos	Matorrales abiertos	Matorrales densos
T media anual	0,88	-0,99	0,76	-0,98	-0,97	0,98
T máx. media anual	0,83	-0,98	0,67	-0,96	-0,97	0,99
T mín. media anual	0,92	-0,88	0,95	-0,88	-0,87	0,85
T media primavera	0,64	-0,89	0,44	-0,88	-0,85	0,89
T media verano	0,88	-0,99	0,67	-0,92	-0,98	0,99
T media otoño	0,82	-0,74	0,81	-0,72	-0,81	0,77
T media invierno	0,74	-0,76	0,89	-0,89	-0,75	0,75

CUADRO 14. Índices de correlación entre los parámetros pluviométricos y nivométricos considerados y la superficie de las coberturas básicas de vegetación

	Roquedales y pedreras	Herbazales y pastizales de ventisquero	Pastizales psicroxerófilos	Pastizales higrófilos	Matorrales abiertos	Matorrales densos
P media anual	-0,98	0,94	-0,91	0,86	0,92	-0,90
Días de P/año	-0,56	0,78	-0,45	0,88	0,86	-0,88
Días de N/año	-0,93	0,98	-0,86	0,95	0,94	-0,95
Duración N/año	-0,92	0,89	-0,96	0,89	0,85	-0,84
Días N/otoño	-0,82	0,77	-0,83	0,79	0,84	-0,80
Duración N/otoño	-0,78	0,47	-0,80	0,27	0,42	-0,36
Días N/invierno	-0,84	0,82	-0,95	0,88	0,80	-0,79
Duración N/invierno	-0,40	0,21	-0,74	0,35	0,22	-0,18
Días N/primavera	-0,90	0,90	-0,73	0,74	0,80	-0,81
Duración N/primavera	-0,87	0,98	-0,78	0,97	0,93	-0,95

son el incremento de la temperatura media anual (0,99), de la temperatura media de verano (0,99), de la temperatura media anual de las máximas (0,98), y la reducción del número medio anual de días de nevada (0,98) y de la duración de la nieve en primavera (0,98), pero también muestran una alta correlación la disminución de la pluviosidad media anual (0,94), del número de días de nevada en primavera (0,90) y de la duración anual de la nieve (0,89) (cuadros 13 y 14).

Resumiendo, puede decirse que los parámetros climáticos cuya modificación en el periodo analizado más ha correlacionado con los cambios de extensión de las cubiertas de vegetación supraforestales han sido ocho: el número medio de días de nevada al año, la temperatura media anual, la pluviosidad media anual, la duración de la nieve en primavera, la temperatura media de verano, la media anual de las temperaturas máximas, la duración media anual de la nieve y la media anual de las temperaturas mínimas. Por el contrario, se han identificado tres parámetros cuyos coeficientes de correlación tienen una

significación baja: la duración de la nieve en invierno, la duración de la nieve en otoño, y el número de días de precipitación al año (cuadro 14).

VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aunque el periodo de referencia no coincide plenamente y la metodología ha sufrido algunas modificaciones, las variaciones superficiales de las formaciones vegetales y los cambios en los parámetros del ambiente climático en las cumbres y altas laderas del entorno de El Nevero y del puerto de Navafría presentan genéricamente unas tendencias análogas a las observadas durante las últimas décadas en otros enclaves supraforestales de la sierra de Guadarrama, como las cuencas de la Condesa y Valdemartín y el puerto de los Neveros (Muñoz Jiménez y García Romero, 2004; García Romero y Muñoz Jiménez, 2010). También el peso estadístico de los diversos parámetros meteorológicos sobre la evolución de la

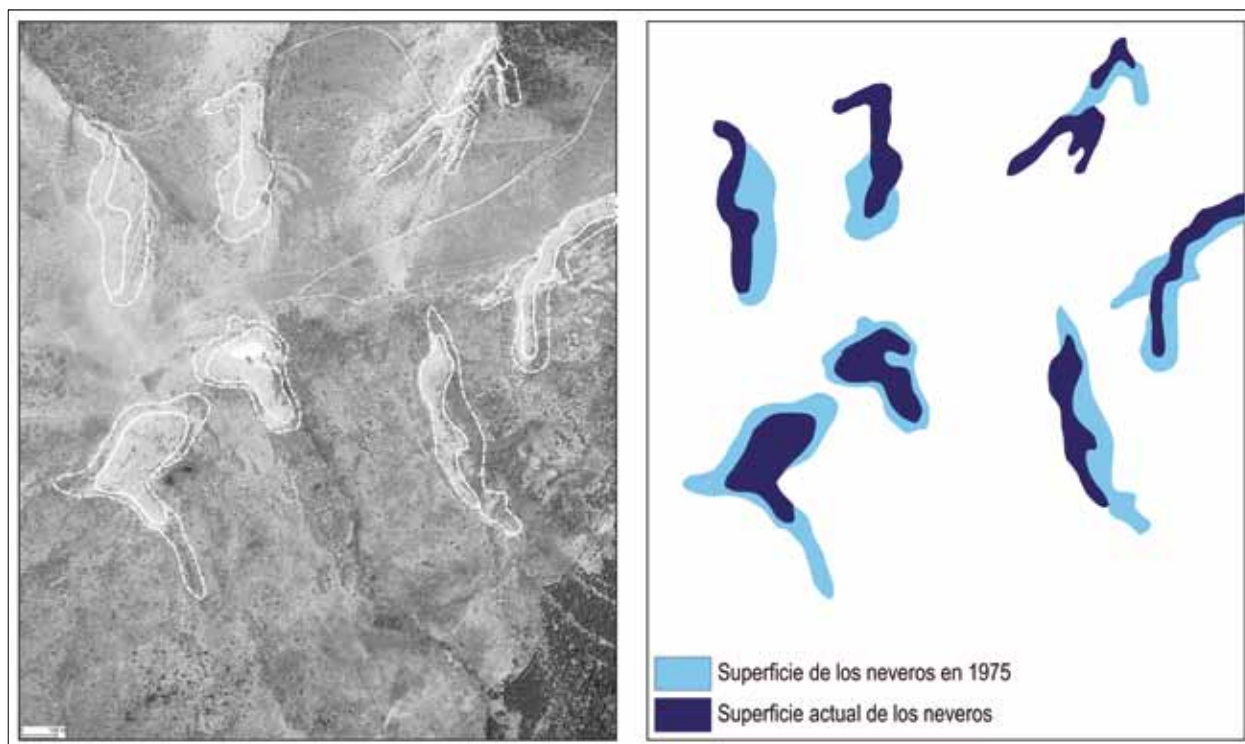


FIG. 9. Reducción del área ocupada por neveros o ventisqueros desde 1975 hasta el presente.

cubierta vegetal manifiesta unos rasgos muy similares, lo cual viene a confirmar que el reajuste dimensional de las facies supraforestales en este tramo del Sistema Central español ha sido general y hace pensar que se relaciona con la evolución reciente del clima en sus sectores de mayor elevación (Sanz-Elorza y otros, 2003).

Tanto en las áreas anteriormente estudiadas como en la que es objeto del presente trabajo los matorrales han registrado una progresión espacial, se han densificado y han incrementado su riqueza florística como consecuencia de la creciente incorporación del piorno a las formaciones arbustivas anteriormente constituidas sólo por jabino. Igualmente, en todos ellos ha disminuido la extensión de los ventisqueros y, en menor medida, la de los pastizales higrófilos (cervunales) (Andrés, García Romero, Muñoz Jiménez y Palacios, 2007a y 2007b) (Fig. 9).

Por lo que se refiere a los pastizales psicroxerófilos (joragales), en El Nevero-Navafría y en La Condesa-Valdemartín la tendencia observada es progresiva, aunque más clara y marcada en esta última área; por el contrario, en el puerto de Los Neveros dicha tendencia es francamente regresiva, lo cual se explica teniendo en cuenta que se trata de un collado que apenas alcanza los 2.100

m, con poco desnivel y pendiente relativamente suave, donde el calentamiento del clima puede favorecer en sectores importantes la invasión de estos pastizales secos, dominantes a mediados del pasado siglo, por jabinales y por piornales abiertos hasta hacer que las formaciones arbustivas sean las más importantes en la actualidad (García Romero y Muñoz Jiménez, 2010).

En el área ahora estudiada, lo mismo que en las elevadas cuencas de La Condesa y Valdemartín, los cambios en la cubierta vegetal han sido moderados y relativamente lentos, sin implicar desplazamientos de posición de los componentes de la misma: desde el comienzo hasta el final del periodo considerado los matorrales abiertos y muy abiertos han ocupado el primer lugar, colonizando en torno a la mitad de la superficie, y los pastizales psicroxerófilos se han mantenido en segundo lugar, recubriendo algo menos de la cuarta parte de la misma. Igualmente las formaciones herbáceas higrófilas y quionófilas han ocupado siempre los últimos puestos en cuanto a extensión (Muñoz Jiménez y García Romero, 2009; García Romero, Muñoz Jiménez, Andrés y Palacios, 2009).

Por lo que se refiere a los parámetros del clima, los valores de correlación obtenidos vienen a confirmar la apreciación, reconocida en las otras áreas analizadas, de

que las modificaciones recientes de la cubierta vegetal supraforestal se acompañan de forma prioritaria con el aumento de las temperaturas (medias, máximas y mínimas) anuales y estacionales, con la disminución del volumen y la frecuencia de los aportes pluvio-nivales en el conjunto del año y con la reducción de la permanencia de la nieve sobre el suelo, especialmente en la estación primaveral.

Así pues, los resultados obtenidos en el estudio del área de El Nevero-puerto de Navafría apoyan la conclusión de que en las áreas supraforestales culminantes de la sierra de Guadarrama se han registrado a lo largo de las últimas seis décadas modificaciones apreciables del clima (calentamiento, reducción de la pluviosidad y de la presencia y la abundancia de la nieve), a las cuales la vegetación herbácea y arbustiva ha podido responder tendiendo a modificar de forma significativa la extensión de la superficie de las formaciones que la constituyen, así como la densidad y la composición florística de algunas de ellas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco de las actividades del Grupo de Investigación Geografía Física de Alta Montaña, financiado por la Universidad Complutense de Madrid. Damos las gracias a los profesores David Palacios y Luis Miguel Tanarro por su constante apoyo, por su ayuda en el diseño gráfico y por su aportación de material fotográfico.

BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (2001-2010): *Datos climáticos del observatorio meteorológico Madrid Puerto de Navacerrada*. Años 2001-2010, [en línea] <www.tutiempo.net/clima>.
- ALARCÓN LÓPEZ, S., M. T. MARTÍNEZ MARTÍNEZ e I. MARTÍNEZ MOLINA (1984): *Climatología de Puerto de Navacerrada*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- ANDRÉS, N., A. GARCÍA ROMERO, J. MUÑOZ y D. PALACIOS (2007a): «Control of snow cover duration in geomorphologic and biogeographic dynamics in Mediterranean mountains: Manzanares valley head, Sierra de Guadarrama (Spain)». *Zeitschrift für Geomorphologie*, 51, supl. 2, pp. 91-111.
- (2007b): «La vegetación del ventisquero de la Condesa (sierra de Guadarrama, Madrid) y sus condiciones termo-nivales». *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 44, pp. 29-52.
- y D. PALACIOS (2004): «Interrelación nieve/geomorfología en la sierra de Guadarrama: altas cuencas del ventisquero de La Condesa y Valdemartín». *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 30, pp. 85-116.
- BELLIDO, F., C. CASQUET, J. ESCUDER, M. NAVIDAD y T. RUIZ GARCÍA (1991): *Mapa geológico de España. Escala 1:50.000. Buitrago de Lozoya*. ITGM, Madrid.
- CORELLA SUÁREZ, P. (1988a): «El comercio de la nieve y del hielo en la provincia de Madrid», en *Establecimientos tradicionales madrileños. Cuaderno VIII: Periferia de Madrid y pueblos de la Comunidad*. Cámara de Comercio e Industria, Madrid, pp. 229-240.
- (1988b): «Aspectos fiscales de la renta de la nieve en la Corona de Castilla durante los siglos XVII y XVIII». *Moneda y Crédito*, 184, pp. 47-69.
- (1989): «La casa arbitrio de la nieve y hielos del reino y de Madrid». *Mélanges de la Casa de Velázquez*, 25, pp. 175-198.
- DURÁN MONTEJANO, L. (2007): «Meteorología de montaña en el Parque Natural de Peñalara», en *Quintas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular*. Vol. 1, pp. 29-42.
- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F. (1991): «La vegetación del valle del Paular (sierra de Guadarrama, Madrid)». *Lazaroa*, 12, pp. 153-272.
- GARCÍA ROMERO, A., y J. MUÑOZ JIMÉNEZ (2010): «Modificaciones recientes de la cubierta nival y evolución de la vegetación supraforestal en la sierra de Guadarrama. España: el puerto de Los Neveros». *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 36 (2), pp. 109-143.
- J. MUÑOZ JIMÉNEZ, N. ANDRÉS y D. PALACIOS (2009): «Relationship between climatic change and vegetation distribution in the Mediterranean mountains: Manzanares Headvalley, Sierra de Guadarrama (Central Spain)». *Climatic Change*, 100 (3-4), pp. 645-666.
- GAVILÁN, R., F. FERNÁNDEZ GONZÁLEZ y C. BLASIC (1998): «Climatic classification and ordination of the Spanish Sistema Central: relationships with potential vegetation». *Plant Ecology*, 139, pp. 1-11.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA (1995): *Valores normales y estadísticos de estaciones principales (1961-1990)*. Observatorio de Madrid Puerto de Navacerrada. INM, Madrid.
- (2002): «Observatorio Meteorológico de Madrid Puerto de Navacerrada», en *Valores normales y estadísticos de los observatorios meteorológicos principales (1971-2000)*. Volumen 4. Madrid, Castilla-La Mancha y Extremadura. INM, Madrid, pp. 67-86.

- IZQUIERDO, J. L. (2007): «Cartografía de la vegetación del Parque Natural de Peñalara y su zona periférica de protección», en *Quintas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular*. Vol. 1, Comunidad de Madrid, Madrid, pp. 83-94.
- MARCOS, F. J., y D. PALACIOS (2004): «Efectos de la nieve y de la temperatura del suelo en la actividad geomorfológica: primeros resultados de su monitorización en la sierra de Guadarrama (España)». *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 99 (1-4), pp. 25-36.
- MUÑOZ JIMÉNEZ, J., y A. GARCÍA ROMERO (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, pp. 117-146.
- y A. GARCÍA ROMERO (2009): «Plant colonization in Condesa nivation hollow, Sierra Guadarrama (Spanish Central System)». *Geografiska Annaler*, 91A (3), pp. 189-204.
- PALACIOS, D., N. ANDRÉS (2000): «Morfodinámica supraforestal actual en la sierra de Guadarrama y su relación con la cubierta nival: el caso de Dos Hermanas-Peñalara», en J. L. Peña, M. Sánchez Fabre y M. V. Lozano (eds.): *Procesos y formas periglaciares en la montaña mediterránea*. Instituto de Estudios Turoleses, Teruel, pp. 235-264.
- y N. ANDRÉS (2007): «Relación entre dinámica nival y erosión en el Parque Natural de Peñalara y áreas próximas», en *Quintas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular*. Vol. 1, Comunidad de Madrid, Madrid, pp. 95-137.
- N. ANDRÉS y E. LUENGO (2003): «Distribution and effectiveness of nivation in mediterranean mountains: Peñalara (Spain)». *Geomorphology*, 54, pp. 157-178.
- N. ANDRÉS y E. LUENGO (2004): «Tipología y evolución de los nichos de nivación en la Sierra de Guadarrama, España». *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 99, 1-4, pp. 141-158.
- y M. GARCÍA (1997a): «The influence of nival erosion on the distribution of high mountain vegetation to snow cover: Peñalara, Spain». *Catena*, 30, pp. 1-40.
- y M. GARCÍA (1997b): «The influence of geomorphologic heritage on present nival erosion: Peñalara, Spain». *Geografiska Annaler*, 79/A (1-2), pp. 25-40.
- PINTADO, A., y L. GARCÍA (2007): «Influencia de la cubierta nival en el microclima y en la vegetación de alta montaña en el Parque Natural de Peñalara», en *Quintas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular*. Vol. 1, Comunidad de Madrid, Madrid, pp. 139-147.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., D. BELMONTE, P. CANTÓ, F. FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, V. FUENTE, J. M. MORENO, D. SÁNCHEZ MATA y L. GARCÍA SANCHO (1987): «Piornales, enebrales y pinares oromediterráneos (*Pino-Cytisium oromediterranei*) en el Sistema Central». *Lazaroa*, 7, pp. 13-124.
- P. CANTÓ, F. FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, J. A. MOLINA, J. M. PIZARRO y D. SÁNCHEZ MATA (1999): «Synopsis of the Sierra de Guadarrama vegetation». *Itinera Geobotánica*, 13, pp. 189-206.
- P. CANTÓ, F. FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, C. NAVARRO y D. SÁNCHEZ MATA (1989): *Sinopsis de la vegetación saxícola del Sistema Central*. Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense, Madrid.
- SANZ, C. (1979): «El mosaico de geofacies supraforestales en la zona más elevada de la sierra de Guadarrama», en *VI Coloquio de Geografía*. Asociación de Geógrafos Españoles, Palma de Mallorca, pp. 243-248.
- (1988): *El relieve del Guadarrama oriental*. Comunidad de Madrid, Consejería de Política Territorial, Madrid.
- SANZ-ELORZA, M., E. D. DANA, A. GONZÁLEZ y E. SOBRINO (2003): «Changes in high-mountain vegetation of the Central Iberian Peninsula as a probable sign of Global warming». *Annals of Botany*, 92, pp. 273-280.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (1976): *Relación de valores normales correspondientes a Observatorios Principales con datos del período 1931-60*. SMN, Madrid (policop.).