

Estado y tendencia de los servicios de los ecosistemas de Alta Montaña de Andalucía

Javier Cabello y Antonio J. Castro

Centro Andaluz para la Evaluación y Seguimiento del Cambio Global (CAESCG)
Dpto. Biología Vegetal y Ecología
Universidad de Almería

Abril 2012

Estado y tendencia de los servicios de los ecosistemas de Alta Montaña de Andalucía

Índice

0. Mensajes claves.....	3
1. Introducción.....	5
2. Caracterización del sistema socio-ecológico de la alta montaña de Andalucía.....	6
2.1. Definición del tipo de ecosistema considerado y los criterios empleados para su definición cartográfica.....	9
2.2. Determinación y argumentación de los subtipos operativos seleccionados para cada ecosistema.....	11
3. Estado de conservación general de los ecosistemas de alta montaña de Andalucía.....	20
4. Servicios suministrados. Métodos de evaluación y fuente de datos.....	22
4.1. Servicios de abastecimiento.....	22
4.2. Servicios de regulación.....	22
4.3. Servicios culturales.....	22
5. Condiciones y tendencias de los servicios evaluados.....	28
5.1. Servicios de abastecimiento.....	28
5.2. Servicios de regulación.....	35
5.3. Servicios culturales.....	42
5.4. Tendencias generales.....	47
6. Impulsores de cambio de los ecosistemas de alta montaña de Andalucía.....	49
6.1. Cambios de uso del suelo.....	49
6.2. Cambio climático.....	50
6.3. Contaminación.....	52
6.4. Especies invasoras.....	52
6.5. Cambios en los ciclos biogeoquímicos.....	53
6.6. Sobreexplotación.....	53
7. Análisis de compromisos (trade-offs) y sinergias.....	54
8. Respuestas e intervenciones de gestión.....	56
9. La conservación de los ecosistemas de alta montaña de Andalucía y el bienestar humano.....	58
10. Referencias bibliográficas.....	60

ESTADO Y TENDENCIA DE LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA DE ANDALUCÍA

Autores: Javier Cabello Piñar y Antonio J. Castro (CAESCG, UAL)

0. MENSAJES CLAVES

El 30% de los servicios de los ecosistemas de Alta Montaña se están degradando o están siendo usados de manera insostenible. Los más afectados son los servicios de acervo genético y conocimiento local, y los de regulación (regulación climática e hídrica) (*muy cierto*). Por el contrario, están mejorando los servicios de abastecimiento (materias primas biológicas) y especialmente los servicios culturales, que responden a la demanda urbana (conocimiento científico, ecoturismo, educación ambiental) (*muy cierto*).

En los últimos 60 años el uso de los ecosistemas de Alta Montaña ha cambiado más que en cualquier otro periodo de tiempo, desde un uso extensivo en el que se produjo la sobreexplotación de matorrales y pastos y la extensión de plantaciones forestales (*certeza alta*), hasta su conceptualización como espacios de referencia para la conservación de la biodiversidad (*muy cierto*). En el pasado estos ecosistemas dieron soporte al desarrollo de la agricultura y la ganadería tradicional. En la actualidad, junto a los grandes esfuerzos de conservación de los que son objeto, algunos de éstos ecosistemas siguen soportando una gran presión para la habilitación de espacios destinados a actividades recreativas, y el desarrollo urbanístico y de infraestructuras y equipamientos asociados (*muy cierto*).

Los ecosistemas de Alta Montaña se caracterizan por su alta biodiversidad. (*muy cierto*). Los ecosistemas de Alta Montaña de Andalucía representan uno de los centros más importantes de diversidad de Europa. Junto a una rica entomofauna, unos casi 200 endemismos vegetales exclusivos, y la presencia de especies alpinas en el límite de su distribución, su contribución a los valores que convierten a la cuenca Mediterránea en un punto caliente de biodiversidad mundial, resulta primordial.

Los ecosistemas de Alta Montaña se encuentran a nivel mundial, entre los más amenazados por el cambio climático. Dado que están menos transformados por el hombre que las tierras bajas, son refugios de especies relicticas, y son una isla de características climáticas especiales frente a la sequía estival propia de los ecosistemas mediterráneos, representan un enclave de gran valor para el estudio y seguimiento del cambio global.

La cubierta de nieve recogida y acumulada en los ecosistemas de Alta Montaña, representa un reservorio de agua de gran importancia para el abastecimiento humano y el funcionamiento del resto de los ecosistemas montanos (*muy cierto*). La fusión de la nieve genera agua para regar los cultivos de montaña, aporta caudal a los ríos, representa un aporte hídrico para bosques y matorrales, y alimenta los acuíferos que abastecen a las necesidades humanas (*muy cierto*). Dado que el aprovechamiento de este reservorio se ha maximizado durante siglos mediante el diseño y empleo de sistemas tradicionales de gestión del agua, el abandono de éstos puede tener un gran efecto sobre los servicios de regulación y el abastecimiento de agua dulce (*certeza alta*).

La disminución de los días de nieve, una tendencia que viene observándose y cuantificándose en la última década (*certeza alta*), representa una limitación para la expansión de los aprovechamientos humanos, y merma del papel de estos ecosistemas en su capacidad de regular el clima, los recursos hídricos y la calidad del aire.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de alta montaña representan paisajes con incalculable valor ambiental así como de una riqueza histórica y cultural sin precedentes. Su importancia para el bienestar humano es enorme por sus implicaciones en el suministro de ecoservicios y recursos geóticos que hacen posible la mejora de las condiciones sociales y económicas de las poblaciones humanas que se ubican en su área de influencia. De una forma particular destacan en este soporte del bienestar humano, por su implicación en el clima regional y local y en la provisión de agua dulce. Además, en muchas zonas de montaña, el turismo representa una forma especial de interacción entre las tierras altas y bajas, generando un eje de actividad humana que constituye la columna vertebral de muchas economías regionales e incluso nacionales.

La altitud confiere a las cumbres unas características ecológicas muy especiales, producto de la dureza climática que soportan. Las bajas temperaturas junto a una intensa radiación solar, fuertes vientos, precipitaciones elevadas, con frecuencia en forma de nieve, y unos suelos pobres y poco evolucionados con sustratos muy rocosos, configuran un medio hostil que limita y condiciona la vida de los organismos, plantas y animales, en estos parajes. Sin embargo, estas condiciones parecen haber sido más bien impulsoras de procesos de especiación, por lo que en general, la alta montaña se caracteriza por poseer unas elevadas tasas de biodiversidad. En ellas habitan casi una cuarta parte de la biodiversidad terrestre, y prácticamente la mitad de los puntos calientes de diversidad biológica del mundo se concentran en ellas (MA 2005). Uno de estos puntos calientes es precisamente la cuenca Mediterránea, una región a la que la alta montaña andaluza contribuye de una manera muy significativa en términos de endemidad.

Debido a la belleza de sus paisajes, la singularidad de su flora y fauna o de las formaciones geomorfológicas típicas de la alta montaña, éstos ecosistemas poseen grandes valores ecológicos, estéticos, educativos y científicos, que los convierten en una prioridad para la conservación. En Andalucía en su mayoría se encuentran bajo alguna figura de protección, como es el caso del Espacio Natural de Sierra Nevada, un espacio en el que la alta montaña tiene los más altos niveles de protección.

La evaluación de los servicios que generan los ecosistemas de Alta Montaña andaluces desde la perspectiva de los Ecosistemas del Milenio promovida por Naciones Unidas (MA, 2001 y 2005) permitirá a) identificar las respuestas de la interacción de estos ecosistemas y las actividades humanas, b) identificar los conflictos de intereses entre los diferentes tipos de beneficiarios al evidenciar las percepciones que éstos tienen en relación a los servicios que prestan los ecosistemas, c) evaluar las consecuencias de las decisiones que se toman sobre la gestión de éstos ecosistemas, d) proponer opciones a la hora de desarrollar estrategias de desarrollo que incluyen a las sociedades humanas y e) establecer las líneas de investigación prioritarias en el marco de la comprensión de los sistemas socio-ecológicos. El objetivo básico de esta evaluación es proporcionar la información adecuada para evaluar el capital natural que suponen los ecosistemas de Alta Montaña y las consecuencias que el cambio y la pérdida de biodiversidad que están sufriendo como consecuencia de la presión humana, suponen para el bienestar de los andaluces.

2. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA SOCIO-ECOLÓGICO DE LA ALTA MONTAÑA DE ANDALUCÍA

Los ecosistemas de Alta Montaña son relativamente frecuentes en Andalucía, especialmente en su mitad oriental, donde las áreas que se extienden por encima de los 1700 m de altitud ocupan aproximadamente el 3,5% del territorio (Imagen 1). Se extienden por las partes altas de las Sierras Béticas, y la característica principal de estos ecosistemas es que las nieves se mantienen en ellas durante gran parte del año constituyendo una formidable reserva hídrica.

Desde el punto de vista bioclimático, las áreas que ocupan estos ecosistemas corresponden con los pisos bioclimáticos oro- y crioromediterráneo (Valle & Navarro, 2004), por lo que coinciden con el límite del árbol. Las cumbres situadas por encima de los 2.700 msnm corresponden al piso crioromediterráneo, caracterizado por un clima muy duro para los seres vivos que pasan los fríos inviernos bajo la nieve y los veranos en un régimen de escasez de agua. La gran especialización que estas condiciones producen sobre los organismos que habitan estas cumbres, junto con el aislamiento geográfico al que se ven sometidos, constituyen las causas principales de que en estos ecosistemas encontremos el mayor número de endemismos de toda la comunidad autónoma andaluza e incluso de la Península Ibérica. Este piso bioclimático aparece en Andalucía solo en las cumbres de Sierra Nevada, y las principales formaciones vegetales que podemos encontrar en él, son los pastizales psicroxerófilos de muy escasa cobertura.



Imagen 1. Los ecosistemas de alta montaña representan paisajes con incalculable valor ambiental así como de una riqueza histórica y cultural sin precedentes, la rica biodiversidad que albergan y su papel en la provisión del servicio de abastecimiento de agua dulce son dos de sus principales características. En la foto el Mulhacen y la Alcazaba vistos desde la provincia de Almería. Foto: Javier Cabello.

El piso oromediterráneo ocupa la franja situada entre los 1.700 y los 2.800 msnm. La vegetación potencial de este piso suele ser un bosque muy abierto de coníferas y sotobosque poco denso, donde en ocasiones faltan los árboles y predomina un matorral de sabinas, enebros rastreros y piornos almohadillados. En estas altitudes son escasos los cultivos, siendo el uso antrópico más extendido la ganadería extensiva. Este piso

está representado puntualmente en la provincia de Málaga (cumbre la Sierra de las Nieves y Tejeda), pero es en las provincias de Jaén (cumbres de Cazorla y Segura), Granada y Almería donde alcanza su mayor representación. Su mayor extensión corresponde por tanto, a los macizos de Sierra Nevada, sierra de Baza, Castril, Sierra Seca, la Sagra, Guillimona, Sierra de Gádor, Filabres y María.

Desde el punto de vista geomorfológico las cumbres de la Alta Montaña conforman un paisaje muy singular que resulta de la respuesta de los diferentes sustratos geológicos ante los procesos morfogenéticos ocurridos a lo largo de la historia geológica reciente. Estos paisajes incluyen desde los relictos sistemas glaciales de las cumbres hasta los dinámicos sistemas fluviales actuales. En la actualidad, los efectos de la dinámica periglacial continúan siendo patentes en las altas cumbres de Sierra Nevada, en cuyas laderas más altas son frecuentes los procesos de solifluxión y gelifluxión. Estos procesos desplazan los materiales edáficos y geóticos por la acción combinada de hielo-deshielo y gravedad, acumulándose los derrubios (de gran tamaño) al final de las laderas. Por otro lado, toda la zona de cumbres muestra las huellas de la erosión glaciaria, con valles en forma de U, circos coronados por crestas, y lagunas que ocupan las depresiones.

La Alta Montaña andaluza presenta una de las floras más valiosas de toda Europa, con casi el 30% (2.100) de la flora de la Península Ibérica, de las que casi un centenar son endemismos locales, y el 7% de la flora de la Región Mediterránea. En concreto, Sierra Nevada es considerada el centro de diversidad vegetal más importante de la Región Mediterránea occidental, y un punto caliente de flora de interés para la conservación (Blanca et al. 1998). La singularidad biogeográfica de esta flora se debe a que es el resultado de los procesos de especiación y adaptación que han tenido lugar como consecuencia de la alternancia de períodos fríos (glaciaciones) con períodos cálidos durante el Cuaternario. En los periodos de glaciaciones estos ecosistemas se enriquecieron con taxones boeroalpinos y sirvió de refugio para otros que retrocedían hacia latitudes más cálidas. De esta forma, las características propias del clima mediterráneo, el efecto de las altas cumbres en los períodos más cálidos, las relaciones entre las especies, y el paso del tiempo han provocado que en Sierra Nevada se encuentren los límites de distribución más meridionales de algunos taxones propios de latitudes más altas.

Debido a la importancia que los efectos topográficos adquieren en estos ecosistemas en relación a la radiación solar o a los gradientes de humedad, las formaciones vegetales tienden a formar mosaicos fuertemente determinados por la distribución de la nieve y su permanencia (Gottfried et al. 1998). En estos ambientes los pedregales y la roca desnuda ocupan grandes extensiones, mientras que en los fondos de valle y otros lugares de gran humedad se dan prados, denominados localmente borreguiles.

Con respecto a la fauna, destaca sobre todo la rica entomofauna que es propia de estos ecosistemas, entre la que se encuentra también unos ochenta insectos endémicos, entre los que destacan diversos grupos taxonómicos como las mariposas diurnas (e.g. Olivares et al. 2012).

La característica más influyente de estos ecosistemas sobre el conjunto de los ecosistemas y poblaciones humanas que caen bajo su área de influencia, es la cubierta de nieve que almacenan cada invierno. Esta cubierta condiciona y explica buena parte

del ciclo hidrológico de los ecosistemas de montaña, ya que constituye un importante reservorio de agua para los sistemas forestales y fluviales, y es co-responsable de la distribución que adquieren los organismos en el paisaje (Aspizúa et al. 2012). Además ejerce, un importante papel como amortiguador térmico en las zonas donde está presente, ya que la temperatura que se alcanza bajo ella es más alta y constante que en los lugares sin nieve expuestos a los fenómenos atmosféricos. También ejerce un efecto físico relevante sobre la vegetación, condicionando en buena medida la distribución en el espacio de formaciones forestales, arbustivas y herbáceas. Además, la cubierta de nieve es clave para otros procesos socio-ecológicos, como por ejemplo, la generación de ingresos para los núcleos urbanos de su área de influencia, al permitir la práctica del esquí. Cualquier de estos efectos de la nieve sobre el socio-ecosistema, se ve incrementado por el hecho de que nuestra gran montaña (Sierra Nevada) es la gran montaña más meridional de Europa con agua sólida todos los años. A diferencia de otras altas montañas más septentrionales (Alpes, Pirineos) en la Alta Montaña andaluza, existe un verano seco y caluroso, lo que representa un factor adicional de estrés para la biota que se desarrolla en ella.

Los valores ecológicos que atesoran los ecosistemas de Alta Montaña, junto con la gran influencia humana a la que se han visto sometidos durante siglos, configuran unos paisajes claramente definidos por la interacción entre las poblaciones humanas y la naturaleza. Este hecho ha sido el origen de la declaración de gran parte de estos ecosistemas como reservas de la biosfera. De las dos reservas existentes, Sierra Nevada y Cazorla, Segura y las Villas, podemos considerar que la primera, dada su extensión, es la que mejor representa a la Alta Montaña. Esta Reserva se declaró en abril de 1986, y con una superficie de 171.981 has acoge un Parque Natural (1989) y Parque Nacional (1999). Este último corresponde completamente a los ecosistemas de Alta Montaña.

La evolución de las poblaciones humanas asociadas a la Alta Montaña ha sido diferencial a lo largo de la historia. Mientras que con anterioridad al siglo XX, estos ecosistemas mantuvieron una población más o menos constante, a lo largo del siglo XX, ocurrieron acentuados procesos de despoblamiento, que sólo han comenzado a revertirse a comienzos de este siglo, y como consecuencia de la declaración de espacios protegidos. En Sierra Nevada, por ejemplo, los municipios presentaban en el año 1900 una población de 110.243 habitantes que fue descendiendo paulatinamente a lo largo del siglo XX. Tras dicho descenso, la tendencia actual es la de recuperar población, como indica el hecho de que en el año 2009 la población volvía a ser de 96.860 habitantes. Un estudio (2005) elaborado para los municipios de este Reserva, indica que un 21,3% de la Renta Familiar Neta Disponible media por habitante y un 18,5% del empleo generado en el conjunto territorial, son directamente atribuibles a la existencia del Espacio Natural (Sánchez 2010). Sierra Nevada cuenta con una población dedicada mayoritariamente al sector servicios, seguido por las actividades primarias, que aunque siguen siendo importantes en el conjunto del territorio, han perdido importancia como consecuencia del abandono de sistemas agrarios poco competitivos. La tradicional actividad agrícola y ganadera ha dejado un rico y variado legado etnobiológico, evidencia de los conocimientos hidráulicos que los antiguos pobladores poseían, tales como los molinos, qanats, minas, albercas, aljibes y una red de acequias, que en su mayor parte aún continúan funcionando. Se conserva, igualmente, una arquitectura popular, asociada a las labores agrícolas de la zona, y que constituye una de las singularidades que caracteriza el paisaje agrario de estas tierras. La diversidad de

tipologías constructivas representa otro elemento cultural de los municipios que integran el territorio del macizo.

La estación de esquí de Sierra Nevada en estos años ha pasado a ocupar una posición muy competitiva en el panorama nacional. El incremento en esta actividad está propiciando que algunos sectores planteen continuamente la ampliación de la superficie esquiable en detrimento de usos menos estacionales y de reducido impacto ambiental.

2.1. Definición del tipo de ecosistema considerado y los criterios empleados para su definición cartográfica

Los ecosistemas de alta montaña se caracterizan por situarse por encima de los 1700 msnm, lo que determina la aparición de condiciones climáticas muy duras en relación con la temperatura, la precipitación, la radiación solar y el viento, y la permanencia de la nieve durante gran parte el año, lo que limita la estación de crecimiento de la vegetación hasta la desaparición de los árboles, y solo perviven las especies con adaptaciones especiales. Junto al criterio altitudinal, se puede decir que los ecosistemas de Alta Montaña de Andalucía incluyen al dominio morfogenético peri-glaciar. Ello significa que se corresponden con la ecoprovincia de la RENPA “Alta Montaña Bética (1.1.)” y las ecoregiones que las integran (Tabla 1, Figura 1). Estos ecosistemas ocupan en la actualidad en Andalucía 153.242 has (Figura 2).

Tabla 1. Criterios de correspondencia espacial con las unidades ecológicas de gestión del plan director de la RENPA empleados para la delimitación cartográfica de la Alta Montaña Bética. Fuente: Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM)

Tipo operativo	Unidades ecológicas de gestión		Ecosistemas protegidos en la RENPA ⁽¹⁾	Condiciones ambientales
	ECOPROVINCIA	ECORREGIÓN		
Alta Montaña Bética	1.1. Alta Montaña Bética	1.1.1. Sierra Nevada 1.1.2. Sierras de Cazorla-Segura 1.1.3. Sierras de Baza y Filabres 1.1.5. Cumbres de Gádor	Enebrales y sabinares, pinares de alta montaña, piornales y matorrales de genisteas, tomillares dolomíticos, borreguiles, pastizales psicroxerófilos	Paisajes silíceo-calizo-dolomíticos de los pisos bioclimáticos oro y crioromediterráneos

(1) Solo se refiere a los espacios que integran la RENPA sin considerar los LICs. Los huecos corresponden a unidades de gestión en las que la RENPA no tiene representación.



Figura 1. Correspondencia de los Ecosistemas de Alta Montaña y del Sureste Árido, con las ecoregiones de la RENPA

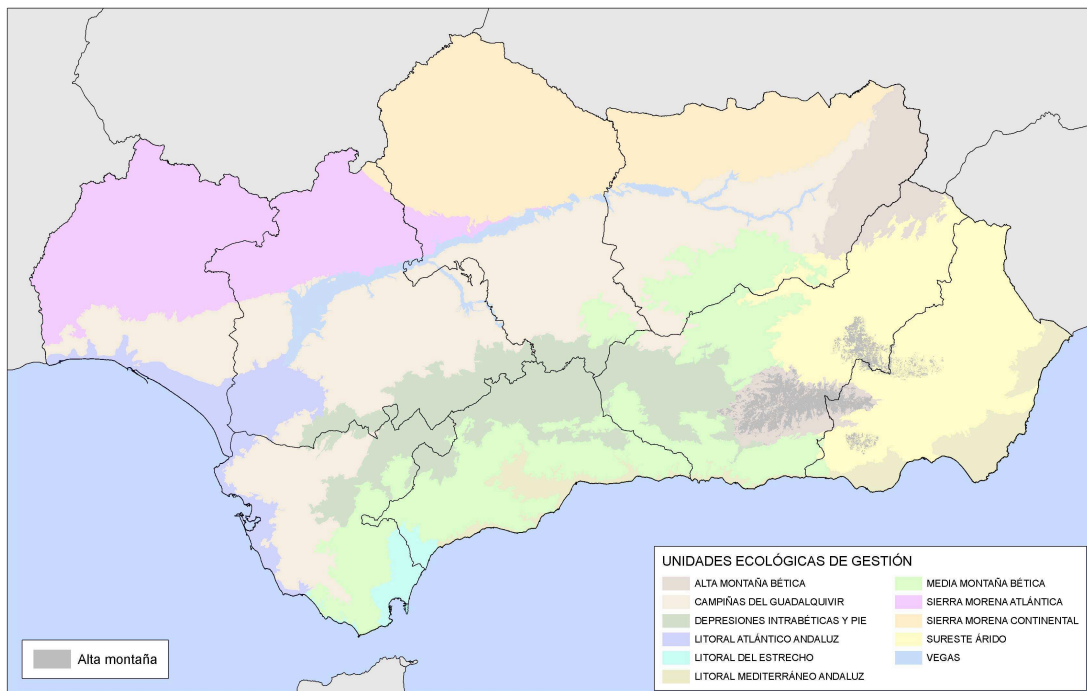


Figura 2. Distribución de los ecosistemas de alta montaña en Andalucía

2.2. Determinación y argumentación de los subtipos operativos seleccionados para cada ecosistema

En los ecosistemas de alta montaña de Andalucía destacan 4 subtipos operativos de ecosistemas, los enebrales rastreros y piornales, los lastonares y pastizales orófilos, los paisajes rocosos de altas cumbres y los pinares de alta montaña. Algunos de estos subtipos coinciden en gran medida con la tipología de hábitats de la Directiva 92/43 que alcanzan la mayor representación en Andalucía oriental (VVAA 2009) (Tabla 2).

Tabla 2. Correspondencia de los subtipos de los ecosistemas de alta montaña de Andalucía con los hábitats de la Directiva 92/43/CEE

Subtipo operativo	Hábitat de la Directiva 92/43/CEE
Enebrales rastreros y piornales	Incluye a los enebrales y sabinares rastreros y los matorrales correspondientes al 4090
Lastonares y pastizales orófilos	6160
Paisajes rocosos de altas cumbres	-
Pinares de alta montaña	9530

Los **enebrales rastreros y piornales** son formaciones constituidas por dos tipos de comunidades, arbustiva y de matorral (Imagen 2), que se distribuyen en mosaico en el piso oromediterráneo (Figura 3). La comunidad arbustiva se refiere a los enebrales y sabinares de apenas 1 m de altura que están dominados en los enclaves más xéricos por la sabina rastrera (*Juniperus sabina* var. *humilis*), a la que acompaña un cortejo de especies formado por enebros rastreros (*Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica*), *Daphne oloides*, *Prunus prostrata*, *Ononis aragonensis*, *Berberis hispanica*, *Polygala boissieri* o *Geum heterocarpum*.

El carácter abierto de los enebrales y sabinares, hace que frecuentemente aparezcan mezcladas con los piornales, un matorral que corresponde al hábitat 4090 de la Directiva Hábitat (Bonet et al. 2009). Estos matorrales se caracterizan por ser de biotipo almohadillado o pulvinular, ya que están formados fundamentalmente por especies de genisteas (*Cytisus*, *Genista*) con tallos afilos y espinosos, con adaptaciones para evitar las pérdidas excesivas por evapotranspiración, y las yemas protegidas del frío y del viento dentro de la almohadilla. La adquisición de este tipo de adaptaciones puede considerarse como una estrategia evolutiva a la existencia de climas extremos, en los que se combinan bajas temperaturas, heladas y cubiertas de nieve prolongadas en invierno, con condiciones xéricas en verano. Estas especies muestran además ciclos biológicos bien adaptados, acortándose y retrasándose ligeramente las diferentes fases en función de la rigurosidad climática. En los mecanismos de renovación de estas formaciones tienen importancia fenómenos como la facilitación y la predación por parte de herbívoros salvajes.



Imagen 2. Los enebrales rastreros y piornales se caracterizan por su biotipo almohadillado o pulvinular, una adaptación a las condiciones climáticas de la alta montaña. Foto: Javier Cabello.

La distribución de este subtipo está asociado a la aparición de condiciones climáticas y edáficas limitantes para los bosques u otras comunidades arbustivas de mayor porte, pero también lo suficientemente benignas como para poder desarrollar un cuerpo leñoso y competir con éxito con formaciones herbáceas terofíticas o vivaces (Bonet et al. 2009). Se desarrollan sobre cualquier tipo de sustrato, y entre las variables antrópicas que influyen en su dinámica destacan el sobrepastoreo y el fuego, así como la combinación de ambas. Otras acciones que pueden tener una incidencia en el funcionamiento del sistema son las roturaciones y otras prácticas que pueden generar elevadas tasas de erosión.

Las aves son las protagonistas de la fauna de este ecosistema. Ligados a este subtipo se pueden encontrar, como especies más representativas, el pechiazul y el acentor común, a los que pueden acompañar, la bisbita, los roqueros o la chova piquirroja, estas últimas asociadas a roquedos y canchales. Entre los invertebrados sobresale la mariposa apolo (*Parnassius apollo*), una especie protegida para la que se reconocen varias subespecies endémicas en diferentes cumbres montañosas de Andalucía.

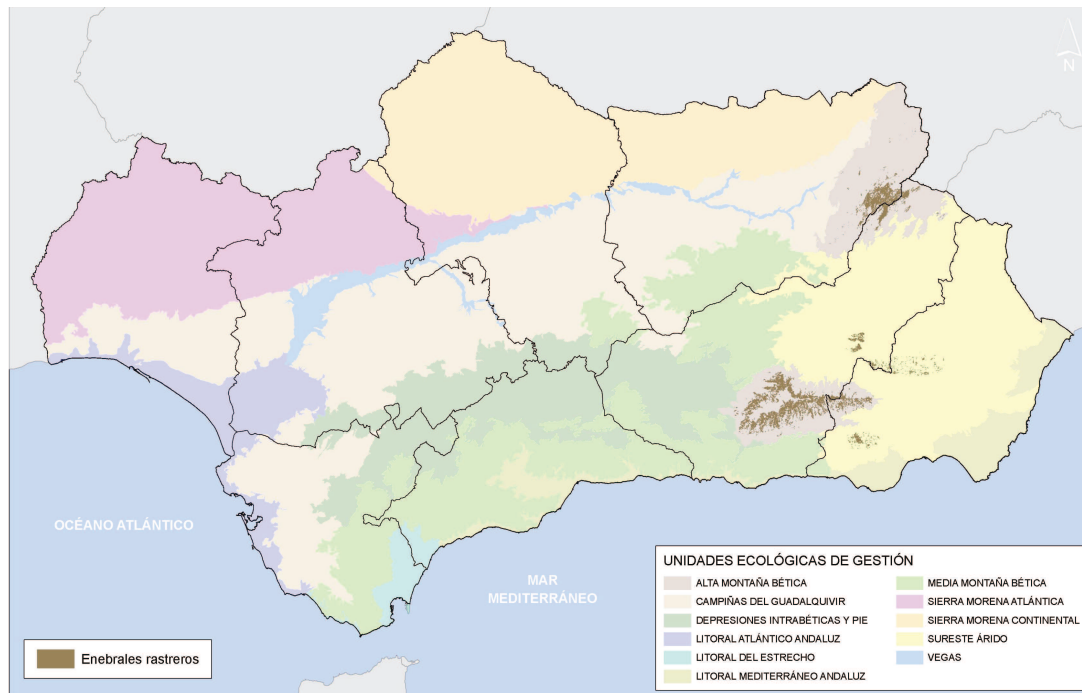


Figura 3. Distribución de los enebrales rastreros y piornales de Andalucía

Por encima de los 1.900-2.000 metros se localizan los **lastonares de alta montaña y pastizales orófilos**, comunidades de herbáceas y pequeños caméfitos en los que la especie dominante es *Festuca indigesta*, y que corresponden al hábitat de interés comunitario 6160. Este subtipo representa las formaciones vegetales más extensas sobre sustratos silíceos de los medios situados a similar altitud o por encima del dominio de los enebrales rastreros y piornales, y siempre por encima del de los pinares de montaña (Figura 4, Imagen 3). Su estructura suele ser fragmentada ya que siempre ofrecen una cobertura incompleta del suelo. Este patrón espacial es consecuencia de los fenómenos de hielo y deshielo (crioturbación) propios de los suelos de alta montaña y del carácter quionóforo de este tipo de vegetación.

Por la altitud a la que se distribuyen, corresponden a la vegetación de la tundra, aunque con la particularidad de tratarse de ser un ambiente de alta montaña mediterránea, y por tanto, sometido a sequía de verano (San Miguel, 2009). Los factores biofísicos que controlan su distribución son un periodo vegetativo muy corto limitado por el frío durante buena parte del año, recibir gran parte de las precipitaciones en forma sólida, y estar sometido a un periodo de sequía estival más o menos largo. De acuerdo con esto, estas formaciones tienen un carácter permanente o cuasi-permanente en muchas áreas del piso criomediterráneo, mientras que son carácter serial y sustituyen a los enebrales y piornales en el piso oromediterráneo.



Imagen 3. Los lastonares, son junto a los pastizales orófilos las formaciones herbáceas típicas de la alta montaña andaluza. Foto: Javier Cabello.

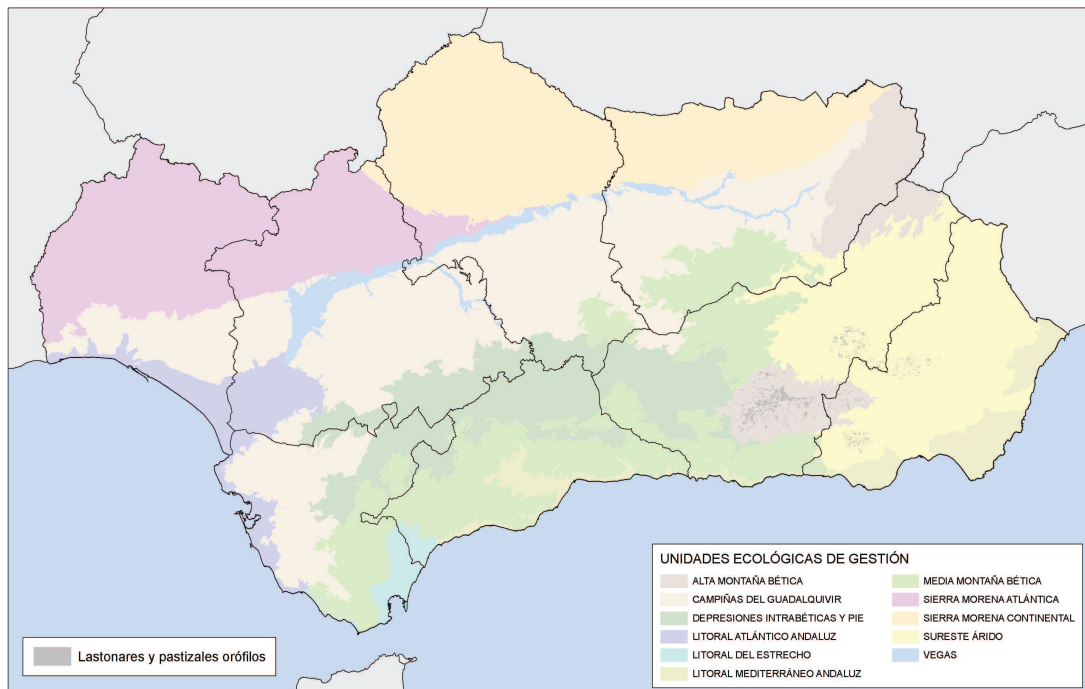


Figura 4. Distribución de los lastonares de alta montaña y pastizales orófilos de Andalucía

Tradicionalmente han sido aprovechados por la ganadería extensiva, de ovino y bovino, como pastos de puerto. Ello ha contribuido a modelar no sólo su paisaje, sino también su composición florística y su patrimonio genético.

Las altas cumbres de Sierra Nevada, el único lugar donde se alcanza el piso crioromediterráneo en la Península Ibérica (Figura 5), se caracteriza por un paisaje fósil que corresponde al subtipo que hemos denominado **paisajes rocosos de altas cumbres** (Imagen 4). La principal característica de este subtipo es que en él destacan las geoformas derivadas de la actividad glaciaria que tuvo lugar en las fases más frías del Cuaternario (Martín et al. 2008). Dichos glaciares excavaron fuertemente las rocas y arrastraron los derrubios (morrenas) hacia cotas más bajas, mientras que en las áreas más altas se desarrollaron circos glaciares que en la actualidad se muestran como cubetas en forma de U. Este dominio periglacial, se caracteriza por la acción del hielo-deshielo (el agua al congelarse en las grietas ejerce una presión de hasta 2000 kg/cm²), lo que da como resultado la trituración de las rocas y la formación de bloques y de las típicas lajas o lastras.



Imagen 4. Los procesos periglaciares y las duras condiciones climáticas para la vida que se dan en el piso crioromediterráneo, han dado lugar a los paisajes rocosos de altas cumbres, un subtipo operativo presente solo en Sierra Nevada. Foto: Julio Peñas

En este ecosistema, la topografía, el tamaño de los fragmentos rocosos y el tiempo de permanencia de la nieve, generan una diversidad de hábitats que son colonizados por comunidades vegetales de muy escaso porte y cobertura, en las que dominan las especies endémicas. La comunidad vegetal más extendida es un pastizal de *Festuca clementei* que se distribuye de forma dispersa, ocupando el escaso suelo formado en estas condiciones climáticas, en pendientes no muy acusadas. Entre otras, a esta comunidad se unen la de *Vaccinium uliginosum* subsp. *nanum* que se desarrolla en

pequeñas depresiones donde la permanencia de la nieve permite mayor humedad, los pradillos de *Festuca pseudoeskia* en los lugares arenosos, y los canchales o cascajares, que están muy extendidos y en los que viven un gran número de especies con adaptaciones para resistir estos ambientes (e.g. *Viola crassiuscula*, *Linaria glacialis*). También son frecuentes los paredones con especies rupícolas.

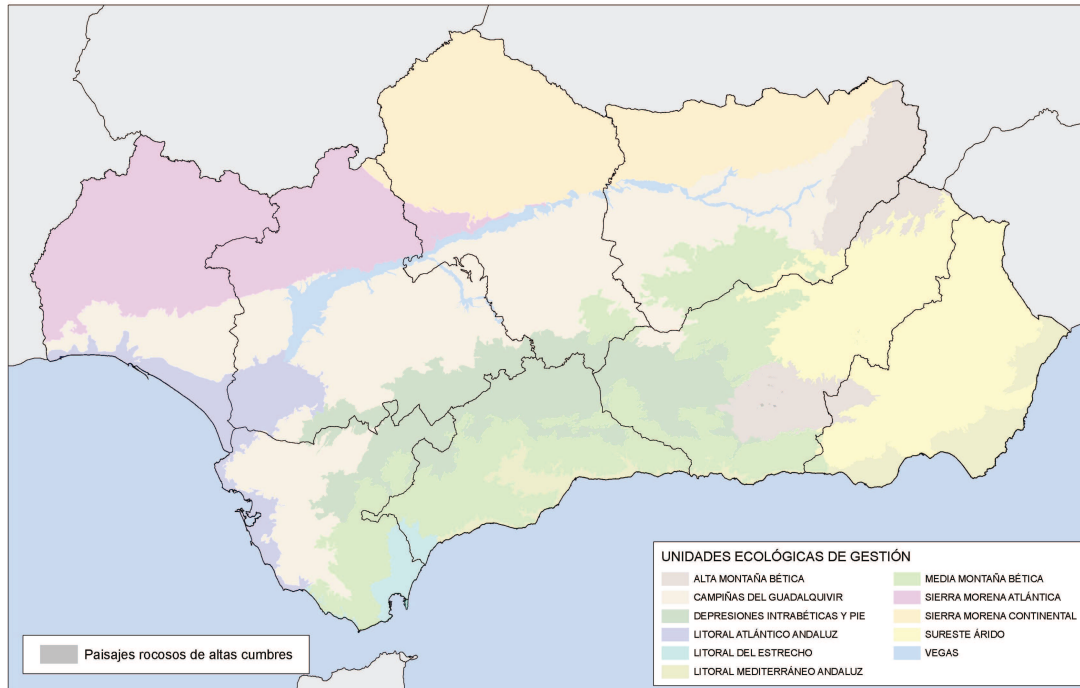


Figura 5. Distribución de paisajes rocosos de altas cumbres de Andalucía

Los **pinares de alta montaña** corresponden al hábitat 9530 de la Directiva 92/47/CEE (Regato & Del Río 2009). Se desarrollan en las montañas béticas calcáreas sobre sustratos dolomíticos y calizos por encima del límite altitudinal de los bosques de planifolios (Imagen 5, Figura 6). Su área potencial se extiende dentro de una franja altitudinal que oscila aproximadamente entre los 1700 msnm y los 2300 msnm. Su estructura es de bosques muy abiertos, con árboles no muy altos, bajo los que se desarrolla un matorral arbustivo dominado por especies de biotipo rastrero y almohadillado adaptado a las extremas condiciones de frío y viento a que están sometidos. Estos pinares pueden estar dominados por dos especies de pino, el pino silvestre (*Pinus sylvestris* var. *nevadensis*), que aparece como vestigio meridional de los pinares eurosiberianos en la sierra de Baza y en Sierra Nevada, o el pino salgareño (*Pinus nigra* subsp. *salzmanii*), mucho más frecuente. El estrato arbustivo está integrado por sabinas (*Juniperus sabina*) y enebros rastreros (*Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica*). Resulta interesante mencionar el papel sucesional que los enebrales y piornales juegan con respecto a este bosque, ya estos arbustos y matorrales actúan como plantas nodriza facilitando la germinación y crecimiento del pino salgareño y del pino silvestre. Los pinares-sabinares constituyen un subtipo de gran importancia ecológica por su estado de conservación, sus especiales características ecológicas y su reducida área de distribución.

Se piensa que la estructura tan aclarada de estos pinares se debe al tradicional uso ganadero de la alta montaña, que ha favorecido el desarrollo de pastos estivales en detrimento de la formación bosque en las cumbres de estas montañas. Dado que en el siglo pasado hubo una gran actividad reforestadora, la cobertura de coníferas en la alta montaña se ha expandido mucho más de lo que correspondería a sus límites naturales.



Imagen 5. Pinares de alta montaña en la Sierra de Baza. Estos bosques abiertos de altura representan relictos de vegetación eurosiberiana. Foto: Javier Cabello.

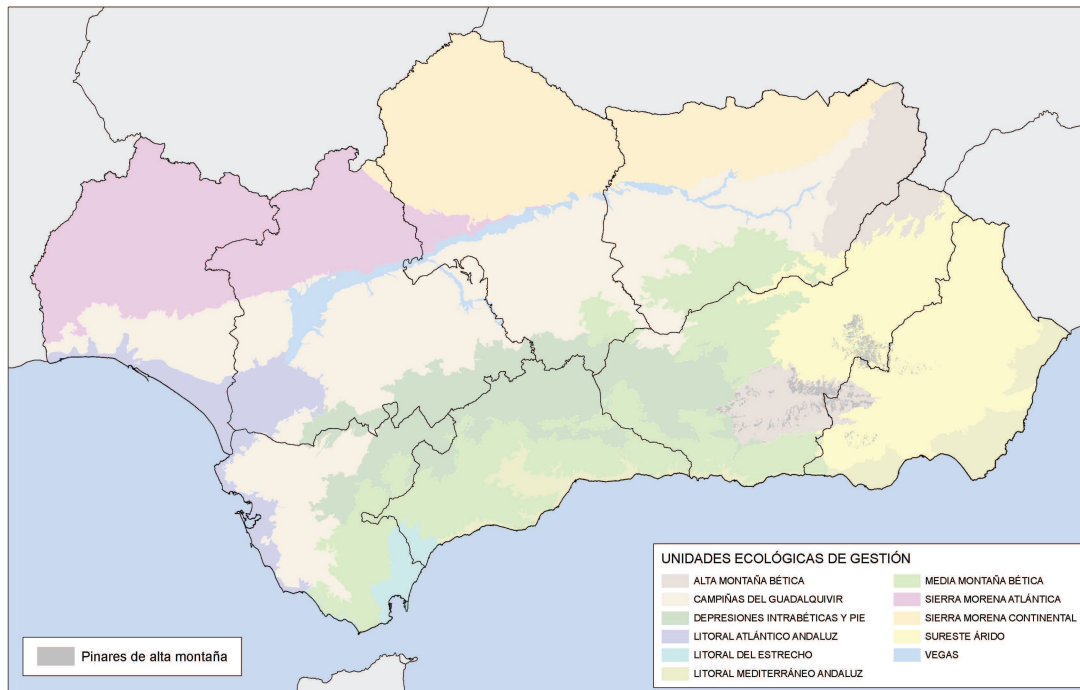


Figura 6. Distribución del subtipo pinares de alta montaña en Andalucía

Tabla 3. Características ambientales y socio-económicas de los subtipos de ecosistemas de Alta Montaña de Andalucía

Subtipos	Superficie Andalucía (has)	Litología y geoformas	Biodiversidad	Procesos ecológicos fundamentales	Características socioeconómicas
Enebrales rastreros y matorrales pulvinulares orófilos	66932	Materiales silíceos y carbonatados	Sabinas y enebros rastreros junto a especies de genisteas endémicas con adaptaciones anatómicas para evitar las pérdidas por evapotranspiración, y frío. Bacterias simbiotes fijadoras de nitrógeno.	Síndromes de adaptación a la alta montaña. Estructuración de las comunidades a partir de procesos de facilitación	Ganadería extensiva
Lastonares pastizales orófilos	30285	Materiales silíceos	Especies herbáceas resistentes al frío y a la nieve.	Procesos de crioturbación y formación de terrazas nivales.	Desarrollo de la práctica del esquí
Paisajes rocosos de altas cumbres	2170	Modelado periglacial	Endemismos locales adaptados a las duras condiciones del piso crioromediterráneo	Presencia de cubierta de nieve durante la mayor parte del año	Ecoturismo
Pinares de alta montaña	52112	Matorrales carbonatados	Vestigios relicticos de los pinares eurosiberianos	Procesos susceionales en relación con los enebrales y piornales	Gansdería extensiva

3. ESTADO DE CONSERVACIÓN GENERAL DE LOS ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA DE ANDALUCÍA

Un 19% de los áreas naturales han sido transformadas desde 1956, fundamentalmente hacia arbolado (17%). No obstante, este proceso de pérdida se ha visto compensado por la recuperación de la vegetación en áreas agrícolas abandonadas (22%) y la revegetación de áreas abiertas (8%), o de áreas de arbolado (12%). No obstante, el balance neto arroja una pérdida de áreas naturales de un 11%. El uso del suelo que más ha crecido ha sido el de los desarrollos antrópicos (200%). En estas áreas se pueden reconocer los subtipos: Enebrales rastreros y piornales (66983,68 has, 44%), lastonares y pastiazales orófilos (30.707 has, 20%), paisajes rocosos de altas cumbres (2.170, 1%) y pinares de alta montaña (53.382, 35%).

El futuro de este ecosistema está comprometido. A nivel global los ecosistemas de alta montaña son uno de los más amenazados por el cambio climático. La alternancia de condiciones y el carácter relicto en nuestras latitudes de algunos ambientes dejarán en situación de gran vulnerabilidad a un importante grupo de especies, situación que se ve agravada por la presión del hombre sobre su hábitat. En concreto, los enebrales rastreros y piornales pueden considerarse un ecosistema amenazado por este impulsor de cambio climático (aunque también por los cambios de uso del suelo) en las últimas décadas, aunque los cambios esperados no son homogéneos y requieren un mayor análisis. Por ejemplo, el impacto del cambio climático sobre este ecosistema parece haberlo favorecido en otras montañas peninsulares como en el Sistema Central, donde se ha observado un reemplazamiento altitudinal de los pastizales del piso crioromediterráneo por enebrales y piornales (matorralización) en el período 1957-1991 (Sanz-Elorza et al. 2003). Sin embargo, para los enebrales de Sierra Nevada los escenarios climáticos predicen una pérdida del 30% de su hábitat potencial en las próximas décadas (Bonet et al. 2010). Por otro lado, los piornales parecen experimentar cierta expansión superficial, lo que parece ser una consecuencia de la disminución de la recurrencia de fuegos artificiales y del pastoreo desde 1956 hasta la actualidad (Bonet et al. 2010).

El cambio climático puede estar también afectando significativamente a los lastonares y pastiazales orófilos, cuya situación parece más desfavorable en las montañas andaluzas que en otras montañas mediterráneas peninsulares (San Miguel 2009). No obstante, su tendencia no queda completamente clara. En general, parece razonable pensar en un escenario de incremento moderado de las temperaturas y de cambios en la tipología y la distribución de las precipitaciones que favorezcan la reducción de la innivación, tanto en superficie como en duración. Ello provocará una reducción en el área de ocupación e incluso la desaparición de los pastizales del piso crioromediterráneo, tal y como apuntan las simulaciones realizadas (Bonet et al. 2010). En general, la biota de la alta montaña, así como los procesos geomorfológicos que determinan su distribución, se verá afectada por la disminución de la duración y espesor de la cubierta de nieve. La tendencia en la duración media de ésta (días) es negativa si se analiza la última década (Bonet et al. 2010), y ello tendrá graves consecuencias sobre los patrones de distribución de las especies que habitan en este ecosistema, muy influenciada por la permanencia la nieve y los procesos de meteorización asociados al hielo-deshielo.

Junto al cambio climático, representan también una gran amenaza para este ecosistema los cambios de uso del suelo. Las reforestaciones madereras realizadas en el siglo pasado, y la habilitación de espacios destinados a actividades recreativas

(principalmente el esquí) y urbanizaciones asociadas, han determinado que los cambios de uso del suelo afecten al 64% de los servicios que proveen estos ecosistemas. El incremento de la población y la percepción de que el turismo residencial y deportivo representan la única opción de desarrollo presenta una tendencia que debería ser revisada por el conjunto de la sociedad, algo a lo que sin duda puede contribuir esta evaluación de los servicios de los ecosistemas. Otros procesos que están afectando seriamente a este ecosistema es el incremento de la presión antrópica, generalmente por medio de infraestructuras, turismo y actividades deportivas, o, más genéricamente, recreativas, además de los efectos derivados del cambio climático ya mencionados (San Miguel 2009).

4. SERVICIOS SUMINISTRADOS. MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y FUENTE DE DATOS

Los ecosistemas de alta montaña de Andalucía suministran servicios de abastecimiento, de regulación y culturales (tabla 4). Los indicadores más robustos se detallan en la tabla 5.

4.1. Servicios de abastecimiento

Los ecosistemas de alta montaña de Andalucía abastecían con alimentos a partir de una extensa gama de cultivos tradicionales de los que solo quedan algunos testimonios, y de la práctica de la ganadería que aún hoy día se conserva. Gracias a la precipitación que reciben, sobre todo en forma de nieve, estos ecosistemas adquieren una gran importancia en la provisión de agua dulce, un ecoservicio fundamental para el ser humano y el mantenimiento de la biodiversidad. Entre las materias primas de origen biológico destacan las especies vegetales utilizadas en la revegetación para el control de la erosión y el tratamiento de las pistas de esquí. Estos ecosistemas abastecieron, y todavía lo hacen, con energía renovable en forma de energía hidráulica. Son reservas de variedades locales y de razas ganaderas autóctonas adaptadas a las condiciones de alta montaña. También son frecuentes en su biodiversidad las medicinas naturales y principios activos.

4.2. Servicios de regulación

Se puede considerar que estos ecosistemas adquieren una gran importancia en la provisión de los servicios de regulación climática e hídrica. El servicio de regulación climática está determinado fundamentalmente por el papel que la cobertura de nieve y vegetal en el balance energético entre la atmósfera y la superficie terrestre, y la capacidad de los suelos y la biomasa forestal para almacenar carbono y mitigar el efecto invernadero. El servicio de regulación de la calidad del aire tiene una importancia alta-media, y se debe a la capacidad de la cobertura vegetal para retener partículas procedentes de las fuentes de contaminación cercanas. La regulación hídrica está indicada por la variación en la cubierta de nieve y el control de la escorrentía superficial que realizan tanto la vegetación como las canalizaciones tradicionales. En particular las acequias de careo vienen representando durante el último milenio una ofmra eficiente de distribuir en el tiempo y en el espacio el agua del deshielo. La regulación morfosedimentaria está indicada por las pérdidas de suelo por hectárea, que se ven reducidas cuando la vegetación está en buen estado de conservación. La formación y fertilidad del suelo está indicada por la profundidad de éste y su capacidad de intercambio catiónico. La capacidad de regular los incendios está indicada por la diversidad de especies nativas que muestran. El control biológico está indicado por la capacidad de regulación de plagas y de especies invasoras, mientras que el servicio de polinización está indicado por el número de especie autóctonas susceptibles de polinizar cultivos.

4.3. Servicios culturales

Los servicios culturales adquieren una gran importancia debido al conocimiento que las personas han tenido que desarrollar para vivir en ellos, a la belleza de sus paisajes, y el escenario que representan para la práctica de deportes de la naturaleza y la educación

ambiental. El conocimiento científico está indicado por el número de publicaciones científicas dedicadas a los ecosistemas de alta montaña andaluces; resultando de especial atención para los investigadores su biodiversidad y el estudio del cambio climático. El conocimiento ecológico local es un factor clave para el uso sostenible del capital natural, y está indicado por la variedad de saberes que las personas han desarrollado en este sentido. La identidad cultural y sentido de pertenencia está indicado por el número de asociaciones locales que viene creándose para la recuperación de la cultura. El servicio para el disfrute espiritual y religioso y para el disfrute estético y paisajístico están indicados por el número de lugares de culto que existen, y las infraestructuras y servicios para la interpretación ambiental, respectivamente. Las actividades recreativas, de ecoturismo y de educación ambiental están indicadas por la práctica de los diversos deportes de naturaleza.

Tabla 4.- Tipos de servicios que proporcionan los ecosistemas de alta montaña de Andalucía

Tipo de servicio	Servicios	Definición	Ejemplos e Importancia	
ABASTECIMIENTO	Alimentación	Productos derivados de la biodiversidad de interés alimentario	Agricultura, ganadería, apicultura, alimentos silvestres	
	Agua	Agua dulce de calidad derivada de flujos epicontinentales y acuíferos.	Producción de agua mineral o de manantial de montaña	
	Materias primas de origen biológico	Materiales extraídos de los seres vivos y que se transforman para elaborar bienes de consumo.	Especies vegetales utilizadas en la restauración de la cubierta vegetal	
	Energía renovable	Aprovechamiento de energía de procesos geofísicos y componentes de los ecosistemas de origen biótico o geótico que se usan o transforman como fuente de energía.	Producción de energía hidráulica	
	Acervo genético	Mantenimiento de la diversidad genética de especies, razas y variedades para suministro de determinados productos.	Razas ganaderas autóctonas y variedades locales	
	Medicinas naturales y principios activos	Principios activos para industria farmacéutica y medicinas tradicionales.	Tisanas, aceites varios, ácidos vegetales, alcaloides, etc.	
REGULACION	Regulación climática	Capacidad vegetal para absorber CO ₂ , efectos mesoclimáticos de intercepción, ralentización hídrica, amortiguación térmica, etc.	Captura y almacenamiento de carbono, Balance energético de la interacción atmósfera-cubierta de nieve	
	Regulación calidad aire	Capacidad de retener gases o partículas contaminantes del aire, regulación térmica.	Retención de contaminantes por vegetales y la biodiversidad del suelo.	
	Regulación hídrica	Capacidad para la regulación del ciclo hidrológico.	Cubierta de nieve	
	Regulación morfo-sedimentaria.	Capacidad para controlar los procesos erosivos.	Control de la erosión en cabeceras de ríos	
	Formación y fertilidad del suelo	Mantenimiento de la humedad y capacidad catiónica del suelo.	Fijación de nitrógeno, ralentización del ciclo de nutrientes, disponibilidad de materia orgánica y humus.	
	Amortiguación de perturbaciones	Amortiguación de perturbaciones naturales fundamentalmente ligadas al clima	Control de deslizamientos y avalanchas	
	Control biológico	Capacidad de regulación de plagas y vectores patógenos de humanos, cosechas y ganado.	Capacidad de regulación de especies exóticas	
	Polinización	Simbiosis entre ciertos organismos con resultado de transporte de polen y reproducción.	Insectos polinizadores de cultivos.	
CULTURALES	Conocimiento científico	Conocimiento que se adquieren a través de la investigación en los ecosistemas o con la biodiversidad que albergan.	Investigación y formación	
	Conocimiento ecológico local	Conjunto de saberes al que se llega a través de la práctica y la experiencia que se transmiten generacionalmente.	Uso tradicional del agua	
	Identidad cultural y sentido de pertenencia	Sentimiento patrimonial de ecosistemas silvestres y culturales (asociados a las propias interacciones y conocimientos humanos).	Asociaciones locales para la recuperación de la cultura	
	Valor religioso y espiritual	Usos no materiales del paisaje y sus elementos, frecuentemente ligados al ocio y recreo, a veces con componentes de creencias, dogmas o divinidades.	Lugares de culto ubicados en la naturaleza	
	Paisaje-disfrute estético	Apreciación de lugares, sitios, comarcas que generan satisfacción y placidez por su estética o inspiración creativa o espiritual.	Servicios de interpretación ambiental	
	Actividades recreativas - ecoturismo	Lugares, sitios, comarcas que son escenario de actividades lúdicas y deportes al aire libre que proporcionan salud y relajación.	Deportes de naturaleza	
	Educación ambiental	Formación sobre el funcionamiento de los procesos ecológicos y su función social. Sensibilización y conciencia de la gestión de los servicios de los ecosistemas.	Centros de interpretación ambiental	
IMPORTANCIA DEL SERVICIO				
Alta	Medio-Alta	Medio-Baja	Baja	No aplicable

Tabla 5a.- Servicios de abastecimiento, indicadores, fuentes de información y unidades de medida utilizados para la evaluación de los ecosistemas de alta montaña de Andalucía

Tipo Servicio	Subtipo	Categoría	Indicador	Fuente	Unidades	
ABASTECIMIENTO	Alimentación	Apicultura	Aprovechamientos apícolas	Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). ESREDIAM20081003001756.xml	Aptitud para la Ubicación de colmenas	
		Recolección	Especies de interés para la alimentación	SETAS	Kg.	
		Ganadería	Presencia de vías pecuarias	Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). ESREDIAM20090724006568.xml	Presencia/ausencia	
		Agua	Número de días con nieve	Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada	Días/año hidrológico	
			Consumo total de agua	INE- 2010	Hm3	
			Consumo de agua para la agricultura	INE- 2010 y Anuario de estadística 2009 de MARM. (http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/2009/indice.asp?parte=1&capitulo=3)	Hm3	
			PIB y agua distribuida para abastecimiento y agricultura	INE-2010	Hm ³ y Millones €	
		Materias primas de origen biológico	Germoplasma	Especies vegetales utilizadas en la restauración de la cubierta vegetal	Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Manual para la identificación y reproducción de semillas de especies vegetales autóctonas de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía 2001. Procedencias de las especies vegetales autóctonas de Andalucía utilizadas en la restauración de la cubierta vegetal. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía 2001.	Nº de especies Presencia/ausencia Cobertura
		Materias primas de origen mineral		Explotaciones mineras	Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). ESREDIAM20081003013649.xml	Presencia/ausencia
				Empleo ligado al sector extractivista		
		Energías renovables		Energía hidroeléctrica	Espacio Natural de Sierra Nevada	Nº de instalaciones hidroeléctricas
		Acervo genético		Razas ganaderas autóctonas y variedades locales		Nº de razas/variedades locales
		Medicinas naturales y principios activos		Especies vegetales de interés medicinal	Mapas de vegetación y bases de datos asociadas. Consejería Medio Ambiente. Junta de Andalucía	Presencia/ausencia Cobertura

Tabla 5b.- Servicios de regulación, indicadores, fuentes de información y unidades de medida utilizados para la evaluación de los ecosistemas de alta montaña de Andalucía.

Tipos servicio	Subtipo	Categoría	Indicador	Fuente	Unidades
REGULACIÓN	Regulación climática		Variación de la precipitación anual ¿?	Agencia Estatal de Meteorología y Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y del SEA (Sistema Estadístico de Andalucía).	Mm
			Variación de la temperatura media anual	SEA (Sistema Estadístico d Andalucía)	°C
			Variaciones en: viento, radiación solar, precipitación, presión atmosférica, humedad y temperatura del aire, intensidad de la luz, y temperatura del suelo	Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada	
		Captación de carbono	Ganancias de carbono por la vegetación	NASA (MODIS).	Valores de los índices de vegetación espectrales (NDVI, EVI)
			Sumideros de carbono	Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Observatorio de la Sostenibilidad de España. Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada	Mt carbono/año
			Cuantificación de los flujos de carbono y agua (Variaciones en el intercambio neto de CO2 y vapor de agua entre el ecosistema y la atmósfera)		
	Regulación de la calidad del aire		Parámetros relacionados con la calidad del aire	Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/templete.PAGE/rediam/informacionambiental/?javax.portlet.tpst=f94a29416541449d2de886b980525ea0&javax.portlet.prp_f94a29416541449d2de886b980525ea0=origen%3Darbo%26historico%3D05%252F00%26action%3DfichaMetadatoControl%26paginaActual%3DCalidad%2BAmbiental%26pagina%3D05%252F00%26id%3D%257B5AD70F59---AC67---417C---B039-E6059D473BC4%257D&javax.portlet.begCacheTok=com.vignette.cachetoken&javax.portlet.endCacheTok=com.vignette.cachetoken	
			Contaminación acumulada de NO2, SO2, NH3 y O3	Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada	
		Regulación hídrica	Evapotranspiración potencial	Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía ESREDIAM20081003002403.xml	mm/unidad de tiempo
		Variación en la cubierta de nieve			
		Evolución de la escorrentía superficial	Centro de estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y Sisitema de Indicadores del Agua (MMARM)	Mm	
	Regulación morfosedimentaria		Perdidas medias de suelo por hectárea	Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía) http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc2/visorEstadisticas/es.juntadeandalucia.cma.VisorEstadisticas/index.html?grupo=2009&lr=lang_es&lr=lang_es	Toneladas por hectárea y año (t/ha año)
			Riesgo de erosión en cárcavas y barrancos	Inventario Nacional de Erosión de Suelos (2002-2012). (http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/inventarios/ines/modulos_ines.htm)	Tn/hectárea/año
	Formación y fertilidad del suelo		Fertilidad del suelo	Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). ESREDIAM20090512030975.xml	
				Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). ESREDIAM20100602019964.xml	
	Amortiguación de perturbaciones naturales		Espesor de suelo útil	REDIAM	Cm
		Incendios forestales	INFOCA	Nº	
Control biológico		Número de especies invasoras	REDIAM	Presencia/ausencia	
Polinización		Especies autóctonas susceptibles de polinizar cultivos			

Tabla 5c.- Servicios de regulación, indicadores, fuentes de información y unidades de medida utilizados para la evaluación de los ecosistemas de alta montaña de Andalucía.

Tipo de servicio	Subtipo	Categoría	Indicador	Fuente	Unidades
CULTURALES	Conocimiento científico		Artículos en revistas científicas especializadas	SCOPUS ISI Web of Science	Nº de artículos
	Conocimiento ecológico local		Saberes populares asociados al manejo de los ecosistemas		
	Identidad cultural y sentido de pertenencia		Asociaciones locales con fines culturales y ambientales	Consejería de Cultura	Nº
	Valor religioso y espiritual		Visitantes a lugares de culto ubicados en terreno forestal		Nº
			Especies con valores culturales	Espacio Natural de Sierra Nevada	
	Paisaje – disfrute estético		Visitas con servicios de interpretación ambiental	Oficina del Espacio Natural de Sierra Nevada Consejería de Medio Ambiente	Nº
	Actividades recreativas y ecoturismo	Montañismo		Espacio Natural de Sierra Nevada	
		Otros deportes de la naturaleza	Asociaciones de senderismo	Espacio Natural de Sierra Nevada	Nº
	Educación ambiental		Equipamientos destinados a educación ambiental y turismo científico	REDIAM	Nº

5. CONDICIONES Y TENDENCIAS DE LOS SERVICIOS EVALUADOS

El 30% de los servicios de los ecosistemas de alta montaña se están degradando o están siendo usados de manera insostenible. Los más afectados son los servicios de acervo genético y conocimiento local, y los de regulación (regulación climática e hídrica) (*muy cierto*). Por el contrario, están mejorando los servicios de abastecimiento tecnificados y los servicios culturales, que responden a la demanda urbana (conocimiento científico, ecoturismo, educación ambiental) (*muy cierto*).

La cubierta de nieve recogida y acumulada en los ecosistemas de alta montaña, representa un reservorio de agua de gran importancia para el abastecimiento humano y el funcionamiento del resto de los ecosistemas montanos (*muy cierto*). La fusión de la nieve genera agua para regar los cultivos de montaña, aporta caudal a los ríos, representa un aporte hídrico para bosques y matorrales, y alimenta los acuíferos que abastecen a las necesidades humanas (*muy cierto*). Dado que el aprovechamiento de este reservorio se ha maximizado durante siglos mediante el diseño y empleo de sistemas tradicionales de gestión del agua, el abandono de éstos puede tener un gran efecto sobre los servicios de regulación y el abastecimiento de agua dulce (*certeza alta*).

Por su ubicación, condiciones ecológicas, acervo genético, estructura y funcionamiento, los servicios de regulación son mucho más importantes que los de abastecimiento.

Con objeto de poner de manifiesto la diversidad de ecoservicios que, generados por los ecosistemas de alta montaña, coexisten en el mismo territorio, EMA se centra de forma particular en el Macizo de Sierra Nevada. No obstante, los servicios que aquí se evalúan son asimilables, aunque con singularidades propias, al resto de ecosistemas de Alta Montaña de Andalucía (Tabla 1).

5.1. Servicios de abastecimiento

Alimentación tradicional. El servicio de abastecimiento de alimentación tradicional que generaban los ecosistemas de alta montaña andaluces está disminuyendo. Los ecosistemas de alta montaña proveyeron en el pasado aprovechamientos agrarios ligados al mantenimiento de una importante cabaña ganadera, el cultivo de variedades adaptadas a la altitud, y el almacenamiento de productos agrícolas bajo el suelo, aprovechando las frías temperaturas. Desde hace algunas décadas, el abandono de estos usos tradicionales está en la base de la merma de este servicio.

Desde el punto de vista agronómico, en la alta montaña, se daba una extensa gama de cultivos con valor culinario. Por ejemplo, en Sierra Nevada aún se desarrollan de forma testimonial antiguos cultivos como la habichuela y las lentejas morunas, el canónigo berro, el hinojo, la castaña, la colleja, la sémola de trigo y la patata “copo de nieve” (Cuadro 1). Por otro lado, los matorrales orófilos y los lastonares y pastizales orófilos, dado su carácter de pastos de puerto (San Miguel 2009) han sido tradicionalmente utilizados para el pastoreo extensivo, siendo ésta la principal contribución de los ecosistemas de alta montaña al servicio de alimentación. Esta actividad también está actualmente en declive, asistiéndose en los últimos años a una recesión continua del número de cabezas pastantes, especialmente de la ganadería bovina tradicional, aunque también ha tenido una gran importancia la ganadería ovina. El pastoreo en estos ecosistemas, donde la cobertura vegetal es baja, puede contribuir al incremento de los

procesos erosivos bajo condiciones de sobreexplotación o en situaciones de pastoreo intenso tras el fuego. En estos casos, la ordenación pastoral y ganadera, y el seguimiento de los efectos del pastoreo representa herramienta indispensable para la gestión. No existen estudios de detalle que permitan diagnosticar la presencia de sobrecarga ganadera, aunque hay zonas puntuales en Sierra Nevada como la Dehesa de Dílar y el Calvario de Güejar Sierra con presencia masiva de ganadería. No obstante, dado el carácter dinamizador del paisaje que la ganadería tiene en los ambientes mediterráneos, la desaparición total de la ganadería extensiva podría suponer un problema importante para la supervivencia de una parte de la flora amenazada del macizo.

Un servicio particular de abastecimiento que está amenazado por los cambios en la estacionalidad de las precipitaciones es el de la recolección de setas en los pinares de alta montaña. La recolección de setas representa un uso tradicional que ha comenzado a expandirse recientemente. Así, por ejemplo, en 2007 se creó el coto micológico de Bayárcal en Sierra Nevada, que con una extensión de 2500 has de monte público es el único coto micológico de Andalucía. En él se recolectaron en el año de apertura 70000 kg de setas, especialmente de niscalos. Este tipo de cotos sirve para regular y racionalizar la recolección de setas, para no esquilmar la población micológica, y fomentar la economía local. Esta actividad que atrae a muchas personas, no sólo el municipio o del resto de la provincia, sino también procedentes de otros puntos de Andalucía, puede verse amenazada por el descenso de las precipitaciones otoñales.

Asociado a la práctica de la ganadería de oveja, cabra y vacas, en la alta montaña de las sierras de Cazorla, Segura y las Villas se produce carne de vacuno, ovino o caprino. La variedad de oveja segureña, adaptada a diferentes condiciones de altitud, es el mejor ejemplo de esta producción.

Cuadro 1. La producción y almacenamiento de patata como fuente de abastecimiento en los ecosistemas de alta montaña de Andalucía

Probablemente el cultivo en Andalucía que se practicaba a mayor altitud era el de la patata “copo de nieve” (Imagen 6). El área histórica de producción de este era la franja de montaña de Sierra Nevada situada entre los 1000-2000 msnm. En la memoria de los agricultores, el cultivo de esta variedad de “papa” de montaña se remonta a los siglos XVIII y XIX, momento en el que representó una fuente importante de abastecimiento el consumo local o como fuente de semilla para su cultivo en las vegas medias y bajas de la provincia de Granada. En la actualidad su cultivo está muy restringido y solo lo practican un escasísimo número de agricultores de Nigüelas y Güéjar Sierra (provincia de Granada) y Abruçena (provincia de Almería). Su conservación está siendo fomentada en la actualidad a través de la celebración de jornadas y contactos con agricultores.



Imagen 6. Patata de alta montaña “Copo de Nieve” de Sierra Nevada (Granada, España). Patata de entre 5 y 10 cm. de tamaño, redondeada, poliédrica, con numerosos brotes para la germinación. De color de piel marfil-tierra y con interior muy blanco. De ahí su nombre de “copo de nieve”, carácter típico de este tipo de tubérculos de alta montaña. Tomado de Slowfood Granada (<http://granada.slowfood.es/files/Food/19/Patata%20de%20Alta%20Montaa%20Copo%20de%20Nieve%20de%20Sierra%20Nevada.pdf>)

Los ecosistemas de alta montaña también fueron usados para el almacenamiento bajo tierra de la producción de patatas durante buena parte del año. De esta forma, las bajas temperaturas aseguraban la disponibilidad de este tubérculo durante todo el año en las áreas de influencia de la montaña.

Agua dulce. El papel de los ecosistemas de alta montaña como suministradores de agua de calidad derivada de flujos epicontinentales está mermando. Uno de los servicios más importantes que proveen los ecosistemas de montaña es el suministro de agua potable (MA 2005). Las montañas suministran del 60 al 80% de agua dulce del mundo, a pesar de cubrir sólo el 24% de la superficie del planeta. En las regiones de clima seco (como Andalucía), este papel es aún mayor ya que aunque cubren el 30% del área, contribuyen al 67% de la generación de este ecoservicio fundamental para el ser humano y para el funcionamiento de los ecosistemas y la biodiversidad.

La importancia de las montañas en relación a la provisión de este servicio se debe a que a medida que aumenta la altitud, también lo hace la precipitación, mientras que la temperatura, y en consecuencia la evapotranspiración disminuye. Además, parte de la precipitación cae en forma de nieve y es almacenada en neveros o glaciares durante una buena parte del año. Por ejemplo, en las cimas del Mulhacén o Veleta caen anualmente una media de 1300 litros/m². El hecho de que gran parte de esta cantidad de agua caiga en forma de nieve, es extremadamente importante por el carácter mediterráneo de nuestra región. La fusión de la capa de nieve durante el verano representa un aporte importantísimo de agua justo cuando es más necesaria (e.g. Price et al. 2001). De esta forma la cubierta de nieve se convierte en un elemento clave para el funcionamiento no sólo de los ecosistemas de montaña, sino también de las zonas de valle que se encuentran en su área de influencia (Figura 7).

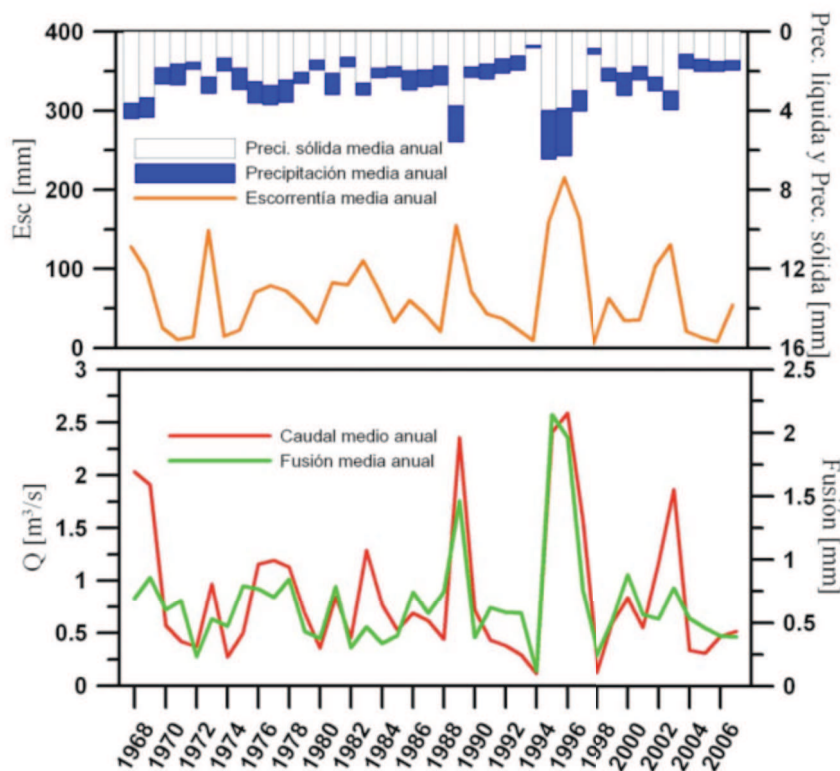


Figura 7. Representación del caudal, escorrentía, fusión, precipitación líquida y precipitación sólida a escala de año hidrológico para el periodo 1968-2008 en la cuenca del río Poqueira (Sierra Nevada). Las montañas juegan un papel fundamental en la hidrología debido a la precipitación que recogen en forma de nieve. En la región mediterránea la nieve se almacena en la alta montaña durante el invierno, y su fusión posterior en primavera y verano, proporciona agua dulce justo cuando ésta es más necesaria. De esta forma la cubierta de nieve se convierte en un elemento ecológico y económico clave de los ecosistemas de montaña y de las zonas de valle que se encuentran bajo su influencia. En esta gráfica se aprecia como las crecidas de caudal en el río Poqueira coinciden con años de gran precipitación en forma de nieve y de fusión de ésta. Tomado de Torres Cuenca, 2008

([http://www.cuencaguadalfeo.com/archivos/Guadalfeo/Libros/TFM Sergio%20Torres%20Cuenca.pdf](http://www.cuencaguadalfeo.com/archivos/Guadalfeo/Libros/TFM_Sergio%20Torres%20Cuenca.pdf)).

Este papel vital de las montañas es muy sensible al calentamiento global y a los cambios en la precipitación. En el caso de Sierra Nevada la nieve y la lluvia que caen sobre la

sierra a lo largo del año dan lugar a unos recursos hídricos medios de 750 Hm³/año, equivalente al embalse del Negratín, uno de los mayores de toda Andalucía (Espín et al. 2010). El cambio climático, y la disminución de días de nieve que se ha constatado en la última década (Bonet et al. 2009) dará lugar a cambios importantes en el tiempo y la cantidad de liberación de agua de los paquetes de nieve, lo que afecta al nivel de provisión de este servicio. El seguimiento que está llevando a cabo el Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada de la cubierta de nieve a partir del empleo de imágenes de satélite y del modelo hidrológico WiMMed (WiM-Med, Watershed Integrated Management) puede acoplarse a la evaluación de la provisión de este servicio (Azpizúa et al. 2012, Herrero et al. 2011). Ambas herramientas permiten evaluar la extensión y duración de la cubierta de nieve, así como de la cantidad de agua que dicha cubierta representa.

Los ríos más importantes de las sierras de Cazorla, Castril, Segura y las Villas, que se abastecen del agua del deshielo, han conocido una importante labor de regulación mediante la construcción de una red de embalses de diferente tamaño y capacidad, cuyo objetivo fundamental es satisfacer las necesidades agrícolas, energéticas o urbanas de zonas alejadas del macizo montañoso en el que se almacena el agua, sin que ello haya tenido una repercusión favorable al desarrollo de la población local que habita en el territorio productor de dicho recurso. Este enorme reservorio superficial de agua se complementa con el existente en el subsuelo en donde gracias a la elevada permeabilidad de las rocas superficiales se ofrece además una amplia red de sistema de acuíferos

Materias primas de origen biológico. La cantidad de materiales extraídos de los seres vivos y que se transforman para elaborar bienes de consumo en los ecosistemas de alta montaña está aumentando. Aunque la explotación maderera es un servicio prácticamente abandonado desde hace algunas décadas, la aplicación de planes de reforestación supone una nueva perspectiva para el uso de materiales biológicos. El control de la erosión, la restauración de los ecosistemas degradados y el tratamiento adecuado de las pistas de esquí, son medidas que requieren de materiales biológicos autóctonos, adaptados a las condiciones climáticas de la alta montaña y que no representen un riesgo para la diversidad genética de estos ecosistemas. La consecución de estos objetivos ha sido posible gracias a la gran variedad de especies nativas que pueden ser utilizadas en las restauraciones de la cubierta vegetal. Las especies herbáceas de los lastonares y pastizales orófilos resultan especialmente adecuadas para la restauración de las pistas de esquí, mientras que las leguminosas endémicas (*Cytisus*, *Echinopartium*, *Genista*, etc.) y sus bacterias simbiotes (*Bradyrhizobium* sp.) de los piornales, representan una fuente de germoplasma para la restauración de ecosistemas degradados y probablemente también de otros organismos menos estudiados.

Energías renovables. El aprovechamiento de la energía procedente de procesos geofísicos es un servicio de abastecimiento que muestra una tendencia mixta. Uno de los servicios de abastecimiento energético más importantes cuantitativamente en los ecosistemas de alta montaña es la energía renovable procedente de las instalaciones hidroeléctricas. El aprovechamiento de los saltos de agua en los ríos de montaña ha sido un uso tradicional en Andalucía. Para el caso del macizo de Sierra Nevada, el aprovechamiento hidroeléctrico de sus aguas durante el siglo XX llegó a suponer más

del 30% de la energía de este origen en Andalucía. La enorme demanda energética actual y los nuevos mercados han supuesto una disminución en la provisión de este servicio. Además la necesidad de mantener el caudal ecológico de los ríos hace necesario la adecuación del régimen de funcionamiento de las centrales existentes que resulten compatibles.

Acervo genético. La diversidad genética de especies, razas y variedades para suministro de determinados productos está descendiendo. Las razas ganaderas y las variedades locales representan un acervo genético generado como consecuencia de la relación entre el hombre y los sistemas naturales, que en el caso de Andalucía ha sido especialmente prolongada e intensa. Este patrimonio genético ha sufrido durante las últimas décadas un acelerado proceso de empobrecimiento como consecuencia de los importantes cambios socioeconómicos producidos en el conjunto de Andalucía, fundamentalmente por el abandono del medio rural y por la pérdida de conocimientos, técnicas y prácticas tradicionales de gestión de los seres vivos. Un ejemplo de ello es la vaca pajuna (Imagen 7), una raza de ganado vacuno característica de Sierra Nevada. Dada su gran rusticidad, es capaz de adaptarse a los terrenos más complicados, en laderas escarpadas, o a menudo entre la nieve y compartiendo los pastos con las pjaras de cabras monteses. Estos animales pastan libremente por Sierra Nevada durante todo el año. Por su aptitud para aprovechar los pastizales más pobres es explotada de forma extensiva sin apenas cuidados con el fin de obtener carne de gran calidad. Aunque contribuye al mantenimiento de la actividad ganadera en esta zona y a la conservación de los ecosistemas en donde pasta (borreguiles y pastizales), la explotación de este ganado está en franca recesión. Por este motivo, y para generar modelos sostenibles de gestión del territorio se va a poner en marcha en el Espacio natural de Sierra Nevada, un plan sectorial de ganadería extensivo tradicional que promueva la conservación de esta y otras razas de ganado.



Imagen 7. Ganado vacuno pastando en un borreguil de Sierra Nevada. Entre este ganado, destaca una variedad local, la vaca pajuna, de piel castaña y corpulencia media. Foto: Javier Cabello

Medicinas naturales y principios activos. El servicio de provisión de principios activos para industria farmacéutica y medicinas tradicionales a partir de las especies de los ecosistemas de alta montaña de Andalucía tiende a empeorar. En Andalucía, y especialmente en la Alpujarra, ha existido siempre una antigua e importante tradición etnobotánica reflejada en el aprovechamiento directo de su flora con fines medicinal, alimentario, condimentario, aromático, de tradición, religioso, etc. En los ecosistemas de alta montaña existen numerosos endemismos y otras plantas cuyo uso tradicional como plantas medicinales ha sido frecuente desde el Neolítico. En las últimas décadas, el abuso en la recolección de estas especies ha llevado a la práctica extinción de algunas de ellas. El caso más conocido es el de la manzanilla de la Sierra, *Artemisia granatensis*, una compuesta para la que se están realizando importantes esfuerzos de conservación. Otras especies de interés medicinal son el té de Sierra Nevada (*Satureja alpina*), o la gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Sprengel), cuyas hojas se utilizan por sus propiedades diuréticas y antisépticas urinarias. Las recolecciones de esta especie efectuadas hasta hace unos quince años han provocado un importante deterioro y empobrecimiento de sus poblaciones. No obstante, la tasa de recolección actual se considera dentro de los umbrales de sostenibilidad (González-Tejero, M.R. & Casares, M. Etnobotánica en Andalucía. Síntesis y estado actual (<http://conocimientostradicionales.info/resources/GzTejero2.pdf>))

5.2. Servicios de regulación

Regulación climática. El balance energético entre la cobertura de nieve, el suelo y la atmósfera, así como la capacidad de la atmósfera y los suelos para almacenar CO₂, se está alterando. Ello está llevando a un deterioro del servicio de regulación climática de las áreas que se encuentran bajo la influencia de la alta montaña. Desde el punto de vista de la regulación climática, la alta montaña andaluza ejerce dos funciones fundamentales. Por un lado, la presencia de una cubierta de nieve durante buena parte del año determina la reflexión de buena parte de la radiación solar incidente (y por tanto, el forzamiento radiativo de la atmósfera) (Figura 8), y la generación de temperaturas frescas en la región. Por otro lado, estos macizos tienen un efecto amortiguador pluviométrico en las áreas situadas en su vertiente oriental, dando lugar a zonas de sombras de lluvia, de forma que incluso algunas de sus laderas presentan signos de aridez. La interacción de este efecto junto con los cambios en los modelos de circulación atmosférica (i.e. influencia de la NAO y la WeMO) está dando lugar a cambios en el clima regional.



Figura 8. Curva anual de albedo para radiación global máxima (%/100) en la estación climática Veleta (Sierra Nevada). El albedo es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes más que las opacas. El albedo medio de la Tierra es del 37-39% de la radiación que proviene del Sol. Es una medida de la tendencia de una superficie a reflejar radiación incidente. Un albedo alto enfría el planeta, porque la luz (radiación) absorbida y aprovechada para calentarlo es mínima. Por el contrario, un albedo bajo calienta el planeta, porque la mayor parte de la luz es absorbida por el mismo. Se aprecia como el albedo aumenta bruscamente en los períodos del año en hay cubierta de nieve. Esta relación da una idea de los efectos que los cambios en los días de cubierta de nieve pueden tener sobre el balance energético que se establece entre la superficie terrestre y la atmósfera, y que influye en las características climáticas regionales. Fuente: Red de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (http://reddeparquesnacionales.mma.es/parques/org_auto/informacion_general/index.htm)

Regulación de la calidad del aire. Dado que las actividades industriales y urbanas contaminantes persisten, cabe esperar que dependiendo del estado de conservación de la vegetación y de la influencia de los procesos climáticos, la tendencia en este servicio sea mixta o estable. La calidad del medio ambiente atmosférico depende de la contaminación introducida en el aire ambiente por diversas sustancias. Por su parte, la contaminación atmosférica está condicionada por las emisiones procedentes de las actividades humanas y su incidencia en la calidad del aire que respiramos. En Andalucía, el sector industrial es responsable de la misma en ciertos enclaves territoriales. Sin embargo los núcleos urbanos, especialmente el transporte y la movilidad, son los principales causantes del deterioro de la calidad del aire. A esto se le suman ciertas características naturales del territorio que propician la concentración de contaminantes, como los vientos procedentes del Sahara cargados de partículas, lo que tiene especial incidencia en la alta montaña. En primavera y verano, la elevada radiación y temperatura favorecen la formación de contaminantes secundarios como el ozono troposférico. El Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada ha puesto en marcha un protocolo de seguimiento de la calidad del aire (Azpizúa 2012, Figura 9). Dicho protocolo se basa en el empleo de dosímetros pasivos que permiten estimar la concentración de cuatro gases reconocidos como contaminantes: SO_2 , NH_3 , O_3 y NO_2 . Estos dispositivos permitirán generar una serie temporal de la evolución de estos cuatro gases lo que facilitará el seguimiento de este servicio.



Figura 9. Estaciones para seguimiento de la calidad del aire en Sierra Nevada. Estas estaciones forman parte de la Red de Seguimiento del Cambio Global en la Red de Parques Nacionales del Organismo Autónomo de Parques Nacionales para recoger además de datos climáticos y de la calidad del agua, la calidad del aire. Tomado de Aspizúa (http://www.slideshare.net/sierra_nevada/1rutaspizua)

Regulación hídrica. El cambio climático, la degradación de la vegetación y los suelos y el abandono de sistemas de canalización tradicionales representan una limitación para la regulación del ciclo hidrológico por los ecosistemas de alta montaña. El almacenamiento y flujo del agua a través de las montañas representan una de las principales contribuciones de las zonas de montaña al clima y a la esorrentía y redistribución del agua (Viviroli et al, 2003;. Viviroli y Weingartner, 2004). Al tratarse de zonas cabecera de cuenca, la importancia del agua disponible se hace notable en la función que desempeñan como fuente de alimentación y recarga de zonas hidrográficamente más bajas (Cuadro 2).

Cuadro 2. El sistema de acequias de Sierra Nevada, una construcción humana fundamental para el servicio de regulación hídrica.

Hace siglos los pobladores de Sierra Nevada encontraron una forma eficaz y fascinante de ejercer un control sobre las aguas del deshielo de la nieve. Con este propósito surgió la red de acequias de careo que teje el paisaje de esta sierra (Imagen 8). Estas acequias conducen el agua según la guía y el buen criterio de los acequeros, consiguiendo que el agua se retenga y acumule en el subsuelo de las laderas de la Sierra para ser aprovechada en cotas más bajas a través de las acequias de riego que discurren por los campos de cultivo. En estas acequias el agua del deshielo se carga, por donde avanza hasta que en determinados puntos de su recorrido (simas, calaeros, guíaeros, matas) es derramada ladera abajo. Estos sitios reúnen características geológicas particulares: la roca alterada permite la infiltración somera del agua que, tras una circulación lenta y natural bajo el suelo, emerge en manantiales y remanentes, evitando su pérdida por evaporación en superficie y abasteciendo las zonas más bajas en la estación más seca. Con este sistema se logran dos objetivos: demorar la surgencia del agua (en algunos puntos aflora meses después de haber sido derramada en las simas) y permitir que nutra las fuentes y los manantiales de cotas inferiores (en ocasiones a más de 1000 m de desnivel). Se trata de un sistema que logra que la sierra se comporte verdaderamente como un embalse natural.

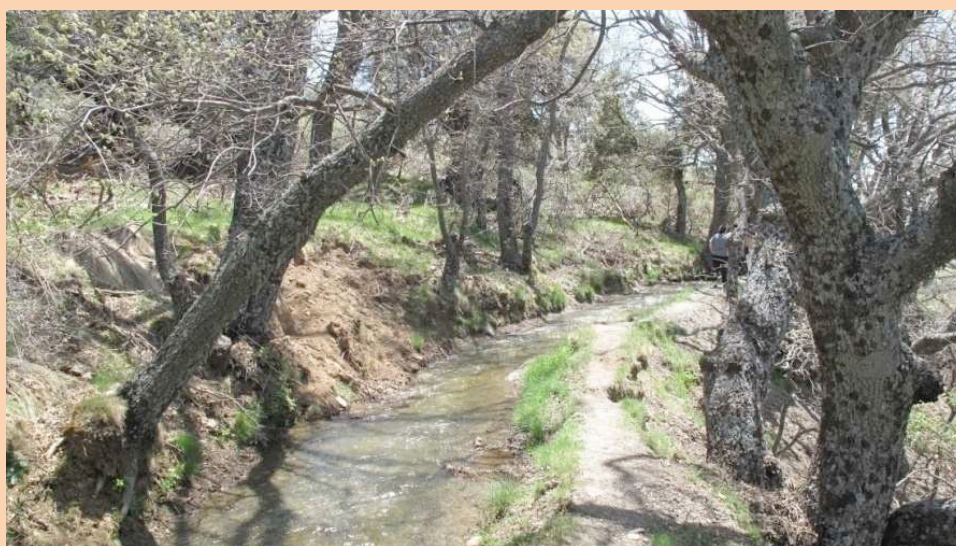


Imagen 8. Acequia de careo en la vertiente sur de Sierra Nevada. Foto: Javier Cabello

El regadío implantado en la montaña, con el transcurso del tiempo, ha generado paisajes y ecosistemas a los que hoy en día concedemos una gran importancia por sus múltiples valores, permitiendo la existencia de vegetación propia de zonas más húmedas en un contexto general de vegetación mediterránea adaptada a condiciones de mayor sequedad. Los careos dan lugar a un entorno más húmedo y fresco que hace posible la presencia de pastos de montaña denominados borreguiles en alusión a su tradicional uso ganadero. A esta altitud también se pueden encontrar especies de porte arbustivo que pueden beneficiarse del ambiente creado por las acequias, como el sauce cabruno (*Salix caprea*) o el enebro rastrero (*Juniperus communis nana*), o incluso arbóreo (*Quercus pyrenaica*) (Dionisio et al. 2012).

Regulación morfosedimentaria. La capacidad de controlar los procesos erosivos muestra una tendencia mixta en los ecosistemas de alta montaña. El suelo, un ecoservicio que en condiciones de baja temperatura presenta tasas de renovación bajas, es la base para el funcionamiento de los ecosistemas de montaña y las economías que dependen de ellos. En la alta montaña la dureza de las condiciones climáticas hace que los suelos tengan un grado de evolución muy moderado. Por ello, la vegetación de estos ecosistemas tienen un papel como estabilizador edáfico muy importante, además de aportar el recubrimiento necesario para reducir las tasas de erosión y la pérdida edáfica tras lluvias severas. Esta función es especialmente relevante en el caso de los enebrales rastreros y piornales, y lastonares y pastizales orófilos, que al ocupar las cabeceras de cuencas hidrográficas, pueden tener efectos destacados en el control hidrológico de las cuencas.

La erosión de los suelos representa uno de los riesgos ambientales más importantes y extendidos por toda la Península Ibérica. En muchas ocasiones si la pérdida de suelo no es corregida condiciona la capacidad productiva de los ecosistemas ya sea con fines productivos o simplemente como soporte del medio natural.

La capacidad de conservación del suelo representa un servicio de los ecosistemas que actúa soporte de otros muchos servicios, siendo además clave para la conservación de la biodiversidad animal y especialmente la diversidad vegetal. Cuando la pérdida de suelo se incrementa se reduce la tasa de remoción por lo que se produce un empobrecimiento, tanto de su calidad como de su espesor, al desaparecer los horizontes superficiales ricos en nutrientes y materia orgánica, degradándose su capacidad de producir biomasa y por tanto conduciendo a un empobrecimiento de los ecosistemas o a una reducción importante de su capacidad de suministrar servicios de abastecimiento

La pérdida de suelo en los ecosistemas de alta montaña andaluces se acentúa cuando confluyen sobre ciertas variables ambientales especialmente desfavorables (altas pendientes, alta torrencialidad de la lluvia, alta erodibilidad de los suelos) en conjunción con inadecuadas prácticas de gestión por parte del hombre. La alta capacidad de éste de alterar el factor protector del suelo que representa las coberturas vegetales, generalmente por un uso inadecuado del recurso suelo, desemboca en su degradación acelerada y difícilmente reversible a corto plazo, y por consiguiente en la pérdida de servicios ecosistémicos. En la alta montaña mediterránea donde las características anteriores se aúnan, la erosión de los suelos representa uno de los factores de degradación del medio más importante, siendo una de las principales causas que provocan la desertificación.

La Red de Información Ambiental de Andalucía de la Consejería de Medio Ambiente, mediante tecnologías de la información, especialmente la teledetección y los sistemas de información geográfica, se pueden identificar indicadores para el seguimiento anual de la evolución y evaluación de la erosión o pérdida de suelo. El método empleado es el conocido como Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, el cual a partir de información referida a seis variables de control (erodibilidad del suelo (K), longitud de la pendiente (L), inclinación de la ladera (S), energía de la lluvia (R), protección del suelo que proporcionan las cubiertas vegetales (C) y la adopción de prácticas de conservación de suelos (P)) estima el valor en tonelada métrica por hectárea y año de la cantidad de suelo removido por la erosión hídrica laminar y en regueros. Este valor cuantitativo es valorado como un indicador ambiental sin plena expresión cuantitativa,

ya que para obtener una plena valoración absoluta sería necesario una calibración experimental en campo para adaptarla a nuestras condiciones locales, no obstante sí puede ser utilizado como una eficaz herramienta para realizar comparaciones espaciales o seguir la evolución temporal de estos procesos.

Este indicador de la pérdida de suelo se apoya en un programa de actualización y mejora periódica de la información permitiendo crear una base de datos histórica especialmente útil en el estudio de la evolución de los procesos erosivos y su incidencia en la desertificación.

Para los ecosistemas de alta montaña de Sierra Nevada y Sierra de Cazorla, Segura y las Villas, el indicador de pérdida de suelo informa que las tasas de pérdida media de suelo entre 1992 y 2008 son moderadas y en gran parte de la superficie bajas. En las figuras 10 y 11 se puede observar como en ambos ecosistemas la superficie en la que se aprecian valores bajos de entre 0 y 12 Tm/ha/año de pérdida de suelo ocupa más del 90% de la superficie total. Esto en parte puede ser debido a la fijación de suelo por parte de las tradicionales prácticas agrícolas que ayudan a mantener los suelos.

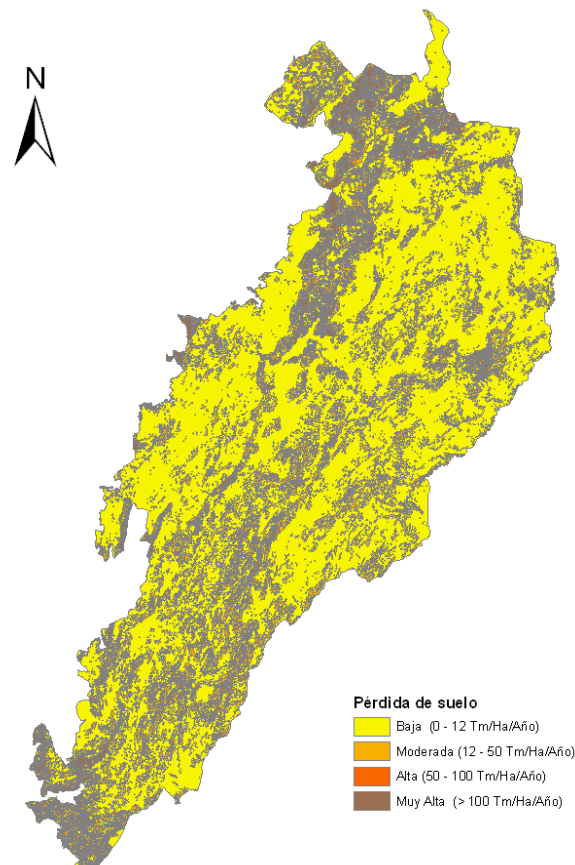


Figura 10. Tasa media de pérdida de suelo entre 1992 y 2008 en la Sierra de Cazorla, Segura y las Villas.

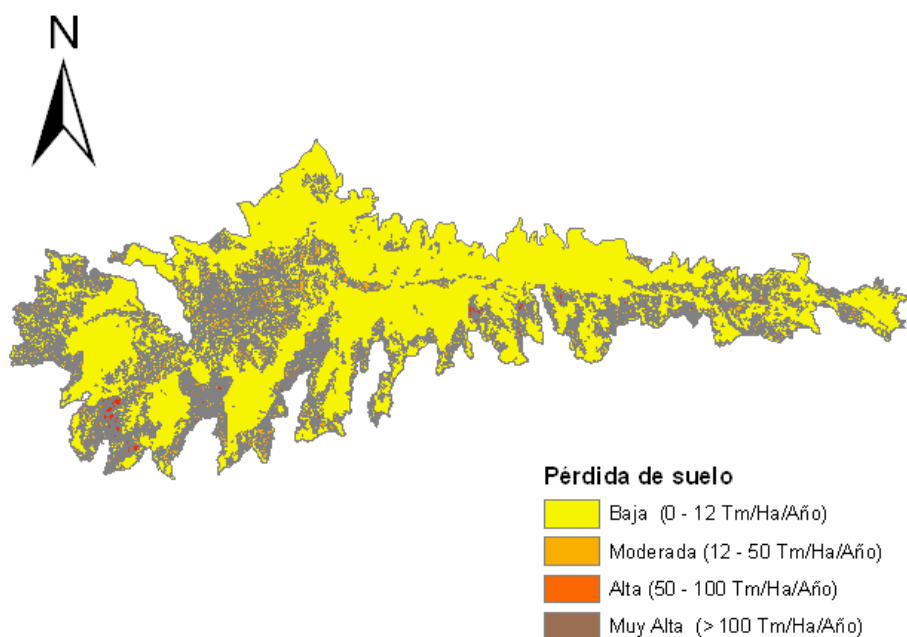


Figura 11. Tasa media de pérdida de suelo entre 1992 y 2008 en Sierra Nevada.

Formación y fertilidad del suelo. El mantenimiento de la humedad y la capacidad catiónica del suelo muestra una tendencia desigual en función del estado y funcionamiento de la vegetación y de los procesos de erosión. La formación del suelo depende de una serie de factores, como la roca madre, el clima, la vegetación, la forma del relieve, el paso del tiempo y la acción del hombre con sus actividades. Para el caso de los piornales, la elevada biomasa de leguminosas que albergan es responsable de la fijación, y por lo tanto, de la entrada de nitrógeno en los ecosistemas de alta montaña. Aunque no existen datos sobre las tasas de mineralización y/o exportación de N en este tipo de hábitat, es posible suponer que un estado de conservación desfavorable del tipo de hábitat disminuiría las tasas de fijación y afectaría al flujo de nitrógeno dentro del ecosistema, alterando severamente su estructura y función, y afectando probablemente también a otros tipos de hábitat vecinos (Bonet et al. 2009). Por otro lado, los pinares de alta montaña desempeñan un importante papel en la edafogénesis sobre sustratos de difícil colonización por parte de la vegetación, como son las dolomías (Regato y Del Río 2009), ya los procesos edáficos sobre estos sustratos son muy lentos.

El aprovechamiento ganadero, a través de la redistribución de los nutrientes y la aceleración de sus ciclos, ha contribuido a mejorar las características de estructura y fertilidad de los suelos y a incrementar la producción de los pastos, tanto en cantidad como en calidad (De la Cruz 2009). Sin embargo, en algunos casos, generalmente ligados a una mala gestión de los rebaños, puede haber provocado problemas puntuales de compactación, apertura de surcos y erosión.

Regulación de las perturbaciones naturales. Considerando la interacción entre los diferentes impulsores de cambio, la amortiguación de perturbaciones naturales ligadas al clima y a los incendios muestra una tendencia mixta. La diversidad de especies representa una característica que disminuye el riesgo de incendio forestal, un riesgo que

aumenta en las masas forestales muy densas. Este hecho debería apoyar la conservación de la biodiversidad y la restauración de los ecosistemas naturales, lo que disminuiría los costes de los planes contra incendios. Los deslizamientos de tierra, caída de rocas y flujos de escombros son peligros específicos de las regiones montañosas, se ven también minimizados si la vegetación permanece en un estado adecuado de conservación.

Control biológico. La capacidad de regulación de plagas y vectores patógenos de humanos, cosechas y ganado muestra una tendencia mixta. En relación con los cultivos tradicionales resulta difícil evaluar la evolución de este servicio por la falta de datos. Si bien se ha reducido el número de cultivos tradicionales, y por tanto, la importancia de este servicio ha disminuido, cabe esperar que la biota natural siga ejerciendo control sobre los cultivos que aún se practican.

Polinización. El papel de los ecosistemas de alta montaña en el servicio de polinización muestra una tendencia mixta o se mantiene. La pérdida progresiva de biodiversidad debe dar lugar al empeoramiento de este servicio, pero aún no contamos con datos que nos permitan asegurar tal tendencia. Sin embargo, los polinizadores propios de estas altitudes podrían no verse afectados por los problemas de los polinizadores de cultivos de los valles del entorno de las montañas.

5.3. Servicios culturales

Conocimiento científico. Los niveles de conocimiento que se están adquiriendo a través de la investigación en los ecosistemas de alta montaña están aumentando. Cada vez es mayor el conocimiento científico sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas de alta montaña de Andalucía. Este conocimiento no sólo se refiere al inventario y procesos asociados a la rica biodiversidad que albergan, sino que también las montañas más altas, son los lugares de la Tierra que más posibilidades ofrecen para el estudio de los ecosistemas en relación con la troposfera (Morales, Pérez & Reche, 2001). Ello no sólo se debe a que permiten la instalación permanente de instrumentos de medida a diferentes altitudes, sino porque los propios ecosistemas que se desarrollan en ellas reflejan directamente las condiciones de selección que soportan.

El papel en la generación de conocimiento de estos ecosistemas se ve favorecido por el hecho de que como Parque Nacional, Sierra Nevada, representa un objetivo del programa de investigación del Organismo Autónomo de Parques Nacionales, y por la consolidación del Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada. Este observatorio es el responsable del proyecto GLOCHAMORE que está generando una gran cantidad de información en relación al seguimiento del cambio global.

Conocimiento ecológico local. El abandono de las actividades tradicionales está provocando que el conjunto de saberes al que se llega a través de la práctica y la experiencia que se transmiten generacionalmente estén desapareciendo. Las poblaciones rurales de las zonas de montaña de Andalucía disponen de un rico elenco de conocimientos en relación con el manejo y aprovechamiento de los ecosistemas de alta montaña. Un caso particular de este conocimiento es el del conjunto de saberes

asociados a los regadíos de Sierra Nevada, que constituyen un sistema agroecológico de interés socioeconómico, ambiental y cultural que configura los paisajes y la identidad de este territorio. Por ejemplo, en las zonas de elevada pendiente, el riego bien gobernado representa una práctica esencial para evitar las pérdidas de suelo. Esta práctica ha quedado incluso reflejada en dichos populares, como este de la Alpujarra, “el buen labrador tiene que ser buen regador”. Por otro lado, el antiguo oficio de acequero conocido en algunas poblaciones como el “fiel” (o ramalero) es tan antiguo como las mismas infraestructuras hidráulicas que le dieron origen y se ha ido transmitiendo de generación en generación. Hasta hace unos años todo el pueblo se implicaba en las labores de mantenimiento y limpieza de acequias como una obligación social. Para conservar estos saberes, recientemente se ha sido publicado el “Manual del acequero” (Espín et al. 2010), una obra que pretende recuperar la sabiduría y costumbres del manejo del agua y destacar el papel histórico de los regantes y acequeros en la formación de la identidad cultural, natural y agrícola de Sierra Nevada.

Identidad cultural y sentido de pertenencia. El sentimiento patrimonial de los ecosistemas de alta montaña se está consolidando. A lo largo de la historia, la ocupación de la montaña andaluza por el hombre ha dejado un importante legado que se traduce en un gran patrimonio cultural, incluso en gran parte de la población urbana, que tiene como referente las costumbres de los pueblos de origen. Hoy día existe un gran interés por parte de la población urbana por mantener y recuperar eventos festivos y bailes populares. Cada pueblo tiene sus tradiciones expresadas (Cuadro 3), entre otras manifestaciones, en fiestas y bailes propios, y la gastronomía, ello está provocando el incremento de asociaciones con fines culturales y ambientales.

Cuadro 3. El trovo alpujareño: una forma de repentismo poético vinculada al socio-ecosistema

El Trovo es una forma musical tradicional de la comarca de La Alpujarra (Sierra Nevada) de repentismo poético. Dado que expresa la forma de ser, sentir, pensar de los habitantes de este territorio, se puede considerar como la manifestación cultural más importante de la zona. Tiene su origen en las manifestaciones musicales de los moriscos de la Alpujarra, y ha permanecido en la población durante siglos, después de la expulsión de éstos. Diversos textos del siglo XVI muestran como el sur de la península era famosa por sus decidores y trovadores de repente. Aunque no han quedado muchas referencias a los trovos de La Alpujarra, zona muy deprimida social y económicamente tradicionalmente, entre los siglos XVII y XVIII, existen numerosos textos literarios sobre el trovo en otros lugares cercanos. El fuerte crecimiento demográfico y económico de La Alpujarra a comienzos del siglo XIX, basado sobre todo en el vino, permitió al trovo volver a una posición más visible. Prácticamente todos los viajeros románticos (Carlos Dembowski, Washington Irving, Richard Ford, etc.) hacen referencia a esta manifestación musical, momento en el que experimenta gran difusión. Como toda manifestación popular, el Trovo ha estado muy vinculado, históricamente, a las características del ecosistema, a los procesos productivos de la sociedad y a las ideologías reinantes. (Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Trovo>)

Disfrute espiritual y religioso. El uso del paisaje y sus elementos como escenarios en los que celebrar las creencias está aumentando. Los habitantes de los ecosistemas de alta montaña y la población urbana que se desarrolla en su entorno desarrollan profundos valores espirituales que se manifiestan en ritos, creencias, y cultos religiosos que se expresa en festejos, lugares, refranes, y manifestaciones artísticas como la pintura y la poesía (Figura 12).

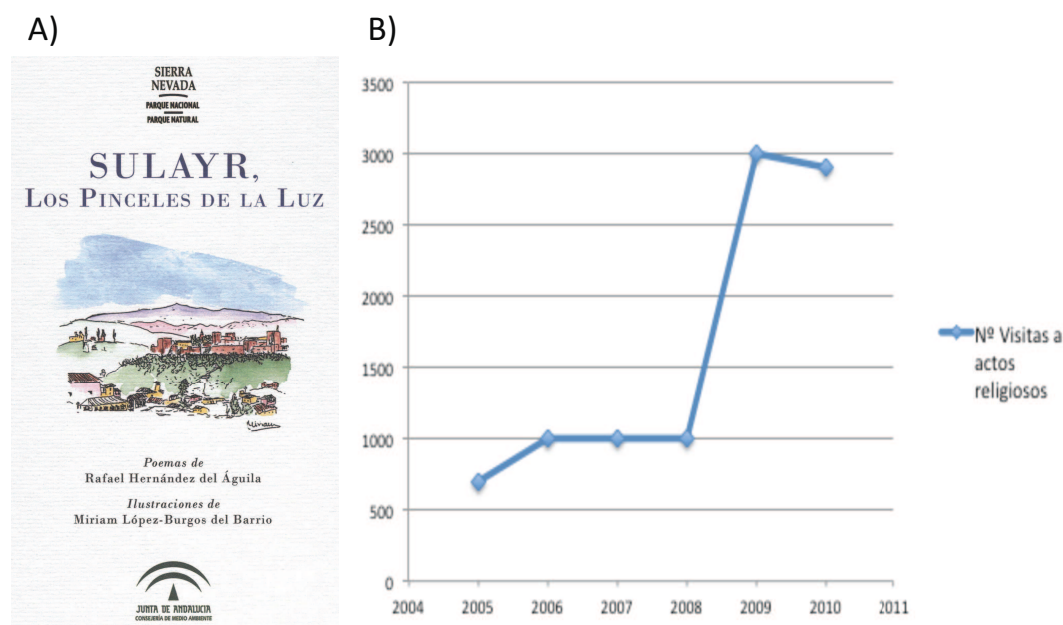


Figura 12. Sierra Nevada ha sido siempre una fuente de inspiración para las actividades artísticas. A) *Sulayr, los pinceles de la luz*, es un libro de poemas publicado en 2009 dedicado a esta montaña. B) Número de visitantes a actos religiosos celebrados en el Espacio Natural de Sierra Nevada en el período 2005-2010. Fuente: Espacio Natural de Sierra Nevada

Paisaje-Servicio estético. La apreciación de lugares, sitios, comarcas que generan satisfacción y placidez por su estética o inspiración creativa o espiritual, es un servicio que está mejorando. Los ecosistemas de alta montaña tienen una excelente representación en la obra pictórica de Andalucía, y en la actualidad representan un hito para la fotografía y los visitantes, que tienen así la opción de ver un paisaje glacial en nuestra región. Los piornales tienen un destacado papel en la estructura del paisaje de páramos y montañas (Bonet et al. 2009). Este papel se pone de manifiesto especialmente, desde el punto de vista estético, durante la masiva floración primaveral de las leguminosas dominantes en las diferentes comunidades.

Actividades recreativas y ecoturismo. En los ecosistemas de alta montaña, el desarrollo de actividades de ocio y esparcimiento por la población urbana representa uno de los servicios culturales más demandados actualmente (Figura 13). El incremento en este servicio se debe al valor que la población otorga a los espacios protegidos, y a la identificación de éstos con la celebración de actividades al aire libre satisfactorias. La actividad deportiva, las técnicas, las capacidades y las actividades mismas requeridas son bien específicas de lugares montañosos elevados como: terrenos rocosos, arenosos,

nevados o con hielo además de las condiciones atmosféricas particulares como la baja proporción de oxígeno, la temperatura y la presión atmosférica, todas las cuales disminuyen con la altura (altitud). Por lo anterior y por extensión, comúnmente se utiliza el término "alta montaña" para describir la actividad de ascender montañas con las características descritas y su consecuente descenso. En esta forma se utilizan las expresiones: "Práctica de" o "Escuela de".

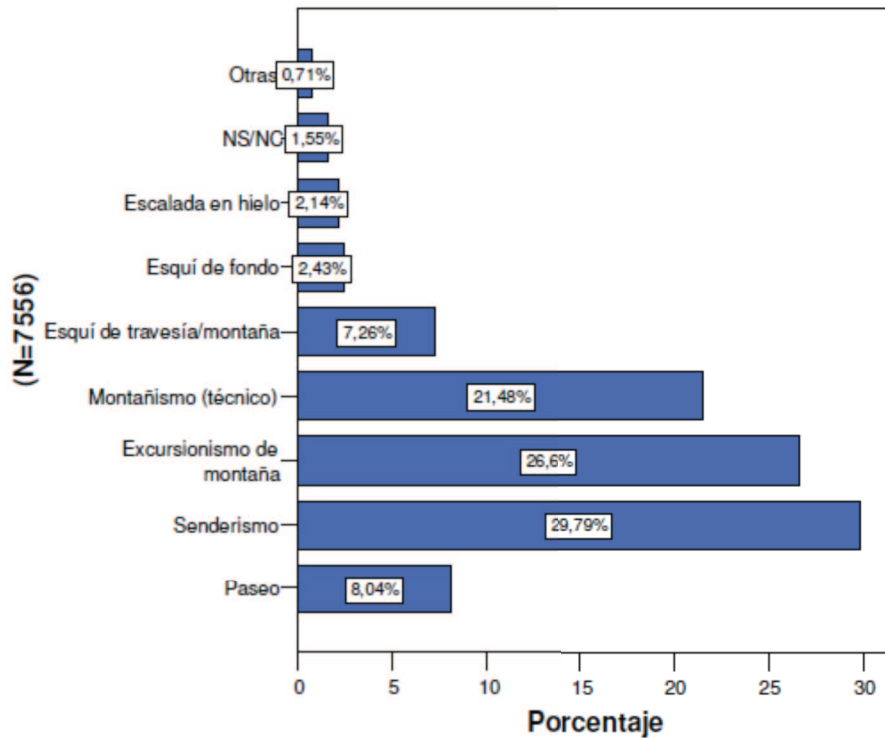


Figura 13. Preferencias en la práctica de actividades deportivas realizadas por los visitantes al Espacio Natural de Sierra Nevada. La muestra corresponde a los encuestados desde la campaña de 2005-2006 hasta la de 2009-2010. Tomado de Campaña de Seguridad en Montaña "Sierra Nevada para Vivirla Seguro" 2009-2010. Parque Nacional y Parque Natural Sierra Nevada.

La demanda más importante de usos turísticos se produce durante la estación invernal cuando la nieve amortigua el impacto sobre los elementos más vulnerables del ecosistema. En verano, el macizo no ofrece el mismo atractivo y la población se desplaza. No obstante, la declaración del Parque Nacional ha difundido a nivel nacional los valores naturales del macizo, por lo que el territorio está soportando en la estación estival una carga sensiblemente más elevada que en épocas anteriores. Puntualmente, las motos y vehículos todoterreno, pueden generar afecciones importantes. También el vertido de residuos, asociado principalmente a núcleos urbanos, tiene efectos contaminantes sobre cursos de agua o ríos próximos, casi todos ellos trucheros.

La Estación de Esquí de Sierra Nevada, incluida en el sector occidental del Parque Natural, merece, obviamente, un tratamiento particular en análisis del ecoservicio cultural de estos ecosistemas vinculado al uso público. La utilización intensiva de este espacio se encuentra plenamente consolidada. Con una longitud de pistas, hoy en día, de 104 kilómetros, parte de los cuales pueden ser innivados con nieve producida, presta

servicio a 7.000 esquiadores diarios de media, con picos de fin de semana que alcanzan los 15.000 visitantes. Está situada entre las estaciones de esquí más competitivas a nivel nacional. En consecuencia, la ordenación del uso público en esta área deberá integrar la prevención y resolución de déficits ambientales que se puedan presentar a medio largo plazo, al tratarse de una actividad en continuo desarrollo.

Entre las medidas tomadas por el Parque Nacional del Sierra Nevada, destaca la puesta en marcha del Servicio de Interpretación Ambiental asociado a la ordenación de accesos y la restauración paisajística de las altas cumbres occidentales, que ha permitido avanzar notoriamente en la mejora de la conservación de estos sistemas de alta montaña, a la par que en la calidad de la experiencia de los visitantes. Destaca igualmente el diseño y ejecución del sendero de gran recorrido Sulayr, itinerario circular de 300 km que rodea todo el macizo, y la ruta para bicicleta de montaña Transnevada, que también descubre Sierra Nevada en un viaje de 450 km. Ambas iniciativas, configuradas para que los usuarios las desarrollen en varias etapas, suponen una oferta peculiar de naturaleza, cultura, ocio, y deporte con una importante repercusión en el apoyo económico de los municipios.

Si bien la montaña soporta a veces una afluencia masiva de visitantes, en el macizo de Sierra Nevada no se detectan, en general, graves problemas de sobrecarga turística, a excepción de algunos puntos localizados. También reciben una gran afluencia durante la temporada invernal, la estación de Esquí de Sierra Nevada y su entorno y la Estación Recreativa del Puerto de la Ragua.

La concesión de la Carta Europea del Turismo Sostenible en Espacios Naturales Protegidos (CETS) al Espacio Natural de Sierra Nevada, por parte de la Federación EUROPARC, representa el reconocimiento de este espacio en la promoción del desarrollo del turismo sostenible. Esta galardón, obliga a los gestores de los espacios naturales protegidos y a las empresas del sector del turismo a definir sus estrategias de forma participada y con carácter de sostenibilidad (entendida con criterios ecológicos, socioculturales y económicos).

Educación ambiental. La demanda de conocimiento ambiental por parte de los ciudadanos está aumentando, especialmente para los de origen urbano. En consecuencia se está avanzando en la sensibilización y conciencia de la gestión de los servicios de los ecosistemas, lo que se manifiesta a través del aumento experimentado en equipamientos destinados a educación ambiental y turismo científico (Tabla 7). Los ecosistemas de alta montaña aportan un evidente servicio educativo y científico que debe ser tenido muy en cuenta.

Tabla 7. Equipamientos de educación e interpretación ambiental de Sierra Nevada

Equipamientos de acogida de visitantes y educativos (Consejería Medio Ambiente)	Nombre	T.M.
Centros de visitantes	Dornajo Andarax	Güejar Sierra Laujar A.
Puntos de información	Bco. Poqueira Pto.Ragua Servicios Altas Cumbres	Pampaneira Bayarcal Capileira
Aulas de Naturaleza	Ermita vieja Paredes Aguadero	Dílar Abrucena Padul
Jardines Botánicos	Cortijuela Hoya Pedraza	Monachil Monachil
Observatorio Ornitológico	Laguna Padúl	Padúl

5.4. Tendencias generales

El resumen de la importancia de los servicios y sus tendencias se muestran en la tabla 6. Los ecosistemas de alta montaña tienen importancia alta por su servicio de abastecimiento de agua dulce, sus servicios de regulación climática e hídrica y sus servicios culturales para el conocimiento local (manejo tradicional del agua) el disfrute estético de sus paisajes, el ecoturismo y la educación ambiental. Además cuentan con una serie de servicios de importancia medio-alta, tres de ellos son servicios de abastecimiento, entre los que destaca la alimentación tradicional, la energía renovable y el acervo genético; cuatro son de regulación, como los vinculados al estado de conservación del suelo, la regulación de la calidad del aire y la amortiguación de perturbaciones naturales; finalmente entre los culturales también destacan por su importancia el conocimiento científico, el fomento de la identidad cultural y el sentimiento de pertenencia y el valor religioso y espiritual.

La tendencia de la mayor parte de los servicios proporcionados por los ecosistemas de alta montaña en las últimas décadas ha sido hacia un descenso o bien se han mantenido estables, especialmente los vinculados al agua y la regulación climática. Este descenso está asociado principalmente al cambio climático y los cambios de uso del suelo que están ocurriendo en las últimas décadas. Cabe destacar, no obstante, que algunos servicios han mostrado tendencias a aumentar, como los culturales de identidad cultural y sentido de pertenencia, conocimiento científico, actividades recreativas, ecoturismo y educación ambiental. El aumento de éstos últimos ponen de manifiesto el potencial que estos ecosistemas encierran para el bienestar humano.

Tabla 6.- Evaluación global del estado de los servicios que proporcionan los ecosistemas de alta montaña de Andalucía

Tipo de servicio	Servicios	Ejemplos y Evolución	
ABASTECIMIENTO	Alimentación	Tradicional: Agricultura, ganadería, apicultura, alimentos silvestres	↘
	Agua	Agua dulce de calidad derivada de flujos epicontinentales y acuíferos	↘
	Materias primas de origen biológico	Especies vegetales utilizadas en la industria y la artesanía	↗
	Materias primas de origen mineral	Extracción anual de recursos geológicos	↔
	Energía renovable	Producción de energía hidráulica	↔
	Acervo genético	Razas ganaderas autóctonas y variedades locales	↓
	Medicinas naturales y principios activos	Tisanas, aceites varios, ácidos vegetales, alcaloides, etc.	↘
REGULACION	Regulación climática	Captura y almacenamiento de carbono, Balance energético de la interacción atmósfera-cubierta de nieve	↘
	Regulación calidad aire	Retención de contaminantes por vegetales y la biodiversidad del suelo.	↔
	Regulación hídrica	Cubierta de nieve	↘
	Regulación morfo-sedimentaria.	Control de la erosión en cabecera de ríos	↔
	Formación y fertilidad del suelo	Fijación de nitrógeno, Ralentización del ciclo de nutrientes, disponibilidad de materia orgánica y humus.	↔
	Amortiguación de perturbaciones	Control de deslizamientos y avalanchas	↔
	Control biológico	Capacidad de regulación de especies exóticas	↔
	Polinización	Insectos polinizadores de cultivos.	↔
CULTURALES	Conocimiento científico	Investigación y formación	↑
	Conocimiento ecológico local	Uso tradicional del agua	↓
	Identidad cultural y sentido de pertenencia	Asociaciones locales para la recuperación de la cultura	↗
	Valor religioso y espiritual	Lugares de culto ubicados en la naturaleza	↗
	Paisaje – disfrute estético	Servicios de interpretación ambiental	↑
	Actividades recreativas - ecoturismo	Deportes de naturaleza	↑
	Educación ambiental	Interpretación ambiental	↑

Importancia	
	Alta
	Medio-Alta
	Medio-Baja
	Baja

Tendencia	
↑	Aumenta
↗	Tendencia a aumentar
↔	Tendencia mixta
↘	Tendencia a disminuir
↓	Disminuye

6. IMPULSORES DE CAMBIO DE LOS ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA DE ANDALUCÍA

Los cambios recientes (últimos 50 años) ocurridos en los ecosistemas de alta montaña y en consecuencia en su capacidad de proveer servicios han sido inducidos por impulsores directos e indirectos. Entre los impulsores directos (tabla 7) el principal ha sido el cambio climático y los cambios en la gestión y uso del suelo (fragmentación y destrucción de ecosistemas) y en los ciclos biogeoquímicos.

Tabla 7. Intensidad y tendencias de los impulsores de cambio en ecosistemas de alta montaña

UNIDADES OPERATIVAS DE ECOSISTEMAS	IMPULSORES DIRECTOS					
	Cambios de usos de suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies invasoras	Cambio en los ciclos biogeoquímicos	Sobre-explotación
ALTA MONTAÑA	↗	↑	↔	↔	↔	↘

Intensidad de los impulsores directos del cambio

Bajo	
Moderado	
Alto	
Muy alto	

Tendencias actuales de los impulsores directos del cambio

Disminuye el impacto	↘
Continúa el impacto	↔
Aumenta el impacto	↗
Aumenta muy rápido el impacto	↑

6.1. Cambios de uso del suelo

Las reforestaciones madereras realizadas en el siglo pasado, y la habilitación de espacios destinados a actividades recreativas (principalmente el esquí) y urbanizaciones asociadas, han determinado que los cambios de uso del suelo afecten al 64% de los servicios que proveen estos ecosistemas. Los cambios de uso del suelo y los cambios en los modelos de aprovechamiento de los recursos tienen una influencia muy importante en las relaciones dinámicas de las comunidades que integran estos ecosistemas, por lo que parece necesario establecer un seguimiento de los efectos de dichos cambios. El impacto de las reforestaciones se relaciona con la modificación de las condiciones del hábitat. Una de las características de este tipo de este ecosistema es la ausencia de cubierta vegetal arbustiva o de cubiertas arbóreas (excepto en el caso de los pinares autóctonos), de mayor talla y densidad. Las especies vegetales de estos sistemas son heliófilas, por lo que la sombra proporcionada por la mayor cobertura que ofrecen las plantaciones forestales debido a la densificación que muestran, supone una alteración significativa del ecosistema.

En lo que respecta a la evolución de la vegetación en los últimos años, no existen datos previos fiables que puedan servir para comparar con la actualidad, pero sí puede reseñarse que la dinámica vegetal ha sido positiva en todos los tipos de vegetación existentes pues no se ha producido en el territorio, con carácter general, ningún elemento perturbador con intensidad tal que haya podido limitar de forma importante el desarrollo de la vegetación (incendios, talas, grandes transformaciones agrícolas,

sobrepastoreo, etc.). Sin embargo, en el pasado estos ecosistemas dieron soporte al desarrollo de una agricultura y ganadería tradicional, cuya tendencia a la disminución está dando lugar a efectos dispares en los cambios de uso del suelo en función del tipo de servicio y subtipo de ecosistema al que afecte.

Un caso particular es el de la Estación de Esquí de Sierra Nevada, que con un dominio esquiable de 965 has supone un elevadísimo grado de transformación del territorio y un importante consumo de agua destinado en gran medida a la producción de nieve artificial (Sánchez 2010). Si bien esta estación tienen un destacado papel socioeconómico en la zona occidental del macizo de Sierra Nevada, su elevada extensión con 103 km y 114 pistas abiertas compromete el flujo de ecoservicios fundamentales para la población del área de influencia de Sierra Nevada.

6.2. Cambio climático

El cambio climático representa el principal impulsor de cambio sobre los ecosistemas de alta montaña andaluces, ya que afecta al 77% de los servicios. Los cambios en el clima, incluyendo la frecuencia de eventos extremos, va a alterar una amplia gama de características de los sistemas montañosos: la criosfera, los ecosistemas y las economías de montaña. La disminución de los días de nieve (Figura 14), una tendencia que viene observándose y cuantificándose en la última década (*certeza alta*), representa una limitación en el flujo de ecoservicios de abastecimiento y culturales, y fundamentalmente en los de regulación, sobre todo en su capacidad de regular el clima, el ciclo local del agua ; la calidad del aire y mantener la biodiversidad. El espesor y duración de la cubierta de nieve se encuentra entre que se verán más afectados con más probabilidad por el cambio climático.

La biota de la montaña está adaptada a rangos relativamente estrechos de temperatura (y por lo tanto, de altitud) y de precipitación, por ello los cambios en el clima pueden tener efectos dramáticos (Tabla 8). La reducción de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas, puede tener una incidencia importante en el mantenimiento de una estructura y funcionamiento de los ecosistemas, afectando a los procesos de reclutamiento y fertilidad, vulnerabilidad frente a parásitos y plagas, además de implicar un desplazamiento de las especies características (Benito et al. 2011) por alteración de las relaciones de competencia interespecífica, reduciendo su área de distribución. Para el caso concreto de Sierra Nevada se espera que la precipitación media anual se reduzca para el periodo 2011-2040 en relación al período 1960-1990 un 2%, y 1,3-1,4°C para el periodo 2011-2020, en relación al mismo periodo (Bonet et al. 2010).

Tabla 8. Especies vegetales de los ecosistemas de alta montaña amenazadas por el cambio climático a partir de la proyección de los escenarios de cambio climático sobre los modelos de estadísticos que relacionan su distribución territorial observada y un conjunto de datos representativos de las condiciones climáticas recientes .

Especies	Grado de vulnerabilidad al cambio climático
<i>Armeria filicaulis</i> subsp. <i>trevenqueana</i> <i>Artemisia granatensis</i> <i>Erodium astragaloides</i> <i>Moehringia fontqueri</i>	A (Crítica)
<i>Juniperus alpina</i> <i>Pinus sylvestris</i> <i>Narcissus nevadensis</i>	B (Muy alta)
<i>Juniperus sabina</i> <i>Taxus baccata</i>	D (Alta)
<i>Pinus nigra</i>	E (Leve)

Fuente: Felicísimo, A. M. (coord.) 2011. *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 2. Flora y vegetación*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio.

(http://www.marm.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/lib_imp_cc_flora_tcm7-176082.pdf)

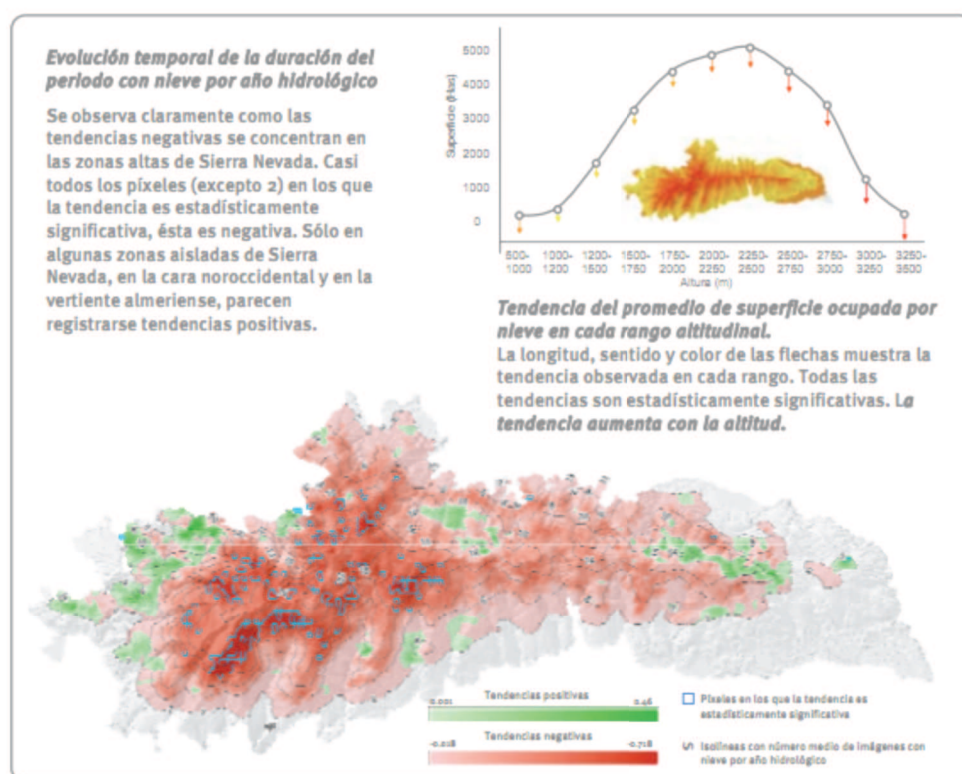


Figura 14. Evolución temporal de la duración del periodo con nieve por año hidrológico. Tomado de Bonet y Cayuela 2009.

(http://refbase.iecolab.es/files/bonetgarcia/2009/892_BonetGarcia+CayuelaDelgado2009.pdf)

6.3. Contaminación

La contaminación representa un impulsor de cambio que afecta al 14% de los servicios, si bien este impacto se produce de forma puntual asociado a los desarrollos y concentraciones humanas que se producen en la montaña. Los procesos atmosféricos controlan la deposición de contaminantes de larga distancia en los ambientes de montaña (enriquecimiento de nutrientes de ecosistemas de montaña y generando impactos sobre la calidad del agua). La deposición atmosférica de compuestos de nitrógeno y azufre, contaminantes orgánicos persistentes y metales como el mercurio en las zonas montañosas se ve reforzada por la proximidad a las fuentes antropogénicas y la precipitación (MA 2005).

La deposición atmosférica de ácidos, nutrientes, pesticidas organoclorados, y metales afecta a todos los componentes de los ecosistemas de montaña. La pérdida de la capacidad de neutralizar el ácido en los suelos causada por la deposición de azufre y compuestos de nitrógeno reduce la fertilidad del suelo y la biodiversidad y la acidificación de los cuerpos de agua, dando lugar a alteraciones en la composición de las especies acuáticas. El exceso de nitrógeno no es deseable, ya que induce cambios en la composición de especies vegetales y nutrientes y afecta a la capacidad de las plantas para soportar el estrés. Por otro lado, el enriquecimiento de nitrógeno puede aumentar las invasiones de especies exóticas en los ecosistemas acuáticos de montaña.

6.4. Especies invasoras

Las condiciones climáticas de estos ecosistemas limitan la llegada de especies invasoras, sin embargo, la naturalización de las plantaciones forestales realizadas en décadas anteriores y las migraciones altitudinales de plagas favorecidas por el cambio climático están afectando al 45% de los servicios.

Un caso particular de afección por la interacción del cambio climático y la invasión de especies es el de los pinares de alta montaña, cuyo estado de conservación puede considerarse desfavorable-malo (Regato & Del Río 2009). Los pinares de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) representan una formación de amplia distribución en Europa. Sin embargo, en Andalucía sólo tienen presencia en la alta montaña de Sierra Nevada y Sierra de Baza, donde se encuentran poblaciones de la subespecie *nevadensis* que pueden considerarse relictas a nivel continental. El aislamiento de estas poblaciones en las altas montañas supone una protección frente al ataque de plagas que provocan defoliaciones, como es el caso la polilla de la procesionaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa*. Este lepidóptero es considerado como el mayor defoliador forestal del bosque mediterráneo. Sin embargo, a pesar de las estrictas exigencias microclimáticas que esta especie posee, como consecuencia del cambio climático, se ha constatado que el ascenso altitudinal de esta oruga está amenazando cada vez más a dichas poblaciones (Hódar et al. 2003). La defoliación que esta polilla produce reduce fuertemente el crecimiento del pino y los procesos de reproducción sexual. Si las temperaturas de invierno siguen aumentando, la procesionaria tendrá un impacto peligroso en estas poblaciones relictas de pino.

6.5. Cambios en los ciclos biogeoquímicos

Los cambios en la concentración de carbono atmosférico, y la llegada de otros elementos en forma de aerosoles como consecuencia de drásticos cambios de uso del suelo en lugares remotos está afectando al 23% de los servicios de los ecosistemas de Alta Montaña en Andalucía. Hay que tener en cuenta, en este sentido, que la criosfera tiene un papel fundamental no sólo en la regulación de la actividad biológica que se produce en superficie y en los primeros centímetros de suelo, sino también en la capacidad de la vegetación para asimilar carbono (Strand 2002). De esta forma, cabe esperar que la alteración de la cubierta de nieve, también de lugar a modificaciones en los ciclos biogeoquímicos.

6.6. Sobreexplotación

La sobreexplotación afecta fundamentalmente a determinados materiales de origen biológico (14% de los servicios) asociados a usos que estuvieron arraigados en décadas anteriores y que poco a poco se están abandonando.

7. ANÁLISIS DE COMPROMISOS (TRADE-OFFS) Y SINERGIAS

El análisis de compromisos y sinergias entre servicios describe las relaciones de dependencia negativa (tradeoffs) y positiva (sinergias) en las que varía o se relaciona el suministro de un grupo de servicios. El conocimiento de estas relaciones, tanto de las sinergias conjuntas de los servicios como de los trade-offs, es esencial para asegurar un modelo de toma de decisiones efectivo en el mantenimiento de un flujo variado de servicios.

Un aumento en la producción de servicios de abastecimiento (ej. producción agrícola o actividades cinegéticas) puede poner en peligro el suministro de servicios de regulación (e.g. purificación de agua, secuestro de carbono, control de la erosión), así como servicios culturales (e.g. sentido de lugar, actividades recreativas). Para el caso de los ecosistemas de alta montaña de Andalucía, el carácter protegido de estos ecosistemas favorece a priori la conservación de servicios de regulación, asegurando así, de acuerdo con el modelo de cascada de servicios propuesto por Haines-Young & Postchin (2010), la provisión de otros servicios como los culturales o de abastecimiento. A pesar de ello, el modelo de crecimiento basado en la expansión de la práctica del esquí y el turismo residencial asociado, hace que para un sector de la sociedad sea percibido el ejercicio de conservación de estos ecosistemas como una amenaza al desarrollo socio-económico local.

Las relaciones de dependencia entre los servicios de regulación difieren dentro de los límites de diferentes figuras de protección. Un estudio realizado para un área de la provincia de Almería (Castro 2009) que incluye territorios con diferentes grados de protección, pone de manifiesto que existe una relación positiva entre el grado de protección y la representatividad de los servicios de regulación. En dicha área (Figura 15), la provisión de éstos es mayor dentro de los límites del Parque Nacional y decrece de manera progresiva en el territorio que conforman el Parque Natural, el Paraje Natural y la Reserva Natural. Este efecto puede deberse al importante papel que los ecosistemas de alta montaña tienen en la provisión de servicios como el almacenamiento de carbono, la recarga de acuíferos o la conservación de la pérdida de suelo. De igual forma es importante el papel que los ecosistemas de la alta montaña de la Sierra de Gádor, protegidos bajo la figura de Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) tienen para el mantenimiento de la recarga de acuíferos y el almacenamiento de carbono.

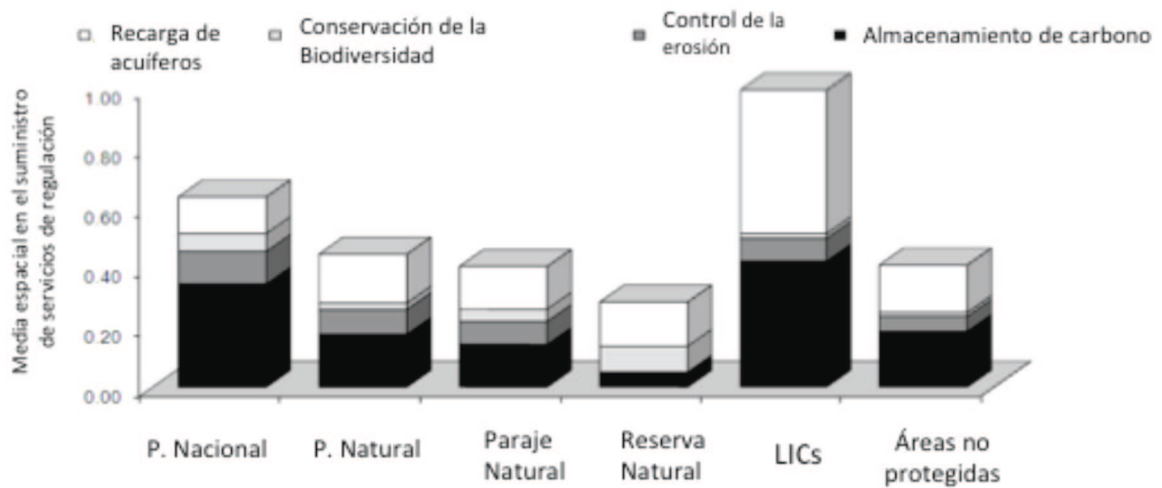


Figura 15. Papel de las áreas protegidas de Andalucía oriental en el suministro de servicios de regulación en los ecosistemas de alta montaña (Parque Nacional, Parque Natural y LIC) así como en otros espacios no protegidos. Tomado de Castro 2009.

Por otro lado, es importante el compromiso que se establece entre el mantenimiento de los servicios culturales (e.g. ecoturismo, sentido de lugar) y los de abastecimiento asociados a actividades agrícolas de las poblaciones rurales colindantes. En un estudio llevado a cabo en la falda norte del Parque Nacional y Natural de Sierra Nevada sobre la percepción social que habitantes locales y turistas tienen sobre una propuesta de escenarios con diferentes manejos y usos del suelo, se observaron como las prácticas de conservación que aseguren la provisión de agua limpia fueron preferidas sobre el incremento de la agricultura tradicional, el ecoturismo o la creación de parques eólicos (García-Llorente et al. en revisión). Al mismo tiempo, se identificaron los servicios de regulación de la calidad del agua y aire como los más importantes, poniendo así de manifiesto las preferencias sociales por los servicios de regulación frente a los de abastecimiento y culturales (Castro et al. 2011). De ambos estudios se deduce el alto grado de conocimiento que la población local tiene sobre procesos ecológicos clave para el suministro de servicios, siendo esto especialmente importante si tenemos en cuenta que el mantenimiento de estos servicios se realiza dentro de los límites de los ecosistemas de alta montaña del Parque Nacional de Sierra Nevada.

8. RESPUESTAS E INTERVENCIONES DE GESTIÓN

Dado el nivel de transformación al que ha sido sometido una buena parte del el territorio que conforman los ecosistemas de alta montaña en Andalucía, existe la urgente necesidad de hacer entender a la sociedad la importancia de los servicios que generan los ecosistemas de alta montaña en Andalucía para un desarrollo social, económico y cultural viable y sostenido a medio y largo plazo, sobre todo de las poblaciones humanas locales, pero también en el contexto de la región.

Según el informe presentado por el proyecto de la Evaluación de los Ecosistemas de Milenio (2005), el suministro de agua potable constituye el servicio provisto por los ecosistemas de alta montaña más importante. En este sentido, el Foro Mundial del Agua en La Haya declaró en 2000 algunos de los desafíos prioritarios para su gestión y conservación. Entre ellos, es prioritario la conservación de los ecosistemas que abastecen de agua siendo especialmente importante la gestión de los riesgos que tienen un impacto en el suministro y distribución de agua. Para ello es necesario aumentar la valoración y mejora de la gobernanza de los usos del agua, e incrementar los esfuerzos para cuantificar y comprender las consecuencias del cambio global en el ciclo del agua en los ecosistemas de alta montaña. Dentro de la región mediterránea, la gestión del agua resulta especialmente difícil debido a su escasez y a su importancia en el desarrollo de la agricultura de riego (López-Moreno et al. 2007). En este contexto, el agua generada en los ecosistemas de alta montaña se encuentra bajo una creciente presión debido a la demanda cada vez mayor. Por desgracia, las proyecciones climáticas para las próximas décadas indican condiciones más cálidas marcadas por una disminución en la acumulación de nieve y un descenso generalizado de las precipitaciones, y por lo tanto una reducción en el flujo de este ecoservicio de abastecimiento generado por los ecosistemas de montaña. Entre algunas de las recomendaciones para la gestión del agua Viviroli et al. (2011) sugieren que la gestión debería ser más adaptativa a pequeñas escalas y considerar las condiciones del suelo y de la vegetación en planes de gestión del agua. Para ello, es preciso que se incremente la interacción entre los gestores y los investigadores en procesos de planificación ambiental, e implicando a la población activamente en la gestión.

Los ecosistemas de alta montaña de Sierra Nevada se han visto beneficiados en las últimas décadas por un creciente proceso de protección. Primero fue declarada Reserva de la Biosfera por la UNESCO en 1986. Posteriormente Parque Natural mediante la Ley Andaluza de Espacios Protegidos de 1989 así no se llama por lo que debería ir en minúscula, o redactarla con su nombre propio. Finalmente, Sierra Nevada alcanzó en 1999 el rango de Parque Nacional, aportando a la Red de Parques Nacionales una valiosa muestra de los sistemas de la alta montaña mediterránea. Tras el proceso de transferencia de los Parques Nacionales a la Comunidad Autónoma Andaluza, asistimos en el año 2007 a la creación del Espacio Natural Sierra Nevada que, sin alterar los respectivos regímenes jurídicos de protección, supone la gestión unitaria del Parque Natural y del Parque Nacional y, a la vez, su asentamiento en el marco de las Redes a las que pertenece, la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía y la Red de Parques Nacionales.

En 2005, el Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada, ha puesto en marcha la estrategia GLOCHAMORE (Global Change in Mountains Regions), promovida por UNESCO, la cual supone una apuesta pionera de gestión. Esta iniciativa se traduce en

una nueva forma de trabajar en el Espacio Natural, estimulada por una estrecha colaboración entre gestores y científicos, y cuyo objetivo es la identificación de indicadores de estado que muestren la situación de los ecosistemas de alta montaña del Parque Nacional de Sierra Nevada. Para ello es preciso identificar indicadores globales, de interés general a escala nacional e internacional, que analicen parámetros comunes a buena parte de los Parques Nacionales y reservas de la Biosfera de Montaña. También se incluyen indicadores de interés local o regional, que permitirían realizar el seguimiento de especies o sistemas particulares de Sierra Nevada.

Junto a la búsqueda de indicadores, el proyecto también persigue la configuración de equipos de trabajo que permitan progresar en el desarrollo de una interfaz ciencia-gestión eficiente. El desarrollo de este tipo de interfaces permitirá que se adopten sistemas de gobernanza coherentes que incorporen los servicios de los ecosistemas en la ordenación del territorio. Para el caso concreto del Espacio Natural de Sierra Nevada, los gestores han incorporado el concepto de adaptación tanto en los planteamientos teóricos como en las actuaciones concretas de gestión (Azpizúa et al. 2012). En este tipo de planteamientos se combina el conocimiento científico sobre los ecosistemas con la experiencia adquirida en campo, y la gestión se convierte en objeto de seguimiento y análisis. Finalmente, es importante destacar que la situación desde la declaración de los ecosistemas de alta montaña de Sierra Nevada como Parque Nacional ha mejorado notablemente el estatus de conservación de su biodiversidad y por consiguiente, el conjunto de servicios que de ella se derivan.

9. LA CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA DE ANDALUCÍA Y EL BIENESTAR HUMANO

Las singulares características del paisaje que conforman la alta montaña hacen de este espacio uno de los ecosistemas más ricos y biodiversos de la península ibérica. La heterogeneidad geológica, climática y geomorfológica, así como su ancestral ocupación por el hombre han determinado en conjunto una notable diversidad paisajística y, consecuentemente, una manifiesta variabilidad de ecoservicios (Castro, 2010). La conservación de los ecosistemas de alta montaña debe por tanto priorizar sobre el mantenimiento de un amplio abanico de servicios (Figura 16) que repercuten directamente en el bienestar de la sociedad. Para ello es preciso transmitir a la sociedad la relación directa entre conservación y bienestar a través del concepto de servicio de los ecosistemas, entendidos como “los beneficios que de manera directa o indirecta recibimos de los ecosistemas”. En este sentido, resulta fácil entender la relevancia de los ingresos locales asociados a la producción agrícola o las oportunidades de turismo rural o ecoturismo pero, no lo es tanto, cuando tenemos en cuenta los procesos ecológicos que de manera invisible moldean los paisajes (ej. productividad primaria de los bosques o fertilidad del suelo).

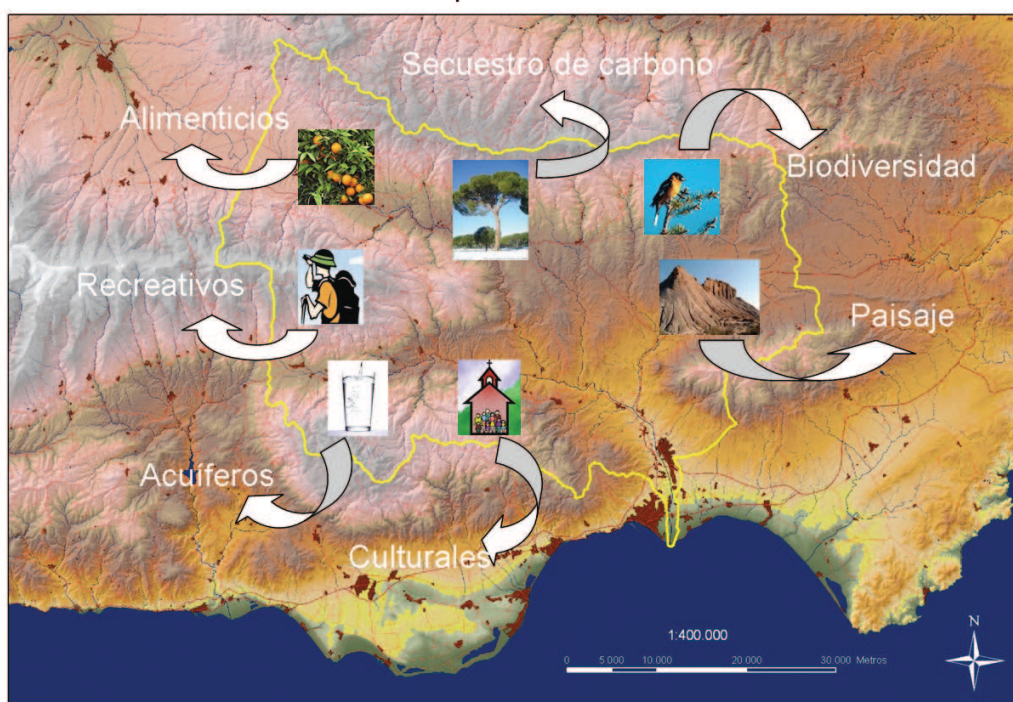


Figura 16. Ejemplo de servicios suministrados por los ecosistemas de alta montaña de Andalucía (Adaptado de Castro, 2009).

La alta montaña ofrece importantes servicios de regulación asociados al ciclo del agua, que resultan de vital importancia más aún teniendo en cuenta el carácter semiárido y seco de gran parte de los ecosistemas que se distribuyen bajo su área de influencia. El agua, necesaria para el funcionamiento de todos los ecosistemas del planeta, constituye además un elemento clave para el desarrollo de cualquier actividad económica (ej. industria, transporte, refrigeración) y el drenaje de nutrientes asociados a las aguas de escorrentía o el proceso de recarga de los acuíferos locales constituyen servicios con un peso significativo en la economías locales y regionales. De la misma forma, los

ecosistemas forestales de alta montaña actúan como sumideros de carbono amortiguando el efecto de las emisiones de gases invernadero.

No menos importantes son los servicios culturales que se generan a partir del funcionamiento de estos ecosistemas. Dominan en la actualidad, al igual que en el resto de Andalucía, aquellos demandados por la población urbana, que en los últimos años ha logrado asentarse como un pilar sólido en las economías regionales, y que ha contribuido a frenar el proceso de abandono de las poblaciones rurales locales. Finalmente, los diferentes usos y aprovechamientos tradicionalmente desarrollados ofrecen una extensa variedad de servicios de abastecimiento. Así, a las tradicionales explotaciones mineras y madereras se suma la producción extensiva en la última década de uva de mesa y otros productos agrícolas. Los ecosistemas de alta montaña han sido tradicionalmente explotados para la obtención prioritaria de servicios de abastecimiento, que pese a satisfacer las demandas locales, han puesto en compromiso el suministro de otros no menos importantes. De esta manera, la intensificación de la agricultura, pese a aportar cuantiosos beneficios económicos, ha supuesto la destrucción de áreas forestales provocando un incremento en la pérdida de biodiversidad de sus bosques o comprometiendo procesos clave para salvaguardar la integridad de sus ecosistemas (el filtración de nutrientes, pérdida de suelo ó purificación del agua).

La conservación de los ecosistemas de alta montaña requiere de un cambio de pensamiento que incorpore a los criterios tradicionales de conservación (basados en criterios de flora, fauna y paisaje) nuevos enfoques en donde se visualicen la gran diversidad de ecoservicios que proporcionan a la sociedad. El término conservación ha sido tradicionalmente interpretado como una barrera para el desarrollo económico imposibilitando la necesaria relación entre un modelo de desarrollo sostenible y los modelos actuales de económico. Entender los ecosistemas de alta montaña como unidades de referencias en el suministro de servicios representa una nueva visión en donde las áreas protegidas se proyecten como sistemas generadores de salud y bienestar.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias Abellán, J. 1981. La repoblación forestal en la vertiente norte de Sierra Nevada. Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada, 11: 283-306.
- Aspizúa, R., Barea-Azcón, J.M., Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J., y Zamora, R.J. (coords.) 2012. Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada: metodologías de seguimiento. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 112 pp.
- Benito, B. Lorite, J. & Peñas, J. 2011. Simulating potential effects of climatic warming on altitudinal patterns of key species in Mediterranean-alpine ecosystems. *Climatic Change*, 108 (3): 471-483.
- Blanca, G.; Cueto, M.; Martínez-Lilora, M. J. ; Molero-Mesa, J. 1998. Threatened vascular flora of Sierra Nevada (Southern Spain). *Biological Conservation* 85: 269-285.
- Bonet García, F.J. & Cayuela Delgado, L. 2009. Seguimiento de la cubierta de nieve en Sierra Nevada: tendencias en la última década y posibles implicaciones ecológicas de las mismas. In *IX Congreso Nacional de la Asociación Española de Ecología Terrestre: La dimensión ecológica del desarrollo sostenible: Ecología, del conocimiento a la aplicación*. Úbeda, 18-22 Octubre 2009.
- Bonet, F. J., Zamora, R., Gastón, A., Molina, C. & Bariego, P., 2009. 4090 Matorrales pulvulares orófilos europeos meridionales. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 122 p.
- Castro, A. 2009. *Ecosistemas y Bienestar Humano. Avances en la valoración ecológica y socioeconómica de los servicios suministrados por los ecosistemas*. Tesis Doctoral. Universidad de Almería.
- Castro, A.J., 2010. El río: caudal de economía y ecología. Title: El Río Andarax. ISBN: 978-84-92807-46-8. Ed: I. Francés, A. Castro, A, Fernandez, S. Jorroto, J. Gisbert. Agencia Andaluza del Agua. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- Castro, A.J., Martín-López, B., García-Llorente, M., Aguilera, P.A., López, E, Cabello, J. 2011. Social preferences regarding the delivery of ecosystem services in a semiarid Mediterranean region. *Journal of Arid Environments*, 75, 1201-1208.
- De La Cruz Rot, M., 2009. 5120 Formaciones montanas de *Cytisus purgans*. En: VV.AAAA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 53 p.
- Dioniso, M.A., Alcaraz-Segura, D. & Cabello, J. 2012. Satellite-based monitoring of ecosystem functioning in protected areas: Recent trends in the oak woods (*Quercus pyrenaica* Willd.) of Sierra Nevada (Spain). In Young & Silverm (eds.) *International Perspectives on Global Environmental Change*. In-Tech Ed. Croacia. pp: 355-374.
- Espín, R., Ortiz, E., Cabrera, J.D. y Guzmán, J.J. 2010. Manual del acequero. Parques Nacional y Natural de Sierra Nevada. Agencia Andaluz del Agua. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- Felicísimo, Á. M. (coord.) 2011. *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 2. Flora y vegetación*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio.

- García-Llorente, M., Martín-López, B., Nunnes, P.A.L.D., Castro, A.J., Montes, C. A choice experiment study for land use scenarios in semiarid watersheds: The role of water quality and traditional agriculture in rural mountainous areas). *Journal of Arid Environments* (en revisión).
- González-Tejero, M.R. & Casares, M. Etnobotánica en Andalucía. Síntesis y estado actual (<http://conocimientostradicionales.info/resources/GzTejero2.pdf>)
- Gottfried, M., Pauli, H., & Grabherr, G. 1998. Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: A new view of the alpine-nival ecotone. *Arct. Alp. Res.* 30(3), 207–221.
- Haines-Young, R. y Postchin, M. 2010. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. En: Raffaelli, D. y Frid, C. (Eds.) *Ecosystem Ecology: A new synthesis*. BES Ecological Reviews Series, Cambridge University Press, Cambridge, 110- 139 pp.
- Herrero, J., Millares, A., Aguilar, C., Díaz, A., Polo, M.J. y Losada, M.A. 2011. WiMMed. Base teórica. Grupo de Dinámica de Fuljos Ambientales. Universidad de Granada. Grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología. Universidad de Córdoba. 41 pp.
- Hódar, J.A., Castro, J., Zamora, R. 2003. Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biological Conservation*, 110: 123-129.
- López-Moreno, J.I., Beguería, S., Vicente-Serrano, S.M. & García-Ruiz, J.M. (2007): Influence of the North Atlantic Oscillation on water resources in central Iberia: Precipitation, streamflow anomalies and reservoir management strategies. *Water Resources Research*, 43, W09411, doi: 10.1029/2007WR005864.
- Martín, J., Braga, J.C., Gómez, M.T. 2008. *Itinerarios geológicos por Sierra Nevada: Guía de Campo*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA), 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*.
- Morales-Baquero, R., Pérez-Martínez, C. & Reche, I. 2001. Ecosistemas de alta montaña, las atalayas de la troposfera. *Ecosistemas*, 3:
- Olivares, J., Barea-Azcón, J.M., Pérez-López, F.J., Tinaut, A. & Henares, I. 2011. *Las mariposas diurnas de Sierra Nevada*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 512 pp.
- Price, Martin F, Georg Gratzer, Lalisa Alemayehu Duguma, Thomas Kohler, Daniel Maselli, and Rosalaura Romeo (eds.) (2011). *Mountain Forests in a Changing World - Realizing Values, addressing challenges*. Published by FAO/MPS and SDC, Rome.
- Regato, P. & Del Río, M., 2009. 9530 Pinares (sud-) mediterráneos de *Pinus nigra* endémicos. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid. 96 pp.
- Sánchez, J. Sierra Nevada. En: Cantos, F.J., Torres, A. & Beltrán, N, (eds.): *Guía de reservas de la biosfera de España. Armonía hombre-naturaleza*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- San Miguel, A., 2009. 6160 Pastos orófilos mediterráneos de *Festuca indigesta*. En: VV. AAAA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 57 p.

- Sanz-Elorza, M., Dana, E., González, A. y Sobrino, E. 2003. Changes in the high-mountain vegetation of the central Iberian Peninsula as a probable sign of global warming. *Ann. Nat.*, 92: 273-280.
- Strand, M., Lundmark, T., Söderbergh, I., Mellander, P-E. 2002. Impact of seasonal air and soil temperatures on photosynthesis in Scots pine trees. *Tree Physiol.* 22, 830-847.
- Torres Cuenca, S. 2008. *Generación de caudales por la dinámica de la capa de nieve en la vertiente sur de Sierra Nevada*. Series monográficas de trabajos de fin de Máster (Máster oficial en Hidráulica Ambiental) 2008-2009. Grupo de Hidrología e Hidráulica Agrícola, Universidad de Córdoba.
- VV.AA., 2009. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Valle, F. & Navarro, F.B. 2004. Bioclimatología y biogeografía de Andalucía. In Blanca & Valle (eds.): *Naturaleza. Botánica V*. Proyecto Andalucía. Publicaciones Comunitarias, pp: 18-42.
- Viviroli, D., Archer, D.R., Buytaert, W., Fowler, H.J., Greenwood, G.B., Hamlet, A.F., Huang, Y., Koboltschnig, G., Liator, M.I., López-Moreno, J.I., Lorentz, S., Schädler, B., Schreier, H., Schwaiger, K., Vuille, M. And Woods, R. 2011. Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 471-504.
- Viviroli, D. & Weingartner, R. 2004. The hydrological significance of mountains: from regional to global scale. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(6): 1016-1029