



El Cambio climático en los Pirineos: impactos, vulnerabilidades y adaptación

Bases de conocimiento para la futura estrategia
de adaptación al cambio climático en los Pirineos



OPCC-CTP (2018). El cambio climático en los Pirineos: impactos, vulnerabilidades y adaptación

Bases de conocimiento para la futura estrategia de adaptación al cambio climático en los Pirineos

ISBN: 978-84-09-06268-3

Coordinación y edición de textos: Juan Terrádez e Idoia Arauzo

Diseño de la portada: La Page Original

Edición gráfica y maquetación: Collserola

Foto de portada: © OPCC

Aviso legal

El contenido de esta publicación no refleja necesariamente las opiniones oficiales del Observatorio Pirenaico del Cambio climático u otras instituciones de la Unión Europea. Ni el Observatorio Pirenaico del Cambio Climático ni ninguna persona que actúe en nombre del OPCC es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en este informe.

Aviso de copyright



Reconocimiento-NoComercial (CC BY-NC)

Esta licencia permite a otros entremezclar, ajustar y construir a partir de su obra con fines no comerciales, y aunque en sus nuevas creaciones deban reconocerle su autoría y no puedan ser utilizadas de manera comercial, no tienen que estar bajo una licencia con los mismos términos.

Descarga el informe completo y el resumen ejecutivo en ES, FR, CAT o EN en el portal de información del Observatorio Pirenaico del Cambio Climático: <https://opcc-ctp.org/>

2.3 Biodiversidad de montaña: flora

Coordinadores: Gérard Largier (CBNPMP)

Autores: Gérard Largier (CBNPMP)

Coautores: Gilles Corriol (CBNPMP), Jocelyne Cambecèdes (CBNPMP), Patxi Heras (Bazzania) Marta Infante Sánchez (CBNPMP), Benjamin Komac (IEA-CENMA), Daniel Gomez (IPE-CSIC), Juan Terrádez (CTP-OPCC) Estela Illa Bachs (UB).



Figure 2.3.1 : *Androsace ciliata* DC., planta endémica de los Pirineos. Photo : CBNPMP/C. Bergès

RESUMEN

Situados en un cruce de influencias climáticas muy diferentes, mediterráneas, oceánicas y montañas, y con una gran variedad de situaciones ecológicas, asociadas principalmente a la geología, el relieve, la exposición y la altitud, los Pirineos presentan una gran diversidad biológica. Su ubicación meridional, su piso alpino bastante bien desarrollado y sus altos macizos calcáreos son causa además de una gran riqueza en la flora y la vegetación, así como de una gran originalidad en comparación con las demás montañas europeas, con un elevado número de especies endémicas (cerca de 200 taxa, Villar et al., 1994). Por tanto, los Pirineos son un hot spot, un punto caliente en la biodiversidad europea. La biodiversidad de los Pirineos constituye un punto central en las estrategias de conservación de la naturaleza a escala europea, nacional y local, con una importante red de áreas protegidas. Además

del interés intrínseco de esta biodiversidad, esta riqueza original interactúa con las actividades socioeconómicas (pastoreo, gestión forestal, agricultura, turismo, actividades deportivas, etc.), algunas de las cuales desempeñan un importante papel en la organización espacial de las formaciones vegetales (pastos y bosques) y condicionan su evolución. Las zonas montañosas destacan por su sensibilidad a los cambios climáticos (Beniston et al., 1996; Theurillat y Guisan, 2001). Sin embargo, el análisis de los efectos de estos cambios climáticos y de la vulnerabilidad de los ecosistemas es relativamente complejo debido a los diferentes factores que hay en juego y, en particular, al uso humano y su evolución, al efecto de los eventos climáticos extremos, a las posibilidades de compensación entre factores y, por último, a la escasez de estudios a medio y largo plazo. Muchos estudios se apoyan en los escenarios generales de aumento de temperaturas y reducción de precipitaciones, aunque para las precipitaciones las tendencias son dudosas por el momento. Las primeras síntesis sobre la evolución del clima a escala pirenaica [proyecto OPCC1, acción clima] señalan un «incremento estadísticamente significativo de +0,2°C por década, más acentuado en primavera y verano» y «una reducción del de la precipitación anual acumulada del orden del 2,5% por década, más acentuado en la vertiente sur de los Pirineos que en la vertiente norte y difícil de distinguir a nivel estacional».

Las tendencias apuntan a un aumento de las temperaturas en los horizontes de 2030, 2050 y 2090, pero las precipitaciones invernales podrían aumentar en la vertiente norte en el horizonte de 2030 y disminuir a partir de entonces (ver capítulo 1.3 Proyecciones de cambio climático en los Pirineos), con una gran incertidumbre en cuanto a las precipitaciones. Otro factor importante a considerar es la circulación atmosférica (en concreto, el efecto foehn¹⁸, tan característico en los Pirineos), cuyos efectos a escala local sobre la distribución de la vegetación son poco conocidos. El modelo general de distribución de la vegetación en las montañas, en pisos altitudinales con variaciones según la exposición, enmascara importantes variaciones a nivel local, aún más en los Pirineos debido a la diversidad de situaciones bioclimáticas y al efecto de las compensaciones entre factores¹⁷. En definitiva, la respuesta de los organismos y sus poblaciones dependerá de su plasticidad fenotípica¹⁶ y posibilidades de evolución genética. Pueden darse adaptaciones rápidas y microevoluciones, pero a día de hoy conocemos poco acerca de estos procesos, así como sobre el modo en que un cambio climático podría actuar en combinación con el resto de aspectos del cambio global (Peñuelas et al., 2013). Determinadas especies y ecosistemas podrían estar más adaptadas de lo que se piensa a los cambios climáticos, pero aun faltan referencias sobre la materia (Martín-Vide, 2016).

2.3.1 Alteraciones fisiológicas y cambios en la productividad y abundancia de las especies

Tratándose de un meta análisis de búsqueda bibliográfica, faltan muchas evidencias científicas y mención de trabajos concretos sobre la alteración de la productividad y abundancia de la flora pirenaica. El clima es, por norma general, un factor limitante para las especies y los ecosistemas de montaña, teniendo en cuenta los factores específicos del medio montañoso (gradiente de altitud, diversidad topográfica y exposición). El cambio en los diferentes parámetros climáticos (temperatura, radiación, precipitación), junto con el aumento de la concentración de CO₂, influyen en la fotosíntesis y tiene efectos sobre el crecimiento y desarrollo de toda la vegetación, bien conocidos y documentados en las especies cultivadas y los árboles. En particular, los estudios sobre la productividad de los bosques apuntan a un desplazamiento en altitud del óptimo de crecimiento (factores limitantes: sequía, falta de presión de vapor en el aire, bajas temperaturas) (Savva. et al., 2006; Jolly et al., 2005), fenómeno que ha sido analizado en los Pirineos occidentales franceses para el haya entre 1970 y 2009 (Vitasse et al., 2010). Las presiones ambientales pueden tener efectos sobre el metabolismo de las plantas e inducir cambios en la composición química y en la concentración de nutrientes en los distintos órganos vegetales. A su vez, estos cambios pueden tener efectos sobre los suelos y sobre la apetencia de los herbívoros por las plantas en los pastos (ver capítulo 3.2), con posible incidencia sobre la cadena trófica (Rivas-Ubach et al., 2012). La adaptación de numerosas plantas de montaña a condiciones extremas (sequedad de las paredes rocosas, radiación, corta duración del periodo vegetativo, peso de la nieve) puede llevarlas a una situación crítica si estas condiciones se atenúan y llegan especies más competitivas. El CENMA ha estudiado la distribución potencial del rododendro frente al cambio climático en Andorra utilizando la acumulación potencial de nieve (la presencia de nieve en invierno y primavera es esencial para la especie). De acuerdo con los tres escenarios climáticos, el nicho ecológico de la especie podría reducirse entre 37,9-

70,1 km² respecto al área actual hacia finales de siglo, quedando limitado a hábitats de pastos pedregosos y canchales (Komac et al., 2016). Un efecto paradójico del aumento de la temperatura global en la montaña sería que las biocenosis quionófilas, asociadas a una larga innivación, estarían sometidas a temperaturas más frías debido a una menor protección del manto de nieve. En el marco del programa FLORAPYR, uno de los objetivos prefijados es justamente el seguimiento de los neveros pirenaicos para estudiar la evolución de estos medios tan particulares en función de los cambios en los parámetros climáticos (temperatura y duración de la innivación, Komac & Olicard, 2014, cf. infra).

2.3.2 Cambios del ciclo vital (cambios fenológicos)

Los trabajos sobre fenología señalan un desfase de los ciclos fenológicos, que varían según los años (adelanto del ciclo en las primaveras cálidas y retraso en las primaveras frías). Diversas fuentes reconocen el avance de las fechas de brotación y una prolongación en la duración del periodo vegetativo (Menzel *et al.*, 2006; Linderholm, 2006; Menzel & Fabian, 1999; Vitasse *et al.*, 2009). Sin embargo, los datos de seguimiento en montaña parecen ser todavía insuficientes para revelar tendencias a largo plazo y poder discernir entre los cambios debidos al calentamiento global y aquellos derivados de la variabilidad interanual de las temperaturas, de acuerdo con los datos recogidos en el ámbito del programa científico y pedagógico Phénoclim, iniciado en 2004 y basado en la observación participativa de la fenología de una decena de especies en los Alpes (CREA, <http://phenoclim.org/fr>). Los cambios fenológicos pueden tener efectos en la precocidad de la floración y fructificación, sobre el ciclo de desarrollo de los insectos (paso más rápido de un estado larvario al siguiente) con el consecuente riesgo de desincronización en la interacción entre organismos (plantas/polinizadores, plantas/herbívoros, ver punto 2.2.4). Por último, nótese que el calentamiento y la sequía tienen efectos contrarios sobre la fenología de la senescencia foliar¹⁹ de las especies de hoja caduca y, en consecuencia, «*el impacto de los cambios climáticos*

(16) El viento foehn o föhn se produce en relieves montañosos cuando una masa de aire cálido y húmedo es forzada a ascender para salvar ese obstáculo.

(17) El efecto de compensación entre factores se da en sistemas donde confluyen varios factores simultáneamente, cuyos efectos combinados pueden contrarrestar el efecto individual de cada uno de ellos.

(18) La plasticidad fenotípica se refiere a cualquier cambio en las características de un organismo en respuesta a una señal ambiental. Es decir, la propiedad de un genotipo de producir más de un fenotipo cuando el organismo se halla en diferentes condiciones ambientales.

(19) « El fotoperíodo y la temperatura son los principales factores que controlan la senescencia de las hojas en las especies caducifolias de invierno, añadiendo la influencia adicional que impone el estrés hídrico. El fotoperíodo ejerce un control estricto sobre la senescencia de las hojas en latitudes donde los inviernos son severos, y la temperatura gana importancia en la regulación a medida que los inviernos se vuelven menos severos. En promedio, la senescencia de las hojas se retrasará con el calentamiento climático y se avanzará con la sequía, con diferente intensidad dependiendo de la especie. » (Estiarte & Peñuelas, 2015)

dependerá de la importancia relativa de cada factor» en un determinado territorio (Estiarte y Pañuelas, 2015).

2.3.3. Alteraciones ecológicas y del funcionamiento de los ecosistemas

Los ecosistemas pascícolas de alta montaña han sido especialmente estudiados (Grime 1973; Callaway *et al.*, 2002; Adler *et al.*, 2011). Ha sido ampliamente reconocido que una mayor diversidad específica está relacionada con formaciones asociadas a presiones medias de pastoreo o siega y que la interacción entre las plantas, frecuentemente considerada negativa (competición), puede tener efectos positivos (facilitación) y ser un factor determinante de una elevada diversidad (Michalet *et al.*, 2006; Grime *et al.*, 2000). Los efectos de los cambios climáticos se manifestarán de forma combinada con estas presiones, como, por ejemplo, la combinación del estrés de origen climático y las perturbaciones antrópicas. En este sentido, la mayoría de los modelos coinciden en que en las próximas décadas el efecto combinado de estos factores podría alterar todavía más el funcionamiento de los ecosistemas ya perturbados, alterando su diversidad incluso hasta los límites del colapso (Grime *et al.*, 2000; Brooker, 2006).

ENCUADRE 2.3.1. PRUEBAS PILOTO PARA ESTUDIAR EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ESTIVAS DE LOS PIRINEOS.

Una experiencia llevada a cabo los años 2010 y 2011 en las estivas de Pierre-Saint-Martin (Pirineos Atlánticos) mediante un dispositivo que permite modular las precipitaciones, simular la siega y testar diferentes situaciones de competencia ha permitido analizar las interacciones entre, por un lado, la sequía derivada del efecto combinado de un cambio climático y las perturbaciones antropogénicas y, por otro lado, el papel moderador de las interacciones bióticas.. Los resultados muestran que las interacciones entre especies son el factor preponderante sobre la diversidad. Estas interacciones pueden inhibirse a causa de niveles elevados de estrés hídrico y de perturbaciones (Le Bagousse-Pinguet *et al.* 2014). No obstante, la disminución de la precipitación en la vertiente norte no es evidente y cabe mencionar que según Le Treut (2013: 230) la mayoría de las investigaciones tratan «sólo de los efectos del aumento de la temperatura o, puntualmente, de la reducción de las precipitaciones», y esto, de momento, no se corresponde necesariamente con la tendencia observada en ciertos sectores de la cordillera.

En el caso de los bosques, cabe preguntarse sobre el posible efecto amplificador de las variaciones (y los cambios climáticos sobre las masas forestales, donde la composición específica de su estrato arbóreo y/o su diversidad genética podrían verse reducidas como consecuencia de una gestión caracterizada por el empleo de un número reducido de especies-objetivo y por ciertas decisiones silvícolas, en particular en bosques con nichos ecológicos muy diversificados. Se conocen los efectos de las intervenciones silviculturales en la diversidad genética de los árboles forestales, aunque no estén suficientemente documentados (Valadon, 2004). El proceso de adaptación, que incluye las fases de creación y de erosión de la diversidad genética, interactúa en efecto con las condiciones ambientales y el cambio climático, pero también con la gestión (Lefèvre y Collin, 2009).

2.3.4 Cambios en la composición y en las interacciones entre especies en la comunidad ecológica

La modificación de las áreas de distribución de las especies es uno de los efectos esperados del cambio climático, bien por reducción, desplazamiento o extensión de las áreas de distribución, en función de las características de las especies y del medio que ocupan. Su reducción y/o desplazamiento puede llevar a la extinción local de determinadas especies en todas las altitudes, y especialmente a través de la desaparición de nichos ecológicos en los pisos bioclimáticos más elevados (Bergamini *et al.*, 2009; Colwell *et al.*, 2008; Thomas, 2010; McCain y Colwell, 2011;), fenómenos que probablemente modelaron la composición florística actual, en respuesta a variaciones climáticas del pasado. La complejidad de los factores ecológicos en la montaña provoca que los fenómenos de compensación puedan contradecir estas previsiones (como por ejemplo, el efecto de las inversiones térmicas en los valles más encajonados). Además, los estudios sobre el impacto del cambio climático que emplean enfoques centrados en las «especies» son a menudo simplistas y reduccionistas, descuidando algunos factores clave, y no tienen en cuenta otros factores clave como las interacciones entre las distintas especies, el funcionamiento y posibles dinámicas de sus comunidades, o el papel clave que desempeña la diversidad genética (Austin, 2002, 2007). De hecho, muchos estudios alertan de posibles respuestas como por ejemplo la modificación del grado de competencia entre algunas especies, que podría permitir que algunas de ellas se mantuviesen estables a pesar del cambio climático o migrasen hacia pisos más bajos, mientras que otras lo harían hacia altitudes superiores (Lenoir *et al.*, 2010). En los macizos montañosos en los que se ha

estudiado los efectos de cambios climáticos en la flora y la vegetación, la tendencia general señala un aumento del número de especies vegetales con necesidad de calor, en detrimento del número de especies con necesidad de condiciones más frías (fenómeno llamado termofilización, Holzappel y Vinebrooke, 2005) aunque con gran variabilidad en la respuesta según macizos e incluso a nivel local en un mismo macizo (Gottfried *et al.*, 2102).

Las comunidades vegetales de los neveros, formadas por una flora muy específica como el sauce enano (*Salix herbacea* L.), son particularmente sensibles a los cambios debido a que se encuentran en lugares con condiciones edáficas particulares y microclimas altamente selectivos (Grabherr, 2003). Los neveros son sin duda el hábitat natural alpino donde las condiciones microclimáticas pueden cambiar con mayor rapidez (Grabherr, 2003; Heegaard y Vand-vik, 2004). En el caso de escenarios de calentamiento futuro, con adelantos de la fecha de deshielo, tendría como consecuencia la prolongación del período vegetativo, un aumento de la evaporación y de la actividad biológica de los suelos, así como una mayor exposición de la vegetación a temperaturas más bajas. Estos dos efectos podrían contribuir a la evolución ecológica del medio, ya que este podría ser ocupado por otras especies menos especialistas y más oportunistas (o, al contrario, más resistentes al frío). Por el contrario, el aumento de la duración media del manto de nieve o de heladas tendría como consecuencia una reducción del período vegetativo, ya bastante limitado, y la alteración de la composición o estructura de la vegetación.

La vegetación de los neveros alpinos, fundamentalmente perenne y adaptada a su ambiente, es sin embargo capaz resistir a variaciones climáticas interanuales muy importantes y de reaccionar a tendencias a largo plazo. El rendimiento reproductivo de algunas plantas podría verse incluso más afectado que su ciclo fenológico (Lluent *et al.*, 2013). A través del programa FLORAPYR se está dando continuidad al dispositivo de seguimiento de los neveros implementado en el marco del programa OPCC-1, (14 parcelas en tres países: España, Francia y Andorra, Komac y Olicard, 2014). Los resultados actuales del estudio sobre la vegetación y los informes anuales sobre la fenología y temperatura, elaborados desde diciembre de 2011, aún no permiten determinar tendencias claras. El dispositivo se consolidará con otros trabajos complementarios y, concretamente, con la implantación de unidades de simulación de calentamiento (instalación de Open Top Chamber) en 4 parcelas.

ENCUADRE 2.3.2 EL DISPOSITIVO INTERNACIONAL GLORIA DE SEGUIMIENTO DE LA FLORA ALPINA.

Hasta la fecha, existe un mayor número de estudios sobre el impacto del cambio climático sobre grupos de fauna (aves, mariposas, libélulas, insectos polinizadores) que sobre la flora y la vegetación (Le Treut, 2013) (más información en el capítulo 2.2.3). La vegetación alpina es particularmente sensible a los cambios medioambientales y generalmente reacciona rápidamente a las variaciones climáticas. El dispositivo internacional GLORIA tiene como objetivo estudiar la evolución de la flora alpina a través de un protocolo implementado sobre el conjunto de montañas alpinas del mundo. Este dispositivo cuenta con seis parcelas de seguimiento florístico en la Península Ibérica, dos de ellas en el Pirineo aragonés (Pauli *et al.*, 2004). Los primeros análisis desde el arranque del dispositivo (2001) y el primer seguimiento (2008) indican un ascenso medio de la flora alpina europea de 2,7 m durante el periodo considerado, con diferencias importantes entre las montañas bajo influencia mediterránea, que pierden especies (menos 1,4 especies de media durante el periodo considerado), y los macizos del norte de Europa, que en general ganan especies (más 3,9 de media durante el periodo considerado) (Pauli *et al.*, 2012). Estos resultados no parece contradictorio con la posibilidad de termofilización, simplemente, las montañas meridionales perderán especies debido a los efectos de la sequía estival (Moncorps, 2015). GLORIA tiene la ventaja de ser un dispositivo de seguimiento a largo plazo, lo que permitirá confirmar o desmentir tendencias a medida que las series de datos vayan cubriendo una mayor escala temporal. Sin embargo, el dispositivo no permite un análisis de la situación en cada macizo por separado, ya que los esfuerzos de muestreo son insuficientes para este propósito. En los Pirineos, está previsto el establecimiento de dos nuevas parcelas en el marco del programa FLORAPYR. Por último, el seguimiento de la temperatura en las parcelas GLORIA suministra información sobre la duración del período vegetativo en el piso alpino que será interesante comparar con los datos recogidos en los emplazamientos de seguimiento ubicados en los neveros.

Actualmente, a escala de los Pirineos, Le Treut. (2013) señala que «aparentemente, ningún análisis permite estimaciones cuantitativas del riesgo de extinción para las especies enfrentadas al cambio climático» y considera que «estas estimaciones siguen estando fuera de nuestro alcance, teniendo en cuenta la capacidad actual de modelización y la naturaleza de los datos disponibles o que se puedan recopilar». En el marco del apartado Biodiversidad del proyecto OPCC1, se hizo un primer intento de identificar especies sensibles al cambio climático en los Pirineos, elaborando una primera lista de unas 80 plantas. Esta aproximación todavía no está completamente desarrollada. La realización de la lista roja de la flora de los Pirineos en el marco del programa FLORAPYR debería incluir un criterio de sensibilidad al cambio climático (en realización en 2018/19, metodología: (UICN, 2012, criterios A3, A4 o B2 (b)), sin embargo, un criterio así es difícil de definir, teniendo en cuenta las incertidumbres sobre los escenarios climáticos.

Con frecuencia se considera que el límite superior actual de los bosques pirenaicos probablemente ascenderá como resultado del cambio climático, suponiendo una amenaza para el pastoreo a causa de la ocupación de los pastizales de verano por el bosque. Cabe mencionar que en los Pirineos los bosques alcanzaron altitudes más elevadas en el pasado. Muestra de ellos son los vestigios de explotación de bosques que se encuentran en Ariège hasta los 2200 m de altitud (Bonhote et al., 1988) en la Edad Media. El abandono pastoral es sin duda un factor preponderante en el incremento de árboles en altitud y del límite superior de los bosques (Bodin, 2010). Además, la posible evolución interna de la composición de los bosques a altitudes medias está todavía poco estudiada (por ejemplo, la recolonización del abeto en los bosques de hayas en las áreas en las que había retrocedido debido a la actividad humana pasada. Algunos trabajos centrados en los Alpes han podido demostrar que la dinámica forestal ha producido un desplazamiento aparente de especies hacia altitudes superiores debido al efecto de densificación y de maduración de los bosques de altitudes medias (Bodin et al., 2013).

A baja altitud, estudios realizados sobre el haya demuestran un ascenso en altitud de su óptimo de crecimiento (Vitasse et al., 2010), y sugieren extinciones locales en el futuro a baja altitud en el piedemonte de los Pirineos noroccidentales, como ya se ha constatado

en Cataluña (Grime, 1973; Jump et al., 2006). Sin embargo, el ascenso del óptimo de crecimiento no implica necesariamente la extinción de poblaciones. Es conocido el caso de hayas que no llegan a alcanzar el estrato dominante en los bosques mixtos en situaciones de estrés edafoclimático²⁰, sin que por ello se extingan cuando la silvicultura es lo suficientemente extensiva. En el piedemonte del Pirineo central francés los estudios paleoecológicos e históricos testimonian una presencia abundante de abetos en Volvestre durante el neolítico y su regresión posterior a causa de los usos del suelo (tala de bosques, presión agropastoral, explotación intensiva), a pesar de que es una especie con una gran capacidad de colonización (Gonin et al., 2014).

El desarrollo de plantas exóticas invasoras en la montaña lleva produciéndose desde hace varias décadas, debido tanto a actividades de construcción, reforestaciones y desplazamientos (de personas y de maquinaria de construcción), como al abandono de plantaciones (como en el caso de la picea común [abeto rojo]). A menudo la introducciones conllevan serias implicaciones para el paisaje, el funcionamiento de los ecosistemas, y en definitiva en la capacidad de los sistemas de montaña para brindar determinados bienes y servicios ecosistémicos (por ejemplo pastoreo y áreas de esquí donde una especie como la picea común cierra el paisaje del Pirineo Central francés). Se ha demostrado que los ambientes fríos experimentan menos invasiones biológicas que los ambientes cálidos, por lo tanto, los cambios climáticos podrían amplificar estos fenómenos de acuerdo con los parámetros en cuestión (Pauchard et al., 2016; Gallien et al., 2016). El CENMA ha estudiado la evolución de los nichos ecológicos potenciales de *Buddleja davidii* y *Senecio inaequidens* en Andorra considerando el cambio climático durante el último siglo. Los resultados muestran que según los escenarios, entre el 10 y 70% del territorio podría ser climáticamente viable para ambas especies (entre el 10-40% para *Buddleja* y 30-70% para *Senecio*, según los resultados del estudio).

(20) Estrés fisiológico relacionado con las condiciones del suelo y del clima, atenuado por la cobertura de otras especies.

2.3.5 Vulnerabilidades y servicios ecosistémicos

Los ecosistemas tienen funciones ecológicas de soporte, regulación, provisión y servicios culturales. A continuación detallamos los servicios aportados por la flora y la vegetación que podrían verse afectados por los cambios climáticos (Moncorps, 2014), subrayando algunos elementos de vulnerabilidad (Moncorps, 2015). El papel que juega la vegetación en los servicios de soporte se materializa en el ciclo del agua, la producción de biomasa y el ciclo de los elementos nutritivos, la formación y el mantenimiento de los suelos, y la creación de un hábitat para la biodiversidad. Los servicios de regulación incluyen: la regulación del ciclo del agua, la erosión y los riesgos naturales, así como el mantenimiento del manto de nieve mediante una cubierta vegetal continua y adaptada al contexto bioclimático. Las presiones del uso relacionadas con el cambio de los usos del suelo, las presiones climáticas o incluso la elección de determinadas especies en la restauración del medio pueden afectar considerablemente a la capacidad de los ecosistemas de montaña de proveer estos servicios.

- La regulación de la calidad del agua.
- La regulación de la calidad del aire.
- La regulación del clima y del almacenamiento de carbono: aparte de la función clásica que se le reconoce a los bosques (con una capacidad de almacenamiento tres veces más importante en los bosques de montaña que en los de llanura), las praderas de la montaña media y las turberas constituyen también sumideros de carbono.
- La polinización, ya que los insectos polinizadores se ven favorecidos por la diversidad paisajística (mosaico de medios²¹).

Los servicios de provisión corresponden a los bienes comercializados, fuentes de ingresos y de empleo: la producción de madera (que se debe relativizar en los Pirineos teniendo en cuenta las dificultades de explotación relacionadas con las limitaciones naturales), la valorización del pastoreo en medios herbáceos, la valorización de los espacios para ciertas actividades de ocio (áreas de esquí), la valorización de la recolección de plantas silvestres (farmacología, cosmética, herboristería, licorería, etc.).

(21) El mosaico de medios o paisajístico se refiere a la mezcla de retazos naturales y manejados por el hombre que varían en tamaño, forma y ordenación espacial

ENCUADRE 2.3.2 EL PROGRAMA ECOVARS Y LA RESTAURACIÓN DE PRADERAS DE ALTA MONTAÑA

En los Pirineos franceses, el programa Ecovars de restauración ecológica en medios herbáceos de altitud (Malaval, 2015) (áreas de esquí y borde de carreteras) prevé mantener o restaurar estos servicios gracias a una mejora de las técnicas de intervención y a la elección de material vegetal de origen local respaldado por una marca registrada (Pyrégraine de néou). Se están desarrollando experiencias similares en Andorra y Aragón.



Producción en campo de *Achillea millefolium* L., de origen pirenaico para su uso en restauración ecológica en los Pirineos. Photo CBNPMP/Gérard Largier

Los servicios culturales incluyen:

- El ocio y el turismo: la identidad y el atractivo turístico de los Pirineos se basa en los paisajes y su aspecto salvaje, en los que la vegetación es un elemento importante (algo paradójico cuando se sabe cómo los han modelado las actividades humanas), así como las especies emblemáticas (flora endémica en particular); más allá del público en general, los Pirineos y su biodiversidad han atraído desde hace tiempo un turismo científico.
- Los valores educativos y el conocimiento científico; esto implica en particular las características y especificidades florísticas del macizo.
- La dimensión identitaria, patrimonial y artística (estética), en la que los elementos florísticos juegan también un importante papel.

Con respecto a la oferta de hábitat para la biodiversidad, una cuestión que se repite con regularidad es «¿en qué y cómo los espacios protegidos pueden ayudar a conservar la biodiversidad y los espacios de montaña» (Le Treut, 2013) en un contexto de cambio climático? Se trata de saber si las especies y ecosistemas sensibles podrán mantenerse en zonas que suelen considerarse refugios climáticos, aún cuando no estén especialmente definidas sobre la base de dicho criterio y que serán igualmente sometidos a cambios si estos tuvieran lugar. Una cuestión es la de la continuidad e interconectividad ecológica entre estas áreas y permita de mantener flujos genéticos y vías de migración. También en relación a este aspecto, los trabajos suelen estar basados en modelos de especies animales, y los expertos no están necesariamente de acuerdo con su buena representatividad para los territorios en consideración (faltan estudios de referencia para las montañas). Algunos gestores de espacios protegidos han puesto en marcha programas sobre la continuidad ecológica en el marco de los «planes climáticos» (por ejemplo en Francia, Parc National des Pyrénées, Parc naturel régional des Pyrénées ariégeois, Réserve naturelle régionale du massif de Pibeste-Aoulhet).

2.3.6 Conclusiones y recomendaciones

Le Treut. (2013) en el capítulo «Montaña» del informe «Los impactos del cambio climático en Aquitania - un estado científico de la cuestión» propone «*algunas pistas generales posibles, que hay que ajustar en los diferentes niveles de operatividad y realismo ético, de adaptación o mitigación adaptadas a los ecosistemas y especies de montaña frente al cambio climático*» que pueden aplicarse al conjunto de los Pirineos y que nosotros completamos en ciertos aspectos:

« - Reevaluar los objetivos de gestión a la luz del desafío del cambio climático y reducir en la medida de lo posible el estrés antrópico local que representan factores que pueden alterar la capacidad de resistencia de la biodiversidad a adaptarse a los cambios globales (fragmentación, contaminación...). Utilizar la diversidad de los recursos genéticos forestales locales para reforzar la capacidad de adaptación de los bosques al cambio climático. ». Se subraya sin embargo que la reevaluación de los objetivos de gestión es compleja teniendo en cuenta las incertidumbres relativas a los escenarios climáticos, en particular respecto a la evolución de las precipitaciones y la innivación. Respecto a la cuestión

de los recursos genéticos, también relacionada con los medios abiertos no forestales, recomendamos un enfoque a escala local.

« - Mantener los usos tradicionales del suelo allí donde hayan sido la forma principal de gestión, garantizando las misiones originales acordes con el mantenimiento de las culturas y las tradiciones locales históricas. Proteger las tradiciones y la herencia cultural asociadas a los territorios, que son los mejores también para garantizar el mantenimiento de la diversidad específica local y los ecosistemas sensibles (pastoreo...). »

« - Promover las iniciativas originales que aúnen una «baja presión en términos de gestión» y una «creación de heterogeneidad espacial». Por ejemplo, como en los países del norte de Europa, parece crucial seguir segando o pastando los pastos mesófilos con el fin de evitar la invasión de especies competidoras que amenazan gravemente la diversidad de las comunidades y los paisajes. ». Sin embargo, «baja presión» y «creación de heterogeneidad espacial» son opuestas y, además, la creación de heterogeneidad no es un fin en sí mismo si pensamos en la inmensidad y el alto grado de homogeneidad del sistema constituido por el bosque boreal.

« - Mantener como prioridad las características ecosistémicas esenciales (aquéllas que determinan la estructura y el funcionamiento intrínsecos) y proteger las especies (concretamente las especies clave) que sean al mismotiempo capaces de adaptarse y de ser fuente de una eventual recuperación²². Preservar las especies identificadas como redundantes («duplicaciones»), de tal forma que en caso de perturbación local subsista al menos una de ellas. Proteger las variables (recursos, especies) que puedan actuar como tampón, con un ritmo de persistencia adaptado al cambio climático (Baron et al., 2009) [».

« - Reconocer y mejorar las funciones de los espacios protegidos. Preservar las zonas identificadas como «refugios», por ejemplo, las localidades donde se desarrollan poblaciones de especies raras o amenazadas o las localidades menos susceptibles de verse afectadas por el cambio climático. Estas zonas podrían utilizarse como fuentes para la repoblación o como zonas-objetivo para establecer poblaciones trasplantadas». Estas deberían ser objeto de un estudio del estado de la cuestión previo de las introducciones

(22) resiliencia

(23) o en banco de germoplasma

de material vegetal (en particular forestal) realizadas en el pasado, con el fin de identificar los sectores exentos de fuentes genéticas alóctonas donde la diversidad genética y su evolución no se ven afectadas por contribuciones exógenas. La preservación de estas zonas refugio debe comprender medidas de cara a las especies exóticas invasoras.

« - En los casos más extremos, para las especies mayormente afectadas, se recomiendan ciertas estrategias de mitigación 1) el mantenimiento y la reproducción en cautividad²³ de especies en alto riesgo de extinción y/o 2) la translocación (migración asistida) de poblaciones, el desplazamiento de organismos de una zona a otra, separada por una barrera (zona urbana, acondicionada...). »

« - A pesar de los efectos positivos que se esperan sobre la biodiversidad en términos de mitigación del cambio climático derivados directamente de la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), ciertos autores (Araújo et al., 2011)[apelan a un cambio de paradigma en las actuales políticas de conservación y al despliegue de aproximaciones más eficaces que los que se aplican actualmente: recalificación de áreas de conservación existentes, creación de nuevas áreas y desarrollo de mecanismos de gestión integrada más operativos que faciliten la conectividad entre áreas de conservación en su dimensión vertical (altitudinal) pero también horizontal. » Esto supone una reflexión y una organización a escala panpirenaica.

Las conclusiones del capítulo «Montaña» del informe Le Treut (2013) convergen con las del «3.^{er} informe sobre el cambio climático en Cataluña» (Martín-Vide, 2016). Recogiendo resultados de trabajos científicos que identifican impactos atribuidos a los cambios climáticos, coinciden en la misma tipología de reservas (falta de escenarios fiables o incertidumbres sobre los impactos relacionados con la imprecisión de los escenarios, investigaciones a menudo preliminares, variabilidad local elevada) y subrayan la necesidad de realizar más estudios y seguimientos sobre la temática. Subrayando también el interés de los modelos, Le Treut (2013) recomienda sobre todo «evitar generalizar con demasiada rapidez observaciones o experimentaciones realizadas en contextos específicos» y «ponderar los trabajos que se basan realmente en medidas y trabajos de campo y aquellos (a menudo más numerosos, y a escalas mayores) que se basan únicamente en modelos.».

Recordemos el ejemplo clásico de la ascensión de especies forestales que se atribuye a causa climática, cuando en realidad existen otros factores de naturaleza climática que ejercen una mayor influencia en el fenómeno. En materia de estudios y seguimientos de la biodiversidad y de la flora, los trabajos de la OPCC en general y aquéllos del programa FLORAPYR en particular, deben abordarse a largo plazo, más allá de la duración de proyectos específicos: dispositivos como el seguimiento de neveros, GLORIA o el programa de ciencia ciudadana Phénoclim necesitan una duración larga para producir series de datos analizables en relación con los datos climáticos observados. La consolidación y la puesta al día continua del Atlas de la Flora de los Pirineos, creado igualmente en el marco de la OPCC, permitirá disponer de un estado de la cuestión actualizado y disponible para realizar análisis cruzados. Por otro lado sería interesante potenciar la creación de otros dispositivos dirigidos al seguimiento de la evolución genética de las poblaciones vegetales en los sectores preservados de aportes exógenos o, *al contrario*, en sectores donde el material vegetal autóctono lleva tiempo introducido y se desarrolla en interacción con la flora local (como es el caso de la introducción de otras especies de abetos mediterráneos [complejo de especies] en el valle de Bagnères-de-Luchon, en los abetales pirenaicos [introgresión con *Abies alba*])). Tales dispositivos serían útiles para cuestionar ciertas decisiones que a menudo conducen a la introducción de especies alóctonas, sin tener en cuenta que la flora local y los ecosistemas naturales por sí mismos pueden ofrecer soluciones en un contexto de evolución.

Colaboradores

Comité técnico y Comité ejecutivo de la CTP



Comité coordinación y Socios del proyecto OPCC2



Con el apoyo de



Este informe se ha realizado en el marco del proyecto OPCC2 por iniciativa de la Comunidad de Trabajo de los Pirineos. El proyecto OPCC2 está asociado a los proyectos CLIMPY, FLORAPYR, REPLIM, CANOPEE y PIRAGUA. Todos estos proyectos están cofinanciados por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, FEDER a través del programa POCTEFA 2014-2020.

Descarga el informe completo y el resumen ejecutivo en ES, FR, CAT o EN en el portal de información del Observatorio Pirenaico del Cambio Climático: <https://opcc-ctp.org/>



El Cambio climático en los Pirineos: impactos, vulnerabilidades y adaptación

**Bases de conocimiento para la futura estrategia
de adaptación al cambio climático en los Pirineos**