

# Observar de cerca el cambio global en los parques nacionales españoles



Síntesis de la actividad de investigación desarrollada en el marco de la Red de Seguimiento del Cambio Global



ORGANISMO AUTÓNOMO PARQUES NACIONALES



Con la colaboración de:



# Observar de cerca el cambio global en los parques nacionales españoles



Síntesis de la actividad de investigación desarrollada en el marco de la Red de Seguimiento del Cambio Global



ORGANISMO  
AUTÓNOMO  
PARQUES  
NACIONALES



Con la colaboración de:



**Edita:** Organismo Autónomo Parques Nacionales (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente), en el marco de la Red de Seguimiento del Cambio Global (RSCG) en los Parques Nacionales, una iniciativa que desarrolla junto con la Oficina Española de Cambio Climático, la Fundación Biodiversidad y la Agencia Estatal de Meteorología (todas ellas pertenecientes al Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) y en la que colabora Ferrovial Agromán.

**Contenidos:** Javier García Fernández, en el contexto de un trabajo desarrollado para la Oficina Española de Cambio Climático a partir de las memorias de los proyectos de investigación cofinanciados por el Organismo Autónomo Parques Nacionales y la Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente en el marco de la RSCG.

Se consideran coautores/as de esta publicación todos los miembros de los equipos de los proyectos de investigación a los que hace referencia este documento, recogidos en varios apartados del mismo y, específicamente, en su anexo.

**Imágenes, diseño y maquetación:** Javier García Fernández [todocambia \_ comunicación para la sostenibilidad], excepto las imágenes de las páginas 35 [Marta Sáinz Bariáin], 116 [Rafel Coma] y 148 [Juan José Soler].

**NIPO:** 650-19-024-6

A efectos bibliográficos este trabajo debe citarse como sigue:

Red de Seguimiento del Cambio Global (2017) *Observar de cerca el cambio global en los parques nacionales españoles*. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>ÍNDICE DE PROYECTOS SEGÚN ÁMBITOS TEMÁTICOS .....</b>	<b>8</b>
<b>SINOPSIS .....</b>	<b>11</b>
Sobre la investigación en torno al cambio global en parques nacionales: algunas ideas a tener en cuenta .....	16
<b>SUMMARY .....</b>	<b>17</b>
Research on global change in National Parks: some ideas to take into account .....	21
<b>¿QUÉ ES ESTE DOCUMENTO? .....</b>	<b>23</b>
¿Qué es el cambio global? .....	24
¿Por qué la Red se centra en los parques nacionales? .....	25
El seguimiento del cambio global en la Red de Parques Nacionales (RSCG) .....	25
¿Cuál es el papel de las entidades en el Convenio? .....	26
¿Qué parques nacionales forman parte del Programa? .....	27
La difusión y divulgación de la RSCG .....	27
<b>LOS PARQUES NACIONALES INCLUIDOS EN LA RSCG Y OBJETO DE ESTUDIO .....</b>	<b>31</b>
Parque Nacional de los Picos de Europa .....	31
Parque Nacional de Sierra Nevada .....	33
Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera .....	35
Parque Nacional del Teide .....	37
Parque Nacional de Cabañeros.....	38

Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido .....	40
Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia.....	41
<b>LOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS EN EL MARCO DE LA RSCG .....</b>	<b>45</b>
Proyectos cofinanciados por el Organismo Autónomo Parques Nacionales .....	45
Proyectos cofinanciados por la Fundación Biodiversidad .....	48
Algunos datos sobre los estudios realizados .....	50
<b>INVESTIGANDO EL CAMBIO GLOBAL EN LOS PARQUES NACIONALES: UNA GRAN DIVERSIDAD DE ENFOQUES Y ÁREAS DE INTERÉS .....</b>	<b>57</b>
Revisar y mejorar las predicciones climáticas disponibles mediante procedimientos de reducción de escala .....	59
La repercusión del cambio climático sobre la evolución de las masas de hielo y nieve en los parques nacionales de montaña .....	64
Avanzando en el diseño de métodos sistematizados de seguimiento y monitorización de cambios climáticos y ecológicos .....	68
La evolución de la vegetación y la fauna de la alta montaña y los cambios en su distribución altitudinal, indicadores útiles para el seguimiento del cambio global .....	75
Los anfibios, un grupo severamente amenazado por el cambio climático.....	86
Algunos órdenes de insectos acuáticos son magníficos indicadores de cambio global.....	92
La entrada de polvo sahariano y su relación con el cambio global: el análisis de su incidencia en los lagos de montaña .....	96
La huella de los cambios climáticos y ecosistémicos queda registrada en el sedimento de los lagos.....	100
Implicaciones biogeoquímicas del cambio climático: el efecto de los cambios hidrológicos y climáticos sobre los ciclos del carbono y nitrógeno .....	103
Una mirada a algunas amenazas sobre los hábitats y ecosistemas y posibles herramientas para la gestión y conservación .....	106
Efectos del cambio global sobre los ecosistemas marinos: el caso de la comunidad del coralígeno en el Parque Nacional de Cabrera.....	112
La importancia del trabajo con la gente. Habitantes y visitantes de los Parques tienen un papel que desempeñar. Y también la sociedad en su conjunto. ....	115
<b>ALGUNOS DESCRIPTORES E INDICADORES DE CAMBIO GLOBAL .....</b>	<b>121</b>
La evolución y tendencias de las masas del hielo en las cumbres .....	122
La distribución altitudinal de la flora y vegetación en las zonas de montaña .....	123
La presencia y distribución de insectos en las cabeceras de los ríos de montaña .....	125
El estudio de los sedimentos y la situación de los lagos de montaña .....	128
Los anfibios: un grupo al que prestar especial atención .....	131
La distribución y situación de algunas especies de aves de montaña .....	132
El estado del coralígeno y los eventos de mortalidad en áreas costeras .....	135
La presencia y distribución de macrófitos en humedales.....	136
La matorralización de pastos, un indicador de cambio no directamente relacionado con el cambio climático .....	137
La productividad, estacionalidad y fenología de la vegetación, observada mediante teledetección.....	138

Algunas variables climáticas que se han demostrado relevantes en los diferentes proyectos de investigación .....	140
--	-----

### **SOBRE LA INVESTIGACIÓN EN TORNO AL CAMBIO GLOBAL EN PARQUES NACIONALES: ALGUNAS IDEAS A CONSIDERAR .....143**

OAPN01   El cambio climático en Sierra Nevada a partir de escenarios fitocenológicos, especies y comunidades vegetales indicadoras y la evaluación de la actividad biológica de los suelos en el piso crioromediterráneo (ciclos de C y N) .....	159
OAPN02   Evolución climática y ambiental del Parque Nacional de los Picos de Europa desde el último máximo glaciario.....	161
OAPN03   Geoindicadores de alta montaña y cambio global: análisis y control de indicadores geomorfológicos en el Parque Nacional de los Picos de Europa .....	163
OAPN04   Análisis de la diversidad procariótica asociada a quercíneas ( <i>Quercus ilex</i> sp. <i>ballota</i> y <i>Quercus pyrenaica</i> ) para la identificación de biomarcadores asociados a la evolución post-incendio y al cambio climático en Sierra Nevada .....	165
OAPN05   Degradación de hielo fósil y permafrost y cambio climático en Sierra Nevada .....	167
OAPN06   Diversidad, estrategias vitales y filogeografía de especies sensibles al cambio climático: tricópteros en el Parque Nacional de Sierra Nevada .....	169
OAPN07   Efectos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos y terrestres de alta montaña de Sierra Nevada mediante el análisis del registro fósil en los sedimentos .....	171
OAPN08   Modelización de la matorralización de los pastos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su relación con el cambio global.....	173
OAPN09   Estrategias de supervivencia ante el cambio global. Las especies de efemerópteros y plecópteros del Parque Nacional de Aigüestortes como paradigma .....	175
OAPN10   Efectos del cambio global sobre el funcionamiento de los ecosistemas de la Red de Parques Nacionales españoles: impactos recientes y desarrollo de un sistema de seguimiento .....	177
OAPN11   AERBAC: Diversidad bacteriana en lagos de alta montaña: biogeografía y mecanismos de dispersión por aerosoles atmosféricos en el contexto del cambio global .....	179
OAPN12   Variación genética adaptativa de anfibios en gradientes altitudinales: efectos sobre la viabilidad de poblaciones subdivididas en escenarios de cambio climático .....	181
OAPN13   Interacción planta-herbívoro y dinámica poblacional de la procesionaria del pino en el Parque Nacional de Sierra Nevada en el marco del cambio global .....	183
OAPN14   Detección remota de los efectos del cambio global en la ecología y la biogeoquímica de las comunidades de macrófitas del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel: diseño de medidas adaptativas y programas de seguimiento para la conservación .....	185
OAPN15   Acoplamiento de los ciclos hidrobiogeoquímicos del carbono y nitrógeno en cuencas lacustres de alta montaña durante episodios hidrológicos intensos, estima de su peso relativo en los balances de masa anuales y posibles implicaciones del cambio climático .....	187

OAPN16   Efectos del cambio climático en el crecimiento y el funcionamiento de los bosques pirenaicos inferidos mediante reconstrucciones dendroecológicas .....	189
OAPN17   Facilitación de las especies almohadilladas y cambio global en las comunidades alpinas del Parque Nacional de Sierra Nevada .....	191
OAPN18   Seguimiento interanual y análisis experimental de factores de cambio global (UVR y entradas de P) sobre los productores primarios en lagos de alta montaña .....	193
OAPN19   Gestionando los parques nacionales más allá de sus límites: evaluación y cartografía de servicios como herramienta de gestión territorial ante el cambio global.....	195
OAPN20   El decaimiento del alcornoque de la pajarera de Doñana en un contexto de cambio global: una aproximación experimental .....	197
OAPN21   Criosfera y cambio global en espacios naturales protegidos: control de procesos geomorfológicos asociados a la nieve y el hielo como geoindicadores de cambio ambiental en el Parque Nacional de los Picos de Europa .....	199
OAPN22   Caracterización ecofisiológica de las respuestas de distintas especies representativas del piso subalpino al cambio climático .....	201
OAPN23   Diversidad genética espacial y flujo genético en anfibios pirenaicos: evolución potencial bajo escenarios de cambio global.....	203
OAPN24   Dinámica glacial, clima y vegetación en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido durante el Holoceno.....	205
FB01   Efectos del cambio global sobre la biodiversidad del Parque Nacional de Cabrera: el caso de la comunidad del coralígeno de <i>Paramuricea clavata</i> .....	207
FB02   Impacto e interacciones del clima con la ecología, comportamiento y distribución de aves de alta montaña en el Parque Nacional de los Picos de Europa .....	209
FB03   Generación de escenarios locales de cambio climático en parques nacionales para evaluación de impactos .....	211
FB04   Bases para el seguimiento de los cambios en la flora y vegetación como consecuencia del cambio climático en el Parque Nacional de los Picos de Europa .....	213
FB05   Elementos preliminares para una evaluación del cambio climático en el Parque Nacional de los Picos de Europa.....	215
FB06   Comunicando los impactos del cambio global mediante nuevas tecnologías geoespaciales: una aplicación con los anfibios y reptiles de España .....	217
FB07   Estudio del impacto del cambio climático sobre la diversidad y la composición de las cubiertas forestales en los parques nacionales españoles .	219
FB08   Gradientes altitudinales de biodiversidad en el Parque Nacional de los Picos de Europa: cómo se origina, mantiene y conserva la riqueza de organismos en un escenario de cambio climático .....	221
FB09   Evaluación para el seguimiento del cambio global en el ámbito socioeconómico del Parque Nacional de los Picos de Europa .....	223
FB10   Análisis del cambio climático proyectado en las variables de Precipitación y Temperatura en el área del Parque Nacional de los Picos de Europa para el periodo 2031-60.....	225
FB11   Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada: diseño y desarrollo de un sistema de monitorización ecológica basado en la red de estaciones multiparamétricas.....	227

FB12   Nuevas formas de gobernanza de los espacios naturales protegidos como criterio para fomentar el desarrollo sostenible del medio rural y contribuir a la atenuación de los efectos del cambio global. Aplicación al caso singular del Parque Nacional de los Picos de Europa	229
FB13   Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada (Fase II): Creación de una red de sensores inalámbricos en las Estaciones de Monitoreo Intensivo. Experiencia piloto. ....	231
FB14   Consecuencias crípticas del cambio global: efectos sobre la ecología sensorial y señales sexuales de los lacértidos endémicos y amenazados de los parques nacionales pirenaicos y de los Picos de Europa ....	233
FB15   Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada, fase III: Recopilación de información histórica sobre aspectos estructurales y funcionales de la red de EMIs. ....	235
FB16   Estudio del efecto del cambio global sobre la nieve y la hidrología de alta montaña en el Parque Nacional de Sierra Nevada. ....	237
FB17   Diseño de una aplicación y una plataforma experimental de recepción y recopilación de datos de ‘ciencia ciudadana’ integrada en el Observatorio de Seguimiento de Cambio Global de Sierra Nevada. ....	239
FB18   Sistema de evaluación y seguimiento socioeconómico del cambio climático y el cambio global en el Parque Nacional Sierra de Guadarrama. ....	241



## ÍNDICE DE PROYECTOS SEGÚN ÁMBITOS TEMÁTICOS

Ámbito temático	Proyecto	Nº página
Anfibios	<a href="#">FB06</a>	219
	<a href="#">OAPN12</a>	183
	<a href="#">OAPN23</a>	205
Aves	<a href="#">FB02</a>	211
	<a href="#">FB08</a>	223
	<a href="#">OAPN20</a>	199
	<a href="#">OAPN22</a>	203
Biogeoquímica	<a href="#">OAPN14</a>	187
	<a href="#">OAPN15</a>	189
Bosques	<a href="#">FB04</a>	215
	<a href="#">OAPN04</a>	167
	<a href="#">OAPN16</a>	191
	<a href="#">OAPN22</a>	203
Ciencia ciudadana	<a href="#">FB17</a>	241
Clima	<a href="#">FB03</a>	213
	<a href="#">FB05</a>	217
	<a href="#">FB07</a>	221
	<a href="#">FB10</a>	227
Comunicación	<a href="#">FB06</a>	219
Coralígeno	<a href="#">FB01</a>	209
Dendroecología	<a href="#">OAPN16</a>	191
<i>Downscaling</i>	<a href="#">FB05</a>	217
	<a href="#">FB10</a>	227
	<a href="#">FB16</a>	239
Ecofisiología	<a href="#">FB02</a>	211
	<a href="#">FB14</a>	235
	<a href="#">OAPN12</a>	183
	<a href="#">OAPN22</a>	203
Ecosistemas marinos	<a href="#">FB01</a>	209
Efemerópteros	<a href="#">OAPN09</a>	177
Genética	<a href="#">OAPN12</a>	183
	<a href="#">OAPN23</a>	205
Geomorfología	<a href="#">OAPN03</a>	165
Gestión y conservación	<a href="#">FB17</a>	241
	<a href="#">FB18</a>	243
	<a href="#">OAPN13</a>	185
	<a href="#">OAPN19</a>	197
	<a href="#">OAPN20</a>	199

Ámbito temático	Proyecto	Nº página
Gobernanza	<a href="#">FB12</a>	231
Gorgonia roja	<a href="#">FB01</a>	209
Hielo, heleros	<a href="#">FB16</a>	239
	<a href="#">OAPN03</a>	165
	<a href="#">OAPN05</a>	169
	<a href="#">OAPN21</a>	201
	<a href="#">OAPN24</a>	207
Humedales	<a href="#">OAPN14</a>	187
Información histórica	<a href="#">FB15</a>	237
Insectos	<a href="#">OAPN06</a>	171
	<a href="#">OAPN09</a>	177
	<a href="#">OAPN13</a>	185
Lagos de montaña	<a href="#">OAPN02</a>	163
	<a href="#">OAPN11</a>	181
	<a href="#">OAPN18</a>	195
Modelos climáticos	<a href="#">FB05</a>	217
	<a href="#">FB10</a>	227
	<a href="#">FB16</a>	239
Paloecología	<a href="#">OAPN02</a>	163
	<a href="#">OAPN07</a>	173
Pastos	<a href="#">OAPN08</a>	175
Plecópteros	<a href="#">OAPN09</a>	177
Procariotas	<a href="#">OAPN04</a>	167
	<a href="#">OAPN11</a>	181
	<a href="#">OAPN18</a>	195
Procesionaria del pino	<a href="#">OAPN13</a>	185
Reptiles	<a href="#">FB06</a>	219
	<a href="#">FB14</a>	235
Metodologías e instrumentos de seguimiento	<a href="#">FB09</a>	225
	<a href="#">FB11</a>	229
	<a href="#">FB13</a>	233
	<a href="#">FB15</a>	237
	<a href="#">FB18</a>	243
Socioeconomía	<a href="#">FB09</a>	225
	<a href="#">FB12</a>	231
	<a href="#">FB18</a>	243
Suelos	<a href="#">OAPN01</a>	161
	<a href="#">OAPN04</a>	167
Teledetección	<a href="#">OAPN10</a>	179
Tricópteros	<a href="#">OAPN06</a>	171
Vegetación arbustiva	<a href="#">OAPN08</a>	175
	<a href="#">OAPN17</a>	193



## SINOPSIS

Este documento es el resultado de un análisis realizado en el contexto de la Red de Seguimiento del Cambio Global en los Parques Nacionales Españoles (RSCG), en cuyo marco se han venido desarrollando desde 2008 una serie de proyectos de investigación que estudian las señales del cambio climático en los parques nacionales que integran la Red. El objetivo es, en el medio plazo, permitir la identificación de impactos atribuibles al cambio climático, así como establecer una batería de indicadores que ayuden al seguimiento del cambio global en estos observatorios de la naturaleza y la biodiversidad.

Este estudio se engloba dentro de las actividades desarrolladas en el Tercer Programa de Trabajo (3PT) del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) que recoge, dentro del apartado dedicado a la biodiversidad, la consolidación y ampliación de la Red de Seguimiento del Cambio Global en Parques Nacionales (RSCG). Para elaborarlo se han analizado los proyectos de investigación cofinanciados en el contexto de la Red por la Fundación Biodiversidad (FB) y el Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN), unidades del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Ambas, junto con la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), entidad encargada de la coordinación de este estudio, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y el apoyo externo de Ferrovial Agroman, conforman la RSCG, en un esfuerzo de cooperación interadministrativa planificado con el objeto de coordinar esfuerzos y enfoques y desarrollar una visión técnica del problema lo más integrada posible.

Este informe trata de sintetizar qué y dónde se ha investigado en cambio global en la RSCG en los parques nacionales españoles, tratando de definir en qué componentes del medio, taxones, procesos o interacciones se han venido centrando los esfuerzos de investigación en estos años de desarrollo de la Red. Para ello se realiza un compendio de los estudios realizados, se revisan las principales conclusiones alcanzadas en las diferentes áreas de observación, se identifican los ámbitos territoriales y de trabajo en los que se ha realizado un mayor esfuerzo y se sintetiza la información más relevante procedente de dichos estudios.

El cambio global hace referencia al conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana, incluyendo aquellos impactos que, aunque ejercidos localmente, tienen efectos que

trascienden el ámbito local o regional y afectan al funcionamiento global del sistema tierra. En el contexto que nos ocupa –y aunque todas las variables que juegan un papel en el cambio global están estrechamente interrelacionadas e interconectadas- se hace especial referencia al conjunto de cambios ambientales, sociales y económicos –a nivel local, regional y global- que ocurren como consecuencia del cambio climático.

La RSCG centra su ámbito de intervención en los parques nacionales porque éstos están amparados bajo una normativa orientada a la conservación y poseen algunas características que hacen estas áreas especiales, ya que son áreas representativas donde el impacto antrópico es objeto de control y seguimiento, constituyen importantes reservorios de biodiversidad y están dotados de técnicos, científicos y guardería específicos para las tareas de seguimiento y conservación.

Del conjunto de los quince parques que conforman la Red de Parques Nacionales, un total de 7 se han ido incorporando progresivamente al programa de seguimiento del cambio global (RSCG) y a la implantación de los puntos de monitorización de datos, sin perjuicio de que en el futuro se sumen otros Parques:

- Parque Nacional de los Picos de Europa, un buen representante de los ecosistemas ligados al bosque atlántico.
- Parque Nacional de Sierra Nevada, que alberga valiosos sistemas naturales de media y alta montaña mediterránea.
- Parque Nacional Marítimo Terrestre del Archipiélago de Cabrera, como representante de ecosistemas insulares no alterados mediterráneos.
- Parque Nacional del Teide, paradigma de los ecosistemas canarios de alta montaña.
- Parque Nacional de Cabañeros, un escenario singular de los bosques y matorrales típicos mediterráneos.
- Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido como representante de los bosques, matas y pastos de los ecosistemas alpinos.
- Parque Nacional Marítimo Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia, un magnífico ejemplo de los sistemas naturales ligados a zonas costeras y a la plataforma continental de la Región Eurosiberiana.

Los proyectos que forman parte de este estudio son aquellos de los que ya se dispone de su memoria final y/o información suficiente para su análisis, que suman un total de 42, de los cuales 23 han sido financiados por el OAPN y 19 por la FB en las diferentes convocatorias realizadas hasta 2013. La revisión del conjunto de los proyectos de investigación desarrollados bajo el paraguas de la Red de Seguimiento del Cambio Global (RSCG) nos habla, en primer lugar, de una gran diversidad tanto territorial y de hábitats como de ámbitos y enfoques de investigación.

En el futuro se podrá avanzar con mayor rigor una batería de descriptores o indicadores de cambio global en los que centrar el seguimiento y el control, pero por el momento se pueden ofrecer algu-



nos apuntes en esa dirección, aclarando que, sin lugar a dudas, son muchos más los indicadores que nos podrían ofrecer pistas de la evolución y tendencias existentes.

### **La evolución y tendencias de las masas del hielo en las cumbres**

Las laderas de la alta montaña y los elementos de la criosfera (hielo, nieve, neviza) son ambientes geomorfológicos muy activos, con una dinámica altamente sensible a los cambios naturales o inducidos por la humanidad. Así, los procesos de laderas, periglaciares y nivales y las herencias del pasado -heleros, huellas glaciares y periglaciares- son indicadores climáticos y ambientales muy expresivos. Es relevante conocer en profundidad el alcance y tendencias de la pérdida de hielo en heleros de alta montaña y su correlación con las condiciones climáticas/meteorológicas, como la baja innivación y los veranos cálidos.

### **La distribución altitudinal de la flora y vegetación en las zonas de montaña**

El análisis de la flora y vegetación de los pisos de vegetación más altos (oro y crioromediterráneo, alpino, etc.) y su delimitación altitudinal puede aportar algunos datos importantes en términos de seguimiento del cambio climático, ya que son susceptibles de acusar cambios en periodos temporales no muy largos. La distribución altitudinal de los bosques es una variable que podría tener importancia en términos de seguimiento del cambio global a medio y largo plazo, aunque es un tipo de modificaciones que depende de factores como el pastoreo, el tipo de gestión forestal que se desarrolle en el territorio, etc. Uno de los proyectos desarrollados estudia la microbiota asociada a la rizosfera de algunas quercíneas, ya que –según sus autores- aunque un bosque puede sobrevivir durante decenas de años en una mala situación ambiental, sus microorganismos asociados pueden ser indicadores más sensibles de los cambios que están acaeciendo.

### **La presencia y distribución de insectos en las cabeceras de los ríos de montaña**

La presencia y distribución de tricópteros, plecópteros y efemerópteros en ríos de montaña puede ser un buen bioindicador en términos de seguimiento del cambio climático, como lo son también de la calidad ecológica de los ecosistemas fluviales. En uno de los estudios realizados se demuestra que periodos de entre 15 y 20 años son suficientes para permitir la colonización de toda una cuenca fluvial por parte de especies más euritermas procedentes de tramos inferiores y el desplazamiento aguas arriba de las especies más estenotermas, con la consiguiente reducción de su distribución geográfica y el aislamiento de sus poblaciones.

### **El estudio de los sedimentos y la situación de los lagos de montaña**

El estudio de sedimentos en las lagunas de alta montaña puede aportar información relevante sobre el pasado climático y ecológico de las zonas donde están ubicadas debido a sus especiales características: aguas frías, oligotróficas, con baja diversidad, pobre redundancia funcional y relativamente bajos niveles de perturbación humana, aunque es importante también tener en cuenta



el elevado número de variables en juego y la interrelación entre éstas. Es el caso de las entradas y depósito de polvo sahariano, que pueden afectar, por ejemplo, a la diversidad bacteriana de estos lagos y hablarnos, por tanto, del potencial de estos ecosistemas para seguir procesos ecológicos que sobrepasan sus fronteras y que tienen un carácter global.

### Los anfibios: un grupo al que prestar especial atención

Desde hace ya mucho tiempo se ha confirmado que los anfibios conforman un conjunto de especies especialmente sensible a los efectos del cambio climático, por lo que su estudio es relevante en términos de seguimiento global. En alguno de los proyectos aquí analizados se confirma la elevada sensibilidad de las poblaciones de anfibios de alta montaña y la amenaza de extinción a medio plazo en caso de un aumento de los fenómenos meteorológicos adversos ligados al cambio climático. También se detecta que el análisis de la influencia del cambio climático debe ser necesariamente complejo, porque puede haber variables que jueguen a favor de las poblaciones, como la posible ampliación de periodos reproductores debido a la menor congelación de charcas y otras en contra, como la desecación temprana de las charcas, por ejemplo. La combinación de temperatura y precipitación a lo largo del año y fenómenos como las nevadas tardías –o su ausencia– pueden ser también significativos.

### La distribución y situación de algunas especies de aves de montaña

Los resultados de algunos de los estudios demuestran la influencia de los parámetros climáticos sobre las aves que componen las comunidades de montaña. Así, la variación en temperatura y el régimen de precipitaciones inciden en las características de la comunidad de aves y en las poblaciones de determinadas especies. En algunas áreas, teniendo en cuenta que con el aumento de la altitud disminuye proporcionalmente el área disponible, y que los paisajes alpinos se hacen más rocosos y menos diversos, es previsible que muchas especies que componen las comunidades de baja cota no toleren estas condiciones y que no se desplacen en altura siguiendo el gradiente climático previsto para las próximas décadas.

### El estado del coralígeno y los eventos de mortalidad en áreas costeras

El calentamiento del mar es una de las principales manifestaciones del cambio climático sobre los ecosistemas marinos, caracterizado por el incremento de la temperatura media y, también, por el aumento de eventos extremos. En los últimos años se acrecienta la percepción de que el calentamiento global está afectando a los ecosistemas bentónicos marinos a través de epidemias, la presencia de especies invasoras y mortalidades masivas. En el verano de 2007 se observó un evento de mortalidad masiva en el coralígeno de *Paramuricea clavata* de la pared sur del islote de la Imperial en las Islas Baleares, que afectó de manera notable a esta población, demostrando que los bosques de *P. clavata* por debajo de los 35 metros no están a salvo de los efectos del cambio climático y que únicamente las colonias localizadas a mayor profundidad parecen estar a salvo de estos eventos de mortalidad, cada vez más frecuentes.

Los estudios que han evaluado el impacto de estas perturbaciones durante largos períodos de tiempo han mostrado la necesidad de seguimientos a largo plazo a la hora de entender su impacto real, ya que los efectos retardados del evento fueron más importantes que los observados inmediatamente después de tener lugar el mismo.

### La presencia y distribución de macrófitos en humedales

Un estudio realizado en el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel ha demostrado, mediante una simulación en terreno, que el incremento en el CO<sub>2</sub> atmosférico provoca un incremento acumulativo en la biomasa de los macrófitos (en concreto de carrizo) que habitan los humedales de las Tablas de Daimiel y, consecuentemente, incrementos en el C en suelo y otros cambios en el ecosistema. Así, la biomasa de macrófitos/helófitos (carrizos y enneas, por ejemplo) en humedales puede llegar a ser un indicador/descriptor de cambio climático, que prueba una correlación directa con la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, aunque habría que considerar otras variables que pueden tener influencia elevada, como las concentraciones de nitratos, los regímenes de circulación de agua, las características y variabilidad de la superficie inundada, etc.

### **La matorralización de pastos, un indicador de cambio no directamente relacionado con el cambio climático**

En diferentes estudios aparece la cuestión de la matorralización de pastos en áreas de montaña y su influencia en cambios en la biodiversidad y el paisaje. El fenómeno está relacionado con el abandono de la actividad ganadera extensiva y el pastoreo, que tiene a su vez que ver con dimensiones socioeconómicas y políticas, tanto de alcance local como global –despoblamiento y envejecimiento del medio rural, cambios en los estilos de vida, pérdida de valor de los productos debido a la competencia con la ganadería intensiva, políticas públicas que no apoyan al sector, conflictos con la gestión del territorio,...-. Así, no es un tema directamente relacionado con el cambio climático, pero sí un tipo de factor a tener en cuenta en muchos territorios y cuya influencia en términos de biodiversidad es relevante. Además, puede tener una relación con otros impactos y efectos que el cambio global puede estar ejerciendo sobre las áreas de montaña.



### **La productividad, estacionalidad y fenología de la vegetación, observada mediante teledetección**

El desarrollo de programas de seguimiento que permitan una rápida evaluación de las condiciones de las áreas protegidas frente a los efectos del cambio global representa un reto. El uso de la teledetección puede ser una herramienta útil, ya que a partir de índices relacionados con el intercambio de materia y energía entre la vegetación y la atmósfera se pueden derivar atributos que informan sobre la integridad de los ecosistemas a escala regional y a través de largas series temporales, ofreciendo una respuesta a más corto plazo que la estructura de la vegetación. En los últimos 25 años, la intercepción de radiación fotosintéticamente activa está aumentando, la estacionalidad está disminuyendo, y la fenología del máximo y del mínimo de radiación interceptada se están adelantando en el año.

### **Efectos del cambio global sobre la procesionaria del pino**

Otro de los estudios realizados se centra en los efectos que el clima, la calidad de la planta como alimento y los depredadores y patógenos ejercen sobre la dinámica poblacional de la procesionaria del pino, un análisis relevante dada la expansión -debida posiblemente al incremento de temperaturas- que la especie está experimentando. Al menos durante los últimos 15 años los mínimos poblacionales de la procesionaria han estado precedidos por años de mínimos en los valores invernales de NAO (Oscilación Atlántico Norte), una relación que es más fuerte en los pinos que viven a altitudes medias y altas, como los de las montañas de Sierra Nevada. Todo indica que, en un suelo más frío, las larvas no son capaces de mudar de larva a pupa, y en el suelo más abundante en mantillo del matorral y el bosque, éstas son atacadas por hongos y nematodos sin llegar a pupar, lo que en verano se ve reflejado en una escasísima salida de mariposas. Además, aunque se descarta una relación directa de la presencia de procesionaria con la temperatura, sí existe tal relación con la humedad del suelo.

## **Sobre la investigación en torno al cambio global en parques nacionales: algunas ideas a tener en cuenta**

A la vista de los resultados y conclusiones de los estudios de investigación analizados, se derivan algunas propuestas, ideas y recomendaciones que podría ser relevante considerar en el futuro, entre ellas, por ejemplo, el desarrollo de proyectos cuyos investigadores formen parte de redes estatales, europeas o internacionales. Así, los resultados podrán ser compartidos, sumados, contrastados o comparados con otros semejantes y, en definitiva, puestos en valor a una escala mayor y más significativa que la estrictamente local.

Parece importante también realizar estudios cuyas metodologías tengan en cuenta el análisis de datos procedentes de estudios similares realizados en el pasado, con el objetivo de poder ir disponiendo de estudios comparativos que permitan avanzar algunas conclusiones sobre los efectos ya perceptibles del cambio climático. Y procurar que los estudios incluyan, entre sus conclusiones y resultados, la identificación clara de descriptores o indicadores de cambio global y el establecimiento de protocolos o procedimientos adecuados para su seguimiento en el futuro, más allá de la duración del proyecto.

Un aspecto clave es seguir mejorando la comunicación entre investigadores/as y gestores/as y procurar que los estudios incluyan recomendaciones de gestión que puedan ser útiles para minimizar o reducir los impactos esperados y no deseados del cambio global sobre la biodiversidad, el paisaje o el territorio. En este sentido, es necesario reforzar también la comunicación a la sociedad de los resultados y conclusiones que se van alcanzando, de forma que los diferentes actores y agentes sociales puedan ir incorporando a sus decisiones de planificación y gestión las variables más relevantes y significativas en términos de mitigación y adaptación.

En este mismo sentido, es importante avanzar en aspectos relacionados con la mejora de la gobernanza, la colaboración ciudadana y/o el desarrollo de acciones en las que la participación de la población tenga un papel relevante en la obtención de datos, la reflexión colectiva sobre el futuro del territorio, el paisaje y/o la biodiversidad, la propuesta y/o puesta en marcha de estrategias o medidas de adaptación, etc. El cambio global es un problema de todos y abordarlo adecuadamente también es una cuestión colectiva. Es por ello que es importante abrir cuantos canales sea posible para que la población esté informada y sea consciente del problema y sus efectos –tanto ambientales como socioeconómicos–, pueda reflexionar sobre ello y participe activamente de las posibles soluciones.

Una línea sobre la que seguir trabajando es la generación de espacios de diálogo y/o colaboración que analicen y tengan en cuenta la contribución de las actividades económicas que se desarrollan en el territorio como potenciales factores relevantes en términos de adaptación al cambio climático, con especial atención a las actividades agroganaderas y forestales sostenibles (agricultura ecológica, ganadería extensiva y ecológica, pastoreo y silvopastoralismo, aprovechamientos forestales sostenibles,...). En efecto, las cuestiones de conservación y gestión relacionadas con el cambio global tienen una relación muy directa con los usos del territorio y las actividades económicas que en él se desarrollan, en particular con los usos agroganaderos y forestales. Es por ello que sería interesante abrir espacios de investigación, reflexión, comunicación o intercambio sobre estas interrelaciones y la forma en que pueden establecerse medidas o líneas de trabajo orientadas a establecer sinergias y estrategias de apoyo mutuo en materia de investigación, reflexión, conservación, gestión y/o acción en el terreno.





## SUMMARY

This document is the result of an analysis carried out by the Global Change Monitoring Network (GCMN) at the Spanish National Parks Network, which served as a framework to develop a series of research projects since 2008. The goal is, in the medium term, to allow the identification of impacts attributable to climate change, as well as to establish a set of indicators useful to monitor the global change in these observatories of nature and biodiversity.

This study is part of the activities developed in the Third Work Program (3PT) of the National Plan for Adaptation to Climate Change (PNACC), which includes the reinforcement of the GCMN in Spanish National Parks. The research projects analyzed here were co-financed by the Biodiversity Foundation (FB) and the Spanish National Parks Authority (OAPN), both belonging to the Spanish Ministry of Agriculture and Fisheries, Food and Environment. These two organizations constitute the GCMN together with the Spanish Office for Climate Change (OECC), the Spanish Meteorological Agency (AEMET) and the external support of Ferrovial Agroman Corporation. This is thus an effort between different administrations, set up to coordinate approaches and acquire a technical vision of the problem as comprehensive and multidisciplinary as possible.

This report tries to synthesize the achievements accomplished through the GCMN regarding global change in Spanish National Parks, driving the attention to the components of the environment, taxa, processes or interactions which have focused the studies. The main conclusions reached are reviewed here, as well as the working areas in which the greatest efforts have been invested.

Global change here refers to the series of environmental processes and alterations caused by human activity, in particular those that, although exerted locally, have effects that transcend the local or regional scale and affect the overall functioning of systems. In this context -and although all variables that play a role in global change are intimately related and connected- special care is taken to monitor the range of environmental, social and economic alterations -from local to global level- that occur as a result of climate change.

The GCMN focuses its action in National Parks, since they are protected under strict regulations and are biodiversity reservoirs where human impact is under assessment and control. Seven Parks out of

the total of fifteen of the National Network are included so far in the GMCN research program:

- National Park of Picos de Europa, a good representative of ecosystems linked to the Atlantic forest.
- National Park of Sierra Nevada, which harbors valuable natural systems of the high Mediterranean mountain.
- Maritime and Terrestrial National Park of the Cabrera Archipelago, representative of rather pristine Mediterranean marine ecosystems.
- Teide National Park, a paramount example of Canary Islands high mountain ecosystems.
- Cabañeros National Park, a unique setting of typical Mediterranean habitats, like Mediterranean forests and thickets.
- National Park of Ordesa and Monte Perdido, a magnificent example of habitats in the range of the alpine forests and pastures.
- Maritime and Terrestrial National Park of the Atlantic Islands of Galicia, a fine example of the natural systems linked to coastal areas of the Eurosiberian Region.



The studies that form part of this document are those 42 for which the final report was available in 2015, of which 23 have been financed by the OAPN and 19 by the FB in different calls made up to 2013. The topics selected, study areas, type of research adopted and geographical localization of the projects show an extremely great diversity.

A set of more stringent global change descriptors or indicators of in which to focus monitoring and research may be identified in the future, but currently some keynotes can be considered. There are, no doubt, many more indicators that could offer us clues to global change traits, but here we offer a promising approach:

### **Evolution and trends of the cryosphere in mountain ranges**

Mountain slopes and the elements of the cryosphere (ice and snow) are very active geomorphological agents, showing a dynamic which is highly sensitive to natural or man-induced changes. Thus, the processes occurring in slopes, periglacial settings and snow masses as well as in ancient glaciers are extremely informative environmental indicators. It is relevant to know in depth the extent and trends of ice loss in high mountains and their correlation with current climatic conditions, such as a steady increase in the frequency of warm summers or low innivation winters.

### **The altitudinal distribution of flora and vegetation in mountain areas**

The analysis of the flora and vegetation altitude displacements in the higher layers (oro- and criomediterranean, alpine, etc.) and its limits can provide some important data in terms of climate

change monitoring, since they are susceptible to show changes rather fast. The altitudinal distribution of forests is a variable that could be important for medium and long-term global change monitoring, although variables such as grazing and forest management play also important roles that have to be taken into account. Microbiota present in the rhizosphere of *Quercus* forests may also be a significant indicator, since a forest can survive for decades in a harsh environment but its associated microflora can be more sensitive to the changes that are occurring.

### **The presence and distribution of insects in the headwaters of mountain rivers**

The presence and distribution of Tricoptera, Plecoptera and Ephemeroptera in mountain rivers has proven to be a good bioindicator for monitoring climate change as well as in the evaluation of the ecological quality of river ecosystems. One of the studies carried out shows that periods between 15 and 20 years are sufficient to allow the colonization of an entire river basin by eurithermal species coming from lower altitudes and the upstream displacement of stenothermal species, with the consequent reduction of their geographical distribution and the isolation of their populations.



### **The analysis of sediments and the status of mountain lakes**

The study of sediments in high mountain lagoons can provide relevant information about the climatic and ecological past of the areas where they are located due to their special traits: cold and oligotrophic waters, low diversity, poor functional redundancy and relatively low levels of disturbance. It is important, though, to take into account the high number of variables playing an important role and the interrelations among them. There is a particular situation regarding the transport by south winds and subsequent deposit of Saharan dust, which can affect the bacterial diversity of these lakes. This shows the capability of these particular ecosystems to follow ecological processes that exceed their borders, expressing a global scale.

### **Amphibians: a group worth following**

It has been widely confirmed in the past decades that amphibians are particularly vulnerable to climate change. In some of the research projects depicted here, the high sensitivity of mountain amphibian populations and the threat of extinction in the medium term -if adverse climatic events increase in the future as expected- are confirmed. Researchers have also proved that the analysis of the effect of climate change has to be complex necessarily, since there are phenological variables that may favor amphibian populations as well -such as a broader breeding season due to the long-lasting thawing of the spawning ponds-, while at the same time other act against them -such as early desiccation of ponds, for instance-.

### The distribution and status of some species of mountain birds

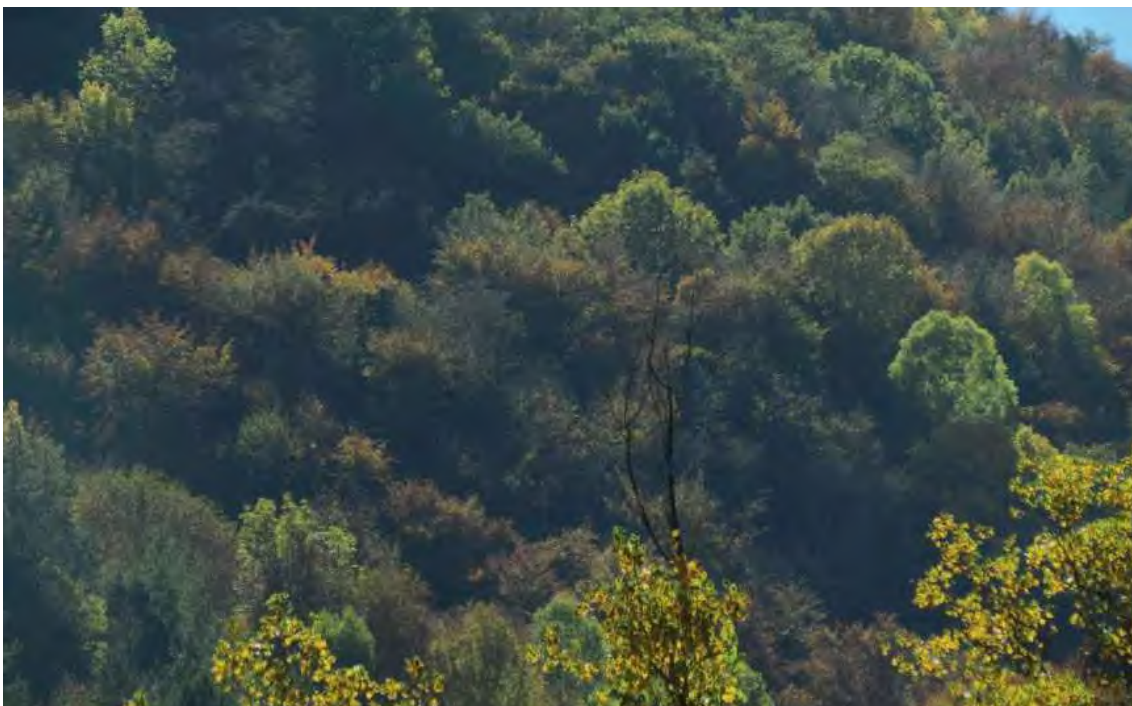
The results of some of the analyses carried out have shown the influence of climatic parameters on bird species that inhabit mountain ecosystems. Variations in temperature and precipitation regimes affect the composition of bird communities and the populations of certain species. In some areas, potential displacements in altitude due to climate change decrease suitable habitat for many populations, since alpine landscapes become more rocky and less diverse. Therefore, it is expected that some species will not tolerate these new environmental conditions and will not move upwards, which may cause population reductions or local extinctions in the next decades.

### Coral status and mortality events in coastal areas

Warming of the sea is one of the main manifestations of climate change on marine ecosystems, which also brings extreme events. In recent years there has been a growing perception that global warming is affecting marine benthic ecosystems increasing epidemic events and the presence of invasive species and leading to massive mortalities. During the summer of 2007, a mass mortality event of the branch coral *Paramuricea clavata* affected the main population of the Cabrera National Park, in the south of the Imperial islet in the Balearic Islands, which significantly affected its population. This catastrophic event proved that the coralligenous community of *P. clavata* under 35 meters are not safe from the effects of climate change and that only colonies located at greater depths seem to be safe from these increasingly frequent mortality events. Research made until now has shown the need to adopt a long-term monitoring scheme since the delayed effects of the mortality events are more important than those observed immediately after they took place.

### The presence and distribution of macrophytes in wetlands

A research study in the Tablas de Daimiel National Park has demonstrated -through a simulation in the field- that an increase in atmospheric CO<sub>2</sub> causes a cumulative increase in the biomass of macrophytes/heliophytes that inhabit wetlands (specifically in *Phragmites spp.*) and, consequently, increases in C in soil and other changes in the ecosystem. Thus, the biomass of macrophytes/heliophytes (i.e. reeds and cattails) in wetlands appears to be a relevant indicator of climate change, proving a direct correlation with the concentration of atmospheric CO<sub>2</sub>. Nevertheless, other variables -such as nitrate concentrations, water circulation regime, traits and variability of the flooded area, etc.- must be carefully considered and also have an important influence in macrophytes biomass and extension.



### **Shrub encroachment, an indicator of change not directly related to climate change**

In different studies the issue of shrub encroachment in mountain areas and its influence in biodiversity and landscape appears as a relevant factor to be considered. The phenomenon is related to the abandonment of extensive livestock activity and grazing as a result of socioeconomic and political changes, both local and global in scope -depopulation and aging in the rural environment, changes in lifestyle, competition with intensive livestock, public policies harming the sector, conflicts in land management, etc. Thus, it is an issue related to global change, and a key fact to be considered in many regions whose influence in terms of biodiversity is paramount. In addition, it may have a bearing on other impacts and effects that global change may be exerting on mountain areas.

### **The productivity, seasonality and phenology of vegetation, observed through remote sensing**

The development of monitoring programs that allow a rapid assessment of the impacts of global change on the conditions of protected areas is a relevant challenge. The use of remote sensing can be a useful tool as the use of indexes related to the exchange of energy between vegetation and the atmosphere can provide information on the integrity of the ecosystems at a regional scale and through long temporal series, offering also better data for shorter periods of time than the structure of the vegetation itself. The research conducted has shown, for instance, that in the last 25 years the interception of photosynthetically active radiation is increasing, the seasonality is decreasing and the maximum and the minimum of intercepted radiation are now appearing earlier in the year.

### **Effects of global change on pine processionary**

Another of the studies focused on the effects that climate, the quality of the plant as food and the predators and pathogens exert on the population dynamics of the pine processionary (*Thaumetopoea pityocampa*) in combination with the increase in range -possibly related with the rise in temperatures- that the species is experiencing. At least during the last 15 years, the processionary population minimums have been preceded by low winter values of NAO (North Atlantic Oscillation), a relation that is stronger in the pines that live at medium and high altitudes, as is the case in the mountains of Sierra Nevada. In cold soils, larvae are not able to pupate, and in soils in the shrubland and forests they suffer attacks by fungi and nematodes that prevent pupation, which causes a very scarce emergence of butterflies in summer. In addition, although a direct relation between the abundance of processionary and the temperature rise is discarded, there is such a correlation with the humidity of the soil.

---

### **Research on global change in National Parks: some ideas to take into account**

---

On the basis of the results and conclusions of the research studies analyzed, some proposals, ideas and recommendations could be relevant to consider in the future. Among them, for example, it would be advisable to develop projects whose researchers are engaged in international networks, so that the results can be shared or compared with others and, thus, be considered on a larger and more significant scale than the strictly local or national ones.

It is also important to carry out studies whose methodologies take into account the analysis of older data, whose comparison with current values can offer clues about the already perceptible effects of climate change. Research studies should be encouraged to provide clearly identified and contrasted descriptors and/or indicators of global change, and the establishment of adequate protocols or procedures for future monitoring, beyond the duration of the project.

A key issue is to improve communication between researchers and managers and to ensure that studies include management recommendations that may be useful in minimizing or reducing expected and undesirable impacts of global change on biodiversity, landscape or territory. In this sense, it is also necessary to strengthen the communication of the results that are being achieved to the society, so that the different stakeholders can integrate into their planning and management decisions the most relevant and significant conclusions in terms of mitigation and adaptation.

In this sense, it is important to move forward in topics, related to the improvement of governance, citizen collaboration and the development of actions in which the participation of the population has a relevant role in obtaining data, collective discussion on the future of the territory, landscape and biodiversity, the proposal or implementation of strategies or adaptation measures, etc. Global change is everyone's problem and addressing it properly is also a collective challenge. This is why it is important to open up as many channels of communication as possible so that society is properly informed and aware of the problem and its environmental and socioeconomic effects.

One issue deserving additional efforts is the generation of dialogue and collaboration instruments, which may let us analyze and take into account the contribution of economic activities as key elements in terms of adaptation to climate change, with special attention to sustainable agricultural and forestry activities (organic farming, extensive grazing, silvopastoralism, sustainable forestry, etc.). In fact, conservation and management issues related to global change have a very direct relationship with land use and economic activities. It is relevant to create new lines of research, a common forum of discussion between stakeholders and prioritize measures aimed at developing strategies of mutual support between researchers, authorities and other stakeholders.



# 1

## ¿QUÉ ES ESTE DOCUMENTO?

Este documento es el resultado de un análisis realizado en el contexto de la [Red de Seguimiento del Cambio Global en los Parques Nacionales Españoles \(RSCG\)](#), en cuyo marco se han venido desarrollando, desde 2008, una serie de proyectos de investigación que estudian las señales del cambio climático en los parques nacionales, con el objeto de, en el medio plazo, permitir la identificación de impactos atribuibles al cambio climático así como establecer una batería de indicadores que ayuden al seguimiento del cambio global en estos observatorios privilegiados de la naturaleza y la biodiversidad.

Este estudio se engloba dentro de las actividades a desarrollar en el [Tercer Programa de Trabajo \(3PT\)](#) del [Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático \(PNACC\)](#) que recoge, dentro del apartado dedicado a la biodiversidad, la consolidación y ampliación de la Red de Seguimiento del Cambio Global en Parques Nacionales (RSCG). A su vez, el 3PT mantiene como pilar básico la potenciación de la I+D+i y la definición de un conjunto de indicadores -estructurados sectorialmente- que recojan las señales, evidencias y/o cambios observados con una atribución asociada al cambio climático. El impacto último de este trabajo sería la incorporación de protocolos de seguimiento y gestión adaptativa al cambio climático en la RSCG.

Para elaborar este documento se han analizado los proyectos de investigación cofinanciados en el contexto de la Red por la [Fundación Biodiversidad \(FB\)](#) y el [Organismo Autónomo Parques Nacionales \(OAPN\)](#). Ambos, junto con la [Oficina Española de Cambio Climático \(OECC\)](#), entidad encargada de la coordinación de este estudio, la [Agencia Estatal de Meteorología \(AEMET\)](#) y el apoyo externo de [Ferrovial Agroman](#)-, conforman la RSCG, en un esfuerzo de cooperación interadministrativa planificado con el objeto de coordinar esfuerzos y enfoques y desarrollar una visión técnica del problema lo más integrada posible.

Este informe trata de sintetizar qué y dónde se ha investigado en cambio global en los parques nacionales españoles, tratando de definir en qué componentes del medio, taxones, procesos o interacciones se han venido centrando los esfuerzos de investigación en estos años de desarrollo

de la Red. Para ello se realiza un compendio de los estudios realizados, se revisan las principales conclusiones alcanzadas en las diferentes áreas de observación, se identifican los ámbitos territoriales y de trabajo en los que se ha realizado un mayor esfuerzo y se sintetiza la información más relevante procedente de dichos estudios.

---

### ¿Qué es el cambio global?

---

El cambio global es un término que se utiliza para describir el conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana, incluyendo aquellos impactos que, aunque ejercidos localmente, tienen efectos que trascienden el ámbito local o regional y afectan al funcionamiento global del sistema tierra.



*«El cambio global se refiere a los cambios a escala planetaria en el sistema Tierra. De forma más detallada, el término ‘cambio global’ comprende los cambios a escala planetaria en la circulación atmosférica, la circulación del océano, el clima, el ciclo del carbono, el ciclo del nitrógeno, el ciclo del agua y otros ciclos, los cambios en el hielo marino, los cambios del nivel del mar, las redes alimentarias, la diversidad biológica, la contaminación, la salud, las poblaciones de peces y otros. La civilización es ahora un gran impulsor del cambio global, por lo que el término incluye la población, la economía, el uso de recursos, la energía, el desarrollo, el transporte, la comunicación, el uso del suelo y la cubierta vegetal, la urbanización y la globalización».*

#### Global Change International Geosphere-Biosphere Programme

En el contexto que nos ocupa –y aunque todas las variables que juegan un papel en el cambio global están estrechamente interrelacionadas e interconectadas- nos referimos muy especialmente al conjunto de cambios ambientales, sociales y económicos –a nivel local, regional y global- que ocurren como consecuencia del cambio climático.

Y, en este caso particular nos vamos a centrar en el conjunto de datos, descriptores e indicadores que, en los parques nacionales españoles, aportan información válida sobre cómo el cambio global está afectando –y puede afectar en el futuro- a la biodiversidad y a las diversas formas en que los humanos interactuamos con el medio que nos rodea.



## ¿Por qué la Red se centra en los parques nacionales?

La RSCG centra su ámbito de intervención en los parques nacionales porque éstos están amparados bajo una legislación ambiental proteccionista y poseen algunas características que hacen estas áreas especiales:

- Son notorios representantes de los sistemas naturales que albergan.
- Son áreas donde el impacto antrópico es objeto de control y seguimiento, en algunos casos exhaustivo.
- Constituyen importantes reservorios de biodiversidad.
- Son ejemplos de políticas de conservación y de recursos de educación ambiental.
- Son ámbitos dotados de técnicos, científicos y guardería específicos para las tareas de seguimiento y conservación.

Además, los parques nacionales son espacios sobre los que existe una mayor abundancia de datos, producto de estudios e investigaciones sobre los diversos componentes del medio natural existentes.

## El seguimiento del cambio global en la Red de Parques Nacionales (RSCG)

El objetivo principal de esta iniciativa, puesta en marcha en 2008, es generar conocimiento sobre los efectos del cambio global –fundamentalmente del cambio climático- a través de una serie de infraestructuras para la toma, el almacenamiento y el procesamiento de datos meteorológicos *in situ*. En paralelo, se habilitan los mecanismos necesarios de intercambio con la comunidad científica –y el apoyo a la investigación en este ámbito-, con el objeto de hacer posible el desarrollo de un sistema de evaluación y seguimiento de los impactos que se pueden generar en los parques nacionales españoles como consecuencia del cambio global.



El programa se lleva a cabo mediante un convenio de colaboración entre el Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN), la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la Fundación Biodiversidad (FB), en el que participa también Ferrovial-Agromán como entidad colaboradora.

Entre los objetivos del programa destacan los siguientes:

- Crear y mantener bases de datos accesibles para la incorporación de los datos obtenidos.
- Promover la I+D+i en el campo de la evaluación del cambio global, canalizando un flujo de ayudas específicas para el desarrollo de proyectos en este ámbito.
- La difusión y puesta a disposición del público en general –y de los investigadores en particular-, de los datos y la información obtenida.
- El establecimiento de un espacio de encuentro y un foro de discusión para los profesionales que trabajan en la evaluación y seguimiento de los efectos de cambio global.

La consolidación y desarrollo de la RSCG forma parte de las acciones contempladas en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) y sus sucesivos Programas de Trabajo. En particular, en el **Segundo Programa** y **Tercer Programa de Trabajo**, se contempla el objetivo de consolidar y ampliar la Red de Seguimiento del Cambio Global en los parques nacionales españoles.

## ¿Cuál es el papel de las entidades en el Convenio?

### Organismo Autónomo Parques Nacionales

- Realiza la coordinación de las actuaciones vinculadas a la RSCG del convenio.
- Realiza la gestión de la recepción de los datos meteorológicos, la coordinación para su validación por AEMET y la incorporación a bases de datos.
- Implica a los gestores de los parques nacionales apoyando el mantenimiento preventivo y la vigilancia de la red de estaciones meteorológicas.
- Apoya y financia investigación relativa al cambio global en parques nacionales en el marco de la convocatoria anual de subvenciones del Programa de Investigación de la Red de Parques Nacionales.
- Incorpora a las bases de datos del sistema de información de la Red de Parques Nacionales los datos derivados de proyectos de investigación asociados a la RSCG.
- Integrar la RSCG en el **Plan de Seguimiento y Evaluación de la Red de Parques Nacionales**.
- Colabora en su difusión y divulgación.
- Estudia la posibilidad de incorporar nuevos parques a la RSCG.

### Oficina Española de Cambio Climático

- Apoya la ejecución y desarrollo del proyecto, asesorando para la homologación y difusión internacional del Proyecto.
- Promueve proyectos de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático que hagan uso de los datos generados por las estaciones meteorológicas.
- Elabora periódicamente el boletín informativo de la RSCG.

### Agencia Estatal de Meteorología

- Realiza la validación de los datos generados por las estaciones meteorológicas, enviándolos una vez validados al sistema de base de datos del programa.
- Incorpora los datos generados por la RSCG a su Banco de Datos Climatológicos.
- Pone a disposición de todas las entidades que forman parte del convenio y a los gestores de los parques nacionales la información climatológica elaborada a partir de los datos monitorizados por la Red, así como de otras estaciones de la AEMET.



- Colabora en la formación dirigida al personal de los parques para la realización del mantenimiento preventivo de las estaciones meteorológicas terrestres.
- Calibra periódicamente los diferentes sensores de las estaciones meteorológicas terrestres.

### **Fundación Biodiversidad**

- Gestiona el mantenimiento de las estaciones meteorológicas terrestres.
- Organiza actos y presentaciones de acuerdo al plan de comunicación del programa.
- Apoya y financia investigación relativa al cambio climático y global en parques nacionales, principalmente a partir de los datos facilitados por las estaciones meteorológicas de la RSCG.

### **Ferrovial Agromán**

- Financia y apoya el Convenio en aspectos como la ejecución y desarrollo del proyecto o la difusión y la divulgación de los resultados.

---

## **¿Qué parques nacionales forman parte del Programa?**

---

Del conjunto de los quince parques que conforman la Red de Parques Nacionales, un total de siete se han ido incorporando progresivamente al programa de seguimiento del cambio global (RSCG) y a la implantación de los puntos de monitorización de datos, sin perjuicio de que en el futuro se sumen otros parques:

- **Parque Nacional de los Picos de Europa**, un buen representante de los ecosistemas ligados al bosque atlántico.
- **Parque Nacional de Sierra Nevada**, que alberga valiosos sistemas naturales de media y alta montaña mediterránea.
- **Parque Nacional Marítimo Terrestre del Archipiélago de Cabrera**, como representante de ecosistemas insulares no alterados mediterráneos.
- **Parque Nacional del Teide**, paradigma de los ecosistemas canarios de alta montaña.
- **Parque Nacional de Cabañeros**, un escenario singular de los bosques y matorrales típicos mediterráneos.
- **Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido**, como representante de bosque, matas y pastos de los ecosistemas alpinos.
- **Parque Nacional Marítimo Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia**, un magnífico ejemplo de los sistemas naturales ligados a zonas costeras y plataforma continental de la Región Euro-siberiana.

En el siguiente capítulo nos detenemos con algo más de detalle en cada uno de estos espacios.

---

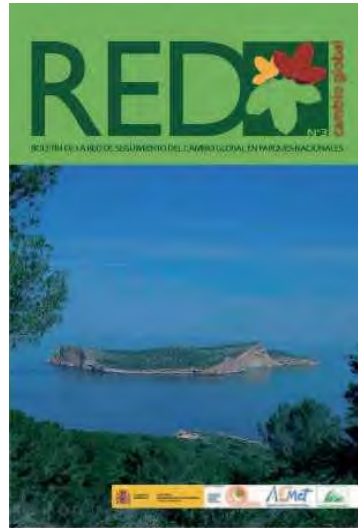
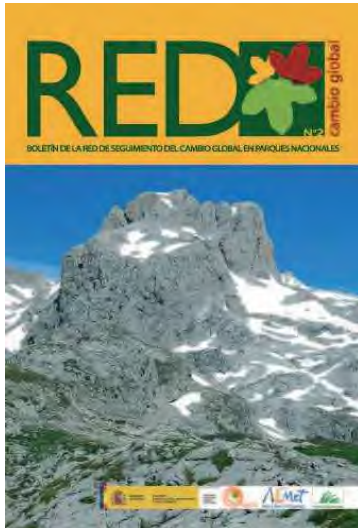
## **La difusión y divulgación de la RSCG**

---

Uno de los objetivos de la RSCG es la difusión y divulgación de sus propias actividades, como medio para trasladar a las entidades y personas interesadas -y al público en general- algunos de los elementos clave que conforman el nacimiento del programa y su razón de ser.

Así, en esta [dirección web](#) se pueden consultar y descargar los informes meteorológicos mensuales y el resumen anual correspondiente a los parques nacionales integrados en la Red, procedentes de la infraestructura de toma, almacenamiento y procesamiento de datos *in situ*.

A medida que avanzaba el proyecto, se han ido elaborando algunos materiales que suponen instrumentos útiles para conocer mejor el trabajo que se está realizando. En particular [los boletines de la Red de Seguimiento del Cambio Global en Parques Nacionales](#), de los cuales se han lanzado hasta el momento 6 números.



Además, el programa dispone de una serie de paneles divulgativos (disponibles también en inglés):

- **Los parques nacionales, laboratorios para el Cambio Global** \_ El ingenio humano ha conseguido hacernos la vida más cómoda pero, al mismo tiempo, el desarrollo socioeconómico está provocando cambios a gran escala en el medio ambiente mundial.
- **La Red de Seguimiento del Cambio Global en Parques Nacionales** \_ La red de seguimiento trabaja *in situ* recopilando datos climáticos y biológicos como temperatura, humedad, precipitaciones, radiación solar, calidad del agua, especies de flora y fauna.
- **Qué está pasando en los parques nacionales I** \_ La gorgonia roja es una de las especies más singulares de nuestro litoral. Las comunidades animales y vegetales que viven alrededor de las gorgonias son de las más diversas del Mediterráneo.
- **Qué está pasando en los parques nacionales II** \_ La procesionaria del pino es bien conocida por los excursionistas y, también, por los trabajadores forestales, que ven cómo esta plaga afecta periódicamente a los pinares.



Cuenta también con dos infografías específicas:

- **Cambio global en la Red** \_ Representación del trabajo de toma de datos, análisis de los cambios climáticos y oceanográficos observados e impactos previsibles en el medio natural.
- **Cambio global y sectores económicos** \_ Representación de los cambios globales detectados en los ecosistemas y cómo afecta a los sectores pesquero, forestal, turístico, agrícola, ganadero e industrial.

Por último, el programa ofrece a los potenciales interesados la posibilidad de consultar y descargarse un folleto divulgativo y de visionar dos videos on line:

- [Seguimiento del cambio global en la Red de Parques Nacionales](#)
- [Investigación del cambio global en la Red de Parques Nacionales](#)

# SEGUIMIENTO DEL CAMBIO GLOBAL EN LA RED DE PARQUES NACIONALES

LA RED CUENTA CON UNA INFRAESTRUCTURA DE TOMA, ALMACENAJE Y PROCESAMIENTO DE DATOS "IN SITU" QUE PERMITE LA EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS IMPACTOS QUE SE PUEDEN GENERAR EN LOS PARQUES NACIONALES ESPAÑOLES COMO CONSECUENCIA DEL CAMBIO GLOBAL.

### CAMBIOS OBSERVADOS

- Incremento de las temperaturas máximas y mínimas
- Descenso de precipitaciones
- Descenso de días con heladas
- Aumento de la temperatura del mar
- Aumento del nivel del mar
- Acidificación del agua marina
- Disminución de los volúmenes de nieve y hielo

### IMPACTOS SOBRE LA FAUNA

- Disminución de hábitats favorables
- Fragmentación de poblaciones
- Cambios en abundancia y distribución de especies
- Aislamiento de poblaciones
- Cambios en distribuciones latitudinales
- Modificación de comportamientos migratorios

### TRABAJAMOS EN LA RED DE PARQUES NACIONALES

#### POR QUÉ

- Son laboratorios naturales
- Son espacios controlados y regulados
- Conocemos su funcionamiento y sus características

#### CÓMO

- 21 Estaciones meteorológicas
- 1 Boya océano-meteorológica
- Grupos de investigación y seguimiento

#### DÓNDE

- Picos de Europa
- Sierra Nevada
- Archipiélago de Cabrera
- Teide
- Cabañeros
- Ordesa y Monte Perdido

#### PARA QUÉ

- Aumentar el conocimiento
- Hacer una gestión adaptativa
- Conservar la biodiversidad

### INDICADORES DEL CAMBIO GLOBAL


Algunas especies de anfibios y invertebrados son adecuadas para el estudio de los efectos del cambio global sobre la biodiversidad, gracias a sus respuestas a los cambios en los ecosistemas donde viven

### IMPACTOS SOBRE LA FLORA









- Cambios en la distribución espacial de las especies
- Disminución de ritmo de crecimiento de especies arbóreas
- Cambios en abundancia de especies
- Aumento de plagas
- Cambios en la fenología: floración y fructificación

### IMPACTOS SOBRE EL MAR


- Cambios en patrones de migración de especies
- Incremento de medusas y afloramiento de algas
- Cambios en abundancia y distribución de especies
- Mortalidad de arrecifes



[www.magrama.gob.es/pla/RedParquesNacionales/seguiendo.htm](http://www.magrama.gob.es/pla/RedParquesNacionales/seguiendo.htm)

Con la colaboración de





## 2

## LOS PARQUES NACIONALES INCLUIDOS EN LA RSCG Y OBJETO DE ESTUDIO

### **Parque Nacional de los Picos de Europa**

- **Declaración:** Ley de 24 de julio de 1918, por la que se declara el Parque Nacional de la Montaña de Covadonga
- **Reclasificación:** Ley 16/95 de 30 de mayo
- **Ampliación:** Resolución 4 de febrero de 2015
- **Instrumentos:** PORN (Real Decreto 640/94 de 8 de abril)
- **Superficie total:** 67.127,59 ha.
- **Área de influencia socioeconómica:** 133.683,56 ha.
- **Comunidades Autónomas:** Cantabria, Castilla y León y Principado de Asturias.
- **Provincias:** Asturias, León y Cantabria.
- **Coordenadas localización** (latitud, longitud):
  - 43° 18' 58" N, 5° 07' 15" O
  - 43° 04' 28" N, 4° 37' 03" O

El **Parque Nacional de los Picos de Europa** se encuentra en el norte de la Península Ibérica, entre Asturias, Cantabria y Castilla y León y formando parte de la Cordillera Cantábrica. Las calizas de más de 300 millones de años han originado un fuerte relieve donde las **altas cumbres alternan con profundas gargantas y cañones**.

En el Parque existen 200 cotas de más de 2.000 metros de altitud y desniveles superiores a los 2.300 m, incluyendo Torrecerredo (2.646 m), la cumbre más alta de Picos, y otras como el Naranjo de Bulnes (Picu Urriello) de 2.519 m o el Pico Tesorero de 2.570 m, todas ellas en el Macizo Central. El Macizo Occidental es el más extenso, y en él se suceden altas cumbres como la Peña Santa de Castilla (2.596 m) y Peña Santa de Enol (2.486 m), prados de siega, bosques de ladera, hayedos y

robledales, brezales, arandaneras y turberas y formaciones como los lagos alpinos de Enol y la Ercina. El Macizo Oriental, de menor extensión y altitud, conjuga la dureza de la peña rocosa y los pastizales de montaña. Los fenómenos cársticos y los procesos de gelifracción conforman la actual estructura de los Picos de Europa, en el que se encuentran el 10% de las simas del mundo con una profundidad de más de 1.000 m.

En el Parque predomina un **clima de montaña** con grandes oscilaciones térmicas influidas por los vientos dominantes. En los valles de las vertientes occidental y meridional, las precipitaciones superan los 1.500 mm anuales.

En los Picos de Europa aún es posible encontrar magníficos ejemplos de **bosque atlántico**, propio de la España Eurosiberiana. Aunque estos bosques han sido intensamente aprovechados por el hombre, aún se conservan en muy buen estado en muchas zonas del Parque. Robles y avellanos se entremezclan con arces, tilos, fresnos, castaños y nogales.

A pesar del predominio del clima atlántico en la práctica totalidad del Parque Nacional, en la zona de la Liébana (al SE de los Picos de Europa) y en los cañones y desfiladeros de los ríos Sella, Cares y Deva, se dan condiciones de clima mediterráneo. Ello permite, especialmente en las paredes rocosas de los desfiladeros, el desarrollo de densos bosquetes de encinas, laurel, madroño y otras plantas propias de ambientes más secos. Son masas relictas que, en épocas de clima más seco, ocuparon posiblemente la mayor parte del fondo de los valles.

El bosque más característico de todo el Parque Nacional de los Picos de Europa es el **hayedo**. Las grandes masas forestales de hayas (*Fagus sylvatica*) cubren las laderas de las montañas. La existencia de estos bosques está ligada a unas precipitaciones elevadas y repartidas a lo largo del año y numerosos días de niebla (encainada). Forman masas muy densas, donde la luz penetra débilmente, por lo que las únicas especies que aparecen son amantes de sombra. Avellanos (*Corylus avellana*), serbal de cazadores (*Sorbus aucuparia*), laureola (*Daphne laureola*), lúzula del bosque (*Luzula sylvatica*), anémona del bosque (*Anemone nemorosa*), hepática (*Hepatica nobilis*), pírola (*Pyrola minor*), y jacinto estrellado (*Scilla lilio-hyacinthus*) conforman el sotobosque.

El ave emblemática de los Picos de Europa es el **urogallo** (*Tetrao urogallus*) aunque su figura es cada vez más difícil de observar. Entre los mamíferos, los huidizos corzos son comunes en estos bosques, así como el gato montés (*Felis silvestris*), que prefiere zonas boscosas más amplias. También habitan aquí especies como el corzo (*Capreolus capreolus*), el jabalí (*Sus scrofa*), el tejón (*Meles meles*), la marta (*Martes martes*), el armiño (*Mustela erminea*) o la comadreja (*Mustela nivalis*). Pueden avistarse ejemplares de **oso** (*Ursus arctos*) de forma ocasional, individuos procedentes del núcleo oriental de la Cordillera Cantábrica, que buscan refugio y sustento en estos hayedos.



## Parque Nacional de Sierra Nevada

- **Declaración:** Ley 3/1999, de 11 de enero.
- **Instrumentos:** Plan Rector de Uso y Gestión - PRUG del Parque Natural (Decreto 238/2011, de 12 de julio)
- **Superficie total:** 85.883 ha.
- **Zona periférica de protección:** 86.355 ha.
- **Área de influencia socioeconómica:** 266.690,91 ha.
- **Comunidad Autónoma:** Andalucía.
- **Provincias:** Granada y Almería.
- **Coordenadas localización:**
  - 37° 12' 40" N, 3° 32' 51" O
  - 36° 56' 26" N, 2° 39' 50" O



Desde el 1 de julio de 2006, la gestión ordinaria del Parque Nacional de Sierra Nevada corresponde a la Comunidad Autónoma de Andalucía.

El **Parque Nacional de Sierra Nevada**, con 86.208 ha de extensión, constituye una unidad geográfica claramente diferenciada, situada al sureste de la ciudad de Granada, comprendiendo también el extremo occidental de la provincia de Almería. Representa los **sistemas naturales ligados a la media y alta montaña mediterránea**. Siemprevivas, dedaleras, la tiraña, la manzanilla de la sierra, la violeta de Sierra Nevada, la estrella de las nieves, las amapolas de Sierra Nevada o los acónitos forman parte de las más de 2.100 especies vegetales (con 66 endemismos exclusivos) que viven en el Parque, del total de 8.000 que podemos hallar en la Península Ibérica. Anfibios, reptiles, mamíferos, aves y una rica entomofauna (80 endemismos exclusivos), conforman la fauna de Sierra Nevada, especialmente ligada a los hábitats de la alta montaña. La cabra montés, habitual de las altas cumbres, es la especie más característica del parque.

El clima riguroso de las glaciaciones cuaternarias provocó en Europa una retirada de la vegetación hacia latitudes más bajas. Así llegaron a Sierra Nevada especies procedentes del norte de Europa, cuya permanencia se vio favorecida por los periodos interglaciares y por su ocupación de lo alto de las montañas, donde el clima era similar al de su origen. Más adelante, a causa del aislamiento, algunas de estas plantas desembocaron en nuevas especies, muchas de ellas vicariantes de algunas plantas alpinas o pirenaicas, aumentando así el número de **endemismos** de este macizo.



En la zona de cumbres se conserva un **relieve glaciar único**, modelado por las glaciaciones cuaternarias en el macizo de alta montaña más meridional del continente europeo. Un total de quince cumbres superan los 3.000 m de altitud; de hecho, aquí se localizan los mayores picos de la península: el Mulhacén (3.482 m) y el Veleta (3.392 m). Su relieve tiene además un acusado interés geomorfológico debido a las formas de modelado glaciar y periglacial existentes y a la dinámica periglacial que sigue actuando a partir de los 2.500-2.600 m. Toda la zona de cumbres muestra las huellas de la erosión glaciar, con valles en forma de U, circos coronados por sierras abruptas y lagunas que ocupan las depresiones.

En Sierra Nevada **los veranos son suaves y los inviernos fríos** con heladas frecuentes, especialmente en los pisos oro- y crioromediterráneo. Desde enero hasta agosto las temperaturas experimentan un alza gradual para declinar a partir de septiembre. Por encima de los 1.800 m de altitud, la precipitación es en forma de nieve al menos en un 30%, y por encima de los 2.500 m en un 95%. La red hidrográfica es amplia, y está formada por numerosos arroyos, ríos y barrancos, que alimentados por las nieves, cuentan con poco agua en invierno y un caudal elevado en primavera y principios de verano.

Una gran variedad de formaciones vegetales determinan el paisaje de la **alta montaña mediterránea** en Sierra Nevada. Por encima de los 2.800 m -piso crioromediterráneo-, donde los suelos son poco evolucionados y las condiciones climáticas adversas, se desarrollan **pastizales de bajo porte y escasa cobertura** - (pastizales psicroxerófilos-, que constituyen uno de los aspectos más singulares de Sierra Nevada y están compuestos por un gran número de especies endémicas (hasta el 40%), como *Arenaria imbricata*, *Artemisia granatensis*, *Festuca clementei* u *Hormatophylla purpurea*. En los **canchales o cascajares** viven especies como *Viola crassiuscula* o *Linaria glacialis* mientras que en los paredones rocosos son frecuentes las especies que colonizan grietas y repisas, como *Saxifraga nevadensis* o *Arabis alpina*. En los fondos de circos glaciares aparecen los **borreguiles**: pastizales higrofiticos también ricos en endemismos, como *Armeria splendens*, *Carex camposi*, *Plantago nivalis* o *Veronica turbicola*. Entre los 1.900 y los 2.800 m -piso oromediterráneo-, se desarrollan  **pinares y sabinares** con diferentes especies de porte arbóreo y arbustivo y un matorral pulvinular.

La alta montaña constituye el dominio del acentor alpino (*Prunella collaris*) o la collalba gris (*Oenanthe oenanthe*) y los roquedos del roquero rojo (*Monticola saxatilis*) y la chova piquirroja (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*), que instala sus colonias en los escarpes y oquedades.

Los **encinares** de *Quercus rotundifolia* se sitúan entre los 1.300 y los 1.700 m, aunque en algunos enclaves pueden alcanzar los 1.900 m de altitud. Dependiendo del tipo de suelo y altitud, es frecuente encontrar enebros (*Juniperus oxycedrus*), torviscos (*Daphne gnidium*), ruscos (*Ruscus aculeatus*), agracejos (*Berberis hispanica*) y majuelos (*Crataegus monogyna*) sobre suelos básicos.



En enclaves con menor altitud son frecuentes el lentisco (*Pistacia lentiscus*), el acebuche (*Olea europaea sylvestris*) y la zarzaparrilla (*Smilax aspera*). El encinar silicícola es pobre en especies, acompañan a la encina los enebros, el torvisco y la madreselva (*Lonicera etrusca*). Los **acerales** (*Acer granatense*, *A. monspessulanum*) y **quejigares** (*Quercus faginea*) se instalan en áreas concretas de las zonas más húmedas del Parque, ocupando valles y umbrías. Y los **melojares** (*Quercus pyrenaica*), aunque mermados por los incendios y las abusivas talas, se desarrollan sobre suelos ácidos y se encuentran bien representados en los barrancos de las caras norte y sur.

Estas zonas boscosas son habitadas, de forma más o menos constante, por el pito real (*Picus viridis*) y el agateador común (*Certhia brachydactyla*). Entre los mamíferos, son frecuentes el zorro (*Vulpes vulpes*), la comadreja (*Mustela nivalis*), el tejón (*Meles meles*) y la gineta (*Genetta genetta*).

### Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera

- **Declaración:** Ley 14/91, de 29 de abril
- **Instrumentos:** Plan Rector de Uso y Gestión - PRUG (Decreto 58/2006, de 1 de julio).
- **Superficie total:** 10.021 hectáreas (8.703 marinas y 1.318 terrestres)
- **Área de influencia socioeconómica:** 20.985,30 ha.
- **Comunidad Autónoma:** Islas Baleares.
- **Coordenadas localización** (Latitud, Longitud):
  - 39° 13' 26" N, 2° 53' 26" E
  - 39° 06' 25" N, 2° 59' 56" E

Desde el 1 de julio de 2009, la gestión ordinaria del Parque corresponde a la Comunidad Autónoma de les Illes Balears.

El Archipiélago de Cabrera constituye el mejor exponente de ecosistemas insulares no alterados del Mediterráneo español: importantes **colonias de aves**, **especies endémicas** y uno de los **fondos marinos** mejor conservados de nuestro litoral. En conjunto, la flora del Parque está compuesta por 516 especies de plantas vasculares, 22 especies de musgos, 21 especies de líquenes y 162 especies de algas marinas. Veinte especies son endemismos baleares.

En Cabrera, el clima es del tipo **mediterráneo semiárido**, con una temperatura media de 17° C, veranos muy calurosos y secos e inviernos suaves y poco lluviosos. Las precipitaciones medias son de 334 mm. al año.

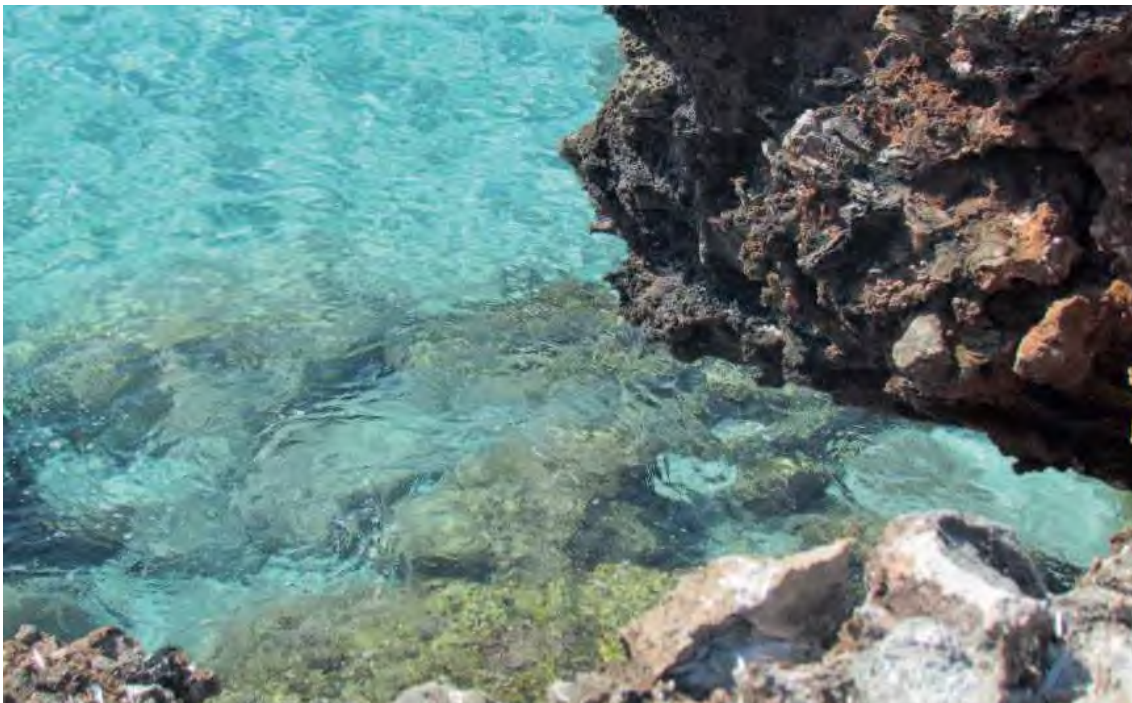


En tierra predominan los arbustos leñosos de hoja coriácea y pequeña, formadores de la **garriga**, matorral perfectamente adaptado a los rigores del clima mediterráneo, con **endemismos** como el astrágalo de las Baleares (*Astragalus balearicus*), el aladierno balear (*Rhamnus ludivici-salvatoris*), la peonia balear (*Paeonia cambessedessi*), la rubia (*Rubia angustifolia* ssp. *cespitosa*) -endémica de Cabrera-, el tragamoscas (*Dracunculus muscivorum*) y el hipericón balear (*Hypericum balearicum*).

La isla de Cabrera constituye una importante escala en la **ruta migratoria de más de 150 especies de aves**, tanto en el paso primaveral como en el otoñal. Podemos encontrar grandes colonias de pardela cenicienta (*Calonectris diomedea*), el paño europeo (*Hydrobates pelagicus*) y gaviota de Audouin (*Larus audouinii*).

Los fondos marinos representan una parte muy importante del parque, con **más de 200 especies de peces y numerosos invertebrados endémicos**. Destacan las **praderas de posidonia** (*Posidonia oceanica*), endémica del Mediterráneo, y de una excepcional importancia ecológica, porque entre sus hallan cobijo un gran número de especies: peces como la chopa (*Spondylisoma cantharus*), la vaca (*Serranus scriba*), la dorada (*Sparus aurata*), el dentón (*Dentex dentex*), la lubina (*Dicentrarchus labrax*) o la salpa o salema (*Sarpa salpa*), erizos, sepias o moluscos de gran tamaño (hasta 1 m de longitud) como la nacra (*Pinna nobilis*), uno de los bivalvos de mayor tamaño del Mediterráneo, una especie endémica cuyo hábitat principal son las praderías de posidonia. En las últimas décadas, las poblaciones de este molusco han disminuido debido al deterioro generalizado de las zonas costeras, por lo que se encuentra protegido por la Directiva de Hábitats y el Catálogo Español de Especies Amenazadas.

En la actualidad las poblaciones de posidonia están también en regresión, un problema que se agrava porque esta especie presenta un crecimiento vegetativo extremadamente lento y una tasa de reproducción sexual escasa. Así, su regresión es irreversible a escala humana y no es un proceso lineal, se acelera mediante efectos de cascada al alcanzar cierto nivel de perturbación, por lo que su detección temprana es crucial.



En los **fondos rocosos** viven los meros (*Epinephelus guaza*), las escórporas y rascacios (*Scorpaena* spp.), los pulpos (*Octopus vulgaris*), las morenas (*Muraena helena*), los congrios (*Conger conger*), junto a bigaros, bellotas de mar, cangrejos, holoturias, estrellas, etc. En las costas de Cabrera tampoco faltan especies como el delfín mular (*Tursiops truncatus*), el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), el delfín común (*Delphinus delphis*), el cachalote (*Physeter macrocephalus*) o la tortuga boba (*Caretta caretta*).

## Parque Nacional del Teide

- Declaración: Decreto de 22 de enero de 1954.
- Reclasificación: Ley 5/1981, de 25 de marzo.
- Ampliación: Resolución de 14 de octubre de 1999 (BOE, nº 310, de 28 de abril de 1999).
- Instrumentos: Plan Rector de Uso y Gestión - PRUG (Decreto 153/2002, de 24 de octubre, BOC 164).
- Superficie total: 18.990,00 ha.
- Zona de protección: 7.374,32 ha.
- Área de influencia socioeconómica: 127.958,28 ha.
- Comunidad Autónoma: Canarias.
- Provincia: Santa Cruz de Tenerife, Isla de Tenerife.
- Coordenadas localización:
  - 28° 20' 42" N, 16° 43' 49" O
  - 28° 11' 23" N, 16° 28' 55" O

Desde el 1 de enero de 2010, la gestión ordinaria del Parque Nacional del Teide corresponde a la Comunidad Autónoma de Canarias.

Es el mayor y más antiguo de los parques canarios. Su extraordinario paisaje es un monumento geológico en el que **los conos volcánicos y las coladas de lava** forman un extraordinario conjunto de colores y formas. El parque nacional tiene en el Pico del Teide (3.718 m) su máxima cota que es, además, la mayor altitud del conjunto de España. No se puede olvidar su gran riqueza biológica, el extraordinario alto porcentaje de especies vegetales endémicas y la importancia en cuanto a número y exclusividad de su fauna invertebrada.

El clima del parque nacional está condicionado por las extremas condiciones de altitud, fuerte insolación y variación térmica. Se puede definir como un **clima continental subalpino**, muy diferente al imperante en las zonas bajas y medias de la isla. Por encima del mar de nubes que cubre las faldas del Teide, en invierno y verano, las lluvias son siempre escasas, en torno a **400 mm. anuales de precipitaciones y nevadas durante quince días al año** aproximadamente, que, debido a las bajas temperaturas y a las fuertes heladas nocturnas, mantienen el parque nevado durante varios meses al año. Esta escasez de precipitaciones indica una sequía muy acentuada. El agua de lluvia que cae en los malpaíses desaparece rápidamente, ya que la infiltración y la evapotranspiración son muy grandes. En cambio, en las laderas del circo, las lluvias producen una elevada escorrentía que arrastran materiales hasta las llanuras que persisten inundadas varios días, ya que los suelos están cubiertos de materiales muy finos y compactados.



En los días más calurosos se alcanzan los 34°C de temperatura que, por la noche, durante el invierno, pueden descender bruscamente hasta los 16°C bajo cero. Además, existen **grandes oscilaciones térmicas diarias**, que pueden llegar a 12°C y un alto número de días de helada, que puede llegar a 100. Las temperaturas mensuales medias varían entre 4,6°C (enero) hasta 18,3°C (agosto), siendo la media anual de 10,9°C. A estas extremas condiciones, hay que sumar fuertes y racheados vientos que, a veces, batan las cumbres a velocidades de 200 km/h.

El **Parque Nacional del Teide** cuenta con **212 especies de plantas, de las que 58 son endemismos canarios**. Actualmente 3 especies se encuentran en peligro de extinción y 12 en situación vulnerable, según el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas. Para muchas especies endémicas, las paredes y piedemontes de las Cañadas constituyen un refugio, destacando el vistoso tajinaste rojo (*Echium wildpretii*), el rosal del guancho (*Bencomia exstipulata*), cuya población no sobrepasa los 50 ejemplares, la jara de Las Cañadas (*Cistus osbaeckiaefolius*) y la exclusiva y escasa *Helianthemum juliae*. Por encima de los 2.400 m de altitud crece la joya del Parque, la delicada y frágil violeta del Teide (*Viola cheiranthifolia*). Es de las pocas plantas que vive en la cumbre, en lugares donde muy pocas pueden hacerlo, siendo además una de las que florece a mayor altitud de todo el territorio nacional.



---

## Parque Nacional de Cabañeros

---

- **Declaración:** Ley 33/95 de 20 de noviembre (BOE núm. 278, de 21 de noviembre).
- **Ampliación:** Resolución de 15 de noviembre de 2005. (BOE nº 293, de 8 diciembre de 2005).
- **Superficie total:** 40.856 ha.
- **Área de influencia socioeconómica:** 182.292,52 ha.
- **Comunidad Autónoma:** Castilla-La Mancha.
- **Provincia:** Ciudad Real y Toledo.
- **Coordenadas localización:**
  - 39° 34' 49" N, 4° 40' 43" O
  - 39° 16' 52" N, 4° 15' 00" O

Cabañeros es un Parque Nacional ubicado en los Montes de Toledo, escenario singular de los **bosques y matorrales típicos mediterráneos** y refugio de grandes rapaces, cigüeñas negras y otras especies emblemáticas amenazadas.

De clima mediterráneo, hay un rango de variación en la pluviosidad de Cabañeros desde los 450 mm a los 750 mm. La altitud, que oscila desde los 620 m hasta los 1.500, da lugar a existencia de dos pisos bioclimáticos: meso y supramediterráneo.

Este parque cuenta con **1000 especies catalogadas de plantas vasculares**, de las que 98 son árboles y arbustos. Quejigos, arces, encinas y alcornoques originan un bosque de carácter mixto con dominancia de unas u otras especies según la zona. Jaras (*Cistus ladanifer*), brezos (*Erica arborea*), madroños (*Arbutus unedo*), romeros (*Rosmarinus officinalis*), majuelos (*Crataegus monogyna*), cantuesos (*Lavandula stoechas*), labiérnagos (*Phyllirea angustifolia*), lentiscos (*Pistacia lentiscus*), durillos (*Viburnum tinus*) y zarzamoras (*Rubus ulmifolius*) conforman el matorral que cubre laderas y montes. En zonas de umbría es posible encontrar algún acebo (*Ilex aquifolium*). Las **lagunas y charcas** se cubren de ranúnculos (*Ranunculus* ssp.); mientras en los tramos de aguas tranquilas y profundas del río Bullaque son habituales los nenúfares amarillos (*Nuphar luteum*).



La **vegetación de ribera** de estas zonas alcanza cierta espesura en forma de bosques-galería formados principalmente por sauces (*Salix atrocinerea*), alisos (*Alnus glutinosa*) y fresnos (*Fraxinus angustifolia*). A sus pies, el arraclán (*Frangula alnus*), el mirto (*Mirtus communis*), el brezo, la zarza o algunas lianas como la madreselva (*Lonicera implexa*) y la zarzaparrilla (*Smilax aspera*) forman un sotobosque que da cobijo a numerosas aves. Entre los endemismos de área más reducida, *Digitalis mariana*, *Sideritis paulli*, *Coincya longirostra* y *Betula pendula parvibracteata*, restringidos a Montes de Toledo.

La fauna de Cabañeros es muy rica y cuenta con algunas especies endémicas y otras muchas amenazadas (21 a nivel nacional y 43 a nivel regional). En el parque podemos encontrar 45 especies de mamíferos -incluyendo ciervos, jabalíes y corzos-, un total de 19 especies de reptiles y 13 de anfibios. Destacan por su importancia y diversidad las **200 especies de aves**, que incluyen rapaces como el buitre negro (*Aegypius monachus*), el águila ibérica (*Aquila adalberti*) o el águila real (*Aquila chrysaetos*), y aves que habitan en las rañas, como la avutarda (*Otis tarda*), el sisón (*Tetrax tetrax*) y la cogujada (*Galerida cristata*). En los sotos podemos encontrar al martín pescador (*Alcedo atthis*), la oropéndola (*Oriolus oriolus*) y el trepador azul (*Sitta europea*). El **buitre negro** tiene en el Parque Nacional de Cabañeros una de las poblaciones nidificantes más numerosas del mundo -en torno a 200 parejas-, siendo la segunda colonia de cría del mundo, sólo por detrás de Monfragüe.



## Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido

- **Declaración:** Real Decreto, de 16 de agosto de 1918, de declaración del Parque Nacional Valle de Ordesa, o del río Ara.
- **Reclasificación y ampliación:** Ley 52/1982 de 13 de julio.
- **Instrumentos:** Plan Rector de Uso y Gestión - PRUG (Decreto 49/15, de 8 de abril).
- **Superficie total:** 15.696,20 ha.
- **Zona periférica de protección:** 19.196,36 ha.
- **Área de influencia socioeconómica:** 89.290,44 ha.
- **Comunidad Autónoma:** Aragón.
- **Provincia:** Huesca.
- **Coordenadas localización:**
  - 42° 42' 14" N, 0° 06' 17" O
  - 42° 30' 55" N, 0° 09' 03" E

Desde el 1 de julio de 2006, la gestión ordinaria del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido corresponde a la Comunidad Autónoma de Aragón.

El Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido forma parte de la unidad fisiográfica del macizo de Monte Perdido, **la montaña calcárea más alta de Europa**, con 3.355 metros. Es un paisaje de grandes contrastes: la extrema aridez de las zonas altas, donde el agua de lluvia y deshielo se filtra por grietas y sumideros, contrasta con los verdes valles cubiertos por bosques y prados, donde el agua forma cascadas y atraviesa cañones y barrancos.



**Carrascales montanos** con boj, **quejigares**, **pastizales supraforestales**, matas de erizón (*Echinopartum horridum*) en las crestas, pinares de *Pinus sylvestris* y de *P. uncinata*, **bosques mixtos** de tilos, fresnos, arces, avellanos, serbales y abedules, hayedos y hayedos-abetales, comunidades rupícolas, turberas, formaciones propias de los ventisqueros,... son algunas de las comunidades que podemos encontrar en este Parque Nacional.

El catálogo de plantas vasculares del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido incluye más de **1.300 especies diferentes**, lo cual significa que dentro del territorio del Parque y su Zona Periférica de Protección -unos 350 kilómetros cuadrados- se encuentra representada **más de la mitad de toda la flora presente en el Pirineo aragonés**, unas 2.450 especies. Especies tan singulares como el zapatito de Venus (*Cypripedium calceolus*) o *Calamintha grandiflora*, mantienen en su interior alguna de las escasas poblaciones españolas conocidas hasta la fecha.

El parque alberga también **un nutrido grupo de endemismos**: unos 50 exclusivamente pirenaicos -como la *Androsace pyrenaica*, considerada 'en peligro de extinción' en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas- y otro conjunto de especies que también mantienen poblaciones en otros macizos montañosos próximos como los Alpes, Sierra Nevada o la Cordillera Cantábrica. La mayor parte de las plantas endémicas se encuentran en hábitats rocosos como gleras, acantilados y pastos pedregosos, estando prácticamente ausentes en los ambientes forestales.



Una **amplia muestra de la fauna pirenaica**, especialmente la ligada a los hábitats alpinos y subalpinos de la alta montaña, se halla presente en el parque. Se han catalogado hasta el presente un total de 6 especies de anfibios, 8 de reptiles, 2 de peces, 65 de aves nidificantes, así como 32 mamíferos. El quebrantahuesos, el águila real, la chova piquigualda, el buitre leonado destacan entre las aves de costumbres rupícolas. En las aguas frías de ríos, arroyos e ibones de montaña viven las truchas y el endémico tritón de los Pirineos. La rana pirenaica fue descrita como nueva especie en las inmediaciones del parque en el año 1990. Marmotas y manadas de sarrios son mamíferos fáciles de observar en los altos pastizales subalpinos. El bucardo, subespecie endémica de cabra montés, encontró a principios del siglo XX en la umbría del valle de Ordesa su último refugio. En las zonas más altas, tan sólo el gorrión, el acentor y el lagópodo alpinos logran soportar las difíciles condiciones de estos medios.

---

### Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia

---

→ **Declaración:** 1 de julio de 2002.

→ **Instrumentos:**

Ley 15/2002, de 1 de julio, por la que se declara el Parque Nacional marítimo-terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia (BOE nº 157 de 02/07/02), modificada por el artículo 121 de la Ley 53/2002 de 30 de diciembre de Medidas Fiscales, Administrativas y de Orden Social (BOE nº 133 de 31/12/02).

Decreto 88/2002, de 7 de marzo, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos naturales del Espacio Natural de la Isla de Cortegada y su entorno. (DOG nº 62 de 01/04/02).

Decreto 274/99, de 21 de octubre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las Islas Atlánticas. (DOG nº 209 de 28/10/99).

→ **Superficie total:** 8.480 hectáreas (7.285,20 marítimas y 1.194,80 terrestres).



→ **Área de influencia socioeconómica:** 25.328,48 ha.

→ **Comunidad Autónoma:** Galicia.

→ **Provincias:** Pontevedra y A Coruña

→ **Coordenadas localización:**

42° 36' 29" N, 8° 52' 20" O

42° 37' 30" N, 9° 03' 59" O

Desde el 1 de julio de 2008, la gestión ordinaria del Parque Nacional Marítimo - Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia corresponde a la Comunidad Autónoma de Galicia.

El Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia está compuesto por los **Archipiélagos de Cíes, Ons, Sálvora y Cortegada y las aguas de su entorno**. El hecho de que Cíes, Ons y Sálvora cierren en parte la entrada de las rías en las que se encuentran enclavadas, favorece que las aguas de estos profundos golfos queden a resguardo de los temporales del Atlántico, siendo muy distinto el estado del mar en sus dos vertientes, con mucha mayor capacidad de erosión en el oeste. Esto condiciona, en gran medida, el contrastado aspecto de ambas vertientes, con acantilados en el oeste y playas en el este. Formadas básicamente por granito, el relieve de las Cíes es abrupto, siendo un poco más suave en Ons, bastante más en Sálvora y prácticamente llano en Cortegada.

En el **archipiélago de Cíes**, localizado a la entrada de la ría de Vigo, se alcanza la máxima altitud del Parque Nacional, en el Alto de las Cíes, de 197 metros. Sus tres islas tienen unas medidas de entre 1,5 y 3 kilómetros de largo. Las del Faro y Monteagudo están unidas por un dique, y la de San Martiño es la más meridional de las tres. El **archipiélago de Ons** se sitúa a la entrada de la ría de Pontevedra. Su isla de mayor tamaño, de mismo nombre que el archipiélago, tiene 5,5 km de largo, una anchura media de 800 metros y 119 m en su cota más alta. Presenta menos acantilados que Cíes y está acompañada por pequeños islotes. Su compañera, la isla de Onza, es mucho más pequeña y está deshabitada. El **archipiélago de Sálvora** se encuentra a la entrada de la ría de Arousa. Su isla más grande es la de Sálvora, con aproximadamente 2,5 kilómetros de largo, 1 km de ancho y una altitud máxima de 73 metros. Completan el archipiélago numerosos islotes y las islas de Vionta y Sagres. La **isla de Cortegada y las Malveiras** están localizadas en el interior de la ría de Arousa, muy cerca de la costa. Cortegada tiene una longitud de aproximadamente 1 km y una anchura de cerca de 0,5 km, con una altura máxima de sólo 19 metros.

El clima de tres de los archipiélagos del Parque se podría clasificar como **mediterráneo subhúmedo de tendencia atlántica**, con menor descarga de lluvias que en la costa próxima debido a que las bajas altitudes de las islas apenas suponen un obstáculo para las nubes. Se recoge una media de aproximadamente 1.000 mm de precipitación anual en Cíes y 1.500 mm en Ons y Sálvora. Cortegada, por su situación en el interior de la ría y cercana a la costa, pierde la condición mediterránea y presenta un clima atlántico con casi 2000 mm de precipitación anual. La temperatura media anual oscila entre los 13 y 15 °C, con poca variabilidad estacional.



Los **fondos marinos** son una de las principales razones que motivaron la declaración de estas islas como parque nacional, y el mar y su cercanía influyen en gran medida incluso los ecosistemas terrestres. Hasta las costas de Galicia llega la corriente del Golfo, aguas superficiales cálidas procedentes del Caribe que suavizan enormemente el clima de la región, de forma que la temperatura media de las aguas superficiales en Galicia es de 14°C, frente a los 5°C de la costa norteamericana en la misma latitud. El archipiélago da cabida a **más de 200 tipos de algas** entre las que se refugian y crían gran cantidad de peces y moluscos, aves marinas que anidan en las repisas de los acantilados y pescan en las aguas poco profundas, plantas adaptadas a vivir entre las arenas de las dunas o en las estrechas grietas de los acantilados...

En la **zona intermareal** se encuentran grandes áreas dominadas por el mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) y, en las zonas más expuestas al embate del mar, de percebe (*Pollicipes cornucopia*), sobre una base de lapas (*Patella* spp.) y bellotas de mar de los géneros *Balanus* y *Chthamalus*. En la **submareal** destacan los bosques de grandes algas pardas, formados por *Saccorhiza polyschides*, *Laminaria ochroleuca* y *Laminaria hyperborea*, especies de algas de hasta 2.5 m. Aquí podemos encontrar nécoras (*Necora puber*), pulpos (*Octopus vulgaris*), congrios (*Conger conger*) y otras muchas especies que encuentran alimento y refugio en estas comunidades.

En los **fondos de arena** dominan las poblaciones de moluscos bivalvos como la vieira (*Pecten maximus*) o la volandeira (*Aequipecten opercularis*). También los peces planos que se mimetizan con el fondo o se entierran levemente como la solla (*Platichthys flesus*) o las rayas (*Raja* spp.). Los **fondos de maërl** están compuestos por las algas calcáreas *Lithotamnion corallioides* y *Lithotamnion calcareum*, en forma de arbúsculos ramificados y fuertemente calcificados de varios centímetros de envergadura. Entre las especies que viven aquí están la almeja rubia (*Venerupis romboides*) o el reloj (*Dosinia exoleta*) y entre los peces el lanzón (*Ammodytes tobianus*). En el maërl se refugian las fases juveniles de especies como la sepia (*Sepia officinalis*) o la centolla (*Maja squinado*). Los fondos de cascajo están formados por grandes restos de conchas de moluscos que forman una capa de varios centímetros de espesor en la que viven enterrados la mayoría de los animales que aquí habitan, como la vieira (*Pecten maximus*), la zamburiña (*Chlamys varia*) o la navaja (*Ensis* spp.).

En el archipiélago de Cíes, entre las islas de Monteagudo y del Faro, se encuentra una **laguna somera de agua salada** - Lago o Lagoa dos Nenos- que alberga una elevada biodiversidad, incluyendo una zona de fondos fangoso-arenosos en la que crecen praderas submarinas de dos especies de *Zostera*, plantas acuáticas con flor. Los zosterales funcionan como zona de desove y alevinaje de peces y otros grupos y donde podemos observar una buena representación de la diversidad piscícola del Parque, incluyendo lisas (*Chelon labrosus*), mojarras (*Diplodus vulgaris*), maragotas (*Labrus bergylta*) y anguilas (*Anguilla anguilla*).

En cuanto al **medio terrestre**, fuertemente influenciado también por la proximidad del océano, encontramos también hábitats considerados como de interés comunitario o prioritarios por las directivas europeas, como las dunas grises, los matorrales litorales aerohalinos o los brezales húmedos atlánticos meridionales.





*En el mapa, la ubicación de los parques nacionales españoles. Rodeados de un rectángulo blanco, los que forman parte específicamente de la Red de Seguimiento del Cambio Global en la fecha de elaboración de este documento.*



### 3

## LOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS EN EL MARCO DE LA RSCG

El objeto de este documento es elaborar una síntesis de la actividad investigadora desarrollada en el marco de la Red de Seguimiento del Cambio Global en los Parques Nacionales Españoles. En particular, se analizan los proyectos financiados por dos de las entidades que conforman la RSCG: el Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN) y la Fundación Biodiversidad (FB).

Los proyectos que forman específicamente parte de este estudio son aquellos de los que, en diciembre de 2015, se disponía de su memoria final y, por tanto, información suficiente para su análisis. Suman un total de 42 proyectos, de los cuales 24 han sido financiados por el OAPN y 18 por la FB. Su relación se adjunta a continuación y, además, se puede consultar una síntesis de los contenidos de cada proyecto en el anexo de este documento.

### Proyectos cofinanciados por el Organismo Autónomo Parques Nacionales

Código	Año	Entidad	Proyecto	Parque Nacional	Investigador/a principal
OAPN01	2003	Universidad de Granada	<u>El cambio climático en Sierra Nevada a partir de escenarios fitocenológicos, especies y comunidades vegetales indicadoras y la evaluación de la actividad biológica de los suelos en el piso crioromediterráneo (ciclos de C y N)</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	Joaquín Molero Mesa - Universidad de Granada
OAPN02	2005	CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología	<u>Evolución climática y ambiental del Parque Nacional de los Picos de Europa desde el último máximo glaciar</u>	Parque Nacional de los Picos de Europa	Blas Lorenzo Valero Garcés - CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología

## Observar de cerca el cambio global en los parques nacionales

Código	Año	Entidad	Proyecto	Parque Nacional	Investigador/a principal
OAPN03	2007	Universidad de Barcelona	<u>Geoindicadores de alta montaña y cambio global: análisis y control de indicadores geomorfológicos en el Parque Nacional de los Picos de Europa</u>	Parque Nacional de los Picos de Europa	Enrique Serrano Cañadas - Universidad de Valladolid
OAPN04	2007	CSIC. Estación Experimental del Zaidín (EEZ)	<u>Análisis de la diversidad procarriótica asociada a quercíneas (<i>Quercus ilex</i> sp. <i>ballota</i> y <i>Quercus pyrenaica</i>) para la identificación de biomarcadores asociados a la evolución post-incendio y al cambio climático en Sierra Nevada</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	Manuel Fernández López - CSIC. Estación Experimental del Zaidín
OAPN05	2007	Universidad de Barcelona	<u>Degradación de hielo fósil y permafrost y cambio climático en Sierra Nevada</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	Antonio Gómez Ortiz - Universidad de Barcelona
OAPN06	2007	Universidad de Granada	<u>Diversidad, estrategias vitales y filogeografía de especies sensibles al cambio climático: tricópteros en el Parque Nacional de Sierra Nevada</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	Carmen Zamora Muñoz - Universidad de Granada
OAPN07	2007	Universidad de Granada	<u>Efectos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos y terrestres de alta montaña de Sierra Nevada mediante el análisis del registro fósil en los sedimentos</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	Carmen Pérez Martínez - Universidad de Granada
OAPN08	2007	CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología (IPE)	<u>Modelización de la matorralización de los pastos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su relación con el cambio global</u>	Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido	Concepción López Alados - CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología (IPE)
OAPN09	2007	CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)	<u>Estrategias de supervivencia ante el cambio global. Las especies de efemerópteros y plecópteros del Parque Nacional de Aigüestortes como paradigma</u>	Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici	Maria de los Ángeles Puig García - CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)
OAPN10	2007	Universidad de Almería	<u>Efectos del cambio global sobre el funcionamiento de los ecosistemas de la Red de Parques Nacionales españoles: impactos recientes y desarrollo de un sistema de seguimiento</u>	Red de Parques Nacionales	Javier Cabello Piñar - Universidad de Almería
OAPN11	2007	CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)	<u>AERBAC: Diversidad bacteriana en lagos de alta montaña: biogeografía y mecanismos de dispersión por aerosoles atmosféricos en el contexto del cambio global</u>	Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici	Emilio Ortega Casamayor - CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)
OAPN12	2008	Universidad de Oviedo	<u>Variación genética adaptativa de anfibios en gradientes altitudinales: efectos sobre la viabilidad de poblaciones subdivididas en escenarios de cambio climático</u>	Parque Nacional de los Picos de Europa	David Álvarez Fernández - Universidad de Oviedo

## Los proyectos de investigación realizados en el marco de la RSCG

Código	Año	Entidad	Proyecto	Parque Nacional	Investigador/a principal
OAPN13	2008	Universidad de Granada	<u>Interacción planta-herbívoro y dinámica poblacional de la procesionaria del pino en el Parque Nacional de Sierra Nevada en el marco del cambio global</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	José Antonio Hódar Correa - Universidad de Granada
OAPN14	2008	CSIC. Instituto de Recursos Naturales	<u>Detección remota de los efectos del cambio global en la ecología y la biogeoquímica de las comunidades de macrófitas del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel: diseño de medidas adaptativas y programas de seguimiento para la conservación</u>	Parque Nacional de las Tablas de Daimiel	Salvador Sánchez Carrillo - CSIC. Instituto de Recursos Naturales
OAPN15	2008	CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)	<u>Acoplamiento de los ciclos hidrobiogeoquímicos del carbono y nitrógeno en cuencas lacustres de alta montaña durante episodios hidrológicos intensos, estima de su peso relativo en los balances de masa anuales y posibles implicaciones del cambio climático</u>	Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici	Luis Camarero Galindo - CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)
OAPN16	2008	CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología (IPE)	<u>Efectos del cambio climático en el crecimiento y el funcionamiento de los bosques pirenaicos inferidos mediante reconstrucciones dendroecológicas</u>	Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido   Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici	Jesús Julio Camarero Martínez - CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología (IPE)
OAPN17	2009	CSIC. Estación Experimental de Zonas Áridas (EEZA)	<u>Facilitación de las especies alomohadilladas y cambio global en las comunidades alpinas del Parque Nacional de Sierra Nevada</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	Francisco I. Pugnaire de Iraola - CSIC. Estación Experimental de Zonas Áridas
OAPN18	2009	Universidad de Granada	<u>Seguimiento interanual y análisis experimental de factores de cambio global (UVR y entradas de P) sobre los productores primarios en lagos de alta montaña</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	Presentación Carrillo Lechuga - Universidad de Granada
OAPN19	2009	Universidad Autónoma de Madrid	<u>Gestionando los parques nacionales más allá de sus límites: evaluación y cartografía de servicios como herramienta de gestión territorial ante el cambio global</u>	Parque Nacional de Doñana   Parque Nacional de Sierra Nevada	Carlos Montes del Olmo - Universidad Autónoma de Madrid
OAPN20	2009	CSIC. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología	<u>El decaimiento del alcornocal de la pajarera de Doñana en un contexto de cambio global: una aproximación experimental</u>	Parque Nacional de Doñana	Luis-Ventura García Fernández - CSIC. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología
OAPN21	2010	Universidad de Valladolid	<u>Criosfera y cambio global en espacios naturales protegidos: control de procesos geomorfológicos asociados a la nieve y el hielo como geoindicadores de cambio ambiental en el Parque Nacional de los Picos de Europa</u>	Parque Nacional de los Picos de Europa	Enrique Serrano Cañadas - Universidad de Valladolid

## Observar de cerca el cambio global en los parques nacionales

Código	Año	Entidad	Proyecto	Parque Nacional	Investigador/a principal
OAPN22	2010	Universidad de Barcelona	<u>Caracterización ecofisiológica de las respuestas de distintas especies representativas del piso subalpino al cambio climático</u>	Parque Nacional de Aiguestortes i Estany de Sant Maurici	Isabel Fleck Bou - Universidad de Barcelona
OAPN23	2010	CSIC. Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN)	<u>Diversidad genética espacial y flujo genético en anfibios pirenaicos: evolución potencial bajo escenarios de cambio global</u>	Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido	David Rodríguez Vieites - CSIC. Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN)
OAPN24	2009	CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología	<u>Dinámica glacial, clima y vegetación en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido durante el Holoceno</u>	Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido	Blas Lorenzo Valero Garcés - CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología



## Proyectos cofinanciados por la Fundación Biodiversidad

Código	Año	Entidad	Proyecto	Parque Nacional	Investigador/a principal
FB01	2008	CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)	<u>Efectos del cambio global sobre la biodiversidad del Parque Nacional de Cabrera: el caso de la comunidad del coralígeno de <i>Paramuricea clavata</i></u>	Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera	Rafel Coma Bau
FB02	2008	CSIC. Estación Biológica de Doñana	<u>Impacto e interacciones del clima con la ecología, comportamiento y distribución de aves de alta montaña en el Parque Nacional de los Picos de Europa</u>	Parque Nacional de los Picos de Europa	Paola Laiolo. CSIC. Estación Biológica de Doñana
FB03	2008	Fundación para la Investigación del Clima	<u>Generación de escenarios locales de cambio climático en parques nacionales para evaluación de impactos</u>	Red de Parques Nacionales	Jaime Ribalaygua Batalla. Fundación para la Investigación del Clima
FB04	2008	Universidad de Oviedo. INDUROT	<u>Bases para el seguimiento de los cambios en la flora y vegetación como consecuencia del cambio climático en el Parque Nacional de los Picos de Europa</u>	Parque Nacional de los Picos de Europa	José Ramón Obeso. Universidad de Oviedo
FB05	2008	Universidad de Zaragoza	<u>Elementos preliminares para una evaluación del cambio climático en el Parque Nacional de los Picos de Europa</u>	Parque Nacional de los Picos de Europa	Jesús Abaurrea. Universidad de Zaragoza

## Los proyectos de investigación realizados en el marco de la RSCG

Código	Año	Entidad	Proyecto	Parque Nacional	Investigador/a principal
FB06	2009	Centre Tecnològic Forestal de Catalunya	<u>Comunicando los impactos del cambio global mediante nuevas tecnologías geoespaciales: una aplicación con los anfibios y reptiles de España</u>	Red de Parques Nacionales	Lluís Brotons. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya
FB07	2009	Fundación para la Investigación del Clima	<u>Estudio del impacto del cambio climático sobre la diversidad y la composición de las cubiertas forestales en los parques nacionales españoles</u>	Red de Parques Nacionales	Jaime Ribalaygua Batalla. Fundación para la Investigación del Clima
FB08	2009	CSIC. Instituto Nacional del Carbón (INCAR)	<u>Gradientes altitudinales de biodiversidad en el Parque Nacional de los Picos de Europa: cómo se origina, mantiene y conserva la riqueza de organismos en un escenario de cambio climático</u>	Parque Nacional de los Picos de Europa	Paola Laiolo. CSIC. Estación Biológica de Doñana
FB09	2009	Universidad Carlos III de Madrid	<u>Evaluación para el seguimiento del cambio global en el ámbito socioeconómico del Parque Nacional Picos de Europa</u>	Parque Nacional de los Picos de Europa	Mercedes Pardo Buendía. Universidad Carlos III de Madrid
FB10	2009	Universidad de Zaragoza	<u>Análisis del cambio climático proyectado en las variables de Precipitación y Temperatura en el área del Parque Nacional de los Picos de Europa para el periodo 2031-60</u>	Parque Nacional de los Picos de Europa	Jesús Abaurrea. Universidad de Zaragoza
FB11	2010	Universidad de Granada	<u>Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada: diseño y desarrollo de un sistema de monitorización ecológica basado en la red de estaciones multiparamétricas</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	Regino Zamora. Universidad de Granada
FB12	2011	Universidad Carlos III de Madrid	<u>Nuevas formas de gobernanza de los espacios naturales protegidos como criterio para fomentar el desarrollo sostenible del medio rural y contribuir a la atenuación de los efectos del cambio global. Aplicación al caso singular del Parque Nacional de los Picos de Europa</u>	Parque Nacional de los Picos de Europa	Mercedes Pardo Buendía e Iván López. Universidad Carlos III de Madrid
FB13	2011	Universidad de Granada	<u>Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada (Fase II): Creación de una red de sensores inalámbricos en las Estaciones de Monitoreo Intensivo. Experiencia piloto.</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	Regino Zamora. Universidad de Granada
FB14	2012	Sociedad de Ciencias Aranzadi	<u>Consecuencias crípticas del cambio global: efectos sobre la ecología sensorial y señales sexuales de los lacértidos endémicos y amenazados de los parques nacionales pirenaicos y de los Picos de Europa</u>	Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido   Parque Nacional de Sierra Nevada   Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici	Carlos Cabido y Maider Iglesias-Carrasco. Sociedad de Ciencias Aranzadi



## Observar de cerca el cambio global en los parques nacionales

Código	Año	Entidad	Proyecto	Parque Nacional	Investigador/a principal
FB15	2012	Universidad de Granada	<u>Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada, fase III: Recopilación de información histórica sobre aspectos estructurales y funcionales de la red de EMIs.</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	Regino Zamora. Universidad de Granada
FB16	2013	Universidad de Córdoba	<u>Estudio del efecto del cambio global sobre la nieve y la hidrología de alta montaña en el Parque Nacional de Sierra Nevada</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	María José Polo Gómez. Universidad de Córdoba
FB17	2013	Universidad de Granada	<u>Diseño de una aplicación y una plataforma experimental de recepción y recopilación de datos de 'ciencia ciudadana' integrada en el Observatorio de Seguimiento de Cambio Global de Sierra Nevada</u>	Parque Nacional de Sierra Nevada	María Suárez Muñoz y Francisco Javier Bonet García. Laboratorio de Ecología. Universidad de Granada - IISTA
FB18	2013	Universidad Carlos III de Madrid	<u>Sistema de evaluación y seguimiento socioeconómico del cambio climático y el cambio global en el Parque Nacional Sierra de Guadarrama</u>	Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama	Mercedes Pardo Buendía. Universidad Carlos III de Madrid

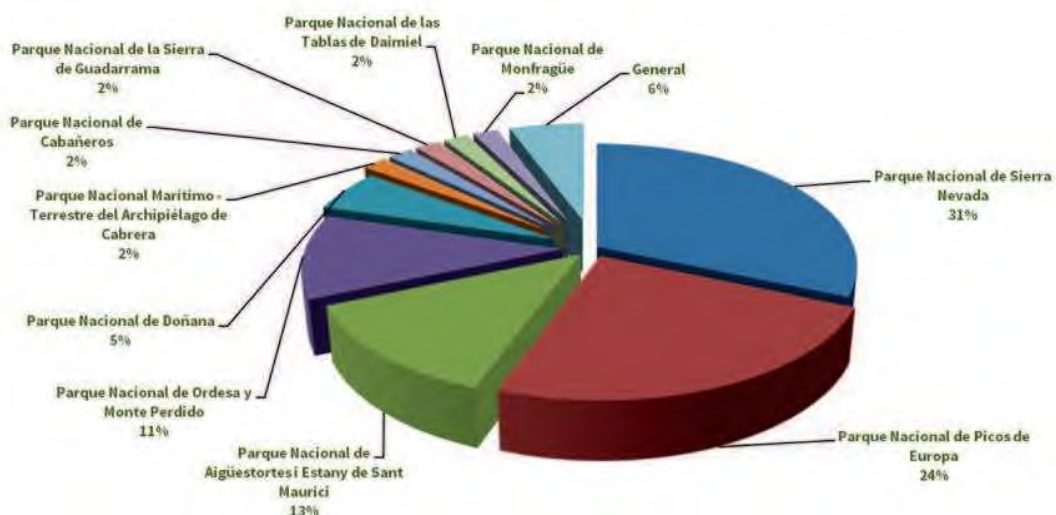
## Algunos datos sobre los estudios realizados

### Distribución geográfica de los estudios en los diferentes parques nacionales

Parque Nacional	Nº de estudios	%
Parque Nacional de Sierra Nevada	17	31,5%
Parque Nacional de los Picos de Europa	13	24,1%
Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici	7	13,0%
Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido	6	11,1%
Parque Nacional de Doñana	3	5,6%
Parque Nacional Marítimo - Terrestre del Archipiélago de Cabrera	1	1,9%
Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama	1	1,9%
Parque Nacional de Cabañeros	1	1,9%
Parque Nacional de las Tablas de Daimiel	1	1,9%
Parque Nacional de Monfragüe	1	1,9%
Red de Parques en su conjunto	3	5,6%
<b>Total</b>	<b>54*</b>	<b>100,0%</b>

*\*Algunos estudios están asignados a más de un parque, motivo por el cual la cifra total es superior al número total de estudios y, también, la razón por la que aparecen estudios realizados en parques nacionales que no están adscritos específicamente a la RSCG*

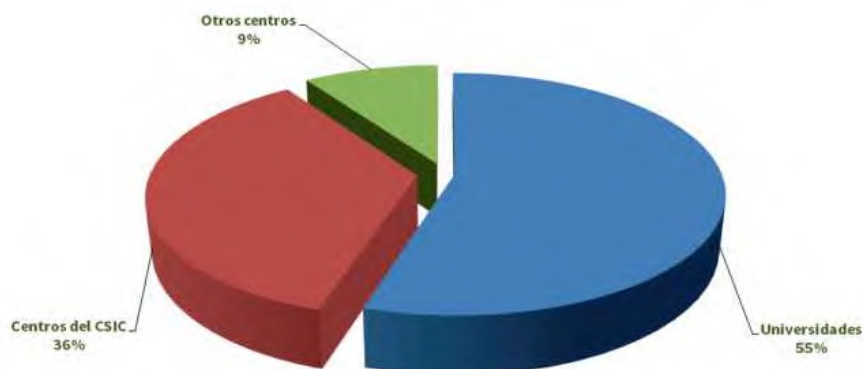
Número y porcentaje de estudios por parque nacional



Distribución de los estudios según el tipo de centros de investigación

Tipo de entidad	Nº de estudios	%
Universidades	23	54,8%
Centros del CSIC	15	35,7%
Otros centros	4	9,5%
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>100,00%</b>

Distribución de los estudios por el tipo de centros de investigación



Distribución de los estudios según centros de investigación

Centro de investigación	Nº de estudios	%
Universidad de Granada	9	21,4%
CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología (IPE)	4	9,5%
CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)	4	9,5%
Universidad de Barcelona	3	7,1%
CSIC. Estación Experimental del Zaidín (EEZ)	1	2,4%
Universidad Carlos III de Madrid	3	7,1%
Universidad de Oviedo	2	4,8%
Universidad de Zaragoza	2	4,8%
Fundación para la Investigación del Clima	2	4,8%
CSIC. Estación Biológica de Doñana	1	2,4%
CSIC. Estación Experimental de Zonas Áridas (EEZA)	1	2,4%
CSIC. Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN)	1	2,4%
CSIC. Instituto de Recursos Naturales	1	2,4%
CSIC. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología	1	2,4%
CSIC. Instituto Nacional del Carbón (INCAR)	1	2,4%
Centre Tecnològic Forestal de Catalunya	1	2,4%
Universidad Autónoma de Madrid	1	2,4%
Universidad de Córdoba	1	2,4%
Universidad de Valladolid	1	2,4%
Universidad de Almería	1	2,4%
Sociedad de Ciencias Aranzadi	1	2,4%
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>100,0%</b>

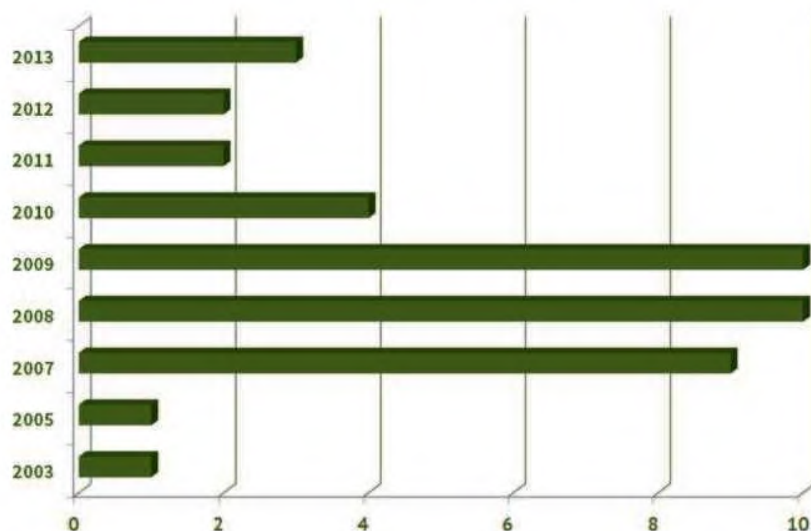
Nº de estudios financiados a cada centro de investigación



Distribución de los estudios según el año de convocatoria en el que fueron aprobados

Año en el que fue aprobada la cofinanciación de los estudios	Nº de estudios	%
2003	1	2,4%
2005	1	2,4%
2007	9	21,4%
2008	10	23,8%
2009	10	23,8%
2010	4	9,5%
2011	2	4,8%
2012	2	4,8%
2013	3	7,1%
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>100,0%</b>

Nº de estudios por año de convocatoria en que fueron aprobados





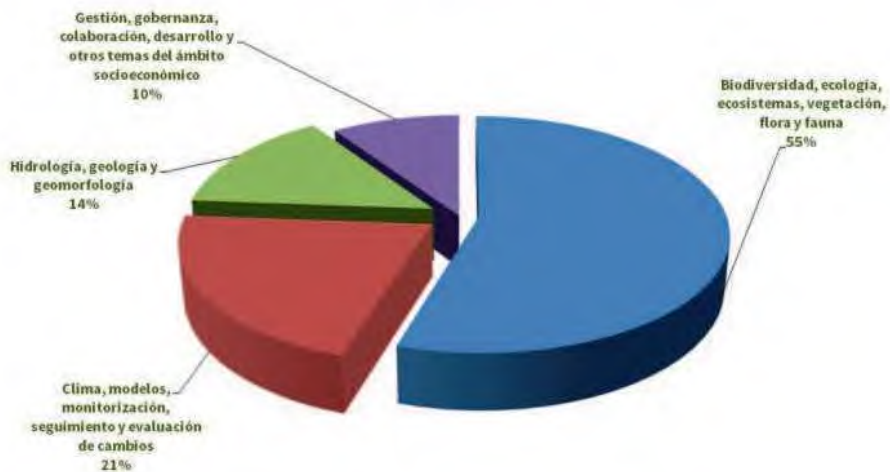


### Distribución de los proyectos por ámbitos temáticos

Se ha realizado una agrupación de los proyectos en cuatro grandes bloques temáticos no totalmente homogéneos en sí mismos pero útiles para obtener una imagen de su distribución, cuyas cifras son las que aparecen en la tabla. Para una información más detallada se puede consultar el resumen de cada proyecto en el anexo de este documento:

Ámbito temático	Nº de estudios	%
Biodiversidad, ecología, ecosistemas, vegetación, flora y fauna	23	54,8%
Clima, modelos, seguimiento y evaluación de cambios	9	21,4%
Hidrología, geología y geomorfología	6	14,3%
Gestión, gobernanza y otros temas del ámbito socioeconómico	4	9,5%
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>100,00%</b>

Número y porcentaje de estudios agrupados por bloques temáticos





## 4

### INVESTIGANDO EL CAMBIO GLOBAL EN LOS PARQUES NACIONALES: UNA GRAN DIVERSIDAD DE ENFOQUES Y ÁREAS DE INTERÉS

En este capítulo realizamos un acercamiento –a modo de síntesis- a las diferentes áreas de estudio y trabajo en que se ha centrado la investigación. Para ello se presenta un compendio de los estudios realizados, se revisan las principales conclusiones alcanzadas en las diferentes áreas de observación, se identifican los ámbitos de trabajo en los que se ha desarrollado un mayor esfuerzo y se destacan algunas de las recomendaciones y propuestas que los diferentes equipos de investigación han realizado en las diversas áreas de estudio.

Los contenidos de este apartado están extraídos de las memorias de los proyectos vinculados al seguimiento del cambio global cofinanciados tanto por la Fundación Biodiversidad como por el Organismo Autónomo Parques Nacionales, así como de los artículos publicados por el Organismo Autónomo Parques Nacionales en su serie '[Investigación en la red](#)'. En cada uno de los apartados de este capítulo se detalla el origen de los contenidos que se abordan.

El capítulo está dividido en áreas temáticas, comenzando con el clima y, en particular, algunos de los procedimientos de reducción de escala -o *downscaling*- que se han desarrollado para procurar mejorar las predicciones de los modelos de circulación general (GCM). Continúa con una aproximación a la repercusión que el cambio climático puede estar teniendo sobre la evolución de las masas de hielo y nieve en los parques nacionales de montaña, incluyendo las evidencias existentes de que los heleros y cuevas heladas de los Picos de Europa están sufriendo un progresivo deterioro y que los hielos glaciares relictos y el permafrost se encuentran también en proceso de degradación en Sierra Nevada.

Nos detenemos a continuación en la revisión de algunas de las propuestas de métodos sistematizados de seguimiento y monitorización de cambios climáticos y ecológicos que se han explorado, incluyendo herramientas como la teledetección y otras desarrolladas sobre el terreno –incluyendo técnicas como las que nos ofrecen la paleosedimentología o la dendroecología, por poner tan solo un par de ejemplos-. Este abanico de instrumentos incluye la investigación



documental de archivos y documentos históricos y, también, algún proceso de toma de datos basado en la memoria de los habitantes de las zonas. Además se evidencia cómo el trabajo en redes internacionales nos permite entender y comunicar mejor los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas y paisajes.

El capítulo prosigue revisando la evolución de la vegetación y la fauna de la alta montaña y los cambios en su distribución altitudinal, como indicadores útiles que son para el seguimiento del cambio global. Se analizan, por ejemplo, los potenciales efectos fisiológicos del cambio climático sobre las aves de montaña y las posibles respuestas en su distribución, así como estudios específicos en que se evidencia que el cambio global puede tener también efectos crípticos, como en el caso de la ecología sensorial y señales sexuales de los lacértidos. Nos detenemos en el estudio de la influencia del cambio climático sobre los anfibios, un grupo de los más severamente amenazados a nivel global, conociendo por ejemplo cómo el estudio de la distribución y diversidad genética de la rana pirenaica ofrece algunas pistas para evitar el declive de sus poblaciones amenazadas.

Comprobamos gracias a estudios desarrollados en Sierra Nevada y Aigüestortes que algunos órdenes de insectos ligados al agua –como los tricópteros, efemerópteros y plecópteros- son magníficos indicadores de cambio global y, también, la incidencia en los lagos de montaña de la entrada de polvo sahariano, que puede afectar a variables tan singulares como la diversidad bacteriana de dichos lagos.

Nos acercaremos al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel para comprobar los efectos del cambio global en la ecología y la biogeoquímica de las comunidades de macrófitas y a Doñana, para analizar con detalle la situación en que se encuentra el alcornocal de la pajarera. Además, analizamos con detalle la dinámica poblacional de la procesionaria del pino en el Parque Nacional de Sierra Nevada y vemos en qué medida pueden ser graves los efectos del cambio global sobre los ecosistemas marinos a través del caso particular de la comunidad del coralígeno en el Parque Nacional Marítimo Terrestre del Archipiélago de Cabrera.

Por último, se ofrecen algunos ejemplos que inciden en la importancia del trabajo con la gente, evidenciando que habitantes y visitantes de los parques tienen un papel que desempeñar. Así, se propone la puesta a punto de nuevas formas de gobernanza que permitan mejorar la gestión y la conservación y contribuir –mediante estrategias adaptativas concertadas- a la atenuación de los efectos del cambio global y se pone en valor la importancia de la participación como herramienta de trabajo esencial para incorporar a la población a la gestión de los parques. Por último, se aporta algún ejemplo que explora las oportunidades que abre la ‘ciencia ciudadana’ para la colaboración de todos.



## Revisar y mejorar las predicciones climáticas disponibles mediante procedimientos de reducción de escala

La principal herramienta para la prospección del clima de las próximas décadas son los Modelos de Circulación General (MCG o GCM, de sus siglas en inglés). Los GCM muestran una capacidad notable para reproducir las principales características de la circulación atmosférica general, pero el problema surge cuando se chequean los resultados a escala más pequeña donde las variables, especialmente en superficie, no se aproximan a los valores observados en realidad. Estas limitaciones se pueden explicar por varias razones relacionadas con la insuficiente resolución espacial de los modelos, en los que la topografía es descrita con poco detalle, por lo que la fiabilidad del modelo va a depender de la región en la que se esté trabajando y de las características de su relieve. Surge, por tanto, la necesidad de adaptar la información proporcionada por los GCM al terreno, en un tipo de procesos metodológicos que se conocen genéricamente como de reducción de escala o *downscaling*.

### Hacia un modelo válido de *downscaling* para los Picos de Europa mediante el análisis de las variaciones de temperatura y precipitación en las últimas décadas

En el proyecto 'Elementos preliminares para una evaluación del cambio climático en el Parque Nacional de los Picos de Europa [FB05]'<sup>1</sup> se caracterizó la evolución climática observada en la precipitación y la temperatura en el Parque Nacional de los Picos de Europa (PNPE) en las últimas décadas, incluyendo el análisis de los datos suministrados por algunos modelos de circulación general (GCM)<sup>2</sup> en sus nodos más próximos a la región con el objetivo de evaluar la necesidad de aplicar procedimientos de reducción de escala para obtener proyecciones sobre el clima esperado en el siglo XXI en esta zona. Además, se desarrollaron objetivos relacionados con el control de calidad de las medidas tomadas por la red de estaciones meteorológicas automáticas instaladas en el territorio del Parque Nacional, con el fin de ayudar a establecer las tendencias de cambio en esa región, un territorio montañoso y poco poblado en el que no abundan las estaciones de observación meteorológica.

Para abordar el estudio, se seleccionaron en la red de AEMET un conjunto de estaciones de referencia con las que realizar el control de calidad y la validación de las medidas procedentes de las estaciones automáticas instaladas en el PNPE. Se desarrolló un procedimiento de control de calidad de los registros de las estaciones automáticas basado en análisis comparativos entre los registros de las propias automáticas y entre los de éstas y los de las estaciones de referencia de la red AEMET.

**Entre 1955 y 2008 se han observado en los Picos de Europa disminuciones estadísticamente significativas en el número de días de helada y un incremento generalizado del valor medio de la temperatura mínima diaria.**

Según los autores de este estudio y respecto a la evolución de la precipitación entre 1971 y 2008, en las estaciones que rodean al Parque Nacional no se observa evidencia de que se esté produciendo una disminución generalizada de la precipitación, aunque se distingue un comportamiento diferenciado en las vertiente Norte y Sur del territorio. La fase descendente más prolongada, al Norte y al Sur, se produce en verano con una tasa en torno al -1% anual desde 1973, mientras que en la vertiente Sur se observa un incremento del valor medio de la precipitación acumulada en otoño. En los índices de carácter extremo se aprecian ciertos cambios: disminución en verano del número de días con precipitación y, en otoño, de la duración de la mayor racha de días secos consecutivos, así como el incremento de este último índice en primavera.

1] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Jesús Abaurrea León, Jesús Asín Lafuente, Ana Carmen Cebrián Guajardo y Sara Per Molinas, de la Universidad de Zaragoza, en enero de 2010.

2] Los GCM utilizados fueron el CGCM3, canadiense, el modelo ECHAM5 del centro Max Planck alemán -del que se utilizan dos trayectorias, la r1 y la r4-, y el modelo MIROC japonés, en su versión de alta resolución. Son versiones y simulaciones realizadas para la preparación del 4º informe del IPCC (2007) y los tres modelos se encuentran entre los cinco que obtuvieron mejores resultados en un análisis comparativo hecho por los investigadores del KNMI -el instituto meteorológico holandés- van Ulden y van Oldenborgh en 2006, entre 23 modelos que habían suministrado trayectorias para los análisis realizados para el 4º informe.

La evolución de la temperatura máxima es compleja. En el periodo analizado tiene fases de calentamiento pero también fases descendentes y de estabilidad. En el intervalo temporal disponible, 1955-2008, no encontraron evidencias, salvo en Tama, de un proceso de incremento sostenido de esta variable. Por su parte, en la variable Tmin se observa, en ambas vertientes, un incremento generalizado del valor medio y de sus índices extremos desde los años 70, de modo que los suavizados en la última época se sitúan, frecuentemente, en valores máximos o próximos al máximo de todo el periodo analizado. En el periodo analizado se observan también disminuciones estadísticamente significativas en el número de días de helada en invierno, primavera y otoño en todos o en la mayoría de los observatorios.

### Sobre los CGM y los procedimientos de *downscaling* en los Picos de Europa

Ninguno de los tres modelos analizados -ECHAM5 (2 trayectorias), CGCM3 y MIROChi- reproduce las características de la precipitación diaria observada. Los GCM no reproducen las características de las distribuciones de los valores de Tmax y Tmin pero se obtiene una reproducción adecuada de sus distribuciones globales una vez corregido el sesgo en el valor medio, en el caso de Tmin, y también en variabilidad, para Tmax.

De acuerdo a los autores del estudio, la obtención de proyecciones a medio y largo plazo sobre los efectos del cambio climático en la región requiere para la precipitación un procedimiento de reducción de escala -*downscaling*- complejo. Para la temperatura es factible desarrollar un procedimiento estadístico que corrija el sesgo en el valor medio y en la variabilidad sobre las salidas directas que proporcionan algunos GCM. Este procedimiento tiene la ventaja de su sencillez, por lo que convendrá desarrollar algún modelo de *downscaling* que, a priori, será más simple que el de precipitación.



### Estimaciones de precipitación y temperatura para el periodo 2031-60 en el Parque Nacional de los Picos de Europa

El proyecto anterior tuvo continuidad en el estudio '[Análisis del cambio climático proyectado en las variables de Precipitación y Temperatura en el área del Parque Nacional de los Picos de Europa para el periodo 2031-60](#)' [FB10]<sup>3</sup>, cuyo objetivo fue evaluar el cambio climático proyectado para esa zona respecto a los valores medios mensuales de precipitación, temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin) diarias. También se evaluó el cambio previsto en los procesos de ocurrencia de heladas y en la duración de las rachas secas prolongadas.

Utilizando el modelo construido y validado en el proyecto FB05, se simularon trayectorias de precipitación diaria para el periodo 2031-60 para los [escenarios A1B, A2 y B1 formulados por el Intergovernmental Panel on Climate Change \(IPCC\)](#)<sup>4</sup> y se compararon sus características con las

3] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Jesús Abaurrea León, Jesús Asín Lafuente, Ana Carmen Cebrián Guajardo y Sara Per Molinas, de la Universidad de Zaragoza, en mayo de 2011.

4] Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, en su traducción al castellano.

observadas en el clima actual para establecer los cambios proyectados. Además, se procuraron proyecciones válidas de la temperatura máxima diaria (Tmax) y mínima diaria (Tmin) en 6 localidades para los tres escenarios de cambio climático señalados. Por último, se persiguió obtener datos fiables sobre las características de los procesos de helada en el área del Parque en 2031-60, su tasa de ocurrencia y la duración de las rachas de días de helada consecutivos. Se considera que los valores ajustados y las trayectorias simuladas de precipitación para el periodo 2031-60 tienen la misma habilidad representando el clima futuro que las trayectorias del siglo XX representando el clima presente, habilidad que fue evaluada en la fase de validación.

Para el escenario A1B, en la vertiente Norte (Amieva), las frecuencias relativas de precipitación se sitúan, en la mayoría de los meses, próximas a los valores observados en el siglo XX. La tasa de ocurrencia se incrementa en torno a un 5% en primavera e invierno y disminuye en otoño y verano (-8,5%). En la vertiente Sur (Lario-Burón) hay un incremento de la frecuencia de precipitación en invierno y primavera e incrementos de la cantidad media de aproximadamente un 15% en todas las estaciones salvo en otoño. Ello hace que, en el análisis anual se proyecten incrementos de la tasa de precipitación, 4,1%, y de la cantidad media, 11,6%.

Para el escenario A2 en Amieva se proyecta también una primavera más húmeda que la actual, con un incremento del 8,5% y un verano más seco, con una disminución de la frecuencia de precipitación de -11,7%. En Lario-Burón se proyecta un cambio análogo al de A1B en primavera e invierno, con un aumento de la precipitación respecto a los valores actuales del 14,7 y el 10,1% respectivamente. En verano se proyecta una leve disminución de la frecuencia (-1%), y un incremento de la cantidad media (11,2%). El otoño se proyecta más húmedo que en A1B.

---

**Las proyecciones para los tres escenarios de cambio climático en los Picos de Europa (A1B, A2 y B1) arrojan en todos los casos incrementos medios de las temperaturas máximas y mínimas diarias, que pueden llegar hasta los 3,5°C.**

---

El escenario B1 es el que proyecta incremento más elevado de las intensidades medias, anual y estacional, especialmente la anual en Amieva (2,6% en A1B y 1,6% en A2 frente a 11,4% en B1). Estacionalmente, las cantidades se incrementan en otoño, en las dos vertientes, más que con A1B y A2, mientras en las otras estaciones vemos cambios similares a los de los otros dos escenarios.

En el caso de la temperatura, para el escenario A1B los cambios proyectados son siempre incrementos superiores a 1,2°C, mayores para Tmax que para Tmin (en términos absolutos) en todas las estaciones y localidades. Los mayores incrementos corresponden a la variable Tmax en otoño, entre 2,4 y 2,8°C en el Sur y más de 3°C en el Norte. Los mayores cambios en Tmin se proyectan en otoño y verano, con incrementos que se sitúan entre 1,7 y 2,2°C.

Para el escenario A2, los cambios que se proyectan en todos los observatorios en las cuatro estaciones del año son también incrementos de temperatura, mayores en términos absolutos para Tmax que para Tmin. Como en A1B, los mayores incrementos se proyectan en otoño para Tmax, entre 2,7 y 3,5°C, a los que siguen los incrementos proyectados en verano en la vertiente Norte. Para la variable Tmin los mayores cambios proyectados se dan en verano, entre 1,9 y 2,1°C, seguidos del otoño, entre 1,6 y 2°C.

Y para el escenario B1, el incremento proyectado en Tmax es menor en primavera (0,7-0,8°C) que en el resto de estaciones, llegando a los 2°C en otoño. El aumento de Tmin es menor en invierno y primavera 1,1-0,7°C, y superior a 1,5°C en verano y otoño.

Se proyectan (salvo en marzo bajo B1), disminuciones de la frecuencia de helada en los tres escenarios (A1B, A2 y B1). En los meses que van de noviembre a marzo, dos o los tres escenarios proyectan un decrecimiento de la longitud de las rachas y los tres escenarios coinciden en proyectar decrecimientos en febrero, entre el 5 y el 17% de la longitud 1971-2000, y en noviembre, en torno al 14%.

Así, los resultados muestran que una región particular puede tener un escenario de cambio diferente del que se asigna a un territorio más amplio («disminución de las precipitaciones en la Península Ibérica», por ejemplo).

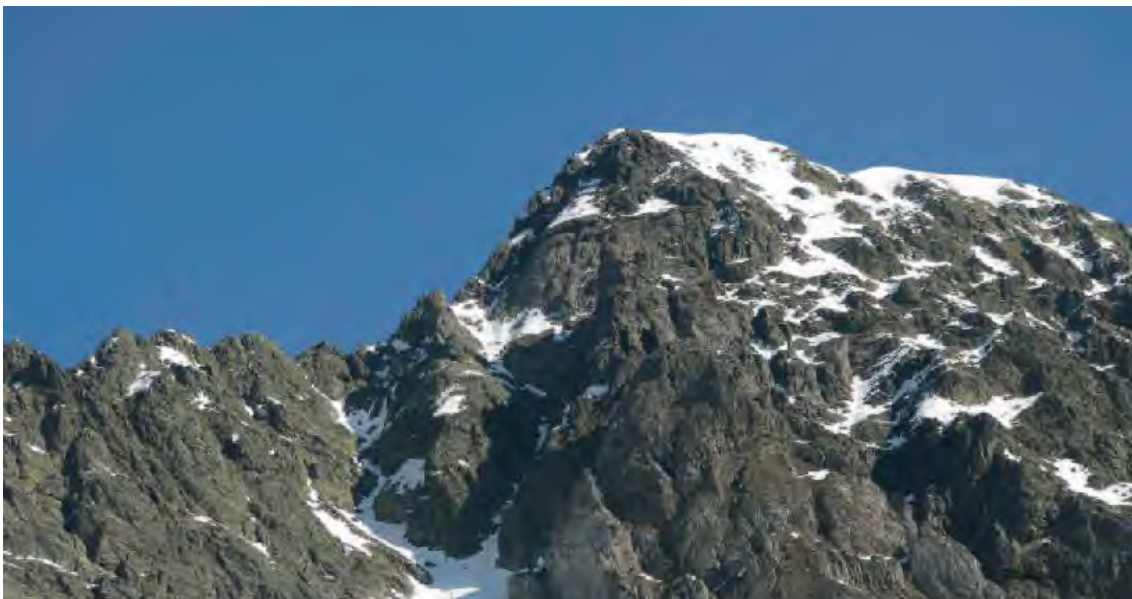
### Un modelo de reducción de escala para Sierra Nevada

Las zonas de alta montaña son especialmente sensibles a una variación del clima, por lo que en todo el mundo se han seleccionado enclaves de este tipo como observatorios del cambio global, entre los cuales se encuentra el Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada, cuyo objetivo último es garantizar la obtención de la información necesaria para identificar con la máxima antelación posible los impactos del cambio global, con el objeto de diseñar mecanismos de gestión que permitan minimizarlos y favorezcan la adaptación del sistema a los nuevos escenarios.

En el marco de esta iniciativa o vinculados a ella se han desarrollado un buen número de proyectos cofinanciados por la Fundación Biodiversidad y el Organismo Autónomo Parques Nacionales. Es el caso del 'Estudio del efecto del cambio global sobre la nieve y la hidrología de alta montaña en el Parque Nacional de Sierra Nevada' [FB16]<sup>5</sup>, que plantea el análisis del impacto que los escenarios de cambio climático suponen en el área del Parque Nacional, aplicando modelado hidrológico a partir de las variables meteorológicas asociadas y analizando en profundidad las implicaciones de ese cambio no sólo sobre las variables atmosféricas (precipitación y temperatura) sino también sobre otras variables relacionadas con el ciclo del agua que condicionan el desarrollo de las especies: la cantidad y duración de la nieve, la humedad del suelo o el caudal en los ríos.

Como hemos visto anteriormente, en el marco del AR4-IPCC<sup>6</sup> (*Intergovernmental Panel of Climate Change*) se propusieron cuatro posibles escenarios futuros según diferentes patrones de comportamiento de la población en materia de globalización, tasas de crecimiento o políticas medioambientales, escenarios que se traducen en proyecciones a gran escala de diferentes variables atmosféricas gracias al uso de modelos globales. A su vez, estas proyecciones han de ser regionalizadas, mediante un proceso de reducción de escala (*downscaling*), y de este modo adaptarse a características regionales o locales influidas por otros condicionantes a esta menor escala (p.e. orografía, usos del suelo).

Como método de validación, la misma metodología es empleada para simular datos sobre un período de referencia en el pasado y compararlos con observaciones reales. De esta forma se puede analizar el método de *downscaling* realizado y obtener así conclusiones sobre su bondad y, en su caso, la necesidad de cuantificar coeficientes correctores. El periodo de referencia para el procedimiento de validación adoptado en este trabajo fue 1960-2000, para el cual se compararon las series de precipitación y temperatura a diversas escalas temporales: diaria, mensual, estacional y



5] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por María José Polo Gómez y el Grupo de Trabajo de Dinámica Fluvial e Hidrología de la Universidad de Córdoba (<http://www.uco.es/dfh/>).

6] Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Se puede acceder a los diferentes informes en la web del IPCC, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

anual. La correlación encontrada entre ambas series de datos para las escalas inferiores fue muy baja, encontrándose errores notables para la simulación de la nieve y la hidrológica. Se optó por tanto por la escala anual para realizar la selección del modelo más adecuado.

El modelo elegido finalmente para este estudio fue el ECHAM5, regionalizado con el método estadístico 'Análogos', una combinación que presentó los menores errores en global para todas las variables, además de ser uno de los modelos seleccionados por la Junta de Andalucía en sus previsiones de los Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía (ELCCA), lo cual permite una mayor explotación posterior de sus resultados. El modelo hidrológico WiMMed (*Watershed Integrated Management in Mediterranean Environments*) desarrollado por el **Grupo de Investigación de Dinámica Fluvial e Hidrología (GDFH)** de las Universidades de Córdoba y Granada y calibrado en cuencas de la zona de estudio, especialmente diseñado para modelar la nieve en condiciones mediterráneas y en áreas de elevada variabilidad espacial, fue el empleado para la realización de las simulaciones de nieve e hidrológicas, que permiten la definición de determinadas variables descriptoras que estudiar y compara tanto en el periodo de referencia como en el futuro.

Una vez seleccionados los modelos, se llevó a cabo un estudio comparativo más pormenorizado entre los datos IPCC y los datos observados para el periodo de referencia 1960-2000. Como patrón general se observa una evolución de las temperaturas medias similar, con ligeras alternancias entre años y con una pequeña sobrestimación de las mismas en el caso de los datos del IPCC. Las tendencias de crecimiento son bastante similares, del orden de 0,03°C/año. En el caso de las temperaturas mínimas los datos del IPCC, en tres de las estaciones estudiadas, muestran temperatura más elevadas con tendencias de crecimiento positivas, mientras que los patrones observados en los datos medidos indican un decrecimiento de esta variable. En el caso de la precipitación, se muestra como tendencia general una infraestimación de la precipitación proporcionada por las previsiones del IPCC, incrementándose el error con la altura. Puede observarse además que el carácter torrencial de estas zonas, no es suficientemente recogido por estas previsiones, que puede ser achacada a la complejidad topográfica del área de estudio.

En términos globales, la precipitación anual está experimentando una tendencia decreciente, acotada en aproximadamente -4 mm/año como media en 40 años, con diferencias locales. Estos cambios conllevan una disminución en la precipitación anual en forma de nieve (-1 mm/año como media en 40 años) y en el número de días al año con presencia de nieve en la zona (-0,3 días/año como media en 40 años), con una variabilidad anual muy elevada, lo que conlleva la necesidad de series extensas -de al menos tres décadas- para poder efectuar un análisis de tendencias. También se detecta un incremento de la torrencialidad en el régimen de precipitación y de precipitación en forma de nieve. El conjunto de los datos ocasionan una pérdida del equivalente de agua global en la zona de estudio.

---

**En Sierra Nevada, la precipitación y el número de días al año con nieve muestran una tendencia decreciente para los últimos 40 años. Aumenta sin embargo la torrencialidad en el régimen de precipitaciones.**

---

Respecto a las proyecciones, se seleccionaron en este caso los escenarios A2 y B1 entre los propuestos en el 4º Informe del IPCC -por representar estados posibles extremos en el conjunto- y se realizaron predicciones para los periodos 2040-2060 y 2080-2100. En cuanto a la temperatura, existe un incremento notable de la temperatura para ambos escenarios (A2 y B1), llegando a obtenerse temperaturas medias en las cumbres para el último periodo que antes se alcanzaban solo en las cotas medias de la cuenca analizada. Este incremento es más abrupto para el escenario más restrictivo, A2, para el que -en los puntos más elevados- llegan a alcanzarse incrementos de 5°C. En el caso de la precipitación el escenario A2 pronostica un decremento de la precipitación tres veces superior al pronosticado por el escenario B1. Los valores medios de caudal diario anual circulantes en dichos puntos arrojan una pérdida de entre el 25 y el 31% en el escenario más desfavorable, y entre el 7 y el 12% en el escenario más benigno. Se deduce una incidencia clara sobre la disponibilidad de recursos hídricos, sobre todo en el periodo seco del año, y sobre las condiciones ecológicas de los tramos fluviales, así como en otros procesos que inciden en los servicios ecosistémicos asociados a la nieve en alta montaña, como la evolución de la vegetación de ribera, las condiciones del subálveo fluvial o la altura piezométrica en pozos.

## La repercusión del cambio climático sobre la evolución de las masas de hielo y nieve en los parques nacionales de montaña

Dado que las montañas constituyen uno de los ambientes más sensibles a los cambios climáticos y ambientales, el estudio de la dinámica geomorfológica de laderas y elementos de la criosfera (hielo y nieve) resulta clave para conocer las repercusiones de los cambios actuales y comprender la interacción entre los indicadores climáticos y los geomorfológicos. En este sentido, los procesos y formas activas (de laderas, periglaciares, nivales) y las herencias del pasado (heleros, huellas glaciares y periglaciares) se convierten en geoindicadores climáticos y ambientales muy expresivos y, de hecho, la sensibilidad al cambio climático de las laderas de montaña puede ser utilizada para reconstruir climas pasados e implementar los modelos predictivos sobre cambio climático.

Es por ello que el estudio de los procesos de ladera y los vinculados a la existencia del manto nival y del hielo en el suelo se ha convertido en los últimos años en uno de los temas clave dentro de los estudios sobre los cambios climáticos pasados y presentes en Europa. Para ello, es necesario obtener registros lo más fiables posible, que nos aporten información sobre cambios en los sistemas morfogenéticos de laderas inducidos por los cambios climáticos.



### Los heleros y cuevas heladas de los Picos de Europa están sufriendo un progresivo deterioro

El proyecto '[Geoindicadores de alta montaña y cambio global: análisis y control de indicadores geomorfológicos en el Parque Nacional de los Picos de Europa](#)' [OAPN03]<sup>7</sup> se inscribió en la línea de investigación de la red UE-CRYOSLOPE, aprobado por la [European Science Foundation \(ESF\)](#) y promovido desde la [International Permafrost Association \(IPA\)](#). Esta red tiene como objetivo coordinar y promocionar redes de monitorización, la comprensión de la evolución de las laderas de montaña, su respuesta a los cambios climáticos y favorecer el desarrollo de nuevas aplicaciones (sensores remotos, geofísica, control de cambios, monitorización ambiental, etc.).

En el Parque Nacional de los Picos de Europa se aprecia una zona alta -por encima de 2.200 metros- en la que la intervención del hielo es significativa y han existido glaciares en épocas históricas, mientras por debajo de los 1800 metros los procesos son más atenuados y asociados a la nieve. En altitud existen masas de hielo residual, los heleros, en los que se ha constatado la pérdida rápida de hielo, caracterizada por fases de rápidas pérdidas asociadas a condiciones de baja innivación y veranos cálidos y periodos de equilibrio sin variaciones en la masa de los heleros.

<sup>7</sup> Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo '[Análisis y control de indicadores geomorfológicos en el Parque Nacional Picos de Europa](#)', publicado por el OAPN y firmado por Enrique Serrano Cañadas (Universidad de Valladolid), José Juan Sanjosé Blasco (Universidad de Extremadura), Juan José González Trueba (Universidad del País Vasco), Mariano Del Río Pérez (Universidad de Extremadura), Purificación Ruiz Flaño (Universidad de Valladolid), Alan Atkinson Gordo (Universidad de Extremadura), Raúl Martín Moreno (St Louis University), Ibai Rico Lozano (Universidad del País Vasco) y Ángel Fernández (Biosfera S.L.).

Fuentes históricas y estudios geomorfológicos señalan la existencia de glaciares en los Picos de Europa durante la Pequeña Edad del Hielo. En el Jou Transllambrión diferentes fuentes constatan la existencia de un glaciar hasta principios del siglo XX, con una extensión de 6,1 ha, cobijado al norte. Durante el siglo XX y la primera década del XXI ha sufrido una paulatina pérdida de masa hasta quedar reducido a un pequeño lentejón de 1,4 ha. Entre 1996 y 2008 el helero perdió un 76% de su masa, quedando relegado a una pequeña mancha de hielo adosada al pie de la pared. Durante este periodo, la pérdida anual de masa se situaría en el 4,2%, aunque el ritmo de fusión no sería constante, pues durante los años 2009 y 2010 no se percibió ninguna reducción. Así pues, el helero se encuentra en una situación crítica en la que la sucesión de dos o tres veranos favorables a la fusión pueden conducir a corto plazo a la total desaparición del hielo.

Este proyecto tuvo continuidad en el estudio **‘Criosfera y cambio global en espacios naturales protegidos: control de procesos geomorfológicos asociados a la nieve y el hielo como geindicadores de cambio ambiental en el Parque Nacional de los Picos de Europa’ [OAPN21]<sup>8</sup>**, entre cuyos objetivos estuvo la aplicación de técnicas innovadoras para la auscultación de procesos y formas y el estudio de aspectos nuevos relativos a la criosfera, como la nieve y el hielo en cavidades.

Se realizó el balance de masa de heleros, con pérdidas para el ciclo registrado. No se detectaron deformaciones de las masas, pero sí deslizamientos que colaboran en la rotura y pérdida de masa asociado a los años más cálidos con circulación subbasal de agua líquida. Se ha establecido que el hielo estacional sólo aparece en una porción intermedia por encima de 1870 metros, en orientaciones favorables, quedando libre el resto, y hay hielo permanente sólo en cuevas y en el Jou Negro, por las condiciones topoclimáticas y la presencia de la masa de hielo. La actividad geomorfológica principal deriva de la nivación, elemento de la criosfera más activo en los Picos de Europa.

Para el conjunto del glaciar del Jou Negro se ha establecido una pérdida del 60% de su superficie aflorante durante los últimos 30 años, y entre 10 (zona baja) y 50 (zona alta) metros de adelgazamiento del hielo. Para el periodo controlado (2007-2008) se ha registrado una pérdida del 7,6% de la superficie, concentrada prioritariamente en la porción superior. Se ha detectado un movimiento del helero, que denota procesos de deslizamiento, con adelgazamiento en la porción superior y engrosamiento en la inferior, sin deformaciones de flujo ni cambios en las estructuras glaciares visibles. En conjunto, el helero muestra una rápida respuesta anual y cambios en su disposición, recubrimiento y pérdida de la masa de hielo, relacionados con diversos procesos geomorfológicos del entorno y de la propia masa de hielo. Queda pendiente de confirmar si esta respuesta es continua, señalando una activa dinámica con cambios muy rápidos, o puede estar en relación con años favorables para la fusión, la presencia de agua en las paredes, sobre el hielo y bajo el hielo que denotan una actividad extraordinaria, si bien la tendencia general de retroceso, pérdida de masa y recubrimiento queda constatada.

---

**Los heleros de los Picos de Europa (como Jou Transllambiión y Jou Negro) están experimentando notables reducciones de su superficie y su masa en las últimas décadas, además de procesos de deslizamiento.**

---



<sup>8</sup>Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Enrique Serrano Cañadas (Universidad de Valladolid) y su equipo de investigación en marzo de 2015.

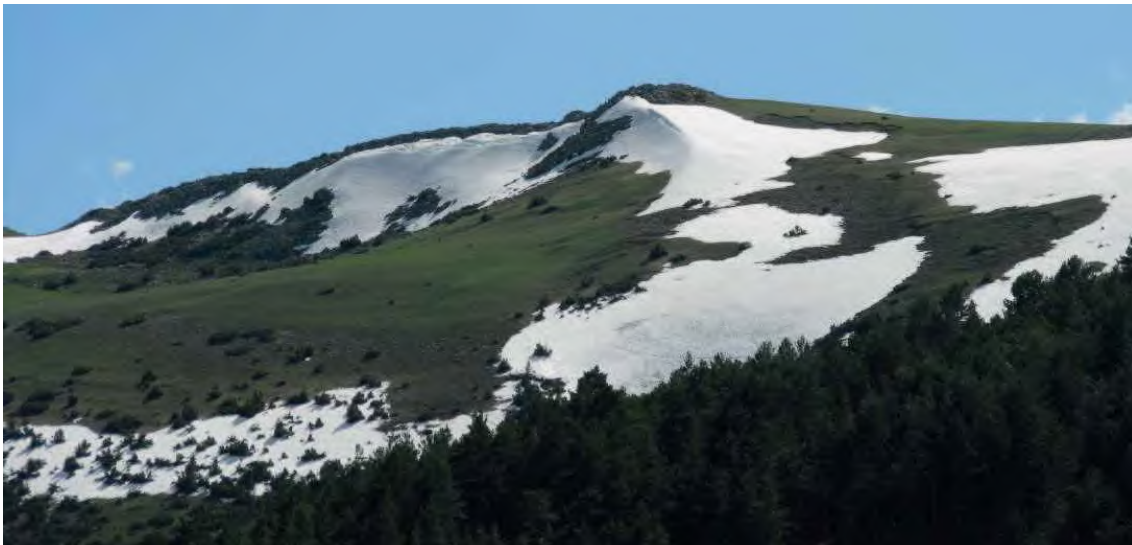


En conjunto se ha detectado que las cuevas heladas perdieron masa de hielo en los años analizados, aunque en algunos bloques existe un rango de incertidumbre entre las cifras de pérdida y las de hundimiento. Las aportaciones estivales al ciclo hidrológico son efectivas, aunque no se han podido estimar cifras de aportación a los caudales subterráneos.

### **Propuestas para la gestión y la conservación**

La importancia del patrimonio asociado a la criosfera y de las cuevas heladas en particular en los Picos de Europa deriva de su consideración como elementos helados supervivientes y únicos de los climas fríos pasados. En superficie tan sólo persisten en la actualidad cuatro heleros de lo que fueron los glaciares históricos de la Pequeña Edad del Hielo, sobre los que se viene comprobando su nula dinámica y su marcado retroceso.

Otros elementos y procesos significativos de medios fríos del pasado, o herencias, aun actuales, pero en disarmonía con las condiciones ambientales actuales tienen un papel primordial para la educación en espacios naturales protegidos. En particular, las cuevas heladas de los Picos de Europa merecen una valoración patrimonial. Pero no se ha de perder de vista que, del otro lado de la moneda, se encuentra su propia belleza estética. Aunque en el caso de los Picos de Europa sus accesibilidades son difíciles (la mayoría de las cuevas requieren de habilidades espeleológicas y/o de esforzadas aproximaciones), y por tanto están lejos de las realidades de degradación que soportan algunas de las cuevas turísticas más reconocidas, la carga de visitantes que soporta el Parque las puede convertir en objetos potenciales de atracción turística, con el consiguiente deterioro ambiental, especialmente en el caso de aquellas más accesibles, como es el caso de la cueva helada de Peña Castil.



### **En Sierra Nevada, los hielos glaciares relictos y el permafrost también se encuentran en proceso de degradación**

Los autores del estudio '[Degradación de hielo fósil y permafrost y cambio climático en Sierra Nevada](#)' [OAPN05]<sup>9</sup> desarrollaron una investigación en el Corral del Veleta -en la línea de cumbres máximas de Sierra Nevada, por encima de los 3.000 m-, un antiguo circo glaciar que, durante la Pequeña Edad del Hielo, albergó un pequeño foco glaciar del que se tienen noticias escritas desde

9] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo '[Degradación de hielo fósil y permafrost y cambio climático en Sierra Nevada](#)', publicado por el OAPN y firmado por Antonio Gómez Ortiz (Universidad de Barcelona), Ferran Salvador Franch (Universidad de Barcelona), José J. Sanjosé Blasco (Universidad de Extremadura), David Palacios Estremera (Universidad Complutense de Madrid), Marc Oliva Franganillo (Universidade de Lisboa), Montserrat Salvà Catarineu (Universidad de Barcelona), Luis M. Tanarro (Universidad Complutense de Madrid), José M. Raso Nadal (Universidad de Barcelona), Alan Atkinson Gordo (Universidad de Extremadura), Lothar Schulte (Universidad de Barcelona), José A. Plana Castellvi (Universidad de Barcelona), Benedita Milheiro Santos (Universidad de Barcelona) y David Serrano Giné (Universidad Rovira i Virgili (Tarragona).

el siglo XVII y que mantuvo restos de hielos hasta mediados del siglo XX. En 1998 aún persistían vestigios junto con permafrost discontinuo, atrapados bajo mantos de bloques, conformando paquetes relativamente homogéneos, pudiéndose extender por todo el tercio oriental y zonas adyacentes de la base del Corral del Veleta. En 2009 se realizó una nueva prospección y los resultados indicaron una reducción significativa de masas heladas, evidenciando que el estado físico y evolución del hielo relicto y permafrost se encuentran en proceso de degradación y paulatina merma.

Las condiciones climáticas actuales resultan poco favorables al mantenimiento de las masas heladas atrapadas en el interior del glaciar rocoso. Así, los hielos glaciares relictos y el permafrost retenidos bajo el manto de bloques en el tercio oriental de la base del Corral del Veleta se encuentran en proceso continuado de degradación, como resultado de la sucesión de procesos físicos en cascada, iniciados a partir de la radiación externa que incide en el suelo y funde la nieve. Es el grado de cobertura nival en verano el que favorece o dificulta la eficacia de la temperatura y circulación de aguas en el seno del suelo y, por consiguiente, la degradación de las masas heladas profundas. Así, la degradación de estas masas heladas sucede en verano, en pocas semanas, y de manera más notoria y acelerada desde que la nieve tiende a permanecer menos tiempo en las cumbres de Sierra Nevada, hace ya décadas<sup>10</sup>. La pérdida de volumen de masas heladas en la zona de estudio durante el periodo 2006-2009 fue de 3.505,9 m<sup>3</sup>.

Los datos acumulados del comportamiento físico de las masas heladas y manto nival en el Corral del Veleta son aún limitados para obtener conclusiones sólidas de carácter climático. Sin embargo, las observaciones y experiencias de campo hechas durante estas últimas décadas permite evidenciar que la permanencia de la nieve en el suelo es cada vez de menor duración: progresivo refugio en cotas cada vez más elevadas, predilección por enclaves topográficos al resguardo de la radiación y, en el caso de orientaciones meridionales, además, en concavidades a sotavento.



#### Apuntes para el seguimiento del cambio global

Es importante realizar un seguimiento periódico del comportamiento físico del hielo relicto, el permafrost y el manto nival en zonas altas de montaña, especialmente en antiguas zonas glaciares o periglaciares, como es el caso de los Picos de Europa, Sierra Nevada y los parques pirenaicos, a partir de metodologías y técnicas pluridisciplinares.

#### También en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido los glaciares

El estudio '[Dinámica glacial, clima y vegetación en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido durante el Holoceno](#)' [OAPN24]<sup>11</sup> muestra -basándose en estudios geomorfológicos, en la evolución reciente de los glaciares y en el análisis de registros lacustres- la variabilidad de la dinámica geomorfológica, hidrológica, climática y de la vegetación del parque nacional durante el Holoceno.

Entre las conclusiones de este trabajo, se demuestra que la evolución de todos los cuerpos de hielo durante el período estudiado ha sido similar en su evidente tendencia regresiva, aunque con matizaciones: pérdidas moderadas de área en el Inferior de Monte Perdido, medias en el Superior de Monte Perdido y muy notables en el de Marboré. El período 1957-81 muestra una cierta estabilización en los retrocesos de todos los aparatos, mientras que en el tramo temporal 1981-2006 se registran los mayores descensos en superficie.

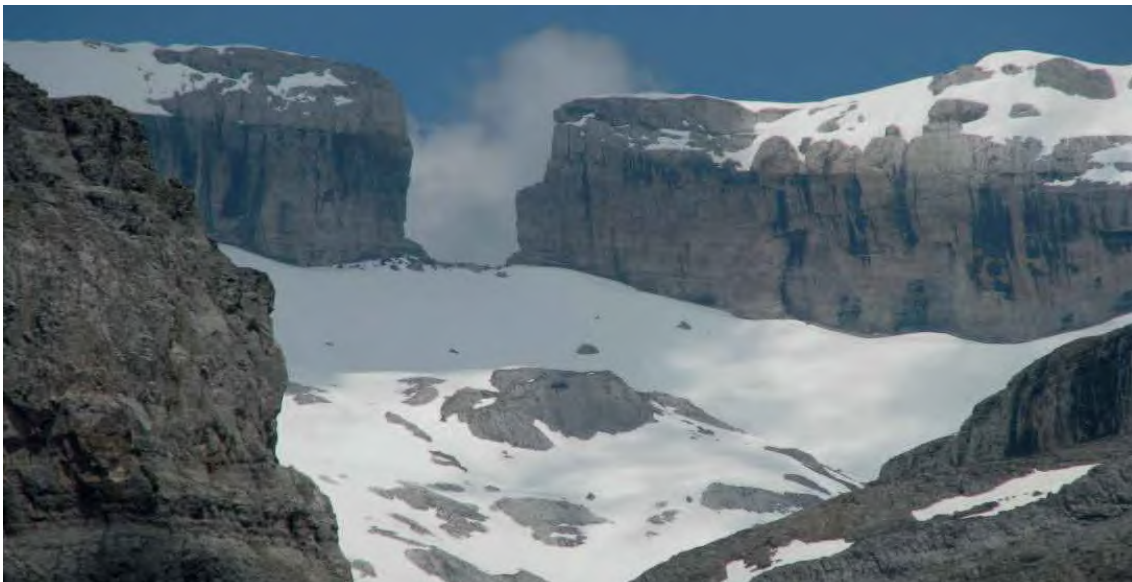
10] Se puede consultar también la información publicada al respecto por algunos medios de información como el diario [Público](#) o [EfeVerde](#).

11] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo [Dinámica glacial, clima y vegetación en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido durante el Holoceno](#) publicado por el OAPN y firmado por Blas Valero Garcés, Oliva Urcia, Ana Moreno, Mayte Rico, José María García-Ruiz, Penélope González-Sampéris, Ana Pérez, Fernando Barreiro, Miguel Bartolomé, Eduardo García-Prieto, Graciela Gil-Romera y Miguel Sevilla-Callejo (CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología), Pilar Mata y Ángel Salazar (Instituto Geológico y Minero de España), María Rieradeval y Pol Tarrats (Universitat de Barcelona), Javier Chueca, Tomás Arruebo Muñio y Carlos Sancho (Universidad de Zaragoza), Ariadna Salabarnada (Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra), Alfonso Pardo (Escuela Politécnica Superior de Huesca) y Lourdes López-Merino (Brunel University).

Respecto a los elementos que han condicionado la dinámica regresiva observada, se ha confirmado para el área de estudio la presencia de un factor ligado al comportamiento climático a nivel regional, caracterizado por el aumento de las temperaturas durante el período de ablación (fundamentalmente las temperaturas máximas, las que mayores repercusiones tienen en el balance de masa glaciar) y el descenso de las precipitaciones nivales durante el período de acumulación.

Dentro de los factores locales, asociados a la topografía, el retroceso observado a nivel de detalle en superficies y espesores glaciares en la zona de estudio puede relacionarse con las diferencias en las entradas de radiación solar incidente. Este factor es el que condiciona de una forma más estrecha la degradación glaciar en las fases finales de retroceso.

Desde el final de la Pequeña edad del Hielo, cuyo último máximo corresponde a la década de 1820, el proceso dominante en el circo de Marboré ha sido la deglaciación. Hasta mediados del siglo XX el glaciar de Monte Perdido constaba de tres masas de hielo escalonadas, de las que la inferior (alimentada por avalanchas de hielo desde el glaciar intermedio) ya ha desaparecido. Las otras dos masas han entrado en una fase muy regresiva desde la década de 1980, disminuyendo algo en extensión pero sobre todo reduciendo su espesor.



### Avanzando en el diseño de métodos sistematizados de seguimiento y monitorización de cambios climáticos y ecológicos

Uno de los objetivos esenciales de la Red de Seguimiento del Cambio Global es la exploración y puesta a punto de herramientas útiles para el seguimiento del cambio global en los parques nacionales. En esta línea, se han cofinanciado varios proyectos, dos de los cuales fueron desarrollados en el marco del Parque Nacional de Sierra Nevada y su Observatorio de Cambio Global, destinados a diseñar una red de Estaciones de Monitoreo Intensivo (EMIs) y habilitar los instrumentos necesarios –a modo de experiencia piloto– para el seguimiento de una serie de indicadores climáticos y ecológicos en tiempo real.

El primer objetivo del proyecto '[Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada: diseño y desarrollo de un sistema de monitorización ecológica basado en la red de estaciones multiparamétricas](#)' [FB11]<sup>12</sup> fue el diseño de una red de EMIs en el Espacio Natural de Sierra Nevada, definidas como parcelas de territorio ecológicamente homogéneo en torno a una estación multiparamétrica en la que existe una alta concentración de sensores y protocolos de recogida de

12] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Regino J. Zamora Rodríguez (Universidad de Granada) y su equipo de investigación (Ramón Pérez Pérez, Francisco J. Bonet García y Antonio Jesús Pérez Luque) en octubre de 2012.

datos atmosféricos, edáficos y biológicos. Además, se diseñó y desarrolló un sistema de captura de datos de las estaciones multiparamétricas para el procesado continuo de indicadores y otro de teledetección para las EMIs, tratando de obtener de forma completamente automatizada datos de sensores transportados, particularmente del **sensor MODIS del satélite TERRA** que incluye productos como el índice de nieve (NDSI), la delimitación de incendios o el índice de vegetación (NDVI y EVI) con resoluciones de 250 m, parámetros muy útiles de cara a estudiar los cambios sufridos por los ecosistemas en el contexto de cambio global.

Se persiguió también diseñar un modelo para integrar los datos climáticos, los datos bióticos procedentes del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada y los datos procedentes de sensores remotos, así como la creación de un sistema de indicadores de estado para la red de EMIs que permitan conocer con precisión espacial y temporal el estado de conservación. La idea de partida

**Una propuesta para el seguimiento del cambio global en los parques nacionales: la definición de una serie de Estaciones de Monitoreo Intensivo, áreas en las que se miden de forma continua una serie de indicadores abióticos y bióticos.**

es que estos indicadores se procesen de forma automatizada conforme los datos brutos se transfieran a la base de datos, lo que permita un seguimiento continuo. Por último, el proyecto incluyó el diseño y creación de una plataforma web para la consulta y descarga de datos en el marco del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada.

La idea es que en una EMI, además de los datos de la propia estación multiparamétrica (humedad relativa, precipitación, radiación solar, temperatura del aire y suelo, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, temperatura del suelo, radiación UVB1 y UVA1 y Nivel de nieve), se tomen datos biológicos (flora y fauna) –en este caso mediante los protocolos de seguimiento del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada-, y datos de distinta naturaleza obtenidos mediante teledetección (cobertura de nieve, albedo, índices de vegetación, productividad, incendios). Así, podría considerarse una EMI como un punto caliente de obtención de datos de alta frecuencia de actualización, gran calidad y con una localización geográfica precisa, definida en un Sistema de Información Geográfica (SIG).



Dicho proyecto tuvo continuidad en el estudio '**Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada (Fase II): Creación de una red de sensores inalámbricos en las Estaciones de Monitoreo Intensivo. Experiencia piloto**' [FB13], desarrollado por el mismo equipo, cuyo objetivo fue el diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos para medir determinadas variables abióticas (humedad del aire, humedad del suelo, temperatura del aire y temperatura del suelo) y bióticas (actividad fotosintética) en una de las Estaciones de Monitoreo Intensivo previamente definidas en Sierra Nevada.

Además, se diseñó un sistema de información que permita gestionar de manera consistente los datos generados, incluyendo una base de datos que albergue la información suministrada por los sensores y su integración en redes científicas internacionales. Se configuró una plataforma web para la descarga de datos y el análisis de los mismos y se planificaron los pasos a dar para la implementación de los resultados obtenidos con esta experiencia piloto en la red de EMIs del Parque Nacional de Sierra Nevada. El proyecto se concibió como una experiencia piloto en la instrumentación de una EMI concreta de Sierra Nevada, aunque la meta a futuro es el de desplegar redes sensoriales en todas las EMI como pieza clave para potenciar los proyectos de investigación sobre cambio global que se desarrollan en Sierra Nevada.



### **Investigar las modificaciones en el paisaje, los usos del territorio y la vegetación acaecidos en el pasado como medio para tener más información sobre el cambio global**

El conocimiento de lo ocurrido en el pasado es uno de los elementos clave que nos puede permitir entender mejor los procesos y variables en juego para poder entender el presente y, también, para podernos aproximar a los cambios que nos pueden esperar en el futuro. Si hablamos en particular de cambios en la vegetación y el paisaje, resulta esencial conocer y entender las variables de cambio para poder modelizar la distribución de la vegetación en el futuro de acuerdo con diferentes escenarios, tanto climáticos como de modificaciones en el uso. En este sentido, existe un amplio abanico de fuentes históricas que nos pueden proporcionar información valiosa para reconstruir la distribución de la vegetación en el pasado y aportarnos además una serie de datos sobre la actividad humana en el territorio que nos ayuden a entender la dinámica de la vegetación y de los cultivos en el pasado, lo que nos puede ayudar a comprender el territorio en la actualidad.

En esta línea, el objetivo del proyecto 'Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada, fase III: Recopilación de información histórica sobre aspectos estructurales y funcionales de la red de EMIs' [FB15]<sup>13</sup> fue llevar a cabo una recopilación de información relevante sobre cambios en la cubierta vegetal sufridos en una de las Estaciones de Monitoreo Intensivo (EMIs) de Sierra Nevada y poner en valor la información disponible en fuentes muy diversas, tales como documentos históricos de trabajos de campo antiguos, cartografías, catastros, etc., con el fin de integrar estos datos en el sistema de información del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada.

En el caso concreto de la información sobre la evolución de la cubierta vegetal, se procuró generar una serie temporal lo más completa posible de las formaciones vegetales que han ido ocupando Sierra Nevada desde tiempos históricos. Para ello se caracterizaron fotografías aéreas antiguas<sup>14</sup> -la serie de 1956 y otras de los años 40, 70 y 80-, así como documentos sobre expediciones de naturalistas a Sierra Nevada (como Edmond Boissier o Simón de Rojas Clemente). Son trabajos estos

13] Este proyecto supuso una continuidad de los realizados por el mismo equipo [FB11] y [FB13]. Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Regino J. Zamora Rodríguez (Universidad de Granada) y su equipo de investigación (Ricardo Moreno Llorca, Ramón Pérez Pérez, Francisco J. Bonet García y Antonio Jesús Pérez Luque) en noviembre de 2014.

14] Disponibles en la fototeca digital del [Instituto Geográfico Nacional](#).

últimos realizados por investigadores, escritores y aventureros que resultan muy interesantes en sí mismos y desde un punto de vista etnográfico y cultural y a menudo presentan una información descriptiva sobre zonas concretas apoyadas en ilustraciones o fotos. Sin embargo, la posibilidad de trasladar estos últimos datos a una cartografía suele ser muy inexacta.

A este tipo de documentos se sumaron otras fuentes como el Diccionario Geográfico de Pascual Madoz, el Catastro del Marqués de la Ensenada, el Inventario forestal del Ministerio de Marina de 1748 o el Mapa Catastral de 1920- y, también, cartografías y fotografías antiguas de la zona.

Otro objetivo, complementario a éste, fue la recopilación de información histórica sobre usos del suelo y el aprovechamiento de recursos naturales, para lo cual se utilizaron los planes de aprovechamiento de los montes, datos procedentes de las subastas municipales, el SIGGAN<sup>15</sup> y el SAGA<sup>16</sup>

**La documentación histórica, de muy diverso tipo, puede ser una magnífica fuente de información para conocer los cambios en el paisaje y la vegetación que ha sufrido una zona. Además, los vecinos más mayores pueden aportar datos muy significativos sobre dichos cambios.**

y la obtención de información a partir de los activos sociales, en particular a partir de entrevistas con ganaderos jubilados y en activo, consultas a expertos y talleres de cartografía participativa.

Además, en el acervo popular de cada lugar existe una extensa cantidad de información que nos puede ayudar a entender y reconstruir el estado de la vegetación en el pasado, así como los usos que se llevaron a cabo en el territorio.

Para la realización de esta parte del trabajo se llevaron a cabo una serie de entrevistas semiestructuradas con una selección de informantes de interés en base a criterios de edad, profesión y capacidad de aportar información al proyecto. La información aportada por los diferentes informantes mostró un alto grado de coincidencia, aunque un taller final de cartografía participativa realizado fue muy útil para poder corregir algunas discrepancias, así como para brindar la oportunidad de que apareciese información nueva, como resultado del debate y la puesta en común.

Todos los datos e información obtenida, incluyendo nuevos datos meteorológicos solicitados a la Dirección General de Tráfico y a la Consejería de Medio Ambiente (procedentes de la antigua Confederación Hidrográfica del Sur), se integraron en el sistema de información asociado al Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada, que recibe el nombre de **Linaria** y cuenta ya con gran cantidad de información referente a diversos aspectos de la dinámica y estructura de los ecosistemas nevadenses, además de datos climáticos y socioeconómicos.



#### Apuntes para el seguimiento del cambio global

La investigación de documentos históricos de muy diferente origen, así como el acceso a la información que poseen los habitantes de mayor edad puede ser una fuente importante para conocer datos sobre la evolución del paisaje, la vegetación y los usos del suelo en el pasado.



15] Sistema de Información y Gestión Ganadera en Andalucía.

16] Sistema de Aprovechamientos Ganaderos de Andalucía, referido a los montes de aprovechamiento público.

### La teledetección como herramienta de seguimiento de la vegetación a través de sus atributos funcionales

El desarrollo de programas de seguimiento que permitan una rápida evaluación de las condiciones de las áreas protegidas frente a los efectos del cambio global representa un reto. El uso de la teledetección puede ser una herramienta útil, ya que a partir de índices espectrales relacionados con el intercambio de materia y energía entre la vegetación y la atmósfera se pueden derivar atributos que informan sobre la integridad de los ecosistemas a escala regional a través de largas series temporales. Gracias al proyecto '[Efectos del cambio global sobre el funcionamiento de los ecosistemas de la Red de Parques Nacionales españoles: impactos recientes y desarrollo de un sistema de seguimiento](#)' [OAPN10]<sup>17</sup> se ha progresado en las bases conceptuales y metodológicas necesarias para el desarrollo de un programa de seguimiento que permita evaluar las tendencias y anomalías que sufren los ecosistemas de la Red.



Los autores del estudio previeron tres niveles de desarrollo para el sistema: 1) nivel nacional, que brinda la posibilidad de obtener información para todo el territorio nacional; 2) nivel de red, que aportará información relativa al conjunto de la Red de Parques Nacionales, informando sobre ellos de un manera global, sin detallar las tipologías de ecosistemas y permitiendo establecer comparaciones entre parques; y 3) nivel ecosistema, que proporcionará información para evaluar el estado y dinámica de los ecosistemas de cada parque. La información relativa a parques y ecosistemas procede de la extracción de los píxeles correspondientes del mosaico nacional mediante SIG.

Se comenzó evaluando los parques de la Península Ibérica con imágenes de resolución grosera y largas series temporales (*Advanced Very-High-Resolution Radiometer - AVHRR*), encontrándose cambios importantes en su productividad, estacionalidad y fenología en los últimos 25 años: la productividad primaria está aumentando, la estacionalidad está disminuyendo, y la fenología del máximo y del mínimo de radiación interceptada se está adelantando en el año. Sin embargo, algunos parques concentran más cambios que otros y el grado que estos cambios han adquirido varía en función de las condiciones ambientales, la gestión y la historia de conservación de los diferentes parques.

<sup>17</sup> Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo '[Funcionamiento de los ecosistemas de la Red de Parques Nacionales de España: detección de impactos recientes y desarrollo de un sistema de seguimiento y alerta a partir de herramientas de teledetección](#)', publicado por el OAPN y firmado por Javier Cabello Piñar (Universidad de Almería), Domingo Alcaraz Segura (Universidad de Granada) y Patricia Lourenço (Universidad de Almería).

Debido a que el clima mediterráneo es muy impredecible, todos los parques de esta región muestran una mayor variación interanual en fenología y estacionalidad que los de la región eurosiberiana. Destaca en este sentido especialmente Doñana, que muestra la mayor variabilidad en cualquiera de los descriptores del funcionamiento analizados. Las tendencias observadas difieren,

**En los parques mediterráneos, el aumento de las temperaturas ha favorecido un mayor incremento de la actividad vegetal en otoño-invierno y una aceleración de la senescencia tras el máximo de primavera, probablemente asociado a un aumento del estrés hídrico.**

no obstante, tanto en signo como en magnitud entre los parques de una misma región biogeográfica. Así, parques muy próximos y similares en tipos de vegetación mostraron diferentes tendencias.

En los parques eurosiberianos, el aumento generalizado de las temperaturas parece haber ocasionado un incremento de la actividad vegetal en primavera, al comienzo de la estación de crecimiento, relacionado con un adelantamiento de la misma. Por el contrario, en los parques mediterráneos,

el aumento de las temperaturas ha favorecido un mayor incremento de la actividad vegetal durante el período frío de otoño-invierno, pero también una aceleración de la senescencia tras el máximo de interceptación de radiación de primavera, probablemente asociado a un aumento del estrés hídrico. Aparte de los cambios en el clima, la protección en estos parques –y otros cambios socioeconómicos y demográficos de diferente calado según las zonas– ha traído consigo cambios en el uso del suelo, favoreciendo el proceso de matorralización, un hecho que explica también algunos de los cambios observados.

A partir de la experiencia acumulada, y gracias a la disponibilidad de imágenes de mayor resolución espacial y frecuencia temporal (**MODIS**) se propuso al Organismo Autónomo Parques Nacionales un **sistema de seguimiento y alerta (SSA)** que permite proporcionar datos de forma periódica, sistemática y homogénea sobre el estado de los ecosistemas.

### **Investigar los cambios en la vegetación y las diferentes variables que intervienen: un paso necesario para conocer mejor los efectos del cambio global**

La tendencia general de la población durante la segunda mitad del siglo XX ha sido su migración desde los pueblos y áreas rurales a las grandes urbes industrializadas. Como consecuencia de este fenómeno y otras causas económicas y relacionadas con los modelos productivos, la presión de la ganadería ha ido disminuyendo, dando lugar a la matorralización de los pastos y praderas. En el proyecto **‘Modelización de la matorralización de los pastos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su relación con el cambio global’** [OAPN08]<sup>18</sup> se comparan imágenes de satélite de 1989, 1998 y 2007 y fotografías aéreas de 1957, 1981 y 2003, revelando un incremento del bosque y del matorral y una disminución de la superficie de pastos en ese Parque Nacional.

El proyecto ha reconstruido la evolución de los censos ganaderos durante el último siglo, lo que deja ver claramente un fuerte descenso de la carga ganadera, sobre todo a partir de los años 90. A partir de esas fechas, en el sector oriental la carga ganadera se ha mantenido al mismo nivel, mientras que en el sector occidental el descenso continúa, aunque de manera más lenta. Así, los pastos densos se han reducido en un 6% en estos 50 años, pasando de ocupar un 37% de la superficie del Parque a ocupar un 31% en la actualidad, con un aumento correlativo de matorrales y bosques. A su vez, la proporción de matorrales disminuyó frente al bosque, cuya superficie aumentó un 7%.

A pesar de eso, los pastos tienen una relativa inercia a los cambios y las parcelas de exclusión del ganado muestran cambios de cobertura vegetal pero no de sustitución de especies. En términos más generales, la matorralización de los pastos es una de las transformaciones más claras que están sufriendo las zonas de alta montaña como consecuencia de los cambios de uso. En los últimos 30 años, la lignificación de la vegetación de los pastos alpinos ha alcanzado una tasa de incre-

18] Los contenidos de este apartado están extraídos del [artículo publicado por el OAPN](#) y firmado por Concepción L. Alados (Instituto Pirenaico de Ecología), Benjamín Komac (Instituto Pirenaico de Ecología), C. Guillermo Bueno (Instituto Pirenaico de Ecología), Maite Gartzia (Instituto Pirenaico de Ecología), Juan Escós (Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza), Daniel Gómez García (Instituto Pirenaico de Ecología), Ricardo García-González (Instituto Pirenaico de Ecología), Federico Fillat (Instituto Pirenaico de Ecología), Jesús Julio Camarero (Instituto Pirenaico de Ecología), Juan Herrero ((Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza) y Yolanda Pueyo (Instituto Pirenaico de Ecología).



mento de un 47% debido al abandono de la actividad rural. Es probablemente uno de los procesos de sucesión vegetal más importantes que afectan a la estructura y funcionamiento del ecosistema, reduciendo la productividad de los ecosistemas pastorales así como su diversidad.

Una de las especies que presenta una mayor influencia en la reducción de los pastos en Ordesa es el erizón, *Echinopartum horridum*, debido a su capacidad de expansión. En proporción relativa, el erizón es la especie leñosa que aumentó más, duplicando su superficie en los últimos 46 años (270 frente a 530 ha). Forma grandes y densas manchas monoespecíficas que pueden cubrir varias hectáreas, en las que sólo unas pocas especies sobreviven en los pequeños claros. Antes de 1981 aún se practicaban las quemas de erizón para la recuperación de pastos pero, tras la ampliación del parque en 1982, casi no hubo recuperación de pastos sobre el erizón y la dinámica de la población sugiere que la colonización del erizón continuará en los pastos del PNOMP.

Por ello, se simularon diferentes escenarios de gestión consistentes en un gradiente de pastoreo y de quemas controladas para identificar diferentes situaciones de control de la expansión del erizón en los pastos, ya que los modelos de simulación nos permiten predecir no sólo la dinámica y velocidad de los cambios observados sino también dibujar diferentes escenarios de cambio y predecir las consecuencias que dichos cambios producen en los ecosistemas. A través de dichos modelos de simulación, los autores de este estudio han predicho que únicamente una acción simultánea de quemas controladas y pastoreo permitirá frenar la colonización de la especie y recuperar los pastos.

Las consecuencias de los cambios paisajísticos también afectan a las poblaciones de ungulados salvajes como el jabalí, corzo o ciervo que están en gran aumento en el Parque -y las zonas de los alrededores- aprovechando las zonas boscosas y de matorrales. En este sentido, el aumento de las poblaciones de jabalí ha provocado un aumento de sus perturbaciones en los pastos alpinos y subalpinos del parque. Los resultados de esta investigación apuntan a que el ruido ejerce un efecto en estas comunidades muy notable, tanto en la extensión de sus perturbaciones (más del 12% de superficie hozada) como en la afección de las mismas al pastoreo y a las propiedades ecológicas de los suelos, bancos de semillas y vegetación.

---

**La matorralización de los pastos es una de las transformaciones más claras que están sufriendo las zonas de montaña como consecuencia de la situación demográfica, los cambios socioeconómicos globales y los cambios de uso del territorio.**

---

### Propuestas para la gestión y la conservación

Los autores de este estudio recomiendan la quema controlada del 10% de la superficie de erizón cada 8 años para mantener su densidad bajo control, si éstas no van acompañadas de pastoreo.

Sin embargo, para reducir los efectos negativos del fuego se sugiere que su uso vaya asociado al pastoreo después de la quema, con el objetivo de destruir las plántulas de erizón que germinan tras el fuego.

Cuando en las simulaciones realizadas se introdujo quema y pastoreo, se observó que una quema del 2% de erizón cada 8 años asociado a una intensidad de pastoreo que destruya el 90% de las semillas germinadas de erizón sería suficiente para evitar el aumento del erizón en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.



## La evolución de la vegetación y la fauna de la alta montaña y los cambios en su distribución altitudinal, indicadores útiles para el seguimiento del cambio global

### El trabajo en redes internacionales nos permite entender y comunicar mejor los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas y paisajes

La instalación en la alta montaña de escenarios para la observación, estudio y previsión sobre los efectos del cambio climático, tomando como base la flora y la vegetación, se ha desarrollado en Europa desde los inicios del presente siglo, teniendo en el proyecto **GLORIA** –acrónimo de la Iniciativa para la Investigación y el Seguimiento Global de los Ambientes Alpinos (*Global Observation Research Initiative in Alpine Environments*)-, una red mundial para la observación e investigación comparada, a largo plazo, del impacto del cambio climático sobre la biodiversidad de la alta montaña. Gracias a Gloria Europe se instalaron, con una metodología estandarizada desarrollada por los propios investigadores, 18 zonas piloto (*target regions*) en otras tantas montañas de Europa, incluida Sierra Nevada. El proyecto **‘El cambio climático en Sierra Nevada a partir de escenarios fitocenológicos, especies y comunidades vegetales indicadoras y la evaluación de la actividad biológica de los suelos en el piso crioromediterráneo (ciclos de C y N)’ [OAPN01]**<sup>19</sup> permitió instalar una segunda zona piloto en Sierra Nevada para el seguimiento de la flora líquénica y el análisis de la actividad biológica de los suelos. También se estableció un nuevo gran escenario como observatorio: el piso de vegetación crioromediterráneo, que presenta una gran originalidad en su flora y vegetación.



#### Apuntes para el seguimiento del cambio global

Al formar parte de GLORIA, el proyecto está integrado en una iniciativa más amplia a nivel europeo e internacional, en la que se comparten datos y esfuerzos con una metodología homogénea, basada en datos tomados en el terreno y en el medio-largo plazo, lo que permite disponer de, trabajar con y comunicar al público y a la comunidad científica datos significativos a escala global. Los investigadores de GLORIA han publicado ya en revistas de fuerte impacto como *Science* o *Nature Climatic Change*, lo que ha generado una **repercusión importante** en medios de comunicación generalistas en España y otros lugares del mundo.

### Conocer los límites altitudinales de los pisos de vegetación de montaña: un punto de partida necesario para conocer los cambios futuros

Gracias a este mismo proyecto se estudiaron, analizaron y delimitaron los taxones y sintaxones vegetales presentes en el piso de vegetación crioromediterráneo en Sierra Nevada, con el fin de establecer el límite inferior de este piso y conseguir así determinar con precisión un nuevo contexto para su observación y seguimiento. El resultado concluye que el territorio ocupado por este piso es bastante menor del esperado, lo que pone de manifiesto que la fragilidad de la zona culminar de Sierra Nevada es muy alta. Los estudios históricos comparados sobre la flora de este piso también ponen de manifiesto su progresivo aumento en los últimos 150 años, posiblemente en concordancia con el aumento de las temperaturas.



#### Apuntes para el seguimiento del cambio global

Numerosos investigadores han destacado las zonas más altas de las montañas como uno de los lugares idóneos para observar el proceso actual de cambio climático. Esto se debe a que, entre otras razones, estas regiones muestran unos gradientes ecológicos acusados, ecotonos estrechos y comprenden ecosistemas sencillos, dominados por factores abióticos relacionados con el clima. Estos ambientes incluyen hábitats naturales, con ecosistemas poco modificados por la influencia directa del hombre.

19] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo **‘Escenarios fitocenológicos de observación para el seguimiento del cambio climático en Sierra Nevada’** publicado por el OAPN y firmado por Joaquín Molero Mesa (Universidad de Granada), M. Rosa Fernández Calzado (Universidad de Granada), Abderrahman Emerzouki (Universidad Abdelmalek Essaâdi, Tetuán), Manuel Casares Porcel (Universidad de Granada) y M. Reyes González-Tejero García (Universidad de Granada).

La influencia del cambio climático sobre la biodiversidad del planeta ha sido resaltada en diferentes estudios desde finales del siglo pasado, incidiendo en la vinculación entre dicho cambio con la fragmentación de los diferentes hábitats, la posible variación de las potencialidades de las especies y la alteración en las comunidades y su funcionamiento, previendo desplazamientos en altitud de taxones y ecosistemas. Las observaciones mantenidas en largos intervalos de tiempo, o las comparaciones con datos existentes tiempo atrás, vienen a confirmar que estamos asistiendo a un calentamiento en los ambientes de alta montaña.

El análisis comparativo en la escala espaciotemporal de la flora y vegetación del piso criomediterráneo y su delimitación altitudinal –al igual que en los pisos alpino y criorocanario– puede aportar datos significativos para el seguimiento del cambio global.



### **Conocer los límites altitudinales de los pisos de vegetación de montaña: un punto de partida necesario para conocer los cambios futuros**

El estudio '[Caracterización ecofisiológica de las respuestas de distintas especies representativas del piso subalpino al cambio climático](#)' [OAPN22]<sup>20</sup> procuró caracterizar las respuestas fotosintéticas y de fotoprotección de individuos de pino negro, abedul y rododendro del Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici frente a circunstancias asociadas al cambio climático a fin de detectar su capacidad de adaptación y establecer mecanismos de gestión forestal. Y, también, la presencia y susceptibilidad a las infecciones por patógenos en dichas especies en su emplazamiento natural bajo situaciones de estrés ambiental, a fin de evaluar su capacidad de resistencia y su efecto sobre la fisiología de los individuos afectados.

El conocimiento de las respuestas fisiológicas frente a circunstancias asociadas al cambio climático como mayor sequía, temperatura y CO<sub>2</sub> atmosférico elevado es esencial para predecir probables variaciones en las comunidades naturales y establecer mecanismos de gestión. El proyecto ha determinado los principales limitantes de la fotosíntesis en tres especies representativas de bosques subalpinos. En condiciones de CO<sub>2</sub> elevado todos los individuos aumentaron su tasa fotosintética y la eficiencia en el uso del agua, hecho que puede ayudar a superar el estrés hídrico estival. Los resultados de intercambio de gases, discriminación isotópica, fotoquímica, fotoprotección, contenido mineral y características estructurales mostraron grandes diferencias entre especies

20] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo publicado por el OAPN y firmado por Isabel Fleck (Universitat de Barcelona), Emilia Gutiérrez (Universitat de Barcelona), M. Alba Fransi (Ajuntament de Barcelona) y Jordi Fernández Martínez (Universitat de Barcelona).

observándose un gran efecto de la sequía estival en *Betula pendula*, mientras que *Rhododendron ferrugineum* se vió fuertemente afectada por situaciones de irradiancia elevada y *Pinus uncinata* lo fue principalmente por la disponibilidad de nitrógeno.

El estudio de los anillos de crecimiento de los árboles de *P. uncinata* nos ha permitido poner de manifiesto que su crecimiento en área basal ha aumentado significativamente en las últimas décadas, aunque el crecimiento en grosor se ha mantenido al mismo nivel. Las relaciones crecimiento-clima indican que la falta de agua en junio tiene un efecto limitante en los árboles jóvenes a una altitud de 2050 m, una limitación que no muestran los árboles más viejos. Las temperaturas demasiado frías del mes de mayo limitan el inicio del crecimiento de los árboles –tanto viejos como jóvenes-. El final del periodo de crecimiento está limitado por las altas temperaturas pero sólo para los árboles jóvenes.

Los autores/as del estudio detectaron una relación significativa y positiva entre la longitud del brote, la longitud de las hojas y el grosor del anillo y, también, una relación significativa y positiva entre la eficiencia del uso del agua de las hojas y los anillos. La eficiencia en el uso del agua para los últimos 500 años muestra que, desde principios del siglo XX, ha habido un aumento exponencial y que se ha traducido en un aumento significativo y lineal del área basal.



### Una aproximación a la determinación del límite superior del bosque en el Parque Nacional de los Picos de Europa

En el ámbito del sistema alpino europeo, los cambios más evidentes constatados hasta el momento se deben al desplazamiento de especies de alta montaña hacia estratos de mayor altitud, atribuidos tanto a los cambios de uso del territorio como al calentamiento climático. Aun considerando que las plantas de alta montaña disponen de recursos de adaptación que les ha permitido sobrevivir a los cambios pasados, existen aún incertidumbres sobre su capacidad de respuesta, por lo que numerosas iniciativas desarrollan sistemas de seguimiento de la vegetación de alta montaña como base para el estudio de los efectos del cambio global.

Uno de los objetivos del estudio '[Bases para el seguimiento de los cambios en la flora y vegetación como consecuencia del cambio climático en el Parque Nacional de los Picos de Europa](#)' [FB04]<sup>21</sup> es la obtención de variables e índices bioclimáticos para el Parque utilizando los datos climáticos provenientes de estaciones meteorológicas y modelos implementados en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se pretendió elaborar una cartografía que permita la realización de

<sup>21</sup> Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada desde el Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio de la Universidad de Oviedo y el Jardín Botánico Atlántico de Gijón por José Ramón Obeso (dirección), Borja Jiménez-Alfaro (coordinación), Adán Abajo Chic, Ignacio Alonso Felpete, Álvaro Bueno, Ana Fernández Rodríguez, Borja Jiménez-Alfaro, Corrado Marcenó, José Ramón Obeso y Carmen Recondo con la colaboración de Miguel Ángel Álvarez, Tomás E. Díaz González, Mauro Fois y Susana Fernández Menéndez, en el año 2010.

modelos predictivos de distribución de flora y vegetación en escenarios climáticos pasados, presentes y futuros y, por otra parte, generar un modelo actual y actualizable con datos provenientes de las estaciones climáticas automáticas, como base para el seguimiento y predicción del impacto en la flora y vegetación del cambio climático. Se analizó también la situación actual y evolución reciente del límite del bosque en el Parque Nacional de los Picos de Europa.

La altitud máxima (1797 metros) del límite del bosque en el Parque Nacional se sitúa por debajo del límite superior identificado en la mayor parte de las montañas europeas, lo que puede atribuirse al carácter oceánico del territorio, cuya humedad estival limitaría la presencia de especies de coníferas en el estrato superior. Todas las zonas estudiadas mostraron una gran estabilidad –en su distribución altitudinal– durante los últimos 50 años, por lo que –para los autores/as de este estudio– es posible que gran parte de ellas representen el límite potencial del bosque en las condiciones actuales de disponibilidad de suelo, vegetación actual, etc. Los resultados obtenidos corroboran la escasez de datos tangibles sobre expansiones en altitud del límite del bosque, y con ello la dificultad de interpretar limitaciones derivadas del clima.

### Apuntes para el seguimiento del cambio global

En este estudio se concluye que, dejando a un lado la dinámica relacionada con la alteración humana del territorio, las zonas silíceas reconocidas en el trabajo constituyen lugares óptimos para el estudio de los factores ecológicos implicados en el límite del bosque, así como su relación con el clima. En las zonas calizas, el límite resulta en líneas generales más abrupto y sería recomendable realizar estudios más detallados sobre los factores limitantes de estos bosques antes de considerarlos como objeto de estudio de cambio climático.



### Analizar los efectos fisiológicos del cambio climático en las aves de montaña y las posibles respuestas en su distribución

A pesar de que la subida en altitud se mencione entre los efectos más destacables del cambio climático sobre las especies y comunidades silvestres, pocos estudios han analizado los efectos del cambio climático sobre la distribución y las características biológicas de especies que viven en ambientes caracterizados por gradientes altitudinales como los de montaña. Además, es importante analizar cuáles podrían ser los mecanismos que determinan los cambios previstos en los patrones de distribución latitudinal y altitudinal. Con el proyecto ['Impacto e interacciones del clima con la ecología, comportamiento y distribución de aves de alta montaña en el Parque Nacional de los Picos de Europa'](#) [FB02]<sup>22</sup> se analizaron diferentes cualidades de individuos, poblaciones y comunidades de aves en los hábitats del Parque Nacional de los Picos de Europa, intentado disminuir la falta de conocimiento sobre las poblaciones que habitan las zonas altas de la Cordillera Cantábrica y de Europa meridional en general.

22] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Paola Laiolo, Leandro Meléndez y Mónica García (Estación Biológica de Doñana - Instituto Cantábrico de Biodiversidad - Consejo Superior de Investigaciones Científicas).

Se encontraron en las condiciones fisiológicas y de salud de los individuos algunos factores críticos que podrían explicar los patrones de distribución de varias de las especies objeto de estudio. Es el caso del estrés fisiológico (medido a través de los glucocorticoides fecales), que aumenta en cotas bajas en la especie de chova más típicamente alpina, la chova piquigualda. O de la condición inmunológica de la collalba gris y el bisbita alpino, que parecen tener un valor óptimo a alturas intermedias (1400-1600 m), donde se localizan también las mayores densidades de estos paseriformes.

**Se encontraron en las condiciones fisiológicas y de salud de los individuos algunos factores críticos que podrían explicar los patrones de distribución de aves de montaña en Picos de Europa, como el estrés fisiológico o la condición inmunológica.**

Los resultados de este estudio demuestran la influencia de los parámetros climáticos sobre las aves que componen la comunidad de los Picos de Europa. Así, la variación en temperatura y el régimen de precipitaciones inciden en las características de la comunidad de aves, las características de las poblaciones de chovas y en la densidad y distribución del bisbita alpino, el pardillo común, el acentor alpino, el gorrión alpino, la collalba gris y el colirrojo tizón.

Teniendo en cuenta que con el aumento de la altitud disminuye proporcionalmente el área disponible, y que los paisajes alpinos se hacen más rocosos y menos diversos, es previsible –según los autores/as– que muchas especies que componen las comunidades de baja cota no toleren estas condiciones y que no se desplacen en altura simplemente siguiendo el gradiente climático previsto para las próximas décadas. En las cotas elevadas de muchas montañas prevalecen los roquedos, hábitats no idóneos para mantener poblaciones viables de varias especies de aves, incluso algunas típicas de las montañas de la cordillera cantábrica. En el caso del bisbita alpino y collalba gris, por ejemplo, las densidades mayores se encuentran donde los roquedos no ocupan grandes extensiones, así que difícilmente estas especies podrán ocupar las cumbres rocosas a pesar de que estas se volvieran climáticamente favorables a causa del calentamiento global.

Estos resultados evidencian que la respuesta de especies y comunidades frente al cambio en las condiciones climáticas se debe valorar a nivel local, teniendo en cuenta la composición del hábitat y su idoneidad para albergar las distintas especies, en término de disponibilidad de recursos y lugares para establecer territorios. Y los Picos de Europa, en este sentido, representan un área de montaña especialmente inhóspita a elevadas altitudes.



#### Apuntes para el seguimiento del cambio global

En este estudio se han definido un grupo de especies centinelas que podrían ser objeto de un programa de seguimiento a largo plazo para evaluar los efectos del cambio climático. La chova piquigualda, la collalba gris y el bisbita alpino parecen sufrir efectos fisiológicos negativos cuando las condiciones se vuelven más cálidas, lo que puede tener repercusiones en su distribución altitudinal y por tanto, espacial. Según los autores/as del estudio, un seguimiento de su rango de distribución en Picos de Europa permitiría estudiar la evolución de los procesos ecológicos relacionados con el cambio climático y evaluar las zonas del Parque más críticas y sujetas a mayores riesgos de pérdida de biodiversidad en relación con estas especies.

El proyecto tuvo su continuidad en el estudio '[Gradientes altitudinales de biodiversidad en el Parque Nacional de los Picos de Europa: cómo se origina, mantiene y conserva la riqueza de organismos en un escenario de cambio climático](#)' [FB08]<sup>23</sup> que incluye la descripción de los patrones altitudinales de diversidad de aves en la región del Parque Nacional de los Picos de Europa, separando los distintos tipos de hábitat que la caracterizan (bosque, matorral y zonas abiertas) para analizar en detalle cada uno de ellos. Además, se analiza cómo el clima podría incidir sobre las aves alpinas, empleando como modelo el bisbita alpino (*Anthus spinoletta*) y su condición frente a las variaciones naturales que se producen en el gradiente altitudinal de las montañas.

23] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Leandro Meléndez y Paola Laiolo (Unidad Mixta de Investigación en Biodiversidad (UMIB), Instituto Nacional del Carbón (INCAR-CSIC).

Se estudió en particular la afección del clima sobre diferentes parámetros de condición inmune -el recuento linfocitario, la prevalencia de patógenos y la carga de patógenos-, todos ellos relacionados con la supervivencia del individuo y que pueden condicionar los patrones de distribución y abundancia, y al mismo tiempo ser buenos indicadores de su vulnerabilidad. Además, se realizaron estudios biométricos y de dimorfismo sexual del bisbita alpino y la collalba gris (*Oenantho oenanthe*) tratando de analizar cómo la divergencia biométrica adaptativa de las poblaciones animales puede originarse por factores históricos dependientes del aislamiento y cómo el clima puede influir en éste, ya que se trata de especies alpinas que habitan en diferentes macizos montañosos separados por valles profundos.

Por último, se desarrollaron las primeras fases de un estudio de dinámica de poblaciones en estas dos especies, en el que se evidencia cierta filopatría en ambas especies, esto es, la tendencia que presentan muchas especies animales a permanecer en el mismo territorio en que nacieron, o a volver al mismo para reproducirse o nidificar. La collalba gris, especie que migra en invierno, muestra mayor fidelidad a los sitios de cría que el bisbita alpino, que se caracteriza por movimientos más erráticos en invierno, y posiblemente prospecta y elige los territorios a lo largo de todo el año.



Según los autores del estudio, en zonas forestales y de matorral la diversidad de aves no varía a lo largo del gradiente altitudinal, pues estos hábitats tienen las mismas características en todas las cotas en las que aparecen y presentan los mismos recursos para las aves. Al contrario que otras montañas europeas, la Cordillera Cantábrica no presenta un gradiente entre bosques de caducifolias y coníferas, estando cubierta en exclusiva por formaciones forestales de hoja caduca. Muchos de estos bosques son relativamente uniformes, dominados por una especie arbórea dominante (*Fagus sylvatica*, *Quercus* spp., o *Betula alba*). Así mismo, el matorral deriva de una larga historia de manejo y quema y, aunque diverso en su composición a gran escala, cada parche está constituido por una especie dominante (*Erica*, *Calluna* o *Ulex* spp.). Esta igualdad de características estructurales y de composición de especies a lo largo del gradiente, determinaría una uniformidad en la composición y riqueza de especies de aves forestales y típicas de matorral, cuyas comunidades son muy sensibles a las características fisionómicas del hábitat.

Sin embargo, en hábitats abiertos sí se observa una disminución lineal de la diversidad cuando aumenta la altura sobre el nivel del mar. En estas regiones altas, la diversidad de aves podría estar limitada por la reducción de la capacidad de carga que supone el aumento de la superficie rocosa, la mayor pendiente, menor productividad y otros costes ecológicos asociados a la altitud como un mayor tiempo de desarrollo, mayor coste energético, aumento de la estocasticidad reproductiva, etc. Las áreas más elevadas presentan, además, una reducción del espacio disponible y un mayor

aislamiento de otras zonas similares, lo que podría favorecer un declive de las tasas de inmigración y un aumento de las tasas de extinción locales, dando lugar a una menor diversidad de aves. Esta disminución del hábitat es especialmente importante en la Cordillera Cantábrica, donde por encima de los 2000 m el espacio se reduce a unas pocas cumbres rocosas sin apenas vegetación y donde el número de especies de aves estrictamente alpinas es relativamente inferior respecto al de otras montañas europeas. En los Alpes, por ejemplo, la diversidad y abundancia de especies de aves de hábitat abierto aumenta con la altitud, un patrón inverso respecto a lo encontrado en este estudio.

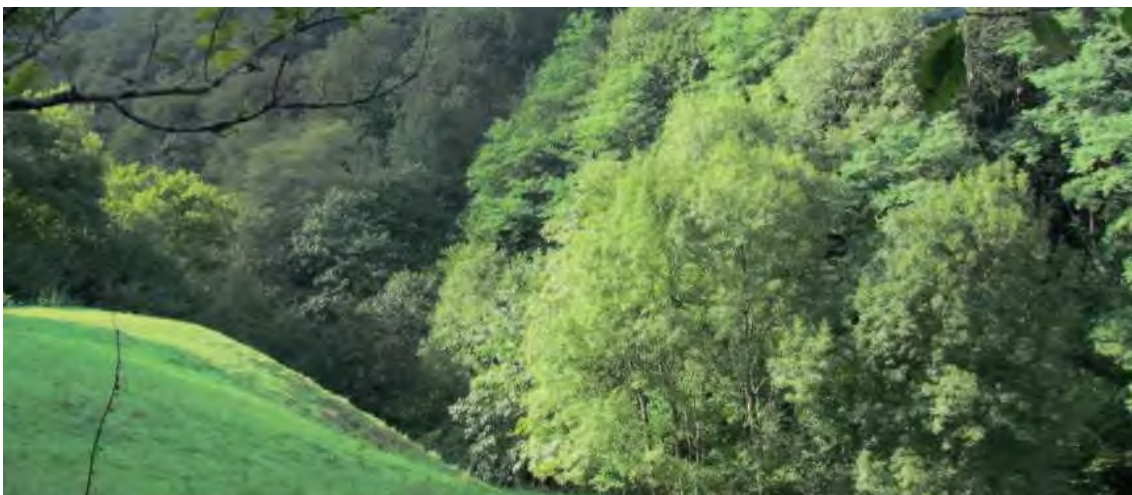
Se espera que, en las regiones montañosas, el cambio climático desplace hacia arriba en altitud el área de distribución de las especies a medida que aumenta la temperatura, dando lugar a una reducción de los tamaños poblacionales de las especies de alta montaña. Este desplazamiento provocaría una disminución de la cantidad de área disponible para cada tipo de especie, lo que disminuiría la diversidad de aves, además de quedar las poblaciones más aisladas. Sin embargo, teniendo en cuenta que con el aumento de la altitud disminuye proporcionalmente el área disponible, y que los paisajes alpinos se hacen más rocosos y menos diversos, es previsible que muchas especies que componen las comunidades de baja cota no se desplacen en altura. En las cotas elevadas de muchas montañas prevalecen los roquedos, hábitats no idóneos para mantener poblaciones viables de varias especies de aves. En el caso del bisbita alpino (*Anthus spinoletta*) y la collalba gris (*Oenanthe oenanthe*), por ejemplo, las densidades mayores se encuentran donde los roquedos no ocupan grandes extensiones, así que difícilmente estas especies, aunque muy

**Se espera que, en las regiones montañosas, el cambio climático desplace hacia arriba en altitud el área de distribución de las especies a medida que aumenta la temperatura, dando lugar a una reducción de los tamaños poblacionales de las especies de alta montaña.**

abundantes y con características 'alpinas' en otras regiones geográficas, podrían ocupar las cumbres rocosas a pesar de que éstas se volvieran climáticamente favorables a causa del calentamiento global.

Los resultados de este estudio apuntan a que un factor clave en la supervivencia de las aves como es la respuesta inmune, está condicionada por la variación climática. A pesar de que los hábitats alpinos suelen presentar bajas tasas de parasitismo o enfermedades, la dureza de las

variables ambientales en estos sistemas de montaña puede condicionar de manera indirecta o directa la fisiología de las especies que allí habitan. La incidencia de eventos extremos como tormentas, grandes nevadas y bajadas extremas de temperaturas, afectan de manera directa a los organismos, pudiendo causar mortalidad elevada y desplazamientos o migraciones a otras zonas más favorables. Sin embargo, es la exposición prolongada a condiciones meteorológicas adversas (frío, escasez de agua, cobertura de nieve, etc.), lo que puede condicionar en mayor medida la viabilidad de las poblaciones animales en estos entornos. Ante un evento adverso prolongado, puede reducirse la disponibilidad de alimento, obligar a cambios de comportamiento y elevar los costes energéticos de sus funciones vitales, lo que desencadena una situación de estrés crónico que afecta a la fisiología y condición física del individuo.





Las variables estudiadas como indicadores de la respuesta inmune se mostraron determinadas por el clima: positivamente por la cantidad de lluvias en los meses de reproducción y negativamente por la temperatura. Los individuos de bisbita alpino en mejor estado de salud (mejor condición inmune y menor carga de parásitos), se presentaron en las zonas con temperaturas más bajas y con mayor régimen de precipitaciones.



### **La dendroecología, una herramienta para conocer los efectos del cambio climático en el crecimiento y el funcionamiento de los bosques pirenaicos**

Los árboles registran información climática en sus series de anillos anuales de crecimiento, la cual puede ser recuperada mediante la dendrocronología, que prioriza generalmente sitios, bosques y árboles considerados climáticamente sensibles, cuyos datos de crecimiento se procesan con el fin de extraer una señal climática común. Sin embargo, esta aproximación basada en series medias de crecimiento muy determinadas por el clima enmascara la variabilidad de crecimiento entre individuos y diluye sus diferentes respuestas al clima.

Investigar los factores locales (sitio) e individuales (árbol) que determinan las respuestas de los árboles al clima es importante para entender cómo reaccionarán estos árboles al calentamiento climático, según los autores del estudio [‘Efectos del cambio climático en el crecimiento y el funcionamiento de los bosques pirenaicos inferidos mediante reconstrucciones dendroecológicas’ \[OAPN16\]](#)<sup>24</sup>.

Para ello analizaron en bosques de montaña de *Pinus uncinata* los patrones de crecimiento radial a diversas escalas: el área de distribución de la especie en la Península Ibérica, diversas regiones (Pirineos, pre-Pirineos, Sistema Ibérico), los dos parques nacionales pirenaicos (Ordesa y Monte Perdido y Aigüestortes i Estany de Sant Maurici), diferentes bosques (30 sitios) y árboles (642 individuos). Mediante métodos dendrocronológicos se reconstruyeron las series de crecimiento radial para gran parte del siglo XX a las distintas escalas mencionadas y se investigaron qué factores locales y a nivel de individuo pueden influir en la respuesta de los árboles al clima. Además, se realizó una reconstrucción de temperaturas de primavera basada en datos de la densidad máxima de la madera.

24] Los contenidos de este apartado están extraídos del [artículo publicado por el OAPN](#) y firmado por Jesús Julio Camarero Martínez, Juan Diego Galván Candela, Gabriel Sangüesa-Barreda, Arben Q. Alla y Hooz Ángela Chaparro Mendivelso (Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC) y Emilia Gutiérrez Merino (Universidad de Barcelona).

Según los resultados del estudio, para todas las escalas evaluadas, la temperatura del noviembre previo al año de crecimiento es la variable climática que más influye sobre el crecimiento de *P. uncinata*. Sin embargo, existe una gran variabilidad en la respuesta del crecimiento al clima entre sitios, en función de su ubicación geográfica y de la altitud y entre árboles del mismo sitio en función de su edad.

A nivel de bosque se encontró que los patrones de crecimiento de poblaciones en los límites geográficos de distribución responden de manera distinta al resto de bosques. Es el caso de los bosques más secos del Sistema Ibérico en Teruel o de sierras exteriores prepirenaicas en Guara y también, en el extremo opuesto de precipitaciones, es el caso del bosque de Larra en los Pirineos occidentales. Esto apunta a la gran plasticidad que muestran las especies de árboles en sus respuestas a largo plazo del crecimiento radial al clima, incluso las coníferas, consideradas menos plásticas en su crecimiento que las frondosas. Además, indican la importancia de estudiar y conservar las poblaciones en los límites geográficos de distribución ya que muestran respuestas al clima peculiares y claramente diferenciadas del resto de bosques del área central de distribución.

Se detectó a nivel de especie que las temperaturas del otoño previo (noviembre) y de la primavera (mayo) son las que más influyen sobre el crecimiento radial de *P. uncinata*. A nivel de Parque Nacional estas variables aparecen de nuevo como las más relevantes, pero una elevada precipitación en junio y julio favorece también la formación de madera, un hecho detectado particularmente en Aigüestortes. Esto indica que el crecimiento radial de *P. uncinata* se ve favorecido por otoños previos cálidos, que posiblemente estimulan la síntesis de carbohidratos usados después para formar la madera temprana en la primavera siguiente, y por primaveras cálidas y comienzos de verano húmedos, que probablemente favorezcan la formación de más traqueidas en la madera temprana. Los árboles más viejos son más sensibles a la precipitación de diciembre que los más jóvenes en Ordesa y Monte Perdido, aunque este efecto puede estar condicionado porque los árboles más viejos suelen estar en zonas de mayor pendiente y por tanto menor retención de agua en el suelo.

#### Apuntes para el seguimiento del cambio global

Según los/as autores de este estudio, las situaciones en las que el crecimiento de la mayoría de los individuos responde principalmente al clima serían los bosques o masas poco densas situadas a mayor altitud y dominados por individuos longevos y relativamente aislados. Así, serían estos árboles los que habría que priorizar a la hora de muestrear individuos climáticamente sensibles que aporten información dendrocronológica susceptible de ser usada como una variable capaz de ser transformada en información climática.



### El cambio global puede tener también efectos crípticos, como en el caso de la ecología sensorial y señales sexuales de los lacértidos

El clima modela y determina parte de la variación fisiológica, ecológica y evolutiva de los organismos, representando una fuerza selectiva fundamental que influencia su supervivencia, crecimiento, rendimiento y dispersión. Y las consecuencias del cambio climático sobre la viabilidad de las poblaciones dependen en gran medida de la habilidad de la especie para adaptarse a las nuevas condiciones.

En el estudio 'Consecuencias crípticas del cambio global: efectos sobre la ecología sensorial y señales sexuales de los lacértidos endémicos y amenazados de los parques nacionales pirenaicos y de los Picos de Europa' [FB14]<sup>25</sup> se planteó el examen de efectos no aparentes que el cambio climático puede tener sobre aspectos no considerados hasta la fecha en la ecología de especies de lagartijas montañas endémicas y amenazadas.

En particular, los efectos que el cambio climático tiene sobre el funcionamiento de las señales sexuales en algunas especies amenazadas o especialmente vulnerables, como es el caso de las especies montañas del género *Iberolacerta*, endémico de la Península Ibérica. Estas especies presentan, además, la particularidad de presentar distribuciones en "islas", normalmente marcadas por un límite inferior dependiente de la altitud que confina cada población en distintas montañas y hace la comunicación entre ellas imposible o muy escasa, un escenario propicio para examinar las adaptaciones (o su ausencia) y los efectos de condiciones ambientales de cada población-isla. Se trabajó con 5 especies de lagartijas del género *Iberolacerta*: la lagartija pirenaica (*I. bonnali*), la lagartija pallasera (*I. aurelioi*), la lagartija aranesa (*I. aranica*), la lagartija serrana (*I. monticola*) y la lagartija carpetana (*I. cyreni*), todas ellas adaptadas a ambientes montanos, endémicas y amenazadas. También se trabajó con la lagartija roquera (*Podarcis muralis*) que, aunque es una especie más común, presenta poblaciones que se encuentran en cotas elevadas, en sintopía con las demás especies objeto de estudio.

Los ectotermos (animales cuya temperatura depende de la del ambiente) terrestres, como las lagartijas, se incluyen entre los grupos más susceptibles al cambio climático. Sin embargo, deberían ser relativamente invulnerables al calentamiento: prefieren y toleran elevadas temperaturas corporales, son capaces de evitar muy bien el estrés térmico y resisten la pérdida de agua. Es más, en el caso de las especies de zonas templadas, al estar las actuales temperaturas por debajo de sus óptimos fisiológicos, su aumento debería favorecerles, mejorando su eficacia biológica. No obstante, Sinervo y colaboradores (2010)<sup>26</sup> han documentado extinciones en los cinco continentes como consecuencia del cambio climático. Además, han predicho que antes de 70 años el calentamiento provocará la extinción de casi el 40% de las poblaciones de lagartos y lagartijas. Si esta predicción fuese siquiera aproximada, los lagartos y lagartijas protagonizarían el nuevo "declive global" de un grupo de vertebrados, relevando a los anfibios en este dudoso honor.

---

**Se espera que, en las regiones montañosas, el cambio climático desplace hacia arriba en altitud el área de distribución de las especies a medida que aumenta la temperatura, dando lugar a una reducción de los tamaños poblacionales de las especies de alta montaña.**

---

A pesar de que las lagartijas son animales heliotermos, que toman el sol y requieren de la radiación solar para alcanzar temperaturas corporales fisiológicamente activas, la actividad en condiciones demasiado cálidas puede llevar su temperatura corporal a un máximo crítico. En

estos casos, los animales se retiran a enfriarse en refugios para evitar sobrecalentamiento. Sin embargo, las horas de restricción que tienen que permanecer en los refugios reducen el tiempo que pueden dedicar a la alimentación, a la búsqueda de pareja, defensa del territorio, etc. Esto, a su vez, limita funciones metabólicas costosas, como el crecimiento, el mantenimiento o la reproducción, socavando las tasas de crecimiento de la población y aumentando su riesgo de extinción. Así

25] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Carlos Cabido y Maider Iglesias (Sociedad de Ciencias Aranzadi) en julio de 2014.

26] Sinervo B, Méndez de la Cruz F, Miles DB et al. (2010) Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science* 328: 894-899.

mismo, se ha demostrado que mayores temperaturas de incubación, o una mayor fluctuación de éstas, pueden afectar al éxito de eclosión y al fenotipo de los neonatos, así como a su subsiguiente crecimiento, supervivencia y éxito reproductor. Así pues, las consecuencias de un aumento de la temperatura sobre estos grupos son más complejas de lo que podría intuirse y a menudo resultan poco evidentes hasta que son estudiadas.

Uno de los aspectos apenas considerados es el efecto que el cambio climático puede tener sobre la ecología sensorial de las especies; concretamente, sobre la comunicación sexual. Los distintos aspectos de la selección sexual (el reconocimiento de especies, el emparejamiento y la selección de pareja o la competencia entre individuos de un mismo sexo para acaparar las parejas o evitar la endogamia, etc.) dependen en gran medida del uso de señales sexuales. Es decir, el correcto funcionamiento de estas señales es determinante en los procesos de selección sexual y en la eficacia biológica de los individuos. Así, cualquier efecto sobre éstas del cambio global podría, potencialmente, abocar a la extinción a una población o especie. Sin embargo, hasta el momento,

**La eficacia de las señales olfativas de la lagartija carpetana es menor a altas temperaturas. Además, los sustratos con marcas olorosas que se han mantenido a temperaturas elevadas no han sido seleccionados por las hembras, a diferencia de las áreas que se mantuvieron a temperaturas normales.**

el efecto que el cambio climático puede tener sobre los procesos de selección sexual y, concretamente, sobre el funcionamiento de las señales implicadas, apenas había sido estudiado.

Entre los distintos tipos de señales que los animales usan para comunicarse (movimientos, coloraciones, sonidos, olores, etc.), el caso de las señales químicas (feromonas, señales olorosas), que usan la mayor parte de las especies de lagartijas, sería uno de los que podría verse más direc-

tamente afectado por un aumento de la temperatura. El calentamiento global puede disminuir la información contenida en las señales sexuales y, por tanto, su eficacia, como ocurre en el caso de *Iberolacerta cyreni*, en que se ha demostrado que la eficacia de sus señales olfativas es menor a altas temperaturas. Además, se ha evidenciado que los sustratos con marcas olorosas que se han mantenido a temperaturas elevadas no han sido seleccionados por las hembras, a diferencia de las áreas que se mantuvieron a temperaturas normales. Este tipo de factores puede afectar a la selección sexual, influyendo en la calidad de la descendencia y en la supervivencia de las poblaciones. Según los autores de este estudio, aunque las lagartijas muestran una cierta flexibilidad en el comportamiento termorregulador o en la nidificación, es improbable, sin embargo, que cambios rápidos en el clima, como el calentamiento global actual, puedan ser compensados por cambios evolutivos rápidos en el diseño de las señales sexuales.



## Los anfibios, un grupo severamente amenazado por el cambio climático

Durante las últimas décadas se ha podido confirmar un declive generalizado de muchas especies y poblaciones de anfibios que en muchos casos ha incluido procesos de fragmentación, la extinción de poblaciones locales, e incluso de especies en tiempos recientes. Actualmente se considera que los anfibios son el grupo de vertebrados más amenazado, ya que de las aproximadamente 6000 especies reconocidas, un 43% de ellas presentan algún tipo de declive poblacional y un 33% se encuentran globalmente amenazadas. Una de las posibles causas del declive de los anfibios a nivel global es el cambio climático, que podría ocasionar un desajuste temporal entre los procesos de reproducción, crecimiento o hibernación y las condiciones adecuadas para esos procesos.



Además, la aparición de eventos extremos desajustados estacionalmente, como prolongadas sequías o nevadas tardías, puede ocasionar fenómenos de mortalidad masiva que pueden provocar episodios de extinción local. La destrucción y deterioro del hábitat contribuyen en muchos casos a acentuar ese declive, de forma que la persistencia de las poblaciones de anfibios puede vincularse al tamaño del hábitat y a su configuración espacial. Resulta por ello necesario caracterizar y cartografiar ese hábitat antes de emprender cualquier estrategia de conservación, de forma que se pueda conocer con precisión aquellas variables que condicionen la presencia de la especie para poder actuar directamente sobre ellas.

Los efectos del cambio climático y del calentamiento global en particular, se hacen más patentes en los hábitats de montaña, donde las condiciones son más severas y donde muchas especies, tanto animales como vegetales, se encuentran en su límite de distribución altitudinal. En estas zonas, un ligero incremento de la temperatura media anual puede suponer una reducción del hábitat disponible y tener efectos muy negativos sobre el ciclo de vida de muchas especies. Por otra parte, en las poblaciones de alta montaña la reproducción y el desarrollo de los huevos y juveniles presenta un grado de sincronización muy elevado, por lo que un desajuste puede ocasionar el fracaso de la reproducción. En el caso de que se encadenaran varios años de fracaso reproductor y bajo reclutamiento, las probabilidades de extinción local de estas poblaciones serían elevadas.

**En las poblaciones de alta montaña la reproducción y el desarrollo de los huevos y juveniles de anfibios presentan un grado de sincronización muy elevado, por lo que son muy susceptibles a desajustes. Si se encadenan varios años de fracaso reproductor y bajo reclutamiento, las probabilidades de extinción local de estas poblaciones son elevadas.**

En el caso particular del Parque Nacional de los Picos de Europa, las zonas de alta montaña, debido a su naturaleza cárstica, tienen pocos lugares favorables que permitan la acumulación de agua necesaria para la reproducción de los anfibios, por lo que estos hábitats acuáticos no son muy numerosos y los que aparecen se encuentran muy dispersos dentro de una matriz de hábitat inhóspito. La presencia de barreras geográficas impide la dispersión, por lo que éstas tienen un papel determinante en la estructura espacial de las poblaciones. En este contexto, conocer cómo la estructura del paisaje puede condicionar la estructura genética y demográfica de una población puede ayudar a predecir el potencial de evolución en diferentes situaciones relativas a la fragmentación o perturbación del hábitat, así como a la pérdida de conectividad entre poblaciones.



Durante el desarrollo del proyecto 'Variación genética adaptativa de anfibios en gradientes altitudinales: efectos sobre la viabilidad de poblaciones subdivididas en escenarios de cambio climático' [OAPN12]<sup>27</sup> se trabajó de manera específica sobre los factores climáticos que afectan a la fenología reproductiva de la rana bermeja (*Rana temporaria*). Mediante datos proporcionados por más de 30 termómetros de registro continuo, el marcaje individual con microchips y análisis genéticos realizados en 32 núcleos de reproducción distribuidos a lo largo de todo el gradiente altitudinal (32 – 2200 msnm), se ha confirmado la existencia de dos estrategias reproductoras en esta especie y una fenología condicionada por la altitud. Las poblaciones situadas por encima de los 1500 msnm tienen un grave riesgo de extinción local y una probabilidad de recolonización reducida debido al desacoplamiento entre reproducción y clima, en el caso de que tal como apuntan estos resultados, la fenología reproductiva esté fijada genéticamente. Asimismo, se han confirmado la existencia de diferencias significativas, tanto en los mecanismos de selección sexual como en la tolerancia térmica durante el desarrollo embrionario, entre poblaciones situadas en los extremos del gradiente altitudinal.

En los anfibios se pueden presentar dos sistemas de reproducción diferenciados, un sistema explosivo, en el que todos los individuos de la población se reproducen durante unos pocos días y un sistema prolongado, en el que la reproducción se extiende en un periodo de varias semanas o incluso meses y en el que la llegada de individuos se produce de manera secuencial. En realidad estos dos sistemas se pueden considerar dos estrategias extremas de un sistema continuo, desde especies que se reproducen durante una sola noche a especies que se reproducen durante todo el

27] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo publicado por el OAPN y firmado por David Álvarez (Universidad de Oviedo), Magdalena Choda (Universidad de Oviedo), Leticia Viesca (Universidad de Oviedo), José Manuel Cano (Universidad de Oviedo y University of Helsinki), María José Bañuelos (Universidad de Oviedo), Chikako Matsuba (University of Florida), Susana García (Universidad de Oviedo) y Alfredo G. Nicieza (Universidad de Oviedo).

año, como ocurre en algunas especies tropicales. En el caso de *Rana temporaria* se ha confirmado la existencia de estos dos sistemas a lo largo del gradiente altitudinal, ya que mientras que las poblaciones de zonas bajas siguen un sistema prolongado, en altitudes por encima de los 1300 metros, la reproducción es explosiva. Los resultados del experimento llevado a cabo confirmaron que los machos procedentes de una población con un sistema prolongado tenían una tasa de fertilización mayor que la de machos de poblaciones con un sistema explosivo.

### Propuestas para la gestión y la conservación

En el caso de las poblaciones de *Rana temporaria* en Picos de Europa, que es extensible al de otras especies como el sapo partero (*Alytes obstetricans*), la escasa conectividad entre algunas poblaciones -debido sobre todo al hábitat inhóspito en que se encuentran las charcas de alta montaña-, hace que sea muy improbable la recolonización por individuos de poblaciones cercanas en el caso de que se produjeran fenómenos de extinción local.

Así, en términos de políticas y medidas de conservación, serán más efectivas aquellas dirigidas a la protección de una red de enclaves que aseguren la conectividad entre los distintos núcleos de población, de forma que no se cortara el flujo de individuos entre ellos y por ende, el flujo génico.

Los resultados confirman que la temperatura durante el desarrollo larvario podría ser un factor limitante para la supervivencia de las poblaciones situadas en zonas de alta montaña. Una subida de unos pocos grados durante el periodo de desarrollo temprano, que según los modelos actuales de cambio climático no es algo descabellado, podría contribuir a la extinción de las poblaciones situadas en el límite del gradiente de altitud. Esto confirma la elevada sensibilidad de las poblaciones de anfibios de alta montaña y la amenaza de extinción a medio plazo en caso de un aumento de los fenómenos meteorológicos adversos ligados al cambio climático.

Las poblaciones de zonas situadas por encima de 1500 msnm son mucho más sensibles a fenómenos como las nevadas tardías, que pueden producir mortalidades catastróficas de adultos si han comenzado la reproducción. En algunas poblaciones altas, si la retirada de la cubierta de nieve se retrasa hasta el mes de junio, no se produce reproducción. Asimismo, el retraso del inicio de la reproducción y la ausencia de lluvias primaverales puede provocar la desecación temprana de las charcas y una elevada mortalidad de larvas antes de que completen el desarrollo. En síntesis, hay tres fenómenos relacionados con la temperatura ambiental que condicionan tanto el inicio de la reproducción como la duración del mismo: la fusión del hielo de las charcas, la desecación de las mismas y la congelación.



### Apuntes para el seguimiento del cambio global

El trabajo con anfibios en zonas de alta montaña es una línea de investigación relevante en materia de seguimiento de cambio global, que debe abordarse –como en otros casos- con la complejidad que requiere, teniendo en cuenta la diversidad de variables que entran en juego y las diferentes formas en que éstas inciden sobre las poblaciones existentes. Así, deben delimitarse los efectos de ciertas variables que pueden jugar a favor –como podría ser el caso, en ciertos enclaves, de la ampliación de periodos reproductores debido a la menor congelación de charcas- y otras en contra –como la desecación temprana de charcas, por ejemplo-. En el caso de las poblaciones de anfibios, es muy relevante la forma en que pueden combinarse cambios en la temperatura y precipitación a lo largo del año y, también, la adopción de medidas de gestión adaptativa y conservación que permitan contrarrestar los posibles efectos del cambio climático en las poblaciones más sensibles.



#### **El estudio de la distribución y diversidad genética de la rana pirenaica ofrece algunas pistas para evitar el declive de sus poblaciones amenazadas**

Las oscilaciones climáticas durante el cuaternario han perfilado el patrón actual de distribución de la biodiversidad en los Pirineos, así como influido en la estructura genética espacial de las especies. En el proyecto 'Diversidad genética espacial y flujo genético en anfibios pirenaicos: evolución potencial bajo escenarios de cambio global' [OAPN23]<sup>28</sup> se investigó la diversidad genética y flujo genético entre poblaciones de dos especies de ranas pardas, la rana bermeja (*Rana temporaria*) y la rana pirenaica (*Rana pyrenaica*) en el Pirineo central. Ambas especies se caracterizan por estar distribuidas a lo largo de todo el Pirineo central, desde baja a alta montaña, si bien la primera presenta un mayor rango altitudinal y utiliza principalmente charcas y lagos para reproducirse, mientras que la segunda (endemismo pirenaico en peligro de extinción), se reproduce en aguas rápidas de cabeceras de ríos.

En el proyecto se realizó un intenso trabajo de campo que permitió a sus autores recabar datos de genética, morfometría, densidad poblacional, distribución y el estado de las poblaciones de dos especies de anfibios pirenaicos: la rana bermeja y la rana pirenaica.

La diversidad genética espacial de la rana bermeja es mayor de lo esperado, habiendo encontrado dos linajes nuevos para la Península Ibérica, uno de ellos endémico de Aragón. La rana pirenaica es muy homogénea genéticamente, tanto en el genoma mitocondrial completo como en marcadores nucleares, y probablemente ha sufrido, recientemente, un cuello de botella con posterior expan-

28] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por David Rodríguez Vieites y su equipo de investigación (Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC)).



sión geográfica. Las diferencias entre el núcleo oriental y occidental son mínimas, y ha existido un flujo genético reciente entre poblaciones.

En cuanto al estado de conservación, los investigadores se concentraron principalmente en la rana pirenaica, por ser un endemismo en peligro de extinción cuyo estado actual se desconocía en gran medida. Se ha incrementado el área de distribución conocida de esta especie con nuevas localidades, si bien muchas poblaciones históricas han desaparecido por causas desconocidas. El tamaño poblacional estimado es bajo en muchas localidades, por lo que la probabilidad de extinción local es elevada. Los modelos de conectividad espacial sugieren una cierta fragmentación, con siete unidades desconectadas recientemente entre sí, y una separación efectiva entre el núcleo oriental y occidental de la especie, si bien la conectividad dentro de estas unidades parece elevada. Se ha detectado la presencia masiva del hongo *Batrachoquytrium dendrobatidis* en todo el área de distribución de rana pirenaica, si bien su impacto en la especie es desconocido.

El monitoreo de la fenología de puesta en las ranas pardas sugiere que se adelanta más de un mes en años cálidos frente a años fríos, siendo también la mortalidad de larvas mayor especialmente en arroyos poco profundos. El análisis de tendencias de las series históricas de estaciones meteorológicas del Pirineo Central indica que en el futuro las condiciones climáticas serán más cálidas, lo que sugiere que las ranas se reproducirán antes y se deberán enfrentar a condiciones de sequía estival.

Los datos obtenidos confirman a la especie como en peligro de extinción, por lo que se proponen una serie de medidas de gestión para la conservación *in situ* y *ex situ* de la especie, así como unidades de gestión en toda el área de distribución.



#### Propuestas para la gestión y la conservación

Teniendo en cuenta los datos de este estudio, sus autores sugieren una serie de medidas para mejorar la situación de las poblaciones de rana pirenaica:

1. Mejora de la conectividad y del hábitat. La mayor mortalidad observada en la especie es de larvas que se encuentran en cubetas de arroyos con poca agua, que antes de la metamorfosis se secan matando a todos los renacuajos. Por ello, la medida de gestión más eficaz para la especie ahora mismo es cavar estas cubetas y aumentar la profundidad de las mismas para asegurarse de que habrá agua suficiente para que los renacuajos completen la metamorfosis y se asegure el reclutamiento para los próximos años, sobre todo teniendo en cuenta las predicciones de prevalencia de años secos en el futuro.
2. Impacto de la eliminación de peces en el tramo de cabecera del río Arazas. Gran parte de las localidades de la especie lejos del Parque tienen densidades mínimas y no están protegidas, por lo que su existencia peligrará. Parece claro que hay zonas donde se han soltado truchas históricamente que limitan la presencia a cabeceras de río y afectan a la densidad de la especie, por ejemplo en el tramo superior del valle de Ordesa donde las ranas ya no están en el tramo principal si no en pequeños arroyos laterales. Como experiencia piloto sería interesante eliminar las truchas del tramo alto del río Arazas y monitorear las poblaciones de ranas y la colonización de este hábitat que debieron ocupar hasta hace relativamente poco tiempo. Es de esperar que las ranas colonicen la zona y se incremente su densidad efectiva. En caso de ser efectiva se puede trasladar esta medida a otras zonas.
3. Dinámica poblacional e impacto de la quitridiomycosis. Es necesario monitorear una serie de poblaciones en el tiempo y estimar las densidades de la especie mediante marcaje-recaptura. Si bien existen datos de un par de localidades, sería conveniente ampliar este muestreo a muchas, incluyendo aquellas con densidades bajas y altas para entender sus dinámicas y qué factores influyen en la densidad y supervivencia de la especie.
4. Cría en cautividad y reintroducciones. Esta estrategia se está haciendo ya en la Península con otras especies, sería compatible con la conservación *in situ*, y permitiría repoblar zonas donde la especie ha desaparecido, reforzar poblaciones y mejorar la conectividad espacial.

5. Actualización de la categoría de conservación de la especie en la Directiva Hábitats. Rana pyrenaica está catalogada por la UICN como especie en Peligro de Extinción, en la categoría B1ab (II, III, IV), en las que se tiene como criterio clasificador la extensión limitada del área de distribución geográfica de la especie. La baja densidad de 16 individuos reproductores justifica esta categoría. Sin embargo, dado que la Directiva Hábitats se realizó antes de que la especie fuese descrita, no está incluida en la misma.

### **Comunicando los impactos del cambio global: una aplicación con los anfibios y reptiles de España**

Los anfibios y reptiles se hallan sumidos actualmente en un proceso globalizado de pérdida de diversidad debido a diferentes procesos relacionados con el cambio global que actúan de forma sinérgica y que incluyen el cambio climático, la pérdida y degradación de los hábitats, las enfermedades emergentes y las especies invasoras, entre otras causas.

En este contexto, el objetivo del proyecto **‘Comunicando los impactos del cambio global mediante nuevas tecnologías geoespaciales: una aplicación con los anfibios y reptiles de España’ [FB06]**<sup>29</sup> fue explorar vías para comunicar las consecuencias del cambio global en anfibios y reptiles ibéricos, implementando resultados de investigación en un **portal web** basado en tecnologías geoespaciales, para facilitar su comprensión y situarlos en un contexto geográfico, sociopolítico y cultural más próximo a la sociedad.

Se analizaron las posibles consecuencias del cambio climático dentro del área de distribución de las especies de anfibios y reptiles de la España peninsular, deduciendo que tanto anfibios como reptiles en general pueden perder entre el 30% y el 60% de sus áreas climáticamente adecuadas antes del 2080, habiendo especies que pueden llegar a perder hasta el 100% de dichas áreas. Para relacionar las actitudes de la sociedad y las consecuencias del cambio climático, el análisis se ha realizado teniendo en cuenta **dos escenarios de emisiones** de CO<sub>2</sub>: A2 o ‘pesimista’, que asume un mundo heterogéneo con un continuo aumento de la población mundial que enfatiza el desarrollo económico regional, y B2 u ‘optimista’, que asume un mundo donde predomina la protección ambiental a nivel regional, y con un desarrollo económico intermedio y un crecimiento progresivo de la población.

En la web, los autores de este proyecto presentan los resultados del análisis en forma de mapas interactivos de idoneidad climática actual, generados con modelos predictivos de distribución de especies. Este tipo de enfoque debe entenderse como un ejercicio de simulación –con un propósito esencialmente didáctico– ya que, según los propios autores, «la extrapolación de modelos al futuro debe abordarse con cautela».



29] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Lluís Brotons, Dani Villero y Magda Pla (Centre Tecnològic Forestal de Catalunya) en enero de 2011.

## Algunos órdenes de insectos acuáticos son magníficos indicadores de cambio global

### El impacto del cambio climático sobre los tricópteros en el Parque Nacional de Sierra Nevada

Conocer la vulnerabilidad de la biodiversidad debido al cambio global ha despertado un gran interés entre los ecólogos. Sin embargo, existen pocos ejemplos de estudios llevados a cabo en ecosistemas dulceacuícolas, a pesar de que el cambio climático podría tener un impacto muy serio sobre estos ecosistemas y los organismos que los habitan debido al aumento de la temperatura y la alteración del régimen hidrológico. Así, por ejemplo, la abundancia de las especies de vertebrados de agua dulce ha disminuido mucho más entre 1970 y 2000 que la de los ecosistemas terrestres o marinos (ver por ej. *Millenium ecosystem assessment*). Uno de los cambios más frecuentes entre los detectados en organismos dulceacuícolas es la tendencia a modificar sus rangos de distribución a mayores latitudes y altitudes en respuesta al calentamiento global y otros factores relacionados. Por ejemplo, estudios efectuados en América del Norte señalan desplazamientos latitudinales de unos 500 a 600 km en peces y macroinvertebrados en respuesta a incrementos de 3-4°C de temperatura.

Sierra Nevada representa a la alta montaña mediterránea dentro del conjunto de parques nacionales y, como ya hemos visto, es un lugar ideal para testar los efectos del cambio climático por su altitud, climatología y por albergar una elevada biodiversidad. Además, se espera que dichos efectos sean especialmente severos en especies de alta montaña con un estrecho rango de distribución. En el proyecto 'Diversidad, estrategias vitales y filogeografía de especies sensibles al cambio climático: tricópteros en el Parque Nacional de Sierra Nevada' [OAPN06]<sup>30</sup> se ha estudiado el orden Trichoptera -especialmente adecuado para reflejar la intensidad de diferentes factores estresantes en ecosistemas acuáticos- con el fin de utilizarlos como sensores del cambio climático.

El efecto que el cambio climático puede tener en la diversidad de tricópteros está basado en las siguientes hipótesis:

- (1) Las especies de distribución limitada (como las especies endémicas), caracterizadas por un restringido nicho ecológico y escasa capacidad dispersiva, están severamente más amenazadas por el cambio climático que las especies de amplia distribución;
- (2) Las especies típicas de la zona del potamon (grandes ríos en zonas bajas) pueden reaccionar al aumento de las temperaturas colonizando los tramos más altos de los ríos; en cambio, las que habitan la zona del crenon (fuentes en cabecera) no pueden desplazarse río abajo y tampoco pueden desplazarse aguas arriba por la inexistencia de hábitat. Como consecuencia de esa reducción de hábitat están más amenazadas por el cambio climático
- (3) Las especies adaptadas a bajas temperaturas (especies estenotérmicas frías) están más amenazadas que las euritérmicas por el aumento de temperatura debido al cambio climático. Un elevado número de especies de tricópteros están ligados a la zona del crenon, presentan nichos ecológicos estrechos y se encuentran particularmente en sistemas montañosos de elevada altitud.

Recientemente se ha realizado una estima del potencial impacto del cambio climático sobre la biodiversidad de tricópteros europeos y se calcula que el 50% de las especies de la Península Ibérica se verán afectadas<sup>31</sup>.

Los resultados muestran que la temperatura media del agua de los ríos de Sierra Nevada ha aumentado en unos 2°C en los últimos 20 años, lo cual ha ido acompañado de un aumento de la

30] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo publicado por el OAPN y firmado por Carmen Zamora-Muñoz (Universidad de Granada), Marta Sáinz-Bariáin (Universidad de Granada), Cesc Múrria (Universidad de Barcelona), Núria Bonada (Universidad de Barcelona), Carmen Elisa Sáinz-Cantero (Universidad de Granada), Marcos González (Universidad de Santiago de Compostela), Javier Alba-Tercedor (Universidad de Granada) y José Manuel Tierno De Figueroa (Universidad de Granada) y de Sáinz-Bariáin, M., Zamora-Muñoz, C., Soler, J.J., Bonada, N., Sáinz-Cantero, C.E. & Alba-Tercedor, J. 2016. Changes in Mediterranean high mountain Trichoptera communities after a 20-year period. *Aquatic Sciences* 78: 669-682.

31] Hering, D., Schmidt-Kloiber, A., Murphy, J., Lücke, S., Zamora-Muñoz, C., López-Rodríguez, M.J., Huber, T. & Graf, W. 2009. Potential impact of climate change on aquatic insects: A sensitivity analysis for European caddisflies (Trichoptera) based on distribution patterns and ecological preferences. *Aquatic Sciences* 71: 3-14.

riqueza de especies de tricópteros. Este aumento ha sido más acentuado al incrementar la altitud, presentando un máximo en altitudes intermedias, como consecuencia de la ampliación del rango de distribución de especies de tramos medios hacia cotas más elevadas y de colonización desde sierras próximas. El incremento de riqueza observada y su asociación con las condiciones ambientales sugiere que las montañas con un gradiente altitudinal considerable puede actuar como refugios para especies y poblaciones durante periodos de cambio climático, lo que potencia la importancia de la conservación de los hábitats de montaña<sup>32</sup>.

Se ha detectado una fuerte vulnerabilidad al cambio climático de las dos especies endémicas de *Annitella* en Sierra Nevada (*A. iglesiasi* y *A. esparraquera*) por estar localizadas en pocos ríos y tener un flujo genético bajo entre sus poblaciones. Los resultados de este proyecto ponen de manifiesto la vulnerabilidad de la biodiversidad acuática en Sierra Nevada y llaman a estrategias de conservación que consideren especialmente los ecosistemas fluviales del macizo.

La fenología de algunas especies se puede estar viendo afectada mediante un adelanto de la emergencia de adultos en las especies primaverales y un retraso en las otoñales. Cambios en las estrategias vitales de los organismos, como los cambios fenológicos, son uno de los efectos ecológicos observados en varios grupos animales, aunque hay aún pocos trabajos en invertebrados acuáticos en los que se haya documentado.



Ante el cambio climático se prevé un desplazamiento en el rango de distribución de aquellas especies que presenten adaptaciones fisiológicas a las nuevas condiciones ambientales y capacidades dispersivas hacia nuevos hábitats más favorables. Especies como *Allogamus mortoni* y *Stenophylax nycterobius* no presentaban hace 20 años una distribución tan amplia en las cotas estudiadas de Sierra Nevada. Estas especies son típicas de cabeceras y tramos medios de sistemas montañosos calcáreos en la región mediterránea, donde se distribuyen a altitudes más bajas de las encontradas actualmente en Sierra Nevada. El estudio del ciclo de vida de *S. nycterobius* ha puesto además de manifiesto un cambio en la estrategia vital de esta especie que le permite sobrevivir en localidades como las lagunas de Sierra Nevada: los adultos emergen en septiembre y no migran a cuevas ni sufren diapausa estival<sup>33</sup>.

Con la previsible alteración de los cursos fluviales a consecuencia del cambio global se corre el riesgo no sólo de perder poblaciones de especies endémicas, exclusivas de un macizo con una idiosincrasia tan particular como Sierra Nevada, sino también un acúmulo importante de diversidad genética e información para entender la historia evolutiva del grupo por la alta diversidad local de dichas especies.



### Propuestas para la gestión y la conservación

Como los autores de este estudio concluyen, la vigilancia y protección de las lagunas, cabeceras y tramos altos de los ríos de Sierra Nevada, principalmente controlando la detración del agua, es de vital importancia para proteger a dichas especies.

32] Sáinz-Bariáin, M., Zamora-Muñoz, C., Soler, J.J., Bonada, N., Sáinz-Cantero, C.E. & Alba-Tercedor, J. 2016. Changes in Mediterranean high mountain Trichoptera communities after a 20-year period. *Aquatic Sciences* 78: 669-682.

33] Sáinz-Bariáin, M. & Zamora-Muñoz, C. 2012. The larva and life history of *Stenophylax nycterobius* (McLachlan, 1875) (Trichoptera: Limnephilidae) in high mountain streams (Sierra Nevada, Spain) and key to the Iberian larvae of the genus. *Zootaxa* 3483: 71-81.

Más concretamente, «se debería tener especial cuidado en la protección integral de los tramos altos de ríos y arroyos de Sierra Nevada. Por su limitado rango de distribución, las especies endémicas están fuertemente amenazadas por el cambio climático. El rango de distribución de las especies endémicas está situado generalmente por encima de los 1500 m y principalmente entre los 3000-1700.

El que hayamos detectado un aumento de riqueza en las cabeceras de los ríos podría llevarnos a pensar que las poblaciones están subiendo en altitud, por lo que se estarían viendo afectadas por el cambio climático. Hemos detectado descenso de caudales importantes e incluso sequía total del tramo en algunas localidades de muestreo. No pudimos muestrear en muchas localidades en las que sí lo hicimos hace unos 20 años porque actualmente están secas todo el año o en alguna estación del año. La disminución del caudal implica una menor velocidad y una mayor temperatura del agua».

### **El cambio climático está provocando cambios en los efemerópteros y plecópteros en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici**

Schneider & Hook (2010)<sup>34</sup> han medido a nivel mundial un aumento medio de la temperatura superficial del agua en grandes masas continentales en torno a 1,13°C en el período 1985-2009, con valores máximos de hasta 2,5°C. Estos autores también han observado que el calentamiento es mayor en latitudes altas y medias del hemisferio norte.

El cambio climático en ecosistemas fluviales genera un efecto cascada a partir de su impacto sobre el balance hídrico, el cual a su vez incide sobre distintos procesos fluviales y la calidad del agua, afectando especialmente a la temperatura, que a su vez regula la concentración de oxígeno disuelto en el agua, disminuyendo ésta según aumenta la temperatura. En su conjunto, los cambios que induce el cambio climático sobre los distintos procesos fluviales y la calidad del agua condicionan la permanencia de las comunidades bentónicas fluviales e introducen cambios en su estructura y dinámica.

En esta línea de trabajo, el proyecto 'Estrategias de supervivencia ante el cambio global. Las especies de efemerópteros y plecópteros del Parque Nacional de Aigüestortes como paradigma' [OAPN09]<sup>35</sup> tuvo como finalidad abordar el estudio de la fragilidad de las comunidades bentónicas fluviales en sistemas de alta montaña ante los posibles cambios que puede introducir el cambio global en estos ecosistemas, ya sea por la reducción de caudales -ampliación de los periodos de sequía- o el incremento de la temperatura, asociada o no con la reducción de la concentración de oxígeno disuelto en el medio fluvial. Para ello se seleccionaron especies de efemerópteros y plecópteros, dada su sensibilidad esperada ante este tipo de cambios y el hecho de que son consideradas como buenas indicadores de la calidad ecológica de los ecosistemas fluviales.

---

**Entre 15 y 20 años son suficientes para permitir la colonización de toda una cuenca fluvial por parte de especies procedentes de tramos inferiores y el desplazamiento aguas arriba de las especies que requieren temperaturas más estables, con la consiguiente reducción de su distribución geográfica y el aislamiento de sus poblaciones.**

---

Durante el periodo estudiado (1994-2009) se observaron cambios en las distribuciones altitudinales de casi todos los taxones identificados, con tres tipologías distintas: especies estenotermas frías que han reducido su distribución al subir su límite altitudinal inferior, especies más euritermas que han colonizado tramos superiores, y taxones estenotermos fríos y reófilos estrictos que han reducido su distribución altitudinal al variar tanto su límite superior -que ha bajado debido a la reducción del caudal en los tramos superiores-, como su límite inferior -que ha subido debido al efecto combinado del aumento de la temperatura y la reducción del caudal-. Estos cambios mues-

34] Schneider, P. & Hook, S.J. (2010) Space observations of inland water bodies show rapid surface warming since 1985. *Geophysical Research Letters* 37: L22405

35] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo publicado por el OAPN y firmado por María Ángeles Puig (Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC), Nicolás Ubero-Pascal (Universidad de Murcia), Valentina Amore (Università della Tuscia) y Romolo Fochetti (Università della Tuscia).

tran cómo las especies estenotermas frías son desplazadas aguas arriba reduciendo sus rangos de distribución altitudinal, en parte, directamente por el aumento de la temperatura y, en parte, por la competencia con especies más euritermas.

El análisis demuestra que períodos de entre 15 y 20 años son suficientes para permitir la colonización de toda una cuenca fluvial por parte de especies más euritermas procedentes de tramos inferiores y el desplazamiento aguas arriba de las especies más estenotermas con la consiguiente reducción de su distribución geográfica y el aislamiento de sus poblaciones. Es decir, que se han observado cambios altitudinales máximos de entre 600 y 1500 m en un período de tiempo muy corto. La gran velocidad de respuesta observada de las especies de plecópteros y efemerópteros ratifica nuestra hipótesis de partida que consideraba a ambos órdenes de insectos como buenos indicadores del cambio climático y del cambio global.

Así, si las predicciones climáticas se cumplen se esperan importantes cambios en la biodiversidad de plecópteros y efemerópteros, como la eliminación de las especies estrictamente estenotermas frías de plecópteros, que en Aigüestortes representan aproximadamente el 25% de las especies que lo habitan actualmente. También pueden llegar a desaparecer las especies más reófilas y estenotermas frías de efemerópteros. De modo que el escenario probable plantea «a priori» una importante pérdida de especies, que implicaría la desaparición/extinción de algunas de ellas.

#### Apuntes para el seguimiento del cambio global

Los autores/as proponen un protocolo de seguimiento de los plecópteros y efemerópteros del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, como herramienta clave para analizar periódicamente los impactos que el cambio global está causando en los ecosistemas acuáticos del Parque. En concreto, se proponen, entre otras actuaciones, medir cada 5 años la riqueza de plecópteros en las cuencas de los ríos Escrita y Sant Nicolau (acción que puede replicarse en otros Parques de montaña); el seguimiento de las especies relictas *Arcynopteryx dichroa* y *Taeniopteryx hubaulti*, en riesgo de extinción en Pirineos, con periodicidad anual o bianual mediante capturas no extractivas definitivas o la realización de seguimientos anuales de poblaciones de especies emblemáticas, endemismos pirenaicos con distribuciones restringidas en la vertiente sur.

Este protocolo incluye recomendaciones para permitir que las capturas y el seguimiento no diezmen las poblaciones de las especies que se proponen. Así, los muestreos deben hacerse mediante captura y liberación de los ejemplares capturados (capturas no extractivas definitivas), por lo que los taxones seleccionados deben identificarse «in situ».



Los efectos del cambio climático pueden verse reforzados en los ecosistemas de alta montaña por la acción humana, como los cambios de uso del suelo y la gestión hidráulica de los cauces. Dentro de Aigüestortes, el efecto antrópico consiste principalmente en la regulación de algunos de los lagos de cabecera y la derivación de la mayor parte del caudal desde los cauces fluviales hasta plantas de generación hidroeléctrica que se encuentran en la parte baja de las cuencas o en cuencas próximas. Este tipo de gestión implica caudales mínimos a lo largo de todo el año, sin la mayor parte de las oscilaciones propias del régimen hídrico pirenaico, con temperaturas más altas en verano. Estos factores afectan la estructura de las comunidades fluviales, favorecen la colonización por especies menos estenotermas y reducen la capacidad de respuesta de las comunidades (resistencia y resiliencia) ante fenómenos extraordinarios, como las grandes riadas que exceden la capacidad de las canalizaciones de las obras de trasvase existentes.



### Propuestas para la gestión y la conservación

Los autores de este estudio determinan una serie de actuaciones necesarias para garantizar la conservación de la biodiversidad de plecópteros y efemerópteros en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Entre ellas, la especial preservación de algunos cauces que incluyen buena parte de los endemismos y especies en riesgo, para los que deben establecerse medidas tendentes a limitar los posibles impactos que puedan producirse asociados a la gestión.

También se demanda el aumento del caudal de los tramos regulados, aproximándolos a los caudales de mantenimiento precisos para preservar el mayor tiempo posible las comunidades de macroinvertebrados propias de estos cauces, cerrando el paso a especies más euritermas de cauces con menor caudal.

---

## La entrada de polvo sahariano y su relación con el cambio global: el análisis de su incidencia en los lagos de montaña

---

### La diversidad bacteriana en lagos de alta montaña puede utilizarse también como indicador del cambio global

Los microorganismos son indispensables para el desarrollo y mantenimiento de la vida en cualquier ecosistema. Su extensa historia evolutiva (más de 3.000 millones de años de antigüedad) encierra una fuente única de biodiversidad y riqueza genética del planeta con un amplio repertorio de moléculas y de vías metabólicas que poseen en exclusividad. La magnitud de sus tamaños poblacionales (del orden de 10<sup>30</sup> individuos) los convierte en el principal reservorio orgánico de nitrógeno y fósforo del planeta y la cantidad de carbono que almacenan es del mismo orden de magnitud que el que está contenido en las plantas terrestres<sup>36</sup>. Paradójicamente, el mundo de los microorganismos nos resulta todavía un universo lejano y desconocido debido a la dificultad metodológica de su estudio y a la propia magnitud de la empresa a la que nos enfrentamos.

Estas limitaciones y otras de índole conceptual hacen que actualmente se desconozca cuál es el número de especies bacterianas presentes en la naturaleza, con estimaciones propuestas por diferentes autores que oscilan varios órdenes de magnitud. El número total de especies podría oscilar entre 10 y 1.000 millones, según las estimaciones más elevadas. Otras corrientes de pensamiento más conservadoras defienden, sin embargo, que debido a su alta capacidad de supervivencia y sus bajas tasas de extinción, la mayoría de especies bacterianas serían cosmopolitas sin barreras a su dispersión global, con un número de especies que estaría dentro del rango de las decenas de miles. Tampoco se tiene una buena apreciación sobre qué ambientes tienen más posibilidades de albergar una mayor diversidad de especies y cuáles no, ni tampoco sobre la riqueza filogenética que contienen y su grado de novedad. Y existe también un gran debate sobre cómo definir correctamente el concepto 'especie bacteriana', ya que se trata de individuos que se reproducen asexualmente y tienen un repertorio morfológico muy limitado, lo que dificulta en gran manera el encaje de todas estas cuestiones.

36] Whitman, W. B., Coleman, D. C. & Wiebe, W. J. 1998. Prokaryotes: the unseen majority. *Proceedings National Academy of Sciences USA* 95: 6578-6583.

Una de las vías de investigación en este campo, relacionada con los efectos del cambio climático y desarrollada en el proyecto '[AERBAC: Diversidad bacteriana en lagos de alta montaña: biogeografía y mecanismos de dispersión por aerosoles atmosféricos en el contexto del cambio global](#)' [OAPN11]<sup>37</sup>, es la del transporte por vía aérea de microorganismos a largas distancias -miles de kilómetros- mediante aerosoles atmosféricos, que supone la movilización anual por todo el planeta del orden de 10 trillones de microorganismos<sup>38</sup>. Se trata de un fenómeno creciente a escala global que se ha visto acelerado en los últimos años por efectos ligados al cambio global<sup>39</sup> y que cuenta con dos puntos calientes de emisión natural de partículas a escala planetaria: la zona del Sahara-Sahel, en África y la del Gobi-Takla Makan, en Asia.

En estas regiones se generan inmensas masas de polvo en suspensión (miles de millones de toneladas), algunas de ellas equivalentes al tamaño de toda la Península Ibérica, que se desplazan miles de kilómetros de distancia saltándose las barreras oceánicas impulsadas por el régimen general de vientos hacia el oeste y hacia el este, respectivamente. Las características climatológicas regionales en la zona Atlántico-Mediterránea favorecen la entrada periódica de parte de estas masas africanas hacia la zona continental europea, mientras que polvo del desierto del Gobi puede detectarse en Europa después de haber completado casi una vuelta completa alrededor de la Tierra.

La movilización atmosférica de polvo a escala global se ha visto acelerada por la persistente sequía que desde hace más de 30 años azota la zona del Sahel y del Sahara y que, junto al crecimiento desmedido de prácticas agrícolas y ganaderas extensivas, han prácticamente desecado extensas zonas acuáticas como el Lago Chad, disminuyendo la cubierta vegetal protectora y aumentando la frecuencia e intensidad de las tormentas de arena. El escaso o nulo control en las prácticas agrícolas y sanitarias en estas regiones de África y la falta de depuración en los vertidos realizados a ríos y lagos hacen que se movilicen de los sedimentos desecados diferentes tipos de contaminantes orgánicos, metales pesados y microorganismos potencialmente patógenos. Se estima que alrededor de 3000 millones de toneladas de componentes del suelo y sedimentos están continuamente flotando en la atmósfera y la mayor cantidad de polvo circulando por el planeta hace que aumente significativamente la carga microbiológica del aire.



### Propuestas para la gestión y la conservación

Favorecer políticas ambientales adecuadas en zonas semiáridas susceptibles como el Sahel es apostar por una visión global del reto de la conservación. Los parques nacionales en zonas de alta montaña cumplirían así una misión adicional, sirviendo como referentes para evaluar el grado de alteración del entorno y como sistemas de detección temprana y seguimiento de las diferentes facetas del cambio global. Un ejemplo más de que el planeta es uno e interconectado.

Las masas de polvo fueron seguidas en el proyecto mediante la información suministrada por el proyecto [CALIMA](#), fruto del convenio de colaboración para el estudio y evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado en suspensión en España entre la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, el CSIC (a través del Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera) y la Agencia Estatal de Meteorología. También se utilizaron datos de la sonda [TOMS](#) de la NASA (*Total Ozone Mapping Spectrometer*). En promedio, durante el período 2004-2010, un día por semana en la zona NE de la Península Ibérica tuvo polvo africano presente en suspensión en la atmósfera.

Se ha trabajado en 13 diferentes lagos dentro del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici -situados en un rango de altitud entre los 1600 y los 2400 m- utilizando la comunidad bac-

37] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo publicado por el OAPN y elaborado por Emilio O. Casamayor (Observatorio Limnológico de Pirineos -LOOP-. Grupo de Investigación en Biogeodinámica y Biodiversidad. Centro de Estudios Avanzados de Blanes-Consejo Superior de Investigaciones Científicas -CEAB-CSIC-.

38] Griffin, D.W., Kellogg, C.A., Garrison, V.H. & Shinn, E.A. 2002. The global transport of dust. An intercontinental river of dust, microorganisms and toxic chemicals flows through the Earth's atmosphere. *American Scientist* 90: 228-235.

39] Moulin, C. & Chiapello, I. 2006. Impact of human-induced desertification on the intensification of Sahel dust emission and export over the last decades. *Geophysical Research Letters* 33:L18808.



teriana presente en la interfase aire-agua (neuston) y en la columna de agua como sensor de la entrada de bacterias inmigrantes aerotransportadas y del éxito de su colonización, respectivamente. La concentración de bacterias en estas aguas osciló entre 100.000 y 1 millón de individuos por mililitro. Las entradas de polvo de origen sahariano impulsadas por vientos de componente sur y sureste son fácilmente trazables e identificables aquí, con máximos de incidencia normalmente localizados en primavera-verano.

En este proyecto se han utilizado lagos y zonas de alta montaña como biosensores de la calidad microbiológica del aire y de la salud del ecosistema. Estos lagos se encuentran relativamente poco alterados por la acción humana a escala local y son considerados relativamente libres de interferencias externas próximas. Los resultados indican que se trata de grandes colectores naturales muy útiles para estudiar la incidencia de microbios invasores de origen remoto transportados por el viento, ya que ofrecen datos integradores de alto valor diagnóstico. Además, se encuentran presentes en todas las latitudes del planeta permitiendo la extrapolación de estudios locales y regionales a una escala planetaria. En este contexto, el valor de estos ecosistemas reside en su potencial para seguir procesos ecológicos que sobrepasan sus fronteras y que tienen un carácter global. Estos datos permiten avanzar en el conocimiento de las estrategias ecológicas de dispersión en el mundo de las bacterias y, también, su aplicación a la comprensión de fenómenos como plagas y transmisión de enfermedades.



Así, el proyecto representa un ejemplo de cómo zonas especialmente sensibles a la degradación y que quizá no son consideradas relevantes en las agendas de protección por su falta de interés faunístico, florístico o paisajístico, juegan un papel clave en la ecología del planeta y tienen un efecto remoto en ecosistemas de alto interés y máximo grado de protección.



### Apuntes para el seguimiento del cambio global

Este proyecto nos ofrece como indicador de cambio global el análisis de la diversidad bacteriana en lagos de montaña y su correlación con las masas de polvo saharianas: la incidencia de microbios invasores de origen remoto transportados por el viento. El autor propone establecer observatorios microbianos en estas zonas para el seguimiento y detección temprana de la movilización a escala global de microorganismos de especial interés, así como el seguimiento de la evolución y potencial de colonización de dichos microorganismos a largo plazo en el ecosistema.

### El impacto simultáneo de la radiación ultravioleta y las entradas de fósforo y nitrógeno en lagos de alta montaña

El impacto de un factor de estrés de cambio global depende de los efectos de otros factores de estrés que intervienen simultáneamente. Sin embargo, carecemos de la información suficiente para predecir cómo los efectos interactivos de múltiples factores de cambio global pueden mitigar o reforzar sus efectos individuales y su influencia sobre el funcionamiento del ecosistema. La falta de información en buena medida se debe a la escasez de experimentos multifactoriales que, unida a la complejidad y el dinamismo de los sistemas ecológicos, complica la predicción sobre cómo se verán afectados los procesos del ecosistema en un escenario futuro de cambio global. Un enfoque multifactorial ha sido el adoptado por las autoras/es del proyecto **‘Seguimiento interanual y análisis experimental de factores de cambio global (UVR y entradas de P) sobre los productores primarios en lagos de alta montaña’** [OAPN18]<sup>40</sup>, en el que se analiza la interacción de variables como la radiación ultravioleta (UVR) y la presencia de fósforo (P) y nitrógeno (N) en este tipo de ecosistemas.



Los lagos de alta montaña son laboratorios naturales y centinelas de cambio global debido a sus especiales características: aguas frías, oligotróficas, con baja diversidad, pobre redundancia funcional y relativamente bajos niveles de perturbación humana. Existe una tendencia creciente de impacto del cambio global sobre los ecosistemas de montaña, siendo la UVR y la entrada de P y N algunos de los más importantes factores con particular relevancia en estos ecosistemas. Aunque recientes estudios han sugerido que el efecto de la UVR podría ser menos pronunciado debido a una potencial aclimatación y adaptación de los organismos como resultado de una historia de larga exposición a intensa irradiación en estos lagos de aguas transparentes, el verdadero impacto de un incremento en UVR sobre los lagos de alta montaña depende más de la interacción con otros factores de estrés que sólo de un incremento en los flujos de UVR. Esto es particularmente cierto en latitudes meridionales de Europa, donde son comunes las sequías, las entradas de nutrientes vía atmosférica procedentes de áreas desérticas (el desierto del Sáhara exporta nutrientes en forma de tormentas de polvo ricas en P, hierro y calcio) o el incremento de temperatura. Todos ellos

40] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo publicado por el OAPN y elaborado por Presentación Carrillo (Instituto Universitario de Investigación del Agua, Universidad de Granada), Juan Manuel Medina-Sánchez (Universidad de Granada), Manuel Villar-Argaiz (Universidad de Granada), Cristina Durán (Instituto Universitario de Investigación del Agua, Universidad de Granada), Guillermo Herrera (Instituto Universitario de Investigación del Agua, Universidad de Granada), Irene Dorado (Instituto Universitario de Investigación del Agua, Universidad de Granada), Marco J. Cabrero (Instituto Universitario de Investigación del Agua, Universidad de Granada), Virginia E. Villafañe (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Argentina) y E. Walter Helbling (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Argentina).

son factores de cambio global que están relacionados con anomalías de variaciones climáticas periódicas (*North Atlantic Oscillation*, NAO) y oscilaciones de las Zonas de Convergencia Intertropical (ITZC), destacando el incremento registrado en la frecuencia e intensidad de intrusiones de aerosoles de origen sahariano debido a cambios en los patrones de precipitación global.

Aunque está ampliamente establecido que el efecto de la UVR sobre las algas es inhibitorio a nivel molecular o a nivel funcional, este efecto inhibitorio es atenuado o suprimido en el nivel de organización de población o comunidad. Por el contrario, el efecto de la adición de nutrientes (principalmente P) es generalmente estimulador de la producción primaria y del crecimiento algal, incrementando la abundancia y biomasa algal. A pesar de estar bien establecidos estos efectos individuales contrapuestos (UVR depresor y enriquecimiento en nutrientes estimulador), los escasos estudios realizados sobre el efecto interactivo UVR×Nutrientes muestran resultados contradictorios tanto a nivel molecular y fisiológico como sobre la estructura y sucesión de las comunidades pelágicas.

Así, por ejemplo, una combinación de un incremento en la intensidad y la frecuencia en las deposiciones de polvo atmosféricas en las últimas tres décadas (1973-2003) con altos niveles de UVR, características de los lagos de alta montaña, dan lugar a cambios interanuales de la abundancia y biomasa de fito- y zooplancton que dan lugar a un desacople entre sus dinámicas y por lo tanto en el flujo de carbono en la red trófica.

Los resultados de este estudio sugieren una gran capacidad adaptativa y un incremento en la resiliencia del ecosistema frente a un aumento en la frecuencia de perturbaciones climáticas que implican mayores entradas de polvo asociado a aerosoles saharianos. Además, se desvela la existencia de umbrales temporales de respuesta de los organismos a partir de los cuales la combinación de factores de estrés invierte el efecto individual que ejerce cada factor de cambio global sobre los organismos, generando respuestas netas de los organismos no aditivas y difícilmente predecibles.

---

### La huella de los cambios climáticos y ecosistémicos queda registrada en el sedimento de los lagos

---

#### La evolución climática y ambiental del Parque Nacional de los Picos de Europa desde el último máximo glacial

La reconstrucción de la historia de un lago y su evolución nos permite conocer los cambios que se han producido, cómo le han afectado variaciones del clima y/o de la vegetación local o regional e incluso los usos que el ser humano ha podido hacer, tanto de él, como del paisaje de su entorno. En el sedimento lacustre queda registrada información sobre la evolución en el tiempo del lago y del ambiente en el que se encuentra. Así, podemos obtener datos de cómo era el clima (frío, cálido, seco, lluvioso), qué tipo de vegetación predominaba en la zona (bosque, pradera, matorral, campos de cultivo, etc.) y qué tipo de seres vivos habitaban en el lago en cada momento. Es decir, su historia paleoambiental. Gracias a estos estudios, que nos cuentan cómo han variado el clima y el paisaje, podemos obtener 'fotos' en el tiempo de lo que denominamos 'escenarios climáticos' del pasado, e intentar dilucidar las pautas y patrones de los cambios paleoambientales.

Los principales objetivos del proyecto '[Evolución climática y ambiental del Parque Nacional de los Picos de Europa desde el último máximo glacial](#)' [OAPN02]<sup>41</sup> fueron detectar, valorar y cuantificar, mediante la utilización de diferentes técnicas geomorfológicas, físicas, sedimentológicas, geoquímicas y biológicas (análisis de polen, quironómidos, ostrácodos y diatomeas), los cambios paleoclimáticos, paleoambientales y paleohidro-limnológicos que han quedado registrados en los sedimentos del Lago de Enol en la Cordillera Cantábrica. El trabajo se realizó a diferentes esca-

---

41] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo publicado por el OAPN y firmado por Blas L. Valero-Garcés, Ana Moreno, Penélope González-Sampériz, Mario Morellón, Mayte Rico, J y Pablo Corella (Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC), Montserrat Jiménez-Sánchez, M. José Domínguez-Cuesta, Pedro Fariás y Heather Stoll (Universidad de Oviedo), Lourdes López-Merino y José Antonio López-Sáez (Instituto de Historia (CCHS, CSIC)), Manel Leira y Luisa Santos (Universidad de A Coruña), Pilar Mata (Instituto Geológico y Minero de España), María Rieradevall y Esther Rubio (Universitat de Barcelona), Ana Navas (Estación Experimental de Aula Dei (CSIC)), Antonio Delgado (Estación Experimental El Zaidín (CSIC)), Javier Marco-Barba (Universidad de Valencia) y Javier Sigrò (Universidad Rovira i Virgili).

las temporales, en particular una desde el Último Máximo Glaciar -incluyendo los últimos 38.000 años- y otra focalizada en los últimos 300 años. El estudio evidenció el impacto del final de la Pequeña Edad del Hielo (PEH) y del calentamiento global durante el siglo XX, junto a la influencia variable de las actividades antrópicas.

Entre 1840 y 1900 sería el momento más frío de la secuencia reciente -en el análisis realizado sobre los últimos 300 años- y podría corresponder con uno de los intervalos fríos del final de la Pequeña Edad de Hielo, un período frío que abarcó desde comienzos del siglo XIV hasta mediados del XIX, en el que, probablemente, el lago permanecía helado varios meses al año.

El último intervalo estudiado es el que vivimos en la actualidad. Entre los años 1960-1970 se detecta una bajada puntual de la temperatura. Posteriormente, las temperaturas incrementan pero las precipitaciones comienzan a disminuir. Además, se produce un reemplazo de *Cyclotella ocellata*, una especie más frecuente durante el periodo de primavera-verano, por *Cyclotella radiosa*, típica de verano, por lo que los autores de este estudio interpretan que los veranos se han alargado en

---

**Además de los cambios estrictamente climáticos, estos ecosistemas pueden estar viéndose afectados en las últimas décadas por cambios significativos en el uso tanto de los propios lagos como del entorno, como es el caso de la actividad ganadera y/o los flujos de visitantes.**

---

las últimas décadas. Estos cambios indican claramente que las consecuencias del cambio climático se están notando ya en el Parque Nacional de los Picos de Europa.

Es esencial tener en cuenta en este tipo de estudios que, además de los cambios estrictamente climáticos, estos ecosistemas pueden estar viéndose afectados en las últimas décadas por cambios significativos en el uso tanto de los propios lagos como del entorno, como es el caso de la actividad ganadera y/o los flujos de visitantes. Así, es esencial no interpretar erróneamente las modificaciones en el ecosistema provocadas por dichos cambios en el uso y atribuirlos a modificaciones en la temperatura y/o la precipitación.



### **Efectos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos y terrestres de alta montaña de Sierra Nevada mediante el análisis del registro fósil en los sedimentos**

La huella de los cambios climáticos puede quedar registrada en el sedimento de los lagos a través de los restos de organismos (polen, carbones, restos silíceos, cladóceros, etc.) y cambios en la composición del sedimento. La datación de los distintos estratos de los sedimentos y el análisis de diversas variables físico-químicas y biológicas a lo largo del tiempo nos permite realizar una reconstrucción de las condiciones del lago y las características de la comunidad biológica del pasado. Así, los sedimentos de los lagos conservan la historia del sistema acuático, de su cuenca y de la región donde se sitúan y el estudio paleoecológico de los mismos se convierte en una herramienta

eficaz para conocer la variabilidad natural de los sistemas ecológicos, su respuesta a cambios en el pasado, entender cómo responderán estos ecosistemas en el futuro y, en su caso, planear las actuaciones que sean necesarias.

En esta línea de trabajo, en el proyecto '[Efectos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos y terrestres de alta montaña de Sierra Nevada mediante el análisis del registro fósil en los sedimentos](#)' [OAPN07]<sup>42</sup> se analizaron los sedimentos de la laguna alpina de Río Seco en Sierra Nevada con un doble objetivo: la reconstrucción de la historia de la vegetación y de los incendios en Sierra Nevada durante el Holoceno y el análisis de los cambios sufridos en la propia laguna y su cuenca durante el Antropoceno. En ambos casos se prestó especial atención a los cambios derivados de variaciones climáticas.

La laguna de Río Seco, de origen glaciar y situada a 3.040 m sobre el nivel del mar en Sierra Nevada, es una pequeña laguna (0,42 ha), oligotrófica y somera que permanece cubierta de hielo y nieve desde octubre-noviembre hasta junio-julio, con importantes diferencias interanuales. La laguna preserva en el archivo de sus sedimentos al menos 11.500 años de cambio ambiental, no solo de paleovegetación sino también de historia de los incendios, cambios en el nivel del agua e impacto humano, en una región donde existen pocos sistemas con un continuo registro del Holoceno.

Los investigadores de este proyecto utilizaron la estratigrafía de polen, carbones y microfósiles y también la de diatomeas, cladóceros y quironómidos. Así, han podido observar cambios significativos en la laguna que comenzaron a principios del siglo XX y se acentuaron a partir de la década de los 60, de forma que tanto la comunidad de diatomeas como la de cladóceros y quironómidos actual difiere considerablemente de la existente durante el siglo XIX y principios del XX.

---

**Se han observado cambios significativos en la laguna de Río Seco, en Sierra Nevada, que comenzaron a principios del siglo XX y se acentuaron a partir de la década de los 60, algunos de los cuales se correlacionan con cambios en las variables climáticas.**

---



Algunos de estos cambios se correlacionan con variaciones experimentadas en la temperatura del aire en Sierra Nevada y en el índice NAO desde 1856 y se explican través del efecto de estas variables sobre el nivel de agua y extensión superficial de la laguna y sobre el ambiente químico de la misma, principalmente los valores de alcalinidad y la disponibilidad de calcio. Es destacable que los cambios más importantes en quironómidos y diatomeas ocurrieron alrededor de los años 60 del pasado siglo mientras que en los cladóceros se observaron más tarde, a mediados de los años 70.

42] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo publicado por el OAPN y firmado por Carmen Pérez-Martínez, Laura Jiménez, José M. Conde-Porcuna, Emilio Moreno y Eloísa Ramos-Rodríguez (Universidad de Granada), Oliver Heiri (University of Bern), Gonzalo Jiménez-Moreno (Universidad de Granada) y Scott R. Anderson (Northern Arizona University).

Por otro lado la mayor abundancia e incluso la aparición de especies de quironómidos asociadas a temperaturas más altas conduce a los autores/as del estudio a relacionarlas con un clima más cálido en las últimas décadas, datos que apoyan los resultados obtenidos para diatomeas y cladóceros en este estudio.



### Propuestas para la gestión y la conservación

Los autores recomiendan la especial protección de los sedimentos lacustres como archivos históricos de la región, ya que en ellos se encuentran recogidos los acontecimientos del pasado en forma de fósiles.

La alteración de los sedimentos mediante colocación de boyas y toma de muestras, el baño de las personas o cualquier alteración realizada en la cuenca (i.e. movimiento de tierras) puede modificar el sedimento y oscurecer las señales del pasado. Puesto que muchas lagunas son asequibles a pie y de escasa profundidad, es especialmente importante la consideración de sus sedimentos como un material valioso a conservar.

No en vano, los sistemas más apropiados para estudiar cambios climáticos (pasados y presentes) y sus efectos son ecosistemas remotos, prístinos, como son los lagos árticos y antárticos y los de alta montaña por encima de la línea de árboles, lagos que no hayan sufrido graves perturbaciones en la cuenca y no estén afectados por la polución del aire, como es el caso de los sistemas lacustres de Sierra Nevada y otros parques nacionales de montaña.

---

## Implicaciones biogeoquímicas del cambio climático: el efecto de los cambios hidrológicos y climáticos sobre los ciclos del carbono y nitrógeno

---

El régimen hidrológico, esto es, la disponibilidad de agua y la manera en que ésta circula, ejerce un control primario sobre las reacciones biogeoquímicas que tienen lugar en las cuencas hidrológicas. A su vez, la hidrología depende fundamentalmente del clima, siendo la temperatura y la precipitación los dos factores climáticos con mayor peso. A través de la hidrología es posible por tanto establecer una conexión entre el clima y el funcionamiento biogeoquímico de los ecosistemas que albergan las cuencas hidrológicas. En el proyecto '[Acoplamiento de los ciclos hidrobiogeoquímicos del carbono y nitrógeno en cuencas lacustres de alta montaña durante episodios hidrológicos intensos, estima de su peso relativo en los balances de masa anuales y posibles implicaciones del cambio climático](#)' [OAPN15]<sup>43</sup> se ha prestado especial atención a los episodios hidrológicos intensos (deshielo y crecidas), de gran peso en el balance hidrológico, pero que por su carácter abrupto a menudo tienden a estar poco representados en los muestreos de seguimiento habituales y a los procesos que afectan al carbono (C) y al nitrógeno (N), como elementos fundamentales no sólo en las cuencas de montaña, sino a una escala global.

El carbono y el nitrógeno son dos elementos fundamentales para la biosfera como componentes mayoritarios de la materia viva. La disponibilidad de ambos en los ecosistemas naturales se ha visto muy alterada a raíz de la actividad humana a escala global y, presuntamente, del cambio climático<sup>44</sup>. Las emisiones humanas a la atmósfera de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (debidas sobre todo a la quema de combustibles fósiles) y amoníaco (por prácticas de ganadería y agricultura intensivas) han acelerado la puesta en circulación de C y N en sus respectivos ciclos globales. Unos de los principales efectos son la acumulación de CO<sub>2</sub> atmosférico hasta niveles no alcanzados en los últimos 400.000 años y la saturación de nitrógeno en los ecosistemas, causante de problemas de acidificación y eutrofización.

43] Los contenidos de este apartado están extraídos del [artículo publicado por el OAPN](#) y firmado por Luis Camarero (Centro de Estudios Avanzados de Blanes – CSIC), Andrea Butturini (Universitat de Barcelona), Jordi Catalan (Centro de Estudios Avanzados de Blanes – CSIC), Félix Francés (Universidad Politécnica de Valencia), Marta Boix (Universitat de Barcelona), Ismael Orozco (Universidad Politécnica de Valencia) y Marc Sala (Centro de Estudios Avanzados de Blanes – CSIC).

44] Freeman C, Fenner N, Ostle NJ, et al. (2004) Export of dissolved organic carbon from peatlands under elevated carbon dioxide levels. *Nature* 430 (6996): 195-198



La dinámica biogeoquímica temporal de ambos elementos en las aguas continentales integra tanto procesos hidrológicos como bióticos que ocurren en las cuencas de drenaje. No obstante la abundancia de estudios biogeoquímicos centrados en el C y el N, apenas se ha estudiado el acoplamiento entre ambos, y se ignora en gran medida la magnitud de las influencias mutuas. El estudio de esta dinámica es por tanto importante para entender los ciclos del C y del N, evaluar los cambios en dichos ciclos, y observar la respuesta de los ecosistemas a los cambios. Estos conocimientos son la base para prever las consecuencias futuras, tomar decisiones sobre las medidas de mitigación y para mejorar la gestión de la calidad de las aguas dulces, tanto para el consumo humano como para mantener su calidad ecológica.

Debido a las implicaciones directas en la calidad de los recursos hídricos y a raíz de las severas alteraciones climáticas que se prevén en la Península Ibérica, como el incremento de las temperaturas y la evapotranspiración, la disminución de las precipitaciones, la disminución de los eventos nivales y de la duración de la cubierta de nieve estacional y períodos de sequías más acusados, el estudio de los cambios químicos de las aguas fluviales durante las crecidas está adquiriendo cada vez una mayor importancia. El objetivo general de este proyecto fue determinar y modelizar las relaciones entre clima, hidrología y biogeoquímica en cuencas de alta montaña, utilizando para ello la cuenca piloto de Contraix en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Para ello se escogieron los escenarios A1B y B2 del IPCC y, además, el escenario más pesimista y extremo, A2, considerando tres horizontes climáticos: a corto (2010-2039), medio (2040-2069) y largo plazo (2070-2099).

Uno de los efectos previsibles es un acortamiento significativo del deshielo, del orden de uno o dos meses, y con caudales de menor magnitud. A la luz de los resultados de los análisis biogeoquímicos, esta reducción del deshielo podría favorecer un aumento de la concentración de carbono orgánico disuelto (DOC) en circulación, pero consistente en moléculas de menor tamaño y más biodisponibles para la microbiota fluvial, como ocurre en verano y otoño.

---

**El acortamiento del deshielo podría provocar una menor disponibilidad del carbono orgánico asimilable en los tramos inferiores de los ríos y la consiguiente limitación para la actividad microbiana, singularmente para la desnitrificación.**

---

Ello implicaría que estas moléculas serían degradadas o respiradas más rápidamente y recorrerían por tanto distancias más cortas. El efecto general sobre la red fluvial sería una menor disponibilidad de carbono orgánico asimilable en los tramos inferiores de los ríos, con la consiguiente limitación para la actividad microbiana, singularmente para la desnitrificación. Además, los autores han visto que el lixiviado de nitrato aumenta en estas condiciones más estivales. Hipotéticamente, estos dos efectos se sumarían para disminuir la capacidad de procesamiento de nitrógeno en estas cuencas.

### Efectos del cambio global en la ecología y la biogeoquímica de las comunidades de macrófitas del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel

Los efectos acumulativos que el cambio climático puede generar son aún, en la mayoría de los casos y en particular en los humedales continentales, materia de incertidumbre. En el proyecto 'Detección remota de los efectos del cambio global en la ecología y la biogeoquímica de las comunidades de macrófitas del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel: diseño de medidas adaptativas y programas de seguimiento para la conservación' [OAPN14]<sup>45</sup> se realizó –entre otras aproximaciones y enfoques- un experimento mediante una instalación de enriquecimiento de CO<sub>2</sub> al aire libre en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, subiendo el CO<sub>2</sub> a 550 ppm durante un ciclo vegetativo sobre parcelas de carrizo (*Phragmites australis*).

Los resultados mostraron que los efectos del aumento de CO<sub>2</sub> en la vegetación son acumulativos y producen un incremento del 20% en la biomasa de carrizo y, comparativamente, un 36% más del contenido de C foliar. El enriquecimiento de CO<sub>2</sub> dio lugar también a un incremento del 70-170% en el contenido de C del suelo y a un aumento del 44% de la actividad de la enzima proteasa en los carrizales.

Los resultados experimentales, aunque limitados a un solo ciclo vegetativo, muestran que en Las Tablas de Daimiel el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico generará una mayor biomasa de carrizo y previsiblemente ésta será mayor en los ciclos más secos.

#### Apuntes para el seguimiento del cambio global

Aunque hay otras variables que pueden tener una influencia importante, como las concentraciones de nitratos, los regímenes de circulación de agua o las características y variabilidad de la superficie inundada, la biomasa de macrófitas/helófitos (carrizos y eneas, en particular) en humedales puede llegar a ser utilizada como descriptor de cambio climático, dada la correlación directa encontrada con la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Esto implica también que cada vez habrá menos zonas libres de vegetación, que se acumulará más materia orgánica (C) en el suelo, y que el carbono acumulado en el suelo, si cambian las condiciones hidrológicas, puede llegar a ser revertido a la atmósfera, convirtiendo al humedal en un emisor de CO<sub>2</sub> al incrementarse la actividad microbiana.



45] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Salvador Sánchez Carrillo y su equipo de investigación (CSIC. Museo Nacional de Ciencias Naturales).





### Propuestas para la gestión y la conservación

Los resultados obtenidos en el curso de este proyecto sugieren que las respuestas de la vegetación del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel al cambio global son acumulativas a lo largo del tiempo. Por ese motivo, en lugar de responder a distintos escenarios climáticos, que pueden ser muy distintos entre sí, una gestión adaptativa mediante el seguimiento y detección de cambios resultaría más eficiente si se basase en medidas anuales de la vegetación y –tras juzgar su incremento o disminución– desde el Parque se respondiera gestionando aquélla.

Así, para los autores de este proyecto, es básico realizar una evaluación de la biomasa vegetal cada tres años usando un indicador sencillo (coberturas de carrizo y enea), como instrumento de seguimiento y control del exceso de biomasa generado por el aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico. De esta forma se puede limitar la cantidad de carbono acumulado en los sedimentos e impedir que la vegetación emergente colonice las zonas de tablas de agua. Si dicha cobertura hubiera crecido desde la evaluación precedente, se debería proceder a la retirada de esa cobertura extra mediante segada a ras de suelo. Con estas medidas, nos aseguraríamos el eliminar el exceso de biomasa generado, entre otras causas, por el cambio global, reduciendo así la cantidad de carbono que se acumula en los sedimentos e impidiendo que la vegetación emergente colonice las zonas de tablas de agua, tan necesarias para el crecimiento de la vegetación sumergida, alimento de las crías de anátidas.

Esta retirada de vegetación debería prestar una atención especial a la pervivencia de la masiega, cuyas formaciones han ido en descenso en el Parque desde los años 50 del siglo pasado. Es decir, se recomienda expresamente que la posible retirada de vegetación helofítica afecte sólo al carrizo y la enea.

---

## Una mirada a algunas amenazas sobre los hábitats y ecosistemas y posibles herramientas para la gestión y conservación

---

### El decaimiento del alcornoque de la pajarera de Doñana en un contexto de cambio global: una aproximación experimental

El asentamiento de colonias de aves nidificantes en los alcornoques centenarios del ecotono de Doñana parece estar relacionado con un incremento en la mortalidad de los árboles, que a la tasa actual podrían extinguirse localmente en pocas décadas. Ello unido a la ausencia casi total de regeneración, a causa de la intensa presión de los herbívoros, amenaza el futuro de la especie en ésta y otras zonas del Parque, un impacto que se ve agravado en escenarios de sequía.

El objeto del proyecto '[El decaimiento del alcornoque de la pajarera de Doñana en un contexto de cambio global: una aproximación experimental](#)' [OAPN20]<sup>46</sup> fue evaluar, mediante aproximaciones experimentales, el efecto de la acumulación en el suelo de los productos aviares, así como el de sus componentes potencialmente tóxicos, sobre la supervivencia y vitalidad del alcornoque en las primeras etapas del desarrollo. Así, se estudió el efecto de la acumulación de productos aviares en el suelo en la regeneración de *Quercus suber* en condiciones experimentales. Tras un estudio previo de los niveles de contaminación del suelo, estacionalidad de los aportes aviares, climatología y accesibilidad del nivel saturado en la zona, se simuló distintos escenarios considerando factores como el nivel de contaminación del suelo, la estacionalidad (con o sin aporte de guano fresco), la disponibilidad de agua y la edad de la planta.

Los resultados obtenidos indicaron que:

- los niveles máximos de contaminación aviar observados en la zona de estudio son letales de necesidad para semillas y plantones de un año, cualquiera que sea el escenario hídrico que se considere.

---

46] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Luis Ventura García Fernández y su equipo de investigación (CSIC. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología) en marzo de 2014.

- los niveles de contaminación aviaria próximos a la media de los árboles de la zona afectan de forma significativa a la emergencia (tiempo y éxito final), el crecimiento y las actividades fisiológicas básicas (fotosíntesis, transpiración) de las plantas, condicionando su supervivencia.
- el efecto más significativo de la contaminación aviaria es la atrofia de la raíz principal de la plántula, lo que descarta prácticamente su supervivencia, que normalmente depende del desarrollo de una raíz pivotante profunda antes de la llegada de la estación seca.

Por otro lado, se estudió la incidencia de oomicetos patógenos, en particular *Phytophthora cinnamomi*, patógeno invasor especialmente activo que destruye las raíces absorbentes de los árboles provocándoles el decaimiento y muerte por inanición. Se demostró que el resultado de la interacción entre la contaminación aviaria y las distintas fases del ciclo vital de *Phytophthora cinnamomi* es variable dependiendo de nivel de contaminación y de la fase del ciclo que se considere. Así, niveles elevados de contaminación estimulan la producción de esporas de resistencia (clamidosporas) pero inhiben la formación de zoosporangios la cual, sin embargo, es estimulada si los niveles de contaminación son moderados.

### **Propuestas para la gestión y la conservación**

De acuerdo a los autores del estudio, algunas medidas urgentes son esenciales para evitar la total desaparición del ecosistema, incluyendo:

- 1) actuaciones en el sentido de forzar a la colonia de aves a nidificar en otras zonas menos sensibles, como vienen haciendo –por ejemplo- otras colonias de más reciente constitución en la zona de marismas;
- 2) el desarrollo de cualquier actuación de restauración o repoblación del alcornocal en zonas no afectadas por las aves
- 3) el tratamiento local (inyecciones en el tronco) con fosfonato potásico a los alcornoques centenarios y la exigencia de una certificación sanitaria de ausencia de los patógenos más peligrosos a todas las partidas de árboles que se introduzcan en el Parque Nacional.

### **La dinámica poblacional de la procesionaria del pino en el Parque Nacional de Sierra Nevada en el marco del cambio global**

La procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) ha registrado una notable expansión en los últimos años, no sólo en España, sino en general en todo el suroeste de Europa, como consecuencia del incremento de temperaturas asociado al cambio global. Esto ha provocado, de forma simultánea, un problema de salud forestal (ataque a los bosques de pinos y repoblaciones), un problema ecológico (posibles efectos negativos en las especies presentes en las zonas defoliadas) y un problema de salud humana y veterinaria (la procesionaria del pino es muy urticante). Frente a estos problemas, la respuesta que podamos ofrecer es completamente dependiente de la cantidad y calidad de la información que tengamos de la biología de la procesionaria.



Los factores que regulan la población de la procesionaria son el clima, los enemigos naturales y el alimento. Probablemente el clima es el factor al que más atención se le ha prestado y la expansión como consecuencia del calentamiento global apunta en este sentido. Sin embargo, aun cuando la procesionaria se vea favorecida por el incremento de temperatura y se expanda en altitud y latitud, no parece probable que la temperatura sea la única causante de sus erupciones poblacionales. Es necesario, por lo tanto, establecer claramente la relación existente entre los tres factores con el fin de dar la adecuada respuesta a los dos procesos: el de las defoliaciones cíclicas y el de la expansión de su rango como consecuencia del cambio global. Para ello, necesitamos un mejor conocimiento de algunos aspectos de la biología de la procesionaria, que pueden tener relevancia a la hora de articular la relación entre clima, depredadores y alimento.



El estudio '**Interacción planta-herbívoro y dinámica poblacional de la procesionaria del pino en el Parque Nacional de Sierra Nevada en el marco del cambio global**' [OAPN13]<sup>47</sup> se centra en los efectos que el clima, la calidad de la planta como alimento y los depredadores y patógenos ejercen sobre la dinámica poblacional de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*), en combinación con la expansión -debida posiblemente al incremento de temperaturas- que la especie está experimentando. El estudio se llevó a cabo en el Parque Nacional de Sierra Nevada y su entorno, que ofrece una inmejorable oportunidad para estudiar estos fenómenos, gracias a sus abundantes pinares, naturales y repoblados, y a su gradiente altitudinal, que permite estudiar los movimientos de la procesionaria en una escala manejable.

El análisis que los autores realizaron de la base de datos de la Junta de Andalucía indicó que las irrupciones de la procesionaria en los pinares andaluces se ajustan mejor a un ciclo de origen biológico (calidad de la planta, depredadores y parasitoides, o ambos) que a una respuesta a las condiciones climáticas, en contra de lo usualmente admitido.

Sin embargo, esto no descarta al clima como importante efector, ya que al menos durante el período 1992-2009 los mínimos poblacionales de la procesionaria estuvieron precedidos por años de mínimos en los valores invernales de NAO (Oscilación Atlántico Norte), una relación que es más fuerte en los pinos que viven a altitudes medias y altas, como los de las montañas de Sierra Nevada. Sin embargo, probablemente el resultado más inesperado y de especial relevancia para la gestión, fue encontrar que no hay diferencias significativas en el comportamiento de los rodales tratados mediante fumigación aérea y los que no. Esto significa que, en términos de prevención de futuras defoliaciones, la fumigación no representa un beneficio contrastado.

---

**Durante el período 1992-2009 los mínimos poblacionales de la procesionaria estuvieron precedidos por años de mínimos en los valores invernales de NAO (Oscilación Atlántico Norte), lo que contribuye a confirmar su relación con variables climáticas.**

---

47] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo publicado por el OAPN y firmado por José A. Hódar (Universidad de Granada), Lucía Torres-Muros (Universidad de Granada), Karim Senhadji (Universidad de Granada), Luis Cayuela (Universidad Rey Juan Carlos I) y Regino Zamora (Universidad de Granada).

Todo indica que, en un suelo más frío, las larvas no son capaces de mudar de larva a pupa, y en el suelo más abundante en mantillo del matorral y el bosque, éstas son atacadas por hongos y nematodos sin llegar a pupar, lo que en verano se ve reflejado en una escasísima salida de mariposas.



### Propuestas para la gestión y la conservación

Es necesario poner los medios necesarios para que el pinar sea menos susceptible al ataque por procesionaria, esto es, primar las medidas preventivas frente a las paliativas, incorporando las numerosas medidas de gestión forestal que permiten disminuir la susceptibilidad de los pinares a la procesionaria.

La primera, que ya se viene aplicando desde hace tiempo, es favorecer la heterogeneidad ambiental en los pinares de repoblación, incrementando la proporción de árboles y matorrales caducifolios, en especial en las lindes de los rodales, en donde la procesionaria ataca más. Los autores de este estudio han visto cómo los matorrales no son un buen sustrato de pupación, por lo que podrían usarse para empeorar las condiciones de vida de la procesionaria en las zonas de borde de bosque, aquellas que prefiere para atacar.

Igualmente, se evidencia la necesidad de reforzar las poblaciones de parasitoides y aves insectívoras que contribuirían a estabilizar las poblaciones de procesionaria, aunque la aplicación de estas medidas es dependiente del entorno: los parasitoides son más escasos a altitudes elevadas y, por tanto, en estas áreas los esfuerzos deben encaminarse al manejo del hábitat o de las densidades de aves.

Así, el control de la procesionaria debe pasar más por una gestión adecuada de los pinares -que contribuyan a hacerlos más resistentes a la procesionaria- que por medidas paliativas de tipo fumigación, ya que éstas no se muestran efectivas frente a la dinámica de la mariposa, además de ser menos adecuadas en el marco de un espacio protegido. Incrementar la diversidad de las repoblaciones favoreciendo a especies de frondosas, reducir las zonas de suelo desnudo, y ayudar a los enemigos naturales de la procesionaria, pueden ser medidas eficaces.

### **La diversidad procariótica asociada a las quercíneas: biomarcadores de la evolución post-incendio**

En los ecosistemas de tipo mediterráneo las comunidades vegetales están expuestas a unas condiciones climáticas que pueden considerarse como extremas ya que alternan periodos de sequía y alta temperatura estival, heladas invernales, y ocasionales lluvias torrenciales. Estas condiciones adversas afectan negativamente tanto al desarrollo como a la supervivencia de las plantas, así como a la pérdida de materia orgánica del suelo y a su compactación, por lo que la abundancia y diversidad de microorganismos también puede verse afectada.

Además, las altas temperaturas estivales y los periodos de sequía favorecen la aparición y propagación de incendios forestales, un problema que puede afectar gravemente a muchos ecosistemas del sur de Europa. El efecto más visible es la desaparición de la cubierta vegetal, pero también hay que tener en cuenta los procesos de erosión del suelo agravados por las fuertes pendientes y la exposición a las lluvias torrenciales. Un efecto menos apreciable, pero igualmente importante, es el que ocurre sobre la microbiota del suelo, ya que las altas temperaturas pueden hacer disminuir su biomasa total, su diversidad y afectar seriamente a las funciones que ésta ejerce en el ecosistema.

En el proyecto 'Análisis de la diversidad procariótica asociada a quercíneas (*Quercus ilex* sp. *ballota* y *Quercus pyrenaica*) para la identificación de biomarcadores asociados a la evolución post-incendio y al cambio climático en Sierra Nevada' [OAPN04]<sup>48</sup> se plantean el estudio de la microbiota asociada a su rizosfera, porque aunque un bosque puede sobrevivir durante decenas de años en una mala situación ambiental, sus microorganismos asociados pueden ser indicadores más sensibles. Además, los microorganismos del suelo son los responsables del cierre del ciclo biogeoquímico del carbono, contribuyendo también a la fertilidad del suelo y a la promoción del crecimiento vegetal. En este trabajo se ha estudiado la diversidad de la microbiota y la capacidad de fijación de nitrógeno del suelo de un encinar quemado, la de un encinar no quemado y la que presenta el suelo bajo el robledal a distintas altitudes, terminando también la humedad relativa y la temperatura del aire y del suelo a 20 cm de profundidad.

Se ha podido observar que las diferencias en estos parámetros atmosféricos son mínimas y no significativas por lo que no explicarían las diferencias observadas en la microbiota. Lo mismo puede decirse de la vegetación herbácea asociada a estos árboles. Sin embargo, y a pesar de la capacidad de tamponamiento del suelo, se han observado diferencias en la humedad del suelo que sí pueden ser responsables de las diferencias en la microbiota.

#### Propuestas para la gestión y la conservación

Los autores del estudio recomiendan el establecimiento de viveros con plantas autóctonas en suelos con calidad biológica óptima (especies microbianas propias de la rizosfera de esas plantas y de los suelos).

El poder disponer de plántulas para la forestación con los mismos tipos de suelos y con el mismo tipo de comunidades microbianas que había antes de un incendio o de cualquier otro desastre natural, puede acelerar la recuperación de estas zonas al sembrar plantas que ya llevan asociada su microbiota final.



48] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo publicado por el OAPN y firmado por Antonio J. Fernández-González, José F. Cobo-Díaz, Pablo J. Villadas, Ana B. Robles, Nicolás Toro y Manuel Fernández-López (Estación Experimental del Zaidín, Consejo Superior de Investigaciones Científicas).

### El papel facilitador de las especies almohadilladas en las comunidades de alta montaña de Sierra Nevada

Las montañas presentan gradientes altitudinales que reproducen cambios similares a los que ocurren a lo largo de gradientes latitudinales, de forma más rápida y a una escala espacial menor. Por ello, entre otras razones, son lugares adecuados para llevar a cabo iniciativas de investigación relacionadas con los fenómenos de cambio global. Además, son escenarios muy sensibles a cambios ambientales debido a la fragilidad del equilibrio entre los componentes del sistema natural.

Con el precedente de diversos trabajos realizados en ecosistemas alpinos, que apuntan a que las interacciones entre plantas influyen en la supervivencia y distribución de las especies, particularmente a través de especies leñosas rastreras o almohadilladas, los/as autores del proyecto **‘Facilitación de las especies almohadilladas y cambio global en las comunidades alpinas del Parque Nacional de Sierra Nevada’ [OAPN17]<sup>49</sup>** realizaron durante tres años diversos trabajos de investigación para estudiar el papel de distintas especies almohadilladas (enebrales-piornales) como especies clave en comunidades de montaña. Se analizó la capacidad de estas especies para amortiguar las condiciones climáticas adversas y para moderar los efectos previsibles del cambio climático y la importancia que las especies almohadilladas tienen en el mantenimiento de la biodiversidad de estas comunidades, así como el tipo de interacción que se establece entre las especies almohadilladas y el resto de especies en función de las condiciones ambientales.



Las especies almohadilladas actúan generalmente como especies facilitadoras, contribuyendo significativamente a la biodiversidad local. Mediante la creación de nichos, y gracias a su capacidad de amortiguar los extremos climáticos, albergan una gran cantidad de especies en sus copas que -con frecuencia- tienen consecuencias negativas para el desarrollo de la propia especie almohadillada. Así, las especies almohadilladas parecen actuar como una «red de seguridad» que sostiene la diversidad en condiciones adversas, lo que puede utilizarse como herramienta de gestión para contrarrestar futuros efectos negativos del cambio climático. Este tipo de plantas exponen una mínima superficie con un volumen máximo, de manera que se protegen contra el frío en el período invernal y reducen la pérdida de agua en verano. Un caso particular lo constituyen las denominadas plantas cojín, que presentan un hábito de crecimiento muy compacto, con una copa muy tupida pegada al sustrato y una superficie con escasas prominencias. Las copas de estas especies suelen funcionar como un refugio donde se cobijan otras plantas de diversas especies, más pequeñas y sensibles al estrés.

49] Los contenidos de este apartado están extraídos del artículo publicado por el OAPN y firmado por Francisco I. Pugnaire (Estación Experimental de Zonas Áridas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEZA-CSIC)), Christian Schöb (University of Zürich), Nuria Pistón (EEZA-CSIC), y Cristina Armas (Universidad de La Serena - Chile).

Estas plantas, denominadas genéricamente como ‘nodriza’, brindan también protección frente a los herbívoros debido a la presencia de copas coriáceas y/o espinosas. Varios autores han descrito los notables efectos positivos de las plantas cojín sobre la riqueza y diversidad de las comunidades de alta montaña en los Andes chilenos, un patrón confirmado posteriormente a nivel global en zonas alpinas de todo el mundo.

Estos efectos positivos se deben principalmente al aumento en la disponibilidad de agua para las plantas facilitadas y, sobre todo, al amortiguamiento de las temperaturas extremas por las copas de las plantas almohadilladas. La intensidad e importancia de estos efectos dependen de la especie facilitadora y del clima local, que hacen que algunas especies se encuentren únicamente dentro del ambiente creado por estas plantas. Por eso, los efectos ecológicos de las plantas almohadilladas pueden ser importantes a nivel de comunidad; una importancia que puede verse incrementada en el futuro por el aumento generalizado de las temperaturas y, en el caso de sistemas montañosos como el de Sierra Nevada, por la previsible disminución de las precipitaciones.

**Las especies almohadilladas actúan como facilitadoras de otras especies en condiciones adversas, lo que puede tenerse en cuenta como herramienta de gestión adaptativa para contrarrestar futuros efectos del cambio climático.**

En el estudio observacional de rasgos funcionales de la especie nodriza *Arenaria tetraquetra* (papo) a lo largo del gradiente altitudinal se comprobó que los cojines mostraban un buen estado fisiológico a más altura; eran compactos y grandes, con más agua en el suelo y mayor contenido de materia orgánica en comparación con los claros, y mostraban una facilitación fuerte; es decir, mayor riqueza de especies y mayor abundancia de plantas en comparación con claros. Los datos fisiológicos a baja altura indicaron condiciones abióticas estresantes para *A. tetraquetra*, que formó cojines sueltos y pequeños. Estos cojines mostraron una mejora menor en las condiciones del suelo –comparado con los claros– y unos efectos de facilitación más reducidos que los cojines a mayor altitud.

#### Apuntes para la gestión y la conservación

Los resultados de este estudio indican que las plantas almohadilladas y en cojín juegan un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad de la flora de Sierra Nevada y deben ser tenidas en cuenta en los planes de gestión y conservación del Parque Nacional.

Dado que algunos de los endemismos de Sierra Nevada muestran preferencias por estas especies, su conservación y restauración -si fuese necesario- se puede lograr indirectamente a través de este tipo de plantas. Por la misma razón, cualquier problema que pueda afectar a las plantas almohadilladas o en cojín (por ejemplo, plagas o especies invasoras) afectará también a las poblaciones de las especies que albergan.

### **Efectos del cambio global sobre los ecosistemas marinos: el caso de la comunidad del coralígeno en el Parque Nacional de Cabrera**

El calentamiento del agua es una de las principales manifestaciones del cambio climático en los ecosistemas marinos que está afectando a los ecosistemas bentónicos a través de fenómenos como las epidemias, la invasión de especies y mortalidades masivas. Una de las principales señales de alarma se desencadenó en los arrecifes de coral durante los severos episodios de blanqueo de corales de 1997-98<sup>50</sup>. Sin embargo, en los últimos años están aumentando las evidencias de que también el Mediterráneo está sufriendo los efectos del calentamiento global. Hasta el momento, en el Mediterráneo, las principales respuestas biológicas a este cambio ambiental en los ecosistemas marinos son la llegada de especies de afinidad tropical y los eventos de mortalidad masiva de macroinvertebrados, ambos relacionados con anomalías térmicas positivas. Conocer cómo los ecosistemas mediterráneos se están viendo afectados por este nuevo contexto ambiental es una de las principales inquietudes para la conservación de la biodiversidad marina.

50] Harvell, C.D., Mitchell, C.E., Ward, J.R., Altizer, S., Dobson, A.P., Ostfeld, R.S., Samuel, M.D. (2002). Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science* 296: 2158-2162

El coralígeno es una comunidad emblemática del paisaje submarino mediterráneo. Su importancia biológica radica en la gran diversidad que alberga, cifrada en más de 1600 especies<sup>51</sup> y, a la vez, en el hecho de que es una comunidad muy vulnerable, ya que las especies que lo configuran son muy longevas y con una dinámica muy lenta, como es el caso de las poblaciones de gorgonia roja *Paramuricea clavata*. A priori, son además comunidades muy poco adaptadas a resistir perturbaciones importantes. En el coralígeno del P.N. de Cabrera, la introducción de especies exóticas ha sido observada de forma puntual y actualmente está siendo objeto de estudio. Sin embargo, durante la realización de inmersiones de prospección biológica a finales de verano de 2007, los autores del estudio 'Efectos del cambio global sobre la biodiversidad del Parque Nacional de Cabrera: el caso de la comunidad del coralígeno de *Paramuricea clavata*' [FB01]<sup>52</sup> observaron un evento de mortalidad masiva en el coralígeno de *P. clavata* de la pared sur del islote de la Imperial.

La comunidad del coralígeno de *Paramuricea clavata* estudiada en el P.N. de Cabrera presenta una elevada riqueza de especies, comparable a otras localidades estudiadas del Noroeste del Mediterráneo. Los análisis muestran que la composición específica del coralígeno varía significativamente en función de la profundidad: la zona menos profunda (en torno a 38-45 m), que coincide con el límite superior de la comunidad, es la que presenta una menor riqueza de especies, y se caracteriza por una mayor presencia de algas rojas incrustantes, mientras que el coralígeno más profundo (en torno a 55-65 m) se caracteriza por presentar una mayor abundancia de la especie de gorgonia *Paramuricea clavata* y una mayor riqueza de especies asociadas. Aunque las algas rojas incrustantes también están presentes, son las especies animales las que presentan una mayor dominancia, destacando diversas especies de esponjas, el antozoo *Leptopsammia pruvotii* y el poliqueto *Salmacina dysteri*.

La gorgonia *Paramuricea clavata* tiene unas características demográficas parsimoniosas caracterizadas por la baja tasa de crecimiento, el bajo reclutamiento de nuevas colonias y la baja tasa de mortalidad natural de las colonias, características demográficas propias de una especie sometida a bajos niveles de perturbación. A pesar de ello, durante las últimas décadas esta especie ha sido

**El episodio de mortalidad que sufrió la gorgonia roja en 2007 en el Parque Nacional de Cabrera afectó significativamente a la población de la especie, con pérdidas de biomasa de hasta el 50% en la franja de los 38 m.**

una de las más afectadas por diferentes eventos de mortalidad relacionados con anomalías térmicas en la columna de agua que han sido asociadas al cambio climático.

El impacto de la mortalidad del 2007 en la población de *Paramuricea clavata* de la Imperial dentro del Parque Nacional de Cabrera afectó de manera notable a una franja localizada alrededor de los 38 metros, la más superficial de esta población, con una pérdida de biomasa de más

del 50%. Las colonias situadas alrededor de los 45 metros de profundidad también sufrieron el impacto pero en mucho menor grado y no se detectaron cambios perceptibles en las colonias entre 55 y 65 metros, lo que indica que estas profundidades fueron poco afectadas por el evento. Cabe destacar, pues, la detección de un notable impacto por debajo de los 35 metros, una profundidad que los estudios relacionados con el impacto de estas mortalidades realizados hasta el momento habían detectado como límite de los episodios de mortalidad. Estos resultados demuestran que la comunidad de *P. clavata* por debajo de los 35 metros no está a salvo de los efectos del cambio climático y únicamente las poblaciones localizadas a mayor profundidad parecen estar a salvo de estos eventos de mortalidad, que cada vez son más frecuentes (Coma et al., 2009)<sup>53</sup>.

Los escasos estudios que han evaluado el impacto de estas perturbaciones durante largos períodos de tiempo han mostrado la necesidad de estos seguimientos a largo plazo a la hora de entender su impacto real. Tanto el estudio a largo plazo del episodio de mortalidad de la gorgonia

51] Ballesteros, E. (2006). Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of the present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 44: 123-195.

52] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Rafel Coma, Emma Cebrian, Cristina Linares, Fiona Tomas, Antoni Garcia y Enric Ballesteros (Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC) en 2011.

53] Coma, R., Ribes, M., Serrano, E., Jiménez, E., Salat, J., Pasqual, J. (2009) Global warming-enhanced stratification and mass mortality events in the Mediterranean. *Proc Natl Acad Sci USA* 106: 6176-6181





*Paramuricea clavata* ocurrido en 1999 en el Parque Nacional de Port Cros (Francia), como el realizado con la gorgonia *Eunicella singularis* en la Reserva Marina del Norte de Menorca mostró que los efectos retardados del evento fueron mucho más importantes que los observados inmediatamente después de tener lugar el mismo. De aquí la importancia de determinar la evolución de las poblaciones en los años posteriores al evento.

El estudio de la evolución en los tres años siguientes al impacto (2008, 2009 y 2010) ha permitido contribuir a determinar las consecuencias del episodio de mortalidad de 2007. Las más importantes se han detectado en el rango de distribución más superficial (38 m), donde se ha observado una gran pérdida de las colonias mayores de 5 cm y un importante reclutamiento en 2009, un dato notable dada la baja tasa de reclutamiento de la especie. Sin embargo, la mortalidad de estas colonias pequeñas fue muy elevada y muy pocas sobrevivieron al año siguiente. El muestreo de 2010 permitió constatar este hecho a la vez que determinar que hasta ese momento (2010) la magnitud del episodio de mortalidad representa la pérdida del 50% de las colonias en el rango superior de distribución. Este efecto retardado en el impacto negativo del evento de mortalidad es similar al observado para esta especie en el Parque Nacional de Port-Cros en Francia después de la mortalidad de 1999 y al observado en *Eunicella singularis* en la Reserva Marina del Norte de Menorca.

Al finalizar este estudio la biomasa aún no presentaba indicios claros de recuperación en el rango superficial de distribución. La evolución de la mortalidad parcial de las colonias mostró una clara pauta de disminución hacia los valores previos al impacto, debida principalmente a la desaparición de las colonias que presentaban un mayor grado de afectación.

Este estudio ha demostrado que la temperatura afecta a la fisiología de los organismos y que la exposición a temperaturas elevadas puede causar la muerte de los organismos en períodos breves de tiempo, desde horas a unos pocos días. Además, la exposición a temperaturas subletales causa alteraciones en el metabolismo de la especie cuyos efectos son detectables si la exposición perdura durante largos períodos de tiempo (días-meses). La temperatura máxima en 2007 fue superior en 1-2,2 °C a la de 2008 y 2009 pero tan solo en 0,5° C superior a la de 2010. Sin embargo, los efectos sobre los organismos fueron observados en 2007 pero no en 2010. Esto sugiere que el régimen térmico muy probablemente no alcanzó la temperatura letal sino que el efecto sobre los organismos haya sido fruto de la exposición prolongada a temperaturas subletales. En este sentido, el régimen de temperatura de 2007 se diferencia claramente del régimen térmico de los otros 3 años, mostrando un contenido en calor mucho más elevado. Se ha podido demostrar experimentalmente que el principal mecanismo a través del cual las temperaturas subletales afectan negativamente a las poblaciones de *Paramuricea clavata* se relaciona con el aumento del coste energético que la respiración representa para la especie durante el período de menor disponibilidad de alimento en la columna de agua (Coma et al., 2009).

---

**La exposición a temperaturas elevadas puede causar la muerte de los ejemplares de gorgonia roja en períodos breves de tiempo, desde horas a unos pocos días. La exposición a temperaturas subletales causa alteraciones en el metabolismo de la especie cuyos efectos son detectables si la exposición perdura durante largos períodos de tiempo (días-meses).**

---

### Apuntes para el seguimiento del cambio global

Durante los últimos años, diversos eventos de mortalidad masiva de invertebrados han afectado muy gravemente la comunidad del coralígeno en el Mediterráneo Occidental. Estos eventos han afectado muy especialmente las poblaciones de gorgonias, las cuales contribuyen en gran medida a la biomasa y estructura de la comunidad.

En este sentido, las gorgonias, en tanto que organismos longevos y de baja dinámica que contribuyen a una gran parte de la biomasa y estructura del coralígeno, pueden ser consideradas como organismos indicadores.

Actualmente, se ha demostrado que estos eventos están directamente relacionados con anomalías térmicas positivas y con el aumento de la estratificación de la columna de agua asociado al calentamiento del mar (Coma et al., 2009).

---

## **La importancia del trabajo con la gente. Habitantes y visitantes de los Parques tienen un papel que desempeñar. Y también la sociedad en su conjunto.**

---

### **Nuevas formas de gobernanza de los espacios naturales protegidos para fomentar el desarrollo sostenible y contribuir a la atenuación de los efectos del cambio global**

La gobernanza viene a expresar el ejercicio del gobierno como un proceso dinámico de amplia base social. El término, que proviene de la expresión en lengua inglesa *governance*, se diferencia del de gobierno o *government*, fundamentalmente en que el primero entiende el ejercicio de gobierno como un proceso, como una actividad dinámica en continuo estado de cambio, y no como algo estático o sometido a unas reglas fijas, a la vez que apela a la intervención de un conjunto de relaciones y actores más amplio que los pertenecientes directamente al espacio de las instituciones de gobierno. De esta manera, la gobernanza se argumenta sobre la base de una forma de gobernar o de gobierno que se distancia del modelo tradicional basado en el control jerárquico/vertical de “arriba” a “abajo”, o también del que antepone los intereses del mercado a los intereses públicos o generales. La acción gubernamental se articula desde esta visión desde la interacción sociopolítica y la cooperación entre Estado y sociedad, de nuevo con la incorporación de actores de diversos ámbitos institucionalizados o no institucionales, ya sea a escala local, nacional o internacional.

El proyecto de investigación ‘**Nuevas formas de gobernanza de los espacios naturales protegidos como criterio para fomentar el desarrollo sostenible del medio rural y contribuir a la atenuación de los efectos del cambio global. Aplicación al caso singular del Parque Nacional de los Picos de Europa**’ [FB12]<sup>54</sup> procuró analizar el estado de la gobernanza en el ámbito concreto de este Parque como espacio protegido español más antiguo, de más compleja situación en cuanto a dependencia administrativa, interrelaciones de usos e integración con la población interna y de su contorno.

Un factor esencial en términos de gobernanza es la población que reside en el territorio. En este sentido, en el siglo XX los municipios que conforman el Parque Nacional de los Picos de Europa perdieron la mitad de la población con que contaban y, en algunos, la sangría poblacional ha sido extrema: Tresviso ha perdido 4/5 de sus vecinos, Oseja tres de cada cuatro y Amieva dos de cada tres. La tendencia demográfica regresiva ha continuado en el presente siglo aunque a un ritmo algo menor, y no tiene visos de revertir dado el alto grado de envejecimiento existente. Cangas de Onís, núcleo urbano fuera de los límites del PN, concentra la mitad de la población del territorio municipal que conforma el espacio natural, mientras que a principios del siglo XX solo era el 28%. Si la población acaba por dejar de estar presente dentro del Parque Nacional, ello podría implicar la desaparición de muchos de los elementos definitorios del espacio a proteger, como son las actividades tradicionales, las infraestructuras históricas e incluso el paisaje antropizado que caracteriza actualmente al espacio natural. Los objetivos de sostenibilidad serían cada vez más difíciles de alcanzar, ya que dependen del mantenimiento de gran parte de las actividades tradicionales y

54] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborada por Mercedes Pardo, Iván López, Teresa Lobo, Luisa Casuso, Ricardo G. Zaldívar y Teresa Parejo (Universidad Carlos III de Madrid) en mayo de 2013.



éstas están estrechamente vinculadas a la presencia de población en el parque nacional. Se trata por tanto de un conflicto de primer orden entre despoblamiento y sostenibilidad sobre el que habría que actuar con propuestas concretas.

Por otro lado, es conocida la dificultad de proteger espacios naturales donde residen y desarrollan actividades económicas sus pobladores históricos, ya que en la gran mayoría de las ocasiones la gestión de conservación que deben desarrollar las Administraciones públicas se contraponen a y entra en conflicto con los intereses particulares de la población local. En Picos de Europa, estos intereses son básicamente ganaderos. Son personas que no acaban de ver los beneficios que les reporta residir en un espacio natural protegido, al considerar muy descompensado el balance entre las prohibiciones y las limitaciones al desarrollo de su actividad, por un lado, y las ayudas y subvenciones que pueden recibir, por el otro. Que los hijos de los ganaderos prefieran trabajar como camareros o como guardas forestales es un indicador bien ilustrativo de que existe un conflicto serio que amenaza a las actividades tradicionales que desde siglos atrás han conformado el espacio natural de los Picos de Europa tal y como lo conocemos y para cuya conservación se ha creado la figura del Parque Nacional.

### **La participación, una herramienta de trabajo esencial para incorporar a la población a la gestión de los Parques en un contexto de cambio global**

Una situación similar, aunque con matices importantes, se aprecia en Sierra Nevada. Como afirman los autores/as del proyecto 'Gestionando los parques nacionales más allá de sus límites: evaluación y cartografía de servicios como herramienta de gestión territorial ante el cambio global' [OAPN19]<sup>55</sup>, se aprecian dos inercias distintas en la relación de la población del ámbito de estudio con Sierra Nevada –un caso particular extrapolable a muchos otros parques nacionales-. La primera basada en los procesos de abandono de usos primarios causado principalmente por la progresiva reorientación de la actividad al sector servicios y a la construcción desde los años 60 -que ha provocando que las generaciones siguientes hayan perdido cierta vinculación con el entorno-, así como la pérdida de la imbricación con el territorio y acoplamiento con los sistemas ecológicos por la necesidad de la intensificación de los cultivos para adaptarse a las lógicas capitalistas de los agricultores que siguieron con su actividad. Por otra parte, una superficialización del concepto de ocio en Sierra Nevada el entender éste como objeto de consumo o el mero soporte de actividades que no favorecen un conocimiento y vinculación con el territorio.

55] Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborado por Carlos Montes del Olmo y su equipo de investigación (Universidad Autónoma de Madrid).

A la par se aprecia un cierto movimiento de sentido contrario, de vuelta al campo, así como un aumento de la producción con criterios ecológicos y basada en redes de corta distribución, que saca la producción de las lógicas de mercado convencionales y da una oportunidad a grupos locales para poder vivir del sector primario con un cultivo menos intensificado, así como el aumento del montañismo y de otras actividades deportivas y de ocio, como senderismo, esquí de travesía, etc., que promueven una vinculación y un mayor conocimiento de Sierra Nevada. Aunque esta segunda inercia es de tendencia creciente, aún es menor que la primera.

Como afirman los autores de este estudio, la configuración de un nuevo modelo de gestión supone un cambio de perspectiva en el que hay que mirar más allá de los límites del espacio y abordar el estudio de las relaciones desde un planteamiento complejo. Para ello es fundamental una mirada multidisciplinar que evite la sectorialización y aporte una visión holística y sistémica y una mayor información, investigación, educación y difusión de los valores y los conocimientos, beneficios, etc. que promuevan un mayor nivel de conciencia sobre nuestro entorno. Además, se necesita la incorporación de la participación como herramienta de trabajo y como estrategia para la implicación y toma de conciencia de la población para la gestión y resolución de conflictos. La utilización de herramientas participativas es esencial en la gestión de los ecosistemas, ya que permite gestionar/investigar/caminar desde una perspectiva compleja y más cercana a la realidad, e implicando a los actores tanto en la búsqueda de soluciones como en la ejecución de las mismas. Así, el interés por explorar nuevas vías y recuperar –innovando– ciertos usos tradicionales pueden ser aprovechados como oportunidades para implicar y practicar una co-gestión del territorio, ya sea de los montes comunales o de fincas privadas o públicas.

### **Tomar parte, también, en los procesos de investigación: las oportunidades que abre la ‘ciencia ciudadana’ para la colaboración**

El Observatorio de Cambio Global en Sierra Nevada, creado en el año 2007, es un proyecto promovido por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, que cuenta con la coordinación científica de la Universidad de Granada - Centro Andaluz de Medio Ambiente (IISTA, Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía), y del Organismo Autónomo Parques Nacionales y la Fundación Biodiversidad como entidades colaboradoras. Su objetivo es obtener la información necesaria para identificar los impactos del cambio global para poder adoptar medidas de gestión que permitan minimizarlos y adaptar el sistema a los nuevos escenarios. El Observatorio cuenta con un Programa de Seguimiento del Cambio Global, que recopila datos sobre los sistemas socioecológicos y está compuesto por científicos, técnicos de la Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía (AMAYA), voluntarios y sensores.

**La ciencia ciudadana trata de articular instrumentos útiles para solicitar al público general la colaboración para la recogida de datos con fines científicos. Generalmente, con un objetivo de monitorización o vigilancia en una amplia escala espacial y/o temporal.**

Tras varios años de trabajo, el Programa de Seguimiento del Observatorio quedó definido en 48 protocolos, que pretenden obtener toda la información relevante sobre el cambio global en este espacio protegido, y han sido diseñados de acuerdo a los principios de la estrategia **GLO-CHAMORE** (*GLObal CHAnge in MOuntain REgions*), auspiciada por la UNESCO.

La aplicación de dicho Programa de Seguimiento genera una gran cantidad de información, que debe ser gestionada y clasificada de forma que sirva de utilidad a científicos y gestores, además de estar a disposición del público interesado. La comunicación de objetivos y resultados tiene también un papel fundamental, por lo que se ha desarrollado una Estrategia de Divulgación y Comunicación de los mismos, que se lleva a cabo a través de la [wiki del proyecto](#), publicaciones en prensa y la formación de personal involucrado en el proyecto. En este contexto se desarrolló el proyecto **‘Diseño de una aplicación y una plataforma experimental de recepción y recopilación de datos de ‘ciencia ciudadana’ integrada en el Observatorio de Seguimiento de Cambio Global de Sierra Nevada’ [FB17]**<sup>56</sup>, concebido como una oportunidad para diseñar herramientas útiles para la difusión y captura de información de los ecosistemas de Sierra Nevada.

<sup>56</sup> Los contenidos de este apartado están extraídos de la memoria del proyecto, elaborado por María Suárez Muñoz y Francisco Javier Bonet García (Laboratorio de Ecología. Universidad de Granada. IISTA) en enero de 2016.



La Ciencia Ciudadana (CC) es una forma de crowdsourcing en la cual se solicita al público general la colaboración para la recogida de datos con fines científicos y, generalmente, con un objetivo de monitorización o vigilancia en una amplia escala espacial y/o temporal. Esto posibilita investigaciones que de otra manera no serían viables debido a limitaciones económicas, temporales o espaciales. Además, y tal y como es el caso del presente proyecto, la CC puede tener una función educativa y de concienciación en temas ambientales. Aunque tradicionalmente la CC ha estado ceñida a los campos de la ornitología y la astronomía, hoy en día existen numerosos proyectos en otras disciplinas, siendo la ecología una de ellas. Un ejemplo de referencia en programas que implican CC es [eBird](#), una iniciativa que recopila entre 2 y 3 millones de datos mensualmente. El proyecto, desarrollado por el *Cornell Laboratory of Ornithology*, recopila datos referidos a observaciones de nuevas especies, su fecha y localización principalmente en Norteamérica, aunque permite introducir datos de cualquier punto del planeta. Otro ejemplo interesante es el [UK Butterfly Monitoring Scheme](#), un proyecto que pretende recopilar datos sobre la presencia de 71 especies de mariposas en Reino Unido como bioindicadores del estado de los ecosistemas. Entre sus objetivos destaca el fomentar la participación ciudadana y promover la concienciación, así como proveer de datos útiles y de calidad para el desarrollo científico y el progreso del conocimiento.

El objetivo general de este proyecto fue el diseño e implementación de un procedimiento para incorporar y distribuir información de diversos ámbitos temáticos al Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada usando dispositivos móviles (teléfonos, tabletas) y wearables (relojes, pulseras, gafas, etc.). Este procedimiento consta de una plataforma que permite a cualquier tipo de usuario (científico, gestor, ciudadano e incluso sensor automático) suministrar información de diversos ámbitos temáticos (hidrología, fenología, biodiversidad, etc.) a través de dispositivos móviles. Así, los productos desarrollados pueden contribuir a aumentar el número de usuarios y personas implicadas en el Observatorio gracias a las campañas periódicas de captura de información. Además, se han diseñado, a modo de experiencia piloto, algunas campañas tipo para la captura de información multitemática sobre Sierra Nevada: es el caso de las campañas ‘Mariposeando por Sierra Nevada’, ‘¿Qué plantas están floreciendo en Sierra Nevada?’ o ‘Ayúdanos a combatir la sarna de la cabra montés’.

Gracias al proyecto se ha generado una aplicación móvil capaz de capturar información sobre distintos aspectos del medio natural en Sierra Nevada. Esta aplicación puede instalarse en dispositivos móviles (teléfonos y tablets) y también tiene una parte de visualización en wearables tipo smartwatch. La idea es que su uso se extienda entre los colectivos que forman parte del Observa-

torio de Sierra Nevada (agentes de medio ambiente, investigadores, técnicos de AMAYA, voluntarios, etc.) para facilitar la incorporación de información de diversas fuentes y de diversos ámbitos temáticos. La plataforma implementada no solo tiene capacidad de incorporar información de distintos actores, sino que también es un buen canal para distribuir entre dichos actores información existente. Así, es posible enviar notificaciones sobre el estado de variables biofísicas de Sierra Nevada (avisos climáticos, de presencia de animales o de impactos observados, por ejemplo). Por último, se ha creado un portal web, [CINDA](#), que muestra información sobre las distintas campañas de recogida de datos, así como resúmenes de dichas campañas, y ofrece información útil para cualquier organización que decida utilizar este sistema en sus propios proyectos, siguiendo una filosofía de software libre. Este portal está conectado con el sistema de información del [Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada](#).

Todos los módulos del producto construido se han publicado con una licencia libre (el plugin de wordpress se ha publicado bajo licencia abierta en el servidor de [código github](#)) y se han diseñado con una estructura de información muy flexible, no limitada a una campaña de recogida de datos concreta, sino reutilizable en casi cualquier escenario que implique la participación de voluntarios que aporten datos estructurados para ser procesados posteriormente. De este modo, cualquier organización o particular que lo desee podrá, con unos conocimientos técnicos relativamente asequibles, crear su propio sistema de recogida de datos, facilitando la colaboración de científicos y profesionales con la ciudadanía.

La aplicación móvil es la parte del sistema con la que interactúan los usuarios y que se encarga de comunicar con el servidor. Se trata de una aplicación para android multiservidor (nos permite conectarnos a cualquier sistema donde se haya instalado previamente el componente descrito en el punto anterior), multicampaña (nos permite colaborar en diferentes campañas en cada servidor) y multiidioma (identificando automáticamente el idioma configurado en el teléfono del usuario). Es la parte más flexible del sistema, ya que con una única instalación es posible conectarse a varios servidores a los que suministrar datos. En la actualidad la aplicación CINDA está [disponible en la tienda de aplicaciones de google](#) sin coste alguno y el código utilizado para crear dicha aplicación está también disponible de manera gratuita en [github](#).



## 5

### ALGUNOS DESCRIPTORES E INDICADORES DE CAMBIO GLOBAL

La revisión del conjunto de los proyectos de investigación desarrollados bajo el paraguas de la Red de Seguimiento del Cambio Global (RSCG) nos habla, en primer lugar, de una gran diversidad tanto territorial y de hábitats como de ámbitos y enfoques de investigación. El hilo común que implica la investigación sobre las consecuencias y efectos del cambio global sobre los parques nacionales se despliega en áreas de trabajo tan diferentes como el análisis y mejora de las predicciones climáticas a nivel local, la evolución de las masas de hielo y nieve, la inquietud por explorar instrumentos que nos permitan un mejor conocimiento de los cambios –incluidas herramientas como la teledetección o la dendroecología, por ejemplo-, los cambios en la distribución altitudinal de la vegetación o la fauna de alta montaña, el análisis de los efectos fisiológicos del cambio climático en determinadas especies de aves o reptiles, el impacto de la radiación ultravioleta o de la entrada de polvo sahariano en los ecosistemas lacustres y un largo etcétera. Se han investigado temas de los que se derivan directamente recomendaciones útiles para una gestión adaptativa y se realizan, también, algunas aproximaciones al papel que juegan las poblaciones locales, los temas socioeconómicos y cuestiones como la participación y la gobernanza en una situación tan compleja –en las dimensiones ambiental, social, económica y cultural- como la que estamos viviendo.

Ante un panorama tan diverso es difícil extraer pautas fijas o conclusiones útiles para orientar la investigación en el futuro, ya que cualquier intento en ese sentido podría poner en riesgo dicha diversidad de ámbitos, enfoques, métodos y aproximaciones. Estamos en un momento aún inicial en el estudio a fondo de las transformaciones que el cambio global va a generar en nuestros ecosistemas, por lo que en este periodo las aproximaciones aún son tentativas y deben necesariamente ser múltiples y heterogéneas.

Quizá más adelante se pueda hablar con mayor conocimiento de una batería de descriptores o indicadores de cambio global en los que centrarse inexcusablemente, pero por el momento –y a la vista de los proyectos desarrollados- solo se pueden ofrecer algunos apuntes en esa dirección, aclarando que, sin lugar a dudas, son muchos más los indicadores que en un futuro nos van a poder ofrecer pistas de la evolución y tendencias existentes.

## La evolución y tendencias de las masas del hielo en las cumbres

Las laderas de la alta montaña y los elementos de la criosfera (hielo, nieve, neviza) son ambientes geomorfológicos muy activos, con una dinámica altamente sensible a los cambios naturales o inducidos por la humanidad. Así, los procesos de laderas, periglaciares y nivales y las herencias del pasado -heleros, huellas glaciares y periglaciares- son indicadores climáticos y ambientales muy expresivos. Es relevante conocer en profundidad el alcance y tendencias de la pérdida de hielo en heleros de alta montaña y su correlación con las condiciones climáticas/meteorológicas, como la baja innivación y los veranos cálidos. Un ejemplo de este enfoque es el que siguió el estudio '[Geoindicadores de alta montaña y cambio global: análisis y control de indicadores geomorfológicos en el Parque Nacional de los Picos de Europa](#)' [OAPN03] para el caso del Jou Translambión, que ha perdido una parte importante de su extensión en las últimas décadas y en los últimos años:

«Fuentes históricas y estudios geomorfológicos señalan la existencia de glaciares en los Picos de Europa durante la Pequeña Edad del Hielo. En el Jou Translambión diferentes fuentes constatan la existencia de un glaciar hasta principios del siglo XX, con una extensión de 6,1 Ha, cobijado al norte. Durante el siglo XX y la primera década del XXI ha sufrido una paulatina pérdida de masa hasta quedar reducido a un pequeño lentejón, de 1,4 ha. Entre 1996 y 2008 el helero perdió un 76% de su masa, quedando relegado a una pequeña mancha de hielo adosada al pie de la pared. Durante este periodo, la pérdida anual de masa se situaría en el 4,2%, aunque el ritmo de fusión no sería constante, pues durante los años 2009 y 2010 no se ha percibido ninguna reducción. Así pues, el helero se encuentra en una situación crítica en la que la sucesión de dos o tres veranos favorables a la fusión pueden conducir a corto plazo a la total desaparición del hielo».



El proyecto '[Degradación de hielo fósil y permafrost y cambio climático en Sierra Nevada](#)' [OAPN05] ha estudiado este fenómeno en el Corral del Veleta, llegando a conclusiones similares en términos de pérdida y degradación de la masa de hielo:

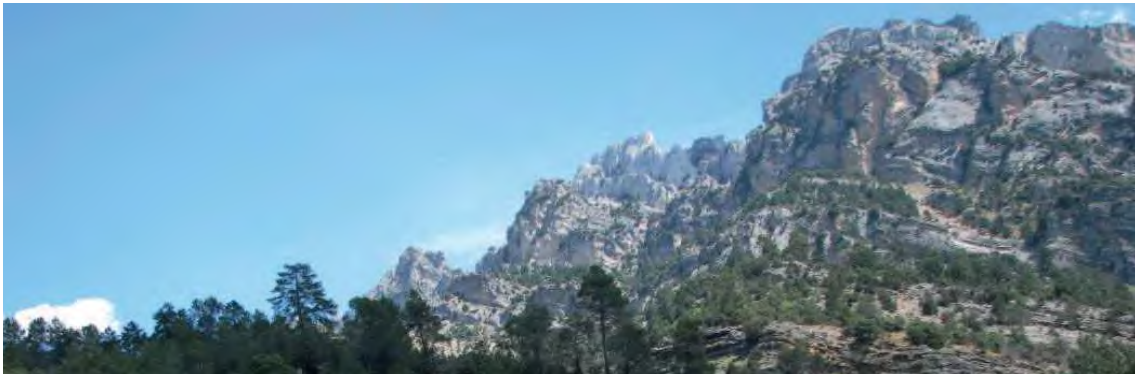
«El Corral del Veleta (Sierra Nevada, 37°N 3°W, 3.150 m. de altitud), instalado en el nivel de cumbres del Parque Nacional de Sierra Nevada, es un antiguo circo glaciar que durante la Pequeña Edad del Hielo albergó un pequeño foco glaciar del que se tienen noticias escritas desde el siglo XVII. Este glaciar mantuvo restos de hielos hasta mediados del siglo XX. En 1998 no eran ya visibles pero aún persistían vestigios junto con permafrost discontinuo atrapados bajo mantos de bloques.

Los análisis y la interpretación de resultados obtenidos apuntan a que el estado físico y evolución del hielo relicto y permafrost se encuentran en proceso de degradación. Así se ha determinado a partir de la monitorización de un incipiente glaciar rocoso asentado sobre el techo de las masas heladas referidas. Los datos obtenidos de los controles anuales realizados durante el periodo 2007-2009 de la temperatura de la capa activa, grado de recubrimiento nival del suelo, movimientos del cuerpo del glaciar rocoso y prospecciones geofísicas realizadas (tomografía eléctrica) de su interior vienen a indicar la paulatina merma del hielo relicto y permafrost atrapados. El volumen de pérdida de masas glaciares relictas para el periodo de estudio ha sido de 3.505,9 m<sup>3</sup>».



Y una situación similar se ha evidenciado en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, donde el equipo que ha desarrollado el proyecto '[Dinámica glacial, clima y vegetación en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido durante el Holoceno](#)' [OAPN24] ha encontrado que la evolución de todos los cuerpos de hielo en las últimas décadas ha sido similar en su evidente tendencia regresiva:

«Hasta mediados del siglo XX el glaciar de Monte Perdido constaba de tres masas de hielo escalonadas, de las que la inferior (alimentada por avalanchas de hielo desde el glaciar intermedio) ya ha desaparecido. Las otras dos masas han entrado en una fase muy regresiva desde la década de 1980, disminuyendo algo en extensión pero sobre todo reduciendo su espesor. Así, el glaciar medio (ahora inferior) formaba un abrupto cortado de hielo que se precipitaba en frecuentes aludes hasta la base de la pared. Ahora es una masa biselada en su frente, por donde ya no asoma al borde del escarpe, habiéndose registrado pérdidas de espesor de hasta 40 m entre 1981 y 1999. Diversos autores han comparado la extensión ocupada por los glaciares pirenaicos al final de la Pequeña Edad del Hielo y en 1998-2000. En el caso de los glaciares del circo de Marboré se ha pasado de 238,9 ha a 62,1 ha, que en 2011 se habían reducido hasta 49,2 ha».



### **La distribución altitudinal de la flora y vegetación en las zonas de montaña**

El análisis de la flora y vegetación de los pisos de vegetación más altos (oro y crioromediterráneo, alpino, etc.) y su delimitación altitudinal puede aportar algunos datos importantes en términos de seguimiento del cambio climático, ya que son susceptibles de acusar cambios en periodos temporales no muy largos. Es uno de los enfoques adoptados por los/as autores del proyecto '[El cambio climático en Sierra Nevada a partir de escenarios fitocenológicos, especies y comunidades vegetales indicadoras y la evaluación de la actividad biológica de los suelos en el piso crioromediterráneo \(ciclos de C y N\)](#)' [OAPN01]:

«Se han estudiado, analizado y delimitado los taxones y sintaxones vegetales presentes en el piso de vegetación crioromediterráneo, con el fin de establecer el límite inferior de este piso y conseguir así tener un nuevo escenario de observación. El resultado de esta última aproximación concluye que el territorio ocupado por este piso es bastante menor del esperado, lo que pone de manifiesto que la fragilidad de la zona culminar de Sierra Nevada es muy alta. Los estudios históricos comparados sobre la flora de este piso también ponen de manifiesto su progresivo aumento en los últimos 150 años, posiblemente en concordancia con el aumento de las temperaturas».

En el proyecto '[Bases para el seguimiento de los cambios en la flora y vegetación como consecuencia del cambio climático en el Parque Nacional de los Picos de Europa](#)' [FB04] se afirma también que la distribución altitudinal de los bosques es una variable que podría tener importancia en términos de seguimiento de cambio global a medio y largo plazo, aunque según sus autores no es un tipo de modificaciones que se vaya a producir de forma rápida y dependen también de factores antrópicos como el pastoreo, el tipo de gestión forestal que se desarrolle en el territorio,

etc. De hecho, en su estudio no se detectan cambios significativos en los últimos 50 años. En este caso, y para el Parque Nacional de los Picos de Europa, se establecen diferencias entre sustratos calcáreos y silíceos:

«Dejando a un lado la dinámica relacionada con la alteración humana del territorio, puede concluirse que las zonas silíceas reconocidas en este trabajo constituyen lugares óptimos para el estudio de los factores ecológicos implicados en el límite del bosque, así como su relación con el clima. La medición de dichos cambios en el PNPE deberían tener en consideración otras variables no consideradas en este estudio, como la densidad, estructura o respuesta fisiológica de la vegetación. En las zonas calizas, donde el límite resulta en líneas generales más abrupto, es más difícil interpretar las causas que lo producen».



Se propone la definición de parcelas de estudio tanto mediante teledetección como en terreno para el seguimiento de la vegetación y la biodiversidad y repetir muestreos en dichas parcelas cada 4 años, así como la selección de ciertas especies como indicadoras:

«Muchas de las 75 plantas documentadas pueden tener un elevado valor como especies indicadoras, en algunos casos especies exclusivas de los Picos de Europa (como el endemismo *Helianthemum urriense*) o plantas alpino-pirenaicas refugiadas en el territorio (como *Kobresia myosuroides*).

Las especies utilizadas deberían asumir dos objetivos principales de seguimiento:

- especies indicadoras de cambio climático: plantas de pastizales de alta montaña como *Galium pyrenaicum* o *Silene acaulis*; o plantas de comunidades supraforestales como *Genista obtusiramea* o *Vaccinium uliginosum*;
- especies indicadoras de alteraciones de origen antrópico: plantas relacionadas con la intensificación o abandono de actividades humanas, principalmente ganaderas, como *Pteridium aquilinum*, *Carex brevicollis*, *Genista hispanica* subsp. *occidentalis*, etc.

Las variables de medición variarán en función de cada grupo de especies y su respuesta esperada al cambio, pudiendo ser utilizadas para la configuración de modelos bajo diferentes escenarios de cambio global: ocupación espacial, densidad, fenología interanual, respuesta reproductiva, etc.»

En esta misma línea, los autores del proyecto '[Análisis de la diversidad procariótica asociada a quercíneas \(\*Quercus ilex\* sp. \*ballota\* y \*Quercus pyrenaica\*\) para la identificación de biomarcadores asociados a la evolución post-incendio y al cambio climático en Sierra Nevada](#)' [OAPN04] afirman que «se podría producir una migración altitudinal de los encinares a costa de otras formaciones boscosas como los melojares», por lo que sería interesante estudiar esta sucesión de la flora como indicador del calentamiento global». En este mismo proyecto se estudia la microbiota asociada a la rizosfera de estas quercíneas, ya que –según sus autores– aunque un bosque puede sobrevivir durante decenas de años en una mala situación ambiental, sus microorganismos asociados pueden ser indicadores más sensibles.

## La presencia y distribución de insectos en las cabeceras de los ríos de montaña

Los tricópteros, como afirman y argumentan los autores del estudio '[Diversidad, estrategias vitales y filogeografía de especies sensibles al cambio climático: tricópteros en el Parque Nacional de Sierra Nevada](#)' [OAPN06], pueden ser un buen bioindicador en términos de seguimiento del cambio climático.

«El efecto que el cambio climático puede tener en la diversidad de tricópteros está basado en las siguientes hipótesis: (1) Las especies de distribución limitada (como las especies endémicas), caracterizadas por un restringido nicho ecológico y escasa capacidad dispersiva, están severamente más amenazadas por el cambio climático que las especies de amplia distribución; (2) Las especies típicas de la zona del potamon (grandes ríos en zonas bajas) pueden reaccionar al aumento de las temperaturas colonizando los tramos más altos de los ríos; en cambio, las que habitan la zona del crenon (fuentes en cabecera) no pueden desplazarse río abajo y tampoco pueden desplazarse aguas arriba por la inexistencia de hábitat. Como consecuencia de esa reducción de hábitat están más amenazadas por el cambio climático; y (3) las especies adaptadas a bajas temperaturas (especies estenotérmicas frías) están más amenazadas que las euritérmicas por el aumento de temperatura debido al cambio climático. Un elevado número de especies de tricópteros están ligados a la zona del crenon, presentan nichos ecológicos estrechos y se encuentran particularmente en sistemas montañosos de elevada altitud. Recientemente se ha realizado una estimación del potencial impacto del cambio climático sobre la biodiversidad de tricópteros europeos y se calcula que el 50% de las especies de la Península Ibérica se verán afectadas.

En Sierra Nevada las especies endémicas de *Annitella* presentan una distribución muy restringida y una baja abundancia. Además, el escaso flujo genético entre localidades aumenta la vulnerabilidad de estas especies ante el cambio climático.

La fenología de algunas especies se puede estar viendo afectada mediante un adelanto de la emergencia de adultos en las especies primaverales y un retraso en las otoñales. Cambios en las estrategias vitales de los organismos, como los cambios fenológicos, son uno de los efectos ecológicos observados en varios grupos animales, como consecuencia del reciente cambio climático, aunque hay aún pocos trabajos en invertebrados acuáticos en los que se haya documentado.

Ante el cambio climático se prevé un desplazamiento en el rango de distribución de aquellas especies que presenten adaptaciones fisiológicas ante las nuevas condiciones ambientales y capacidades dispersivas hacia nuevos hábitats más favorables. Especies como *Allogamus mortoni* y *Stenophylax nycterobius* no presentaban hace 20 años una distribución tan amplia en las cotas estudiadas de Sierra Nevada. En la región Mediterránea estas especies son típicas de cabeceras y tramos medios de sistemas montañosos calcáreos donde se distribuyen a altitudes más bajas de las encontradas actualmente en Sierra Nevada. El estudio del ciclo de vida de *S. nycterobius* ha puesto además de manifiesto un cambio en la estrategia vital de esta especie que le permite sobrevivir en localidades como las lagunas de Sierra Nevada. Los adultos emergen en septiembre y no migran a cuevas ni sufren diapausa estival. Las condiciones de los ríos de alta montaña en Sierra Nevada influyen en el desarrollo de estrategias vitales particulares adecuadas para sobrevivir y reproducirse en este tipo de hábitats y pueden verse favorecidas por el cambio climático».



El estudio '[Estrategias de supervivencia ante el cambio global. Las especies de efemerópteros y plecópteros del Parque Nacional de Aigüestortes como paradigma](#)' [OAPN09] se detiene en la evolución de las comunidades fluviales de estos órdenes de insectos en Aigüestortes por su condición de buenos indicadores de la calidad ecológica de los ecosistemas fluviales y, en particular en el caso de los plecópteros, por el elevado número de especies estenotermas frías que caracteriza al Orden en el que, además, se ha detectado la presencia de hemocianina, macromolécula que pertenece al grupo de las proteínas respiratorias en otros órdenes de animales.

«El análisis demuestra que períodos de entre 15 y 20 años son suficientes para permitir la colonización de toda una cuenca fluvial por parte de especies más euritermas procedentes de tramos inferiores y el desplazamiento aguas arriba de las especies más estenotermas, con la consiguiente reducción de su distribución geográfica y el aislamiento de sus poblaciones. La gran velocidad de respuesta observada de las especies de plecópteros y efemerópteros ratifica nuestra hipótesis de partida que consideraba a ambos órdenes de insectos como buenos indicadores del cambio climático y del cambio global.

Si las predicciones climáticas se cumplen se esperan importantes cambios en la biodiversidad de plecópteros y efemerópteros, como la eliminación de las especies estrictamente estenotermas frías de plecópteros, que en el PN-Aigüestortes representan aproximadamente el 25% de las especies que lo habitan actualmente. También pueden llegar a desaparecer las especies más reófilas de efemerópteros y las estenotermas frías de este orden. De modo que el escenario probable plantea «a priori» una importante pérdida de especies, que implicaría la desaparición/extinción de algunas de ellas».



Además, en este caso se derivan algunas recomendaciones de gestión adaptativa que pueden ayudar a garantizar la conservación de la biodiversidad de plecópteros y efemerópteros, como la especial preservación de algún cauce concreto que incluye buena parte de los endemismos y especies en riesgo y el aumento de los caudales en los tramos regulados, aproximándolos a los caudales de mantenimiento precisos para preservar el mayor tiempo posible las comunidades de macroinvertebrados propias de estos cauces, cerrando el paso a especies más euritermas de cauces con menor caudal.

Los/as autores del estudio aportan descriptores y protocolos detallados para realizar el seguimiento de determinadas especies y, además, están trabajando en la elaboración de material útil para identificar las diferentes especies.

«A la hora de seleccionar métricas para el seguimiento de la evolución de las comunidades fluviales en el Parque Nacional de Aigüestortes se han tenido en cuenta las características bioindicadoras de especies y taxones según varios criterios:

- Especies estenotermas frías indicadoras de cambio climático: *Isoperla acicularis acicularis*, *Perlodes intricatus*, *Perla grandis*, *Arcynopteryx compacta* y *Taeniopteryx hubaulti* (las 2 últimas serían de las primeras en extinguirse en los Pirineos y todas verían retroceder su límite altitudinal inferior).

- Especies más euritermas indicadoras de cambio climático: *Serratella ignita*, *Perla marginata* y las especies de *Caenis* (todas ellas podrían colonizar tramos superiores).
- Endemismos pirenaicos con distribuciones restringidas en la vertiente sur (España y Andorra): *Pachyleuctra bertrandi*, *Pachyleuctra benllochi* y *Protonemura vandeli* (todas ellas son especies para las que actualmente se conocen entre 2 y 6 localidades únicamente y que deberían considerarse en peligro para España).
- Especies indicadoras estenotermas frías y reófilas estrictas, indicadoras del aumento de la temperatura y de la reducción de caudales/precipitaciones (indicadoras de cambio global incluido el cambio climático): especies del género *Rhithrogena*. Algunas pueden desaparecer al tiempo que se describen para la ciencia, a menos que se realice una gestión de caudales acorde con criterios de conservación y no únicamente de explotación.

Se proponen las siguientes métricas y actuaciones:

- 1) Riqueza de plecópteros, valoración cada 5 años en las cuencas de los ríos Escrita y Sant Nicolau.
- 2) Densidades relativas de las especies de Perlidae, valoradas anualmente en 5 tramos de la cuenca del río Sant Nicolau que abarquen el rango altitudinal de sus cauces permanentes (1.400 y 2.300 m).
- 3) Distribución y estado de las poblaciones actuales de los dos grupos de especies de *Rhithrogena* que se conocen en el PN-Aigüestortes, comprobándose la incidencia de sus parásitos quironómidos en ellas. Seguimiento anual, sin extracción definitiva de los individuos que se capturen.
- 4) Seguimiento de las especies relictas *Arcynopteryx dichroa* y *Taeniopteryx hubaulti* en riesgo de extinción en Pirineos, con periodicidad anual o bianual mediante capturas no extractivas definitivas.
- 5) Seguimientos anuales de poblaciones de especies emblemáticas, endemismos pirenaicos con distribuciones restringidas en la vertiente sur (España y Andorra): *Pachyleuctra benllochi*, *Pachyleuctra bertrandi* y *Protonemura vandeli*.

Las tres primeras métricas que se proponen pueden ser utilizadas en seguimientos para conocer y valorar el impacto del cambio climático y del cambio global en ecosistemas fluviales de alta montaña pertenecientes a otros parques nacionales.

Para permitir que las capturas y el seguimiento no diezmen las poblaciones de las especies que se proponen, los muestreos deben hacerse mediante captura y liberación de los ejemplares capturados (capturas no extractivas definitivas). Para ello es preciso que los taxones seleccionados puedan identificarse *in situ*. Con este objetivo se están elaborando actualmente fichas de especies que incluyen el material fotográfico necesario para permitir las identificaciones en el campo con una lupa de mano. También se están desarrollando protocolos sencillos para facilitar las capturas de las especies seleccionadas, que incluyen en qué hábitats muestrear, cómo muestrear y cuándo hacerlo, con el único objetivo de no arrasar los ecosistemas que deben controlarse».



## El estudio de los sedimentos y la situación de los lagos de montaña

El estudio de sedimentos en las lagunas de alta montaña puede aportar información interesante, aunque es importante tener en cuenta el elevado número de variables en juego y la interrelación entre éstas, como el estudio '[Efectos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos y terrestres de alta montaña de Sierra Nevada mediante el análisis del registro fósil en los sedimentos](#)' [OAPN07] demuestra. En dicho proyecto se analizan diatomeas, cladóceros y quironómidos, aunque de él no se derivan evidencias determinantes de qué grupos o especies actúan como indicadores más claros.

«Usamos la estratigrafía de diatomeas, cladóceros y quironómidos para establecer los cambios registrados en la propia laguna relacionándolos con cambios en el clima y en índices globales de circulación atmosférica como el índice NAO. De manera general podemos destacar que la biota de la laguna de Río Seco sufre importantes cambios en el siglo XIX que se acentúan a partir de los años 60. Estos cambios se observan en quironómidos, diatomeas y cladóceros. Es destacable que los cambios más importantes en quironómidos y diatomeas ocurren alrededor de los años 60 del pasado siglo mientras que en cladóceros se observan más tarde, a mediados de los años 70.

Los cambios observados desde principios del siglo XIX y especialmente desde los años 60 en las diatomeas y quironómidos puedan atribuirse a un incremento de temperaturas mientras que la acentuación de estos cambios y especialmente el observado en los cladóceros desde los años 70 sea el resultado de dicho incremento de temperaturas y del notable aumento observado en el índice NAO. Es fundamental comprender, en lo posible, la contribución relativa de las deposiciones saharianas, las variaciones climáticas gobernadas por el índice NAO y el calentamiento global a los cambios observados.

El estudio de los sedimentos de sus lagunas, como archivo histórico de la región, se muestra como una herramienta eficaz para conocer la variabilidad natural de los sistemas ecológicos y la respuesta de los mismos a cambios en el pasado tanto en escala de tiempo largas (Holoceno) como más cortas (Antropoceno). Estos hechos resultan imprescindibles en la gestión en el presente y en el futuro del Parque nacional de Sierra Nevada».



En el caso del proyecto '[Evolución climática y ambiental del Parque Nacional de los Picos de Europa desde el último máximo glaciar](#)' [OAPN02], los autores/as se centran en el estudio paleoambiental de los sedimentos de los lagos de alta montaña, que puede generar ciertos datos relevantes sobre el clima y la vegetación en periodos anteriores al actual. Se analiza la presencia y distribución de determinadas especies de diatomeas en el registro sedimentario de lagos de alta montaña, detectándose la sustitución de *Cyclotella ocellata* por *Cyclotella radiosa* en el lago Enol en los últimos años.

«El último intervalo estudiado es el que vivimos en la actualidad. Entre los años 1960-1970 se detecta una bajada puntual de la temperatura. Posteriormente, las temperaturas incrementan pero las precipitaciones comienzan a disminuir. Además, se produce un reemplazo de *Cyclotella ocellata* por *Cyclotella radiosa*. Esta última es típica de verano, mientras que la primera es más frecuente durante el periodo de primavera-verano, por lo que interpretamos que los veranos se han alargado en las últimas décadas. Estos dos nuevos cambios indican claramente las consecuencias del cambio climático global actual que se están notando ya en el Parque Nacional de los Picos de Europa».



En el estudio '[AERBAC: Diversidad bacteriana en lagos de alta montaña: biogeografía y mecanismos de dispersión por aerosoles atmosféricos en el contexto del cambio global](#)' [OAPN11] se aborda el tema de las masas de polvo sahariano desde la perspectiva de la afección microbiológica a lagos de montaña. Así, el proyecto nos ofrece como indicador de cambio climático el análisis de la diversidad bacteriana en lagos de montaña y su correlación con las masas de polvo saharianas, esto es, la incidencia de microbios invasores de origen remoto transportados por el viento. Se han utilizado lagos y zonas de alta montaña como biosensores de la calidad microbiológica del aire y de la salud del ecosistema ya que se encuentran poco alterados por la acción humana a escala local y relativamente libres de interferencias externas próximas. Así, en este contexto, el valor de estos ecosistemas residiría en su potencial para seguir procesos ecológicos que sobrepasan sus fronteras y que tienen un carácter global. Para los autores de este estudio, sería interesante establecer observatorios microbianos en estas zonas para el seguimiento y detección temprana de la movilización a escala global de microorganismos de especial interés, así como el seguimiento de la evolución y potencial de colonización de dichos microorganismos a largo plazo.

«La movilización atmosférica de polvo a escala global se ha visto acelerada por la persistente sequía que desde hace más de 30 años azota la zona del Sahel y del Sahara y que, junto al crecimiento desmedido de prácticas agrícolas y ganaderas extensivas, han prácticamente desecado extensas zonas acuáticas como el Lago Chad, disminuyendo la cubierta vegetal protectora y aumentando la frecuencia e intensidad de las tormentas de arena. El escaso o nulo control en las prácticas agrícolas y sanitarias en estas regiones de África y la falta de depuración en los vertidos realizados a ríos y lagos hacen que se movilicen de

los sedimentos desecados diferentes tipos de contaminantes orgánicos, metales pesados y microorganismos potencialmente patógenos. Se estima que alrededor de 3000 millones de toneladas de componentes del suelo y sedimentos están continuamente flotando en la atmósfera. La mayor cantidad de polvo circulando por el planeta hace que aumente significativamente la carga microbiológica del aire.

Es un tipo de información interesante para entender la interconexión de ecosistemas, el manejo a escala internacional de políticas y leyes ambientales comunes y la visión global en la aplicación de medidas locales y regionales de desarrollo sostenible. Este proyecto representa un ejemplo de cómo zonas especialmente sensibles a la degradación y que quizá no son consideradas relevantes en las agendas de protección por su falta de interés faunístico, florístico o paisajístico, juegan un papel en la ecología del planeta y tienen un efecto remoto en ecosistemas de alto interés y elevado grado de protección».



Los/as autores del estudio '[Dinámica glacial, clima y vegetación en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido durante el Holoceno](#)' [OAPN18] nos confirman que Los lagos de alta montaña son laboratorios naturales y centinelas de cambio global debido a sus especiales características: aguas frías, oligotróficas, con baja diversidad, pobre redundancia funcional y relativamente bajos niveles de perturbación humana. En su estudio se proyectó se analizó la tendencia creciente de impacto del cambio global sobre los ecosistemas de montaña, en particular la radiación ultravioleta (UVR) y la polución por fósforo (P) y nitrógeno (N), como factores de cambio global con particular relevancia en estos ecosistemas, en especial debido a la interacción entre ellos.

«Aunque recientes estudios han sugerido que el efecto de UVR podría ser menos pronunciado debido a una potencial aclimatación y adaptación de los organismos como resultado de una historia de larga exposición a intensa irradiación en estos lagos de aguas transparentes, el verdadero impacto de un incremento en UVR sobre los lagos de alta montaña depende más de la interacción con otros factores de estrés que sólo de un incremento en los flujos de UVR. Esto es particularmente cierto en latitudes meridionales de Europa donde son comunes las sequías, las entradas de nutrientes vía atmosférica procedentes de áreas desérticas (el desierto del Sáhara, que exporta nutrientes en forma de tormentas de polvo ricas en fósforo, hierro y calcio), o el incremento de temperatura. Todos ellos son factores de cambio global que están relacionados con anomalías de variaciones climáticas periódicas (*North Atlantic Oscillation*, NAO) y oscilaciones de las Zona de Convergencia Intertropical (ITZC), destacando el incremento registrado en la frecuencia e intensidad de intrusiones de aerosoles de origen sahariense debido a cambios en los patrones de precipitación global.



Aunque está ampliamente establecido que el efecto de UVR sobre las algas es inhibitorio a nivel molecular o a nivel funcional, este efecto inhibitorio es atenuado o suprimido en el nivel de organización de población o comunidad. Por el contrario, el efecto de la adición de nutrientes (principalmente P) es generalmente estimulador de la producción primaria y del crecimiento algal, incrementando la abundancia y biomasa algal. A pesar de estar bien establecidos estos efectos individuales contrapuestos (UVR depresor y enriquecimiento en nutrientes estimulador), los escasos estudios realizados sobre el efecto interactivo UVR×Nutrientes muestran resultados contradictorios tanto a nivel molecular y fisiológico como sobre la estructura y sucesión de las comunidades pelágicas.

Así, por ejemplo, una combinación de un incremento en la intensidad y la frecuencia en las deposiciones de polvo atmosféricas en las últimas tres décadas (1973-2003) con altos niveles de UVR, características de los lagos de alta montaña, dan lugar a cambios interanuales de la abundancia y biomasa de fito- y zooplancton que da lugar a un desacople entre sus dinámicas y por lo tanto en el flujo de carbono en la red trófica».

---

### Los anfibios: un grupo al que prestar especial atención

---

Los anfibios conforman un conjunto de especies especialmente sensible a los efectos del cambio climático, por lo que su estudio es relevante en términos de seguimiento global. Los resultados del estudio '[Variación genética adaptativa de anfibios en gradientes altitudinales: efectos sobre la viabilidad de poblaciones subdivididas en escenarios de cambio climático](#)' [OAPN12] confirman, para el Parque Nacional de los Picos de Europa, la elevada sensibilidad de las poblaciones de anfibios de alta montaña y la amenaza de extinción a medio plazo en caso de un aumento de los fenómenos meteorológicos adversos ligados al cambio climático. El análisis de la influencia del cambio climático debe ser necesariamente complejo, porque puede haber variables que jueguen a favor de las poblaciones, como la posible ampliación de periodos reproductores debido a la menor congelación de charcas y otras en contra, como la desecación temprana de las charcas, por ejemplo. Así, la combinación de temperatura y precipitación a lo largo del año conforman un conjunto relevante y fenómenos como las nevadas tardías –o su ausencia– pueden ser también significativos.

«Las poblaciones de zonas situadas por encima de 1500 msnm se han demostrado mucho más sensibles a fenómenos como las nevadas tardías, que pueden producir mortalidades catastróficas de adultos si han comenzado la reproducción, como ocurrió en la población de Llaguseco el 2010. En algunas poblaciones altas, si la retirada de la cubierta de nieve se retrasa hasta el mes de junio, no se produce reproducción, como ocurrió en la población de la Vega de Liordes en la primavera de 2009. Asimismo, el retraso del inicio de la reproducción y la ausencia de lluvias primaverales, puede provocar la desecación temprana de las charcas y una elevada mortalidad de larvas antes de que completen el desarrollo. En síntesis, hay tres fenómenos relacionados con la temperatura ambiental que condicionan tanto el inicio de la reproducción como la duración del mismo: la fusión del hielo de las charcas, la desecación de las mismas y la congelación».

Los/as autores de este estudio apuntan también a la posible existencia de un componente genético que gobierne la fenología reproductora, lo que podría dar origen a un desacoplamiento entre reproducción y clima como consecuencia del cambio climático. Se señala además que sería interesante tener conclusiones más claras de resistencia térmica (especialmente a las altas temperaturas) durante las fases embrionaria y larvaria.

Algunos estudios inciden en la necesidad de realizar una gestión adaptativa que permita reducir los riesgos derivados del cambio climático para algunas especies y poblaciones. Así, en el proyecto '[Diversidad genética espacial y flujo genético en anfibios pirenaicos: evolución potencial bajo escenarios de cambio global](#)' [OAPN23] se señalan algunas recomendaciones de gestión que mejorarían la situación de *Rana pyrenaica* en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, como la mejora de la conectividad y del hábitat, así como la cría en cautividad que permita reintroducir la especie en zonas en las que ésta haya desaparecido:

«El área que ocupa la especie se mantiene en gran medida, si bien hay localidades que han desaparecido. Las poblaciones, en general, son pequeñas, pero parece que hasta hace poco hubo cierto grado de conectividad espacial que se mantiene por ahora. En este sentido, el mantenimiento y gestión adecuada de las poblaciones de Ordesa, la única zona con protección real para la especie son críticas. Los análisis de conectividad muestran una separación efectiva entre el núcleo oriental y el occidental de la especie, y un impacto importante en la conectividad entre poblaciones debido a la presencia de peces. En el análisis de datos históricos se observa en Ordesa una disminución de la densidad por localidad en los veranos secos, que coincide con nuestros análisis de supervivencia y fenología en años secos. La mayor mortalidad observada en la especie es de larvas que se encuentran en cubetas de arroyos con poca agua, que antes de la metamorfosis se secan matando a todos los renacuajos. Muchas de estas cubetas están colmatadas, por lo que el volumen de agua disponible no es alto. Nuestros datos sugieren que en zonas donde las pozas son profundas y tienen agua todo el tiempo la supervivencia es mayor. Los modelos de cambio global indican que esa va a ser la situación predominante en el futuro. Por ello, la medida de gestión más eficaz para la especie ahora mismo es cavar estas cubetas y aumentar la profundidad de las mismas para asegurarse de que habrá agua suficiente para que los renacuajos completen la metamorfosis y se asegure el reclutamiento para los próximos años, sobre todo teniendo en cuenta las predicciones de prevalencia de años secos en el futuro.

La baja diversidad genética observada es un hecho que supone que se pueden translocar individuos sin que exista riesgo de mezcla de poblaciones genéticamente diferentes. Asimismo, esta baja diversidad y la baja densidad poblacional, así como la presencia de un patógeno letal para anfibios como es el quítrido, son argumentos de peso para considerar la reproducción en cautividad de la especie a fin de asegurar su supervivencia futura. Esta estrategia se está haciendo ya en la Península con otras especies, sería compatible con la conservación in situ, y permitiría repoblar zonas donde la especie ha desaparecido, reforzar poblaciones y mejorar la conectividad espacial».



---

### La distribución y situación de algunas especies de aves de montaña

---

En el proyecto '[Impacto e interacciones del clima con la ecología, comportamiento y distribución de aves de alta montaña en el Parque Nacional de los Picos de Europa](#)' [FB02] se analizaron varias cualidades de individuos, poblaciones y comunidades de aves, intentando disminuir la falta de conocimiento sobre las poblaciones que habitan las zonas altas de la Cordillera Cantábrica y de Europa meridional en general. Los resultados de este estudio demuestran la influencia de los parámetros climáticos sobre las aves que componen la comunidad de los Picos de Europa. Así, la varia-

ción en temperatura y el régimen de precipitaciones inciden en las características de la comunidad de aves, las características de las poblaciones de chovas y en la densidad y distribución del bisbita alpino, el pardillo común, el acentor alpino, el gorrión alpino, la collalba gris y el colirrojo tizón.

«Se encontraron en las condiciones fisiológicas y de salud de los individuos algunos factores críticos que podrían explicar los patrones de distribución de varias de las especies objeto de estudio. El estrés fisiológico (medido a través de los glucocorticoides fecales) aumenta en cotas bajas en la especie de chova más típicamente alpina, la chova piquigualda y la condición inmunológica de la collalba gris y el bisbita alpino parecen tener un valor óptimo a alturas intermedias (1400-1600 m), donde se localizan también las mayores densidades de estos passeriformes».



Para los autores del estudio, teniendo en cuenta que con el aumento de la altitud disminuye proporcionalmente el área disponible, y que los paisajes alpinos se hacen más rocosos y menos diversos, es previsible que muchas especies que componen las comunidades de baja cota no toleren estas condiciones y que no se desplacen en altura simplemente siguiendo el gradiente climático previsto para las próximas décadas. En las cotas elevadas de muchas montañas prevalecen los roquedos, hábitats no idóneos para mantener poblaciones viables de varias especies de aves, incluso algunas típicas de las montañas de la cordillera cantábrica.

«En el caso del bisbita alpino y collalba gris, por ejemplo, las densidades mayores se encuentran donde los roquedos no ocupan grandes extensiones, así que difícilmente estas especies podrán ocupar las cumbres rocosas a pesar de que estas se volvieran climáticamente favorables a causa del calentamiento global.

Los resultados evidencian que la respuesta de especies y comunidades frente al cambio en las condiciones climáticas se debe valorar a nivel local, teniendo en cuenta la composición del hábitat y su idoneidad para albergar las distintas especies, en término de disponibilidad de recursos y lugares para establecer territorios. Picos de Europa, en este sentido, representa un área de montaña especialmente inhóspita a elevadas altitudes».

En términos de indicadores de seguimiento para el futuro, en el estudio se identifica un grupo de especies centinelas que podrían ser objeto de programa de seguimiento a largo plazo para evaluar los efectos del cambio climático.

«La chova piquigualda, la collalba gris y el bisbita alpino parecen tener efectos fisiológicos negativos cuando las condiciones se vuelven más cálidas, y esto puede tener repercusiones en su distribución altitudinal y por tanto, espacial. Un seguimiento de su rango de distribución en Picos de Europa permitiría estudiar la evolución de los procesos ecológicos

relacionados con el cambio climático y evaluar las zonas del parque más críticas y sujetas a mayores riesgos de pérdida de biodiversidad».

Este trabajo de investigación continuó en el proyecto '[Gradientes altitudinales de biodiversidad en el Parque Nacional de los Picos de Europa: cómo se origina, mantiene y conserva la riqueza de organismos en un escenario de cambio climático](#)' [FB08], en el que se incidió en algunas de las conclusiones apuntadas.

«En zonas forestales y de matorral la diversidad de aves no varía a lo largo del gradiente altitudinal, pues estos hábitats tienen las mismas características en todas las cotas en las que aparecen y presentan los mismos recursos para las aves. Sin embargo, en hábitats abiertos sí se observa una disminución lineal de la diversidad cuando aumenta la altura sobre el nivel del mar. En estas regiones altas, la diversidad de aves podría estar limitada por la reducción de la capacidad de carga que supone el aumento de la superficie rocosa, la mayor pendiente, menor productividad y otros costes ecológicos asociados a la altitud como un mayor tiempo de desarrollo, mayor coste energético, aumento de la estocasticidad reproductiva, etc. Las áreas más elevadas presentan, además, una reducción del espacio disponible y un mayor aislamiento de otras zonas similares, lo que podría favorecer un declive de las tasas de inmigración y un aumento de las tasas de extinción locales, dando lugar a una menor diversidad de aves. Esta disminución del hábitat es especialmente importante en la Cordillera Cantábrica, donde por encima de los 2000 m.s.n.m. el espacio se reduce a unas pocas cumbres rocosas sin apenas vegetación. Hay que destacar que en la Cordillera Cantábrica el número de especies de aves estrictamente alpinas es relativamente inferior respecto a aquellos de otras montañas europeas. En los Alpes, por ejemplo, la diversidad y abundancia de especies de aves de hábitat abierto aumenta con la altitud, un patrón inverso respecto a aquello encontrado en este estudio».

Así, teniendo en cuenta que con el aumento de la altitud disminuye proporcionalmente el área disponible, y que los paisajes alpinos se hacen más rocosos y menos diversos, es previsible que muchas especies que componen las comunidades de baja cota no toleren estas condiciones y no se desplacen en altura simplemente siguiendo el gradiente climático previsto para las próximas décadas. En las cotas elevadas de muchas montañas prevalecen los roquedos, hábitats no idóneos para mantener poblaciones viables de varias especies de aves, incluso algunas típicas de las montañas de la Cordillera Cantábrica. En el caso del bisbita alpino (*Anthus spinoletta*) y la collalba gris (*Oenanthe oenanthe*), por ejemplo, las densidades mayores se encuentran donde los roquedos no ocupan grandes extensiones, así que difícilmente estas especies, aunque muy abundantes y con características 'alpinas' en otras regiones geográficas, podrían ocupar las cumbres rocosas a pesar de que estas se volvieran climáticamente favorables a causa del calentamiento global.



Los resultados de este estudio apuntan a que un factor clave en la supervivencia de las aves como es la respuesta inmune, está condicionada por la variación climática. A pesar de que los hábitats alpinos suelen presentar bajas tasas de parasitismo o enfermedades, la dureza de las variables ambientales en estos sistemas de montaña puede condicionar de manera indirecta o directa la fisiología de las especies que allí habitan. La incidencia de eventos extremos como tormentas, grandes nevadas y bajadas extremas de temperaturas, afectan de manera directa a los organismos, pudiendo causar mortalidad elevada y desplazamientos o migraciones a otras zonas más favorables.

Sin embargo, es la exposición prolongada a condiciones meteorológicas adversas (frío, escasez de agua, cobertura de nieve, etc.), lo que puede condicionar en mayor medida la viabilidad de las poblaciones animales en estos entornos. Ante un evento adverso prolongado, puede reducirse la disponibilidad de alimento, obligar a cambios de comportamiento y elevar los costes energéticos de sus funciones vitales, lo que desencadena una situación de estrés crónico que afecta a la fisiología y condición física del individuo».

---

### El estado del coralígeno y los eventos de mortalidad en áreas costeras

---

El calentamiento del mar es una de las principales manifestaciones del cambio climático sobre los ecosistemas marinos, que se caracteriza tanto por el incremento de la temperatura media como por el aumento en la intensidad y frecuencia de los eventos extremos. En los últimos años se acrecienta la percepción de que el calentamiento global está afectando a los ecosistemas bentónicos marinos a través de epidemias, la presencia de especies invasoras y mortalidades masivas.

El proyecto '[Efectos del cambio global sobre la biodiversidad del Parque Nacional de Cabrera: el caso de la comunidad del coralígeno de \*Paramuricea clavata\*](#)' [FB01] se ha centrado en el estudio de una comunidad emblemática del paisaje submarino mediterráneo, cuya importancia biológica radica en la gran diversidad que alberga (~ 1666 especies) y en su vulnerabilidad, ya que la caracterizan especies muy longevas y con una dinámica muy lenta, como las poblaciones de gorgonia roja, *Paramuricea clavata*. En el verano de 2007 se observó un evento de mortalidad masiva en el coralígeno de *P. clavata* de la pared sur del islote de la Imperial, que afectó de manera notable a esta población, demostrando que los bosques por debajo de los 35 metros de *P. clavata* no están a salvo de los efectos del cambio climático y que únicamente las colonias localizadas a mayor profundidad (>45 m) parecen estar a salvo de estos eventos de mortalidad, que cada vez son más frecuentes.

Los estudios que han evaluado el impacto de estas perturbaciones durante largos períodos de tiempo han mostrado la necesidad de seguimientos a largo plazo a la hora de entender su impacto real, ya que los efectos retardados del evento fueron más importantes que los observados inmediatamente después de tener lugar el mismo.

«La temperatura afecta a la fisiología de los organismos. La exposición a temperaturas elevadas puede causar la muerte de los organismos en períodos breves (horas-unos pocos días) de tiempo. La exposición a temperaturas subletales causa alteraciones en el metabolismo de la especie cuyos efectos son detectables si la exposición perdura durante largos períodos de tiempo (días-meses). La temperatura máxima en 2007 fue superior en 1-2,2 °C a la de 2008 y 2009 pero tan solo en 0,5° C superior a la de 2010. Sin embargo, los efectos sobre los organismos fueron observados en 2007 pero no en 2010.

Esto sugiere que el régimen térmico muy probablemente no alcanzó la temperatura letal sino que el efecto sobre los organismos haya sido fruto de la exposición prolongada a temperaturas subletales. En este sentido, el régimen de temperatura de 2007 se diferencia claramente del régimen térmico de los otros tres años mostrando un contenido en calor mucho más elevado. Se ha podido demostrar experimentalmente que el principal mecanismo a través del cual las temperaturas subletales afectan negativamente a las poblaciones de *Paramuricea clavata* se relaciona con el aumento del coste energético que la respiración representa para la especie durante el período de menor disponibilidad de alimento en la columna de agua».

## La presencia y distribución de macrófitos en humedales

El estudio 'Detección remota de los efectos del cambio global en la ecología y la biogeoquímica de las comunidades de macrófitos del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel: diseño de medidas adaptativas y programas de seguimiento para la conservación' [OAPN14] demuestra, mediante una simulación en terreno, que el incremento en el CO<sub>2</sub> atmosférico (de hasta 550 ppm en el proyecto desarrollado) provoca un incremento acumulativo en la biomasa de los macrófitos (en concreto, *Phragmites australis*) que habitan los humedales de las Tablas de Daimiel y, consecuentemente, incrementos en el C en suelo y otros cambios en el ecosistema.

«Los resultados experimentales, aunque limitados a un solo ciclo vegetativo, muestran que en Las Tablas el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico generará una mayor biomasa de carrizo y previsiblemente ésta será mayor en los ciclos más secos. Esto implica que cada vez habrá menos zonas libres de vegetación, que se acumulará más materia orgánica (C) en el suelo, y que el carbono acumulado en el suelo, si cambian las condiciones hidrológicas, puede llegar a ser revertido a la atmósfera, convirtiendo al humedal en un emisor de CO<sub>2</sub> al incrementarse la actividad microbiana (N)».



Así, la biomasa de macrófitos/helófitos (carrizos y enneas, por ejemplo) en humedales puede llegar a ser un indicador/descriptor de cambio climático según este estudio, que prueba una correlación directa con la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, aunque habría que considerar otras variables que pueden tener influencia elevada, como las concentraciones de nitratos, los regímenes de circulación de agua, las características y variabilidad de la superficie inundada, etc.

Consecuentemente, los/as autores del proyecto proponen un protocolo de seguimiento que permita una gestión adaptativa mediante el seguimiento y detección de cambios: realizar medidas anuales de la vegetación y –dependiendo de su incremento o disminución– responder desde el Parque gestionando aquella.

«Nuestra propuesta sería evaluar cada tres años la biomasa mediante un indicador sencillo, como es la cobertura del carrizo y la enea. Si dicha cobertura hubiera crecido desde la evaluación precedente, la Dirección del Parque procedería a la retirada de esa cobertura extra mediante segada a ras de suelo. Con estas medidas, nos aseguraríamos el eliminar el exceso de biomasa generado, entre otras causas, por el cambio global, reduciendo así la cantidad de carbono que se acumula en los sedimentos e impidiendo que la vegetación emergente colonice las zonas de tablas de agua, tan necesarias para el crecimiento de la

vegetación sumergida, alimento de las crías de anátidas. Esta retirada de vegetación debería prestar una atención especial a la pervivencia de la masiega, cuyas formaciones han ido en descenso en el Parque desde los años 50 del siglo pasado. Es decir, se recomienda expresamente que la posible retirada de vegetación helofítica afecte sólo al carrizo y la enea».

Además, se propone mantener la mayor superficie inundada posible durante el verano, que es cuando la actividad microbiana es mayor, para reducir las emisiones de C a la atmósfera y la mineralización de N y P en los suelos. Este fenómeno puede incrementar la biomasa de algunos helófitos y el contenido de C de los suelos, pero también ejercería de limitante al crecimiento de especies como el carrizo. La superficie no debería exceder el área mínima encharcada que ha registrado el humedal en los años más húmedos para evitar la sustitución de ciertas áreas por otros macrófitos marginales.

### **La matorralización de pastos, un indicador de cambio no directamente relacionado con el cambio climático**

En diferentes estudios aparece la cuestión de la matorralización de pastos en áreas de montaña y su influencia en cambios en la biodiversidad y el paisaje. El fenómeno está relacionado con el abandono de la actividad ganadera extensiva y el pastoreo, que tiene a su vez que ver con dimensiones socioeconómicas y políticas, tanto de alcance local como global –despoblamiento y envejecimiento del medio rural, cambios en los estilos de vida, pérdida de valor de los productos debido a la competencia con la ganadería intensiva, políticas públicas que no apoyan al sector, conflictos con la gestión del territorio,...-. Así, no es un tema directa o estrechamente relacionado con el cambio climático, pero sí un tipo de factor a tener en cuenta en muchos territorios y cuya influencia en términos de biodiversidad es relevante. Además, puede tener una relación directa con otros impactos y efectos que el cambio global puede estar ejerciendo sobre las áreas de montaña.

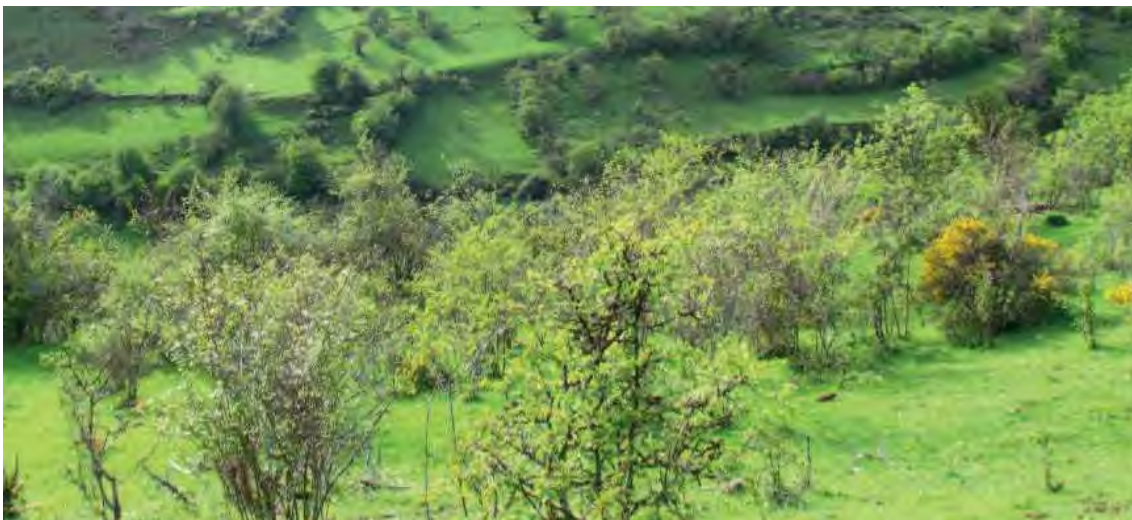


El proyecto '[Modelización de la matorralización de los pastos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su relación con el cambio global](#)' [OAPN08] se detiene sobre este tema, analizando cómo la migración desde los pueblos y áreas rurales a las grandes urbes industrializadas ha provocado una disminución de la presión de la ganadería y, por tanto, la invasión de especies leñosas en los pastos. Una de las especies que presenta una mayor influencia en la reducción de los pastos es el erizón, *Echinopartum horridum*, debido a su capacidad de expansión, formando grandes y densas manchas monoespecíficas que pueden cubrir varias hectáreas, y donde sólo unas pocas especies sobreviven en los pequeños claros. La dinámica de la población sugiere que

la colonización del erizón continuará en los pastos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, por lo que se simularon diferentes escenarios de gestión consistentes en un gradiente de pastoreo y de quemas controladas para identificar diferentes situaciones de control de la expansión del erizón en los pastos.

«La matorralización de los pastos montanos y subalpinos es una de las amenazas más importantes que está sufriendo las zonas de alta montaña como consecuencia de los cambios de uso y climáticos. En los últimos 30 años, la lignificación de la vegetación de los pastos alpinos ha alcanzado una tasa de incremento de un 47% debido al abandono de la actividad rural. Es probablemente uno de los procesos de sucesión vegetal más importantes que afectan a la estructura y funcionamiento del ecosistema reduciendo la productividad de los ecosistemas pastorales así como su diversidad. Las causas que producen o aceleran esta transformación se han asociado generalmente al abandono de la tierra, y al aumento de las temperaturas aunque desconocemos la importancia relativa de cada uno de estos factores por separado.

Hemos simulado el control de la expansión del erizón en 30 años por medio de quemas prescritas y pastoreo. Hemos calculado la tasa de expansión según diferentes escenarios de quemas y pastoreo. Los resultados muestran que se debe quemar el 10% de la superficie de erizón cada 8 años para mantener su densidad bajo control. No se ha tenido en cuenta en el modelo el efecto negativo que el fuego recurrente pueda tener en los microorganismos del suelo y en el aumento de la erosión. Para reducir los efectos negativos del fuego es recomendable que vaya asociado a pastoreo después de la quema, para destruir las plántulas de erizón que germinan tras la quema. Cuando en la simulación introducimos quema y pastoreo, se observa que una quema del 2% de erizón cada 8 años asociado a una intensidad de pastoreo que destruya el 90% de las semillas germinadas de erizón sería suficiente para evitar el aumento del erizón en el PNOMP».



---

### La productividad, estacionalidad y fenología de la vegetación, observada mediante teledetección

---

El desarrollo de programas de seguimiento que permitan una rápida evaluación de las condiciones de las áreas protegidas frente a los efectos del cambio global representa un reto. Para los autores/as del proyecto '[Efectos del cambio global sobre el funcionamiento de los ecosistemas de la Red de Parques Nacionales españoles: impactos recientes y desarrollo de un sistema de seguimiento](#)' [OAPN10], entre otros, el uso de la teledetección puede ser una herramienta útil, ya que a partir de índices espectrales relacionados con el intercambio de materia y energía entre la vegetación y la atmósfera, se pueden derivar atributos que informan sobre la integridad de los ecosistemas a escala regional y a través de largas series temporales, ofreciendo una respuesta a más corto plazo que la estructura de la vegetación.



Comenzaron evaluando los parques de la Península Ibérica con imágenes de resolución grosera y largas series temporales (AVHRR) y, a pesar de la variabilidad observada en la respuesta de los atributos funcionales a lo largo de los diferentes Parques, encontraron un patrón de cambios importantes en su productividad, estacionalidad y fenología en los últimos 25 años: la interceptación de radiación fotosintéticamente activa (un subrogado de la productividad primaria) está aumentando, la estacionalidad está disminuyendo, y la fenología del máximo y del mínimo de radiación interceptada se están adelantando en el año. A partir de la experiencia acumulada, y gracias a la disponibilidad de imágenes de mayor resolución espacial y frecuencia temporal (MODIS) proponen un sistema de seguimiento y alerta que permitirá proporcionar datos de forma periódica, sistemática y homogénea del estado de los ecosistemas mediante una metodología estandarizada para cualquier zona.

«Existen índices espectrales derivados de sensores remotos que están conectados con variables funcionales de los ecosistemas tales como la productividad primaria neta, la evapotranspiración, la temperatura superficial o el albedo. Entre los más importantes se encuentran los índices de vegetación (IV) como el NDVI (por sus siglas en inglés, *Normalized Difference Vegetation Index*) y el EVI (*Enhanced Vegetation Index*) que han sido satisfactoriamente empleados para describir los patrones regionales de la productividad primaria neta, el descriptor más integrador del funcionamiento ecosistémico.

Los sensores satelitales más utilizados para el seguimiento de IV a escala global y regional son MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) y AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*). Estos sensores proveen imágenes totalmente gratuitas que responden a diferentes series temporales, por lo que aunque las imágenes del sensor AVHRR son de menos detalle, su uso es adecuado dado que están disponibles desde principios de los 80.

Los análisis realizados mostraron tendencias significativas no sólo en el valor del NDVI global, sino también en diferentes indicadores funcionales de la productividad, estacionalidad y fenología, y en la forma de la curva anual de NDVI. Estos resultados sugieren que también la estacionalidad y fenología del verdor de la vegetación han experimentado cambios importantes. Como patrón general, en todos los parques la interceptación de radiación (productividad) tendió a aumentar, el contraste entre la estación de crecimiento y de reposo (estacionalidad) tendió a disminuir, y las fechas de máxima y mínima interceptación (fenología) tendieron a adelantarse en el año. Por otro lado, las tendencias negativas tendieron a ocurrir en la época del año con alto NDVI, mientras que las tendencias positivas acontecieron en los periodos del año con valores de NDVI entre moderados y bajos».



## Algunas variables climáticas que se han demostrado relevantes en los diferentes proyectos de investigación

En el proyecto 'Elementos preliminares para una evaluación del cambio climático en el Parque Nacional de los Picos de Europa' [FB05] se partió de la evolución climática observada en la precipitación y la temperatura en el área del Parque Nacional de los Picos de Europa (PNPE) en las últimas décadas, incluyendo el análisis de los datos suministrados por algunos modelos de circulación general (GCM) en sus nodos más próximos a la región, con el objetivo de evaluar la necesidad de aplicar procedimientos de reducción de escala (*downscaling*) para obtener proyecciones sobre el clima esperado en el siglo XXI en dicha región.

Se han identificado patrones de evolución del valor medio estacional de Tmax y Tmin y de la precipitación acumulada estacional. Respecto a la evolución de la precipitación, se distingue un comportamiento diferenciado en las vertiente Norte y Sur del territorio que puede tener elementos comunes, como el cambio de tendencia en los 90 en invierno o la evolución decreciente en verano.

«En las estaciones que rodean al PNPE no se observa ninguna evidencia de que se esté produciendo una disminución generalizada de la precipitación. La fase descendente más prolongada, al Norte y al Sur, se produce en verano con una tasa en torno al -1% anual desde 1973. En la vertiente Sur se observa un incremento del valor medio de la precipitación acumulada en otoño que hace que el nivel medio actual sea, en las 3 series más breves, el máximo observado. En los índices de carácter extremo se aprecian cambios congruentes con la evolución observada en el nivel medio: disminución en verano del número de días con precipitación sobre el percentil 90 (R90N) y, en otoño, de la duración de la mayor racha de días secos consecutivos (CDD), así como el incremento de este último índice en primavera.

La evolución de la temperatura máxima es compleja. En el periodo analizado tiene fases de calentamiento pero también fases descendentes y de estabilidad. En el intervalo temporal disponible, 1955-2008, no encontramos evidencia, salvo en Tama, de un proceso de calentamiento sostenido.

En la variable Tmin se observa, en ambas vertientes, un incremento generalizado del valor medio y de sus índices extremos desde los años 70, de modo que los suavizados en la última época se sitúan, frecuentemente, en valores máximos o próximos al máximo de todo el periodo analizado.

En el periodo analizado se observan disminuciones estadísticamente significativas en el número de días de helada (Fd) en invierno, primavera y otoño en todos o en la mayoría de los observatorios.



Ninguno de los 3 modelos analizados ECHAM5 (2 trayectorias), CGCM3 y MIROChi reproduce las características de la precipitación diaria observada. Los GCM no reproducen las características de las distribuciones de los valores de Tmax y Tmin pero se obtiene una reproducción adecuada de sus distribuciones globales una vez corregido el sesgo en el valor medio, en el caso de Tmin, y también en variabilidad, para Tmax».



En el '[Estudio del efecto del cambio global sobre la nieve y la hidrología de alta montaña en el Parque Nacional de Sierra Nevada](#)' [FB16], se planteó un método de *downscaling* a partir del modelo ECHAM5 y un procedimiento de validación con datos de 1960 a 2000, periodo en el cual se compararon las series de precipitación y temperatura en una escala anual. En términos globales, la precipitación anual está experimentando una tendencia decreciente, acotada en aproximadamente -4 mm/año como media en 40 años, con diferencias locales. Estos cambios conllevan una disminución en la precipitación anual en forma de nieve (-1 mm/año como media en 40 años) y en el número de días al año con presencia de nieve en la zona (-0,3 días/año como media en 40 años), con una variabilidad anual muy elevada, lo que conlleva la necesidad de series extensas -de al menos tres décadas- para poder efectuar un análisis de tendencias. También se detecta un incremento de la torrencialidad en el régimen de precipitación y de precipitación en forma de nieve. El conjunto de los datos ocasionan una pérdida del equivalente de agua global en la zona de estudio.

El proyecto '[Interacción planta-herbívoro y dinámica poblacional de la procesionaria del pino en el Parque Nacional de Sierra Nevada en el marco del cambio global](#)' [OAPN13] se centra en los efectos que el clima, la calidad de la planta como alimento y los depredadores y patógenos ejercen sobre la dinámica poblacional de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*), en combinación con la expansión -debida posiblemente al incremento de temperaturas- que la especie está experimentando. Al menos durante el período 1992-2009 los mínimos poblacionales de la procesionaria han estado precedidos por años de mínimos en los valores invernales de NAO (Oscilación Atlántico Norte), una relación que es más fuerte en los pinos que viven a altitudes medias y altas, como los de las montañas de Sierra Nevada. Todo indica que, en un suelo más frío, las larvas no son capaces de mudar de larva a pupa, y en el suelo más abundante en mantillo del matorral y el bosque, éstas son atacadas por hongos y nematodos sin llegar a pupar, lo que en verano se ve reflejado en una escasísima salida de mariposas. Además, aunque se descarta una relación directa de la presencia de procesionaria con la temperatura, sí existe tal relación con la humedad del suelo.



## 6

### SOBRE LA INVESTIGACIÓN EN TORNO AL CAMBIO GLOBAL EN PARQUES NACIONALES: ALGUNAS IDEAS A CONSIDERAR

A la vista de los resultados y conclusiones de los estudios de investigación analizados, se derivan algunas propuestas e ideas que puede ser interesante tener en cuenta de cara al futuro:

**1] Procurar el desarrollo de proyectos que formen parte de –o cuyos investigadores están integrados activamente en- redes estatales, europeas o internacionales de calidad, ya sean de referencia o innovadoras, en las que los resultados obtenidos puedan ser compartidos, sumados, contrastados o comparados con otros semejantes y, en definitiva, puestos en valor a una escala mayor y más significativa que la estrictamente local.**

Es el caso, por ejemplo, del estudio 'El cambio climático en Sierra Nevada a partir de escenarios fitocenológicos, especies y comunidades vegetales indicadoras y la evaluación de la actividad biológica de los suelos en el piso criomediterráneo (ciclos de C y N)' [OAPN01], enmarcado en el contexto de la iniciativa **GLORIA** (*Global Observation Research Initiative In Alpine Environments*), que ha permitido y permite dotar a los proyectos realizados en este contexto de mayor alcance y rendimiento tanto en términos de investigación<sup>1,2</sup> como de comunicación<sup>3,4</sup> y, en consecuencia, de una mayor eficiencia y eficacia para la comunidad científica y la sociedad en su conjunto.

«El propósito de GLORIA es establecer y mantener una red de observación a largo plazo en todo el mundo en ambientes alpinos. Los datos de vegetación y temperatura recogidos en

1] Pauli, H. et al. (2012) Recent Plant Diversity Changes on Europe's Mountain Summits. Science 20 Apr 2012: Vol. 336, Issue 6079, pp. 353-355

2] Gottfried, M. et al. (2012) Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. Nature Climate Change 2, 111-115

3] 'El calentamiento global obliga a 'trepar' ladera arriba a las flores del sur de Europa'. El Mundo, 20/04/12

4] 'Plantas que atacan la cima'. La Vanguardia, 24/04/12

los sitios GLORIA se utilizan para detectar tendencias en la biodiversidad y la temperatura. Los datos son útiles para evaluar y predecir pérdidas en la biodiversidad y otras amenazas para estos frágiles ecosistemas alpinos que se encuentran bajo las presiones aceleradas del cambio climático.

Sus objetivos son los siguientes:

- a) El intercambio de documentación sobre los cambios en la biodiversidad y los patrones de vegetación causados por el cambio climático en los ecosistemas de alta montaña del mundo. GLORIA tiene como objetivo la recogida y seguimiento de datos de alta calidad a través de una red de monitoreo sobre el terreno y una red de sitios de investigación, ambas de carácter permanente y a nivel mundial.
- b) La evaluación y el seguimiento de los impactos sobre el hábitat y la biodiversidad inducidos por el cambio climático y los efectos asociados sobre el funcionamiento de los ecosistemas. La elaboración de modelos y proyecciones válidos en materia de biodiversidad requiere datos de alta calidad.
- c) La contribución de GLORIA al conjunto de esfuerzos a nivel internacional para mitigar los impactos sobre la biodiversidad y los hábitats. Esto implica la integración de GLORIA en iniciativas de carácter más amplio y global en materia de investigación sobre el cambio global, mediante la cooperación con otros programas y proyectos, la difusión y transferencia de información a no-expertos y el incremento de la conciencia pública».

Para conocer los espacios y lugares incluidos dentro de la iniciativa GLORIA se puede con-



sultar su [página web](#).

**2] Realizar proyectos cuya metodología tenga en cuenta el análisis de datos procedentes de estudios similares realizados en el pasado, con el objetivo de poder ir disponiendo de estudios comparativos que permitan avanzar algunas conclusiones sobre los efectos ya perceptibles del cambio climático.**

El proyecto '[Geoindicadores de alta montaña y cambio global: análisis y control de indicadores geomorfológicos en el Parque Nacional de los Picos de Europa](#)' [OAPN03] se inscribió en la línea de investigación de la red UE-CRYOSLOPE, aprobado por la [European Science Foundation \(ESF\)](#) y promovido desde la [International Permafrost Association \(IPA\)](#). Esta red tiene como objetivo

coordinar y promocionar redes de monitorización, la comprensión de la evolución de las laderas de montaña, su respuesta a los cambios climáticos y favorecer el desarrollo de nuevas aplicaciones (sensores remotos, geofísica, control de cambios, monitorización ambiental, etc.).

«En el Parque Nacional de los Picos de Europa se aprecia una zona alta -por encima de 2.200 metros- en la que la intervención del hielo es significativa y han existido glaciares en épocas históricas, mientras por debajo de los 1.800 metros los procesos son más atenuados y asociados a la nieve. En altitud existen masas de hielo residual, los heleros, en los que se ha constatado la pérdida rápida de hielo, caracterizada por fases de rápidas pérdidas asociadas a condiciones de baja innivación y veranos cálidos y periodos de equilibrio sin variaciones en la masa de los heleros.

Fuentes históricas y estudios geomorfológicos señalan la existencia de glaciares en los Picos de Europa durante la Pequeña Edad del Hielo. En el Jou Transllambrión diferentes fuentes constatan la existencia de un glaciar hasta principios del siglo XX, con una extensión de 6,1 ha, cobijado al norte. Durante el siglo XX y la primera década del XXI ha sufrido una paulatina pérdida de masa hasta quedar reducido a un pequeño lentejón de 1,4 ha. Entre 1996 y 2008 el helero perdió un 76% de su masa, quedando relegado a una pequeña mancha de hielo adosada al pie de la pared. Durante este periodo, la pérdida anual de masa se situaría en el 4,2%, aunque el ritmo de fusión no sería constante, pues durante los años 2009 y 2010 no se percibió ninguna reducción. Así pues, el helero se encuentra en una situación crítica en la que la sucesión de dos o tres veranos favorables a la fusión pueden conducir a corto plazo a la total desaparición del hielo».

Este proyecto tuvo continuidad en el estudio '[Criosfera y cambio global en espacios naturales protegidos: control de procesos geomorfológicos asociados a la nieve y el hielo como geoindicadores de cambio ambiental en el Parque Nacional de los Picos de Europa](#)' [OAPN21], entre cuyos objetivos estuvo la aplicación de técnicas innovadoras para la auscultación de procesos y formas y el estudio de aspectos nuevos relativos a la criosfera, como la nieve y el hielo en cavidades.

«Para el conjunto del glaciar del Jou Negro se ha establecido una pérdida del 60% de su superficie aflorante durante los últimos 30 años, y entre 10 (zona baja) y 50 (zona alta) metros de adelgazamiento del hielo. Para el periodo controlado (2007-2008) se ha registrado una pérdida del 7,6% de la superficie, concentrada prioritariamente en la porción superior. Se ha detectado un movimiento del helero, que denota procesos de deslizamiento, con adelgazamiento en la porción superior y engrosamiento en la inferior, sin deformaciones de flujo ni cambios en las estructuras glaciares visibles. En conjunto, el helero muestra una rápida respuesta anual y cambios en su disposición, recubrimiento y pérdida de la masa de hielo, relacionados con diversos procesos geomorfológicos del entorno y de la propia masa de hielo. Queda pendiente de confirmar si esta respuesta es continua, señalando una activa dinámica con cambios muy rápidos, o puede estar en relación con años favorables para la fusión, la presencia de agua en las paredes, sobre el hielo y bajo el hielo que denotan una actividad extraordinaria, si bien la tendencia general de retroceso, pérdida de masa y recubrimiento queda constatada.

En conjunto se ha detectado que las cuevas heladas perdieron masa de hielo en los años analizados, aunque en algunos bloques existe un rango de incertidumbre entre las cifras de pérdida y las de hundimiento. Las aportaciones estivales al ciclo hidrológico son efectivas, aunque no se han podido estimar cifras de aportación a los caudales subterráneos».

La tendencia general de la población durante la segunda mitad del siglo XX ha sido su migración desde los pueblos y áreas rurales a las grandes urbes industrializadas. Como consecuencia de este fenómeno y otras causas económicas y relacionadas con los modelos productivos, la presión de la ganadería ha ido disminuyendo, dando lugar a la matorralización de los pastos y praderas. En el proyecto '[Modelización de la matorralización de los pastos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su relación con el cambio global](#)' [OAPN08] se comparan imágenes de satélite de 1989, 1998 y 2007 y fotografías aéreas de 1957, 1981 y 2003, revelando un incremento del bosque y del matorral y una disminución de la superficie de pastos en ese Parque Nacional.

«El proyecto ha reconstruido la evolución de los censos ganaderos durante el último siglo, lo que deja ver claramente un fuerte descenso de la carga ganadera, sobre todo a partir de los años 90. A partir de esas fechas, en el sector oriental la carga ganadera se ha mantenido al mismo nivel, mientras que en el sector occidental el descenso continúa, aunque de manera más lenta.

Los pastos densos se han reducido en un 6% en estos 50 años, pasando de ocupar un 37% de la superficie del Parque a ocupar un 31% en la actualidad, con un aumento correlativo de matorrales y bosques. A su vez, la proporción de matorrales disminuyó frente al bosque, cuya superficie aumentó un 7%. En proporción relativa, el erizón es la especie leñosa que aumentó más, duplicando su superficie en los últimos 46 años (270 frente a 530 ha). A pesar de eso, los pastos tienen una relativa inercia a los cambios y las parcelas de exclusión del ganado muestran cambios de cobertura vegetal pero no de sustitución de especies.

En términos más generales, la matorralización de los pastos es una de las transformaciones más claras que están sufriendo las zonas de alta montaña como consecuencia de los cambios de uso. En los últimos 30 años, la lignificación de la vegetación de los pastos alpinos ha alcanzado una tasa de incremento de un 47% debido al abandono de la actividad rural. Es probablemente uno de los procesos de sucesión vegetal más importantes que afectan a la estructura y funcionamiento del ecosistema, reduciendo la productividad de los ecosistemas pastorales así como su diversidad».

En el proyecto '[Diversidad, estrategias vitales y filogeografía de especies sensibles al cambio climático: tricópteros en el Parque Nacional de Sierra Nevada](#)' [OAPN06] se ha estudiado el orden Trichoptera -especialmente adecuado para reflejar la intensidad de diferentes factores estresantes en ecosistemas acuáticos- con el fin de utilizarlos como sensores del cambio climático.

«Los resultados muestran que la temperatura media del agua de los ríos de Sierra Nevada ha aumentado en unos 2°C en los últimos 20 años, lo cual ha ido acompañado de un aumento de la riqueza de especies de tricópteros. Este aumento ha sido más acentuado al incrementar la altitud, presentando un máximo en altitudes intermedias, como consecuencia de la ampliación del rango de distribución de especies de tramos medios hacia cotas más elevadas y de colonización desde sierras próximas.

El incremento de riqueza observada y su asociación con las condiciones ambientales sugiere que las montañas con un gradiente altitudinal considerable puede actuar como refugios para especies y poblaciones durante periodos de cambio climático, lo que potencia la importancia de la conservación de los hábitats de montaña.

La fenología de algunas especies se puede estar viendo afectada mediante un adelanto de la emergencia de adultos en las especies primaverales y un retraso en las otoñales. Cambios en las estrategias vitales de los organismos, como los cambios fenológicos, son uno



de los efectos ecológicos observados en varios grupos animales, aunque hay aún pocos trabajos en invertebrados acuáticos en los que se haya documentado.

Ante el cambio climático se prevé un desplazamiento en el rango de distribución de aquellas especies que presenten adaptaciones fisiológicas ante las nuevas condiciones ambientales y capacidades dispersivas hacia nuevos hábitats más favorables. Especies como *Allogamus mortoni* y *Stenophylax nycterobius* no presentaban hace 20 años una distribución tan amplia en las cotas estudiadas de Sierra Nevada. Estas especies son típicas de cabeceras y tramos medios de sistemas montañosos calcáreos en la región mediterránea, donde se distribuyen a altitudes más bajas de las encontradas actualmente en Sierra Nevada. El estudio del ciclo de vida de *S. nycterobius* ha puesto además de manifiesto un cambio en la estrategia vital de esta especie que le permite sobrevivir en localidades como las lagunas de Sierra Nevada: los adultos emergen en septiembre y no migran a cuevas ni sufren diapausa estival».

### **3] Incluir en los proyectos, entre sus conclusiones y resultados, la identificación clara de descriptores o indicadores de cambio global y el establecimiento de protocolos o procedimientos adecuados para su seguimiento en el futuro, más allá de la duración del estudio.**

Como ejemplo de ello, dentro del proyecto '[Estrategias de supervivencia ante el cambio global. Las especies de efemerópteros y plecópteros del Parque Nacional de Aigüestortes como paradigma](#)' [OAPN09] se incluyen las siguientes conclusiones y propuestas de seguimiento:

«La gran velocidad de respuesta observada de las especies de plecópteros y efemerópteros ratifica nuestra hipótesis de partida que consideraba a ambos órdenes de insectos como buenos indicadores del cambio climático y del cambio global. También va a condicionar y justifica la periodicidad del seguimiento de algunas de las métricas que se proponen, sí además se tienen en cuenta las predicciones hechas en 2010 por el Servicio Meteorológico de Cataluña, que prevé un incremento entre 4 y 6° C de la temperatura media anual del aire y una reducción en un 30% de las precipitaciones anuales en Pirineos para finales de este siglo.

Si las predicciones climáticas se cumplen se esperan importantes cambios en la biodiversidad de plecópteros y efemerópteros, como la eliminación de las especies estrictamente estenotermas frías de plecópteros, que en el PN-Aigüestortes representan aproximadamente el 25% de las especies que lo habitan actualmente. También pueden llegar a desaparecer las especies más reófilas de efemerópteros y las estenotermas frías de este orden. De modo que el escenario probable plantea «a priori» una importante pérdida de especies, que implicaría la desaparición/extinción de algunas de ellas.

A la hora de seleccionar métricas para el seguimiento de la evolución de las comunidades fluviales en el PN-Aigüestortes se han tenido en cuenta las características bioindicadoras de especies y taxones según varios criterios:

- Especies estenotermas frías indicadoras de cambio climático: *Isoperla acicularis acicularis*, *Perlodes intricatus*, *Perla grandis*, *Arcynopteryx compacta* y *Taeniopteryx hubaulti* (las 2 últimas serían de las primeras en extinguirse en los Pirineos y todas verían retroceder su límite altitudinal inferior).
- Especies más euritermas indicadoras de cambio climático: *Serratella ignita*, *Perla marginata* y las especies de *Caenis* (todas ellas podrían colonizar tramos superiores).
- Endemismos pirenaicos con distribuciones restringidas en la vertiente sur (España y Andorra): *Pachyleuctra bertrandi*, *Pachyleuctra benllochi* y *Protonemura vandeli* (todas ellas son especies para las que actualmente se conocen entre 2 y 6 localidades únicamente y que deberían considerarse en peligro para España).
- Especies indicadoras estenotermas frías y reófilas estrictas, indicadoras del aumento de la temperatura y de la reducción de caudales/precipitaciones (indicadoras de cambio global



incluido el cambio climático): especies del género *Rhithrogena*. Algunas pueden desaparecer al tiempo que se describen para la ciencia, a menos que se realice una gestión de caudales acorde con criterios de conservación y no únicamente de explotación.

- La presencia de hemocianina como ventaja adaptativa ante el cambio global en especies de plecópteros.
- La amplitud de la dieta en plecópteros depredadores y la labilidad en el uso de recursos tróficos distintos por especies de ambos órdenes como ventajas adaptativas ante el cambio global.

Se proponen las siguientes métricas y actuaciones:

- 1) Riqueza de plecópteros, valoración cada 5 años en las cuencas de los ríos Escrita y Sant Nicolau.
- 2) Densidades relativas de las especies de *Perlidae*, valoradas anualmente en 5 tramos de la cuenca del río Sant Nicolau que abarquen el rango altitudinal de sus cauces permanentes (1.400 y 2.300 m).
- 3) Distribución y estado de las poblaciones actuales de los dos grupos de especies de *Rhithrogena* que se conocen en el PN-Aigüestortes, comprobándose la incidencia de sus parásitos quironómidos en ellas. Seguimiento anual, sin extracción definitiva de los individuos que se capturen.
- 4) Seguimiento de las especies relictas *Arcynopteryx dichroa* y *Taeniopteryx hubaulti* en riesgo de extinción en Pirineos, con periodicidad anual o bianual mediante capturas no extractivas definitivas.
- 5) Seguimientos anuales de poblaciones de especies emblemáticas, endemismos pirenaicos con distribuciones restringidas en la vertiente sur (España y Andorra): *Pachyleuctra benllochi*, *Pachyleuctra bertrandi* y *Protonemura vandeli*.

Las tres primeras métricas que se proponen pueden ser utilizadas en seguimientos para conocer y valorar el impacto del cambio climático y del cambio global en ecosistemas fluviales de alta montaña pertenecientes a otros parques nacionales.

Para permitir que las capturas y el seguimiento no diezmen las poblaciones de las especies que se proponen, los muestreos deben hacerse mediante captura y liberación de los ejemplares capturados (capturas no extractivas definitivas). Para ello es preciso que los taxones seleccionados puedan identificarse «in situ». Con este objetivo se están elaborando actualmente fichas de especies que incluyen el material fotográfico necesario para permitir las identificaciones en el campo con una lupa de mano. También se están desarrollando protocolos sencillos para facilitar las capturas de las especies seleccionadas, que incluyen en qué hábitats muestrear, cómo muestrear y cuándo hacerlo, con el único objetivo de no arrasar los ecosistemas que deben controlarse».

**4] Procurar incorporar a los proyectos de investigación una comunicación fluida con los/as gestores de los parques nacionales e incluir, entre sus conclusiones y resultados, recomendaciones de gestión que puedan ser útiles para minimizar o reducir los impactos esperados y no deseados del cambio global sobre la biodiversidad, el paisaje o el territorio.**

Es importante reforzar los canales de comunicación entre investigadores/as y gestores/as y desarrollar instrumentos que permitan generar vínculos más profundos y sólidos. Una de las vías para lograrlo, además de la organización de espacios y foros de encuentro y debate, es potenciar la inclusión de recomendaciones de gestión en los proyectos de investigación -sobre cambio global, en este caso- que se desarrollan en parques nacionales. Un ejemplo nos lo ofrece el estudio '[Interacción planta-herbívoro y dinámica poblacional de la procesionaria del pino en el Parque Nacional de Sierra Nevada en el marco del cambio global](#)' [OAPN13], que se centra en los efectos que el clima, la calidad de la planta como alimento y los depredadores y patógenos ejercen sobre la dinámica poblacional de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*), en combina-



ción con la expansión -debida posiblemente al incremento de temperaturas- que la especie está experimentando. El estudio se llevó a cabo en el Parque Nacional de Sierra Nevada y su entorno, que ofrece una inmejorable oportunidad para estudiar estos fenómenos, gracias a sus abundantes pinares, naturales y repoblados, y a su gradiente altitudinal, que permite estudiar los movimientos de la procesionaria en una escala manejable. Los autores sugieren que el control de la procesionaria debe pasar más por una gestión adecuada de los pinares -que contribuyan a hacerlos más resistentes a la procesionaria- que por medidas paliativas de tipo fumigación, ya que éstas no se muestran efectivas frente a la dinámica de la mariposa, además de ser menos adecuadas en el marco de un espacio protegido. Incrementar la diversidad de las repoblaciones favoreciendo a especies de frondosas, reducir las zonas de suelo desnudo -por ejemplo, mediante la promoción de los matorrales-, y ayudar a los enemigos naturales de la procesionaria, pueden ser medidas eficaces.

«El estudio ha permitido determinar que la defoliación previa de los pinos no parece constituir un factor relevante en el colapso de las erupciones poblacionales; en cambio, el microhábitat en el que se entierran para pupar determina en gran medida tanto la tasa de emergencia de mariposas como su fenología. Los resultados obtenidos apuntan a que, entre los factores bióticos, los depredadores y parasitoides representan un factor de mayor entidad que la respuesta inducida en la planta tras la defoliación y que los factores abióticos (en concreto la NAO y sus efectos climáticos asociados) desempeñan también un importante papel, mayor cuanto mayor es la altitud a la que se sitúa el pinar, en la dinámica poblacional de la procesionaria.

Hay muchas medidas de gestión forestal que permiten disminuir la susceptibilidad de los pinares a la procesionaria. La primera y principal, que ya se viene aplicando desde hace tiempo, es favorecer la heterogeneidad ambiental en los pinares de repoblación incrementando la proporción de árboles y matorrales caducifolios, en especial en las lindes de los rodales, en donde la procesionaria ataca más. Hemos visto cómo los matorrales no son un buen sustrato de pupación, por lo que podrían usarse para empeorar las condiciones de vida de la procesionaria en las zonas de borde de bosque, aquellas que prefiere para atacar. Tales medidas son especialmente relevantes en los planes de recuperación de la diversidad en nuestras zonas protegidas en los últimos años. Igualmente, es necesario el reforzamiento de las poblaciones de parasitoides y aves insectívoras que contribuirían a

estabilizar las poblaciones de procesionaria, aunque como hemos visto la aplicación de estas medidas es igualmente dependiente del entorno: los parasitoides son más escasos a altitudes elevadas, y por tanto en estas áreas los esfuerzos deben encaminarse al manejo del hábitat o de las densidades de aves».

**5] Incluir como resultado de los proyectos y difundir adecuadamente resúmenes de carácter divulgativo, orientados a comunicar al público en general las principales claves del estudio: el contexto y su relación con el cambio global, los objetivos perseguidos y los principales resultados y conclusiones alcanzados**

El cambio global y su seguimiento, así como el éxito de las estrategias y políticas públicas de mitigación y adaptación tienen una fuerte relación con el conocimiento que el público va teniendo del problema y con el tipo de información que llega a la sociedad sobre las diferentes cuestiones y aristas a las que este asunto nos enfrenta. Es por ello esencial disponer de material suficiente para la comunicación pública que relate, con el suficiente rigor y calidad, pero también con un lenguaje accesible y claro, las conclusiones y resultados que los/as investigadores van obteniendo en los



diferentes ámbitos de trabajo sobre los que se está incidiendo. Así, los miembros de la Red de Seguimiento del Cambio Global y los propios parques nacionales podrán ir contando con material suficiente para trasladar al público algunas de las claves de la cuestión y, también, poder transmitir el trabajo que se está realizando tanto para mejorar nuestro conocimiento sobre el tema como para, en su caso, abordarlo.

**6] Realizar proyectos de investigación que aborden temáticas relacionadas con la gobernanza, la colaboración ciudadana o metodologías que incorporen la participación de la población, ya sea en la obtención de datos, en la reflexión colectiva sobre el futuro del territorio, el paisaje o la biodiversidad o en la puesta en marcha de estrategias y medidas de adaptación, etc.**

El cambio global es un problema de todos y abordarlo adecuadamente también es una cuestión colectiva. Es por ello que es importante abrir cuantos canales sea posible para que la población esté informada y sea consciente del problema y sus efectos –tanto ambientales como socioeconómicos-, pueda reflexionar sobre ello, participe activamente de las posibles soluciones, etc. Un ámbito de actuación en esta línea, más allá de la información y la comunicación, es la participación y la colaboración activa, que puede articularse de muy diferentes formas, incluyendo el conjunto de acciones que encajan en el ámbito del voluntariado y la ciencia ciudadana, las diversas técnicas

y herramientas para el diagnóstico colectivo y el análisis de la realidad, el diseño participativo de medidas de conservación y gestión, etc.

Obviamente no todos los proyectos de investigación pueden abrirse con facilidad a la participación de la sociedad, y esto es algo que tampoco debe hacerse de una manera forzada e inapropiada, pero es interesante –cuando el ámbito de trabajo o su enfoque lo permita– ir explorando vías, instrumentos y acciones que trabajen en esa dirección.

A modo de ejemplo, el proyecto 'Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada, fase III: Recopilación de información histórica sobre aspectos estructurales y funcionales de la red de EMIs' [FB15] se planteó como objetivo llevar a cabo una recopilación de información relevante sobre cambios en la cubierta vegetal en Sierra Nevada y poner en valor la información disponible en fuentes muy diversas, tales como documentos históricos de trabajos de campo antiguos, cartografías, catastros, etc., con el fin de integrar estos datos en el sistema de información del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada. En el caso concreto de la información sobre la evolución de la cubierta vegetal, la idea era generar una serie temporal lo más completa posible de las formaciones vegetales que han ido ocupando Sierra Nevada desde tiempos históricos, así como los usos del suelo y el aprovechamiento de recursos naturales, para lo cual se utilizaron los planes de aprovechamiento de los montes, datos procedentes de las subastas municipales, el SIGGAN<sup>5</sup> y el SAGA<sup>6</sup> y la obtención de información a partir de los activos sociales, en particular a partir de entrevistas con ganaderos jubilados y en activo, consultas a expertos y talleres de cartografía participativa.

«En el acervo popular de cada lugar existe una extensa cantidad de información que nos puede ayudar a entender y reconstruir el estado de la vegetación en el pasado, así como



los usos que se llevaron a cabo en el territorio. Para la realización de esta parte del trabajo se llevaron a cabo una serie de entrevistas semiestructuradas con una selección de informantes de interés en base a criterios de edad, profesión y capacidad de aportar información al proyecto. La información aportada por los diferentes informantes mostró un alto grado de coincidencia, aunque el taller final de cartografía participativa fue muy útil para poder corregir algunas discrepancias, así como para brindar la oportunidad de que apareciera información nueva, como resultado del debate y la puesta en común».

5] Sistema de Información y Gestión Ganadera en Andalucía.

6] Sistema de Aprovechamientos Ganaderos de Andalucía, referido a los montes de aprovechamiento público.

El proyecto '[Diseño de una aplicación y una plataforma experimental de recepción y recopilación de datos de 'ciencia ciudadana' integrada en el Observatorio de Seguimiento de Cambio Global de Sierra Nevada](#)' [FB17], por su parte, se orientó a fomentar la difusión y la captura de información de Sierra Nevada a través de dispositivos móviles mediante el diseño e implementación de un procedimiento para incorporar y distribuir información de diversos ámbitos temáticos al Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada. Este procedimiento consta de una plataforma que permite a cualquier tipo de usuario (científico, gestor, ciudadano e incluso sensor automático) suministrar información de diversos ámbitos temáticos (hidrología, fenología, biodiversidad, etc.) a través de dispositivos móviles. Ello permite adaptar los objetivos planteados al concepto de 'ciencia ciudadana'. Así, los productos desarrollados contribuirán a aumentar el número de usuarios del Observatorio mediante la fidelización de sus miembros gracias a las campañas periódicas de captura de información y mejorar la cantidad de personas implicadas en el Observatorio y que son potenciales usuarios de los datos que éste genera. Además, se diseñaron, a modo de experiencia piloto, algunas campañas tipo para la captura de información multitemática sobre Sierra Nevada: es el caso de las campañas 'Mariposeando por Sierra Nevada', '¿Qué plantas están floreciendo en Sierra Nevada?' o 'Ayúdanos a combatir la sarna de la cabra montés'.

«La Ciencia Ciudadana (CC) es una forma de *crowdsourcing* en la cual se solicita a un público general la colaboración para la recogida de datos con fines científicos y, generalmente, con un objetivo de monitorización o vigilancia en una amplia escala espacial y/o temporal. Esto posibilita investigaciones que de otra manera no serían viables debido a limitaciones económicas, temporales o espaciales. Además, y tal y como es el caso del presente proyecto, la CC puede tener una función principalmente educativa y de concienciación en temas ambientales. Aunque tradicionalmente la CC ha estado ceñida a los campos de la ornitología y la astronomía, hoy en día existen numerosos proyectos en otras disciplinas, siendo la ecología una de ellas. Un ejemplo de referencia en programas que implican CC es [eBird](#), una iniciativa que recopila entre 2 y 3 millones de datos mensualmente. Otro ejemplo interesante es el [UK Butterfly Monitoring Scheme](#), un proyecto que pretende recopilar datos sobre la presencia de 71 especies de mariposas en Reino Unido como bioindicadores del estado de los ecosistemas. Entre sus objetivos destaca el fomentar la participación ciudadana y promover la concienciación, así como proveer de datos útiles y de calidad para el desarrollo científico y el progreso del conocimiento.

Se ha generado una aplicación móvil capaz de capturar información sobre distintos aspectos del medio natural en Sierra Nevada. Esta aplicación puede instalarse en dispositivos



móviles (teléfonos y *tablets*) y también tiene una parte de visualización en *wearables* tipo *smartwatch*. La idea es que su uso se extienda entre los colectivos que forman parte del Observatorio de Sierra Nevada (agentes de medio ambiente, investigadores, técnicos de AMAYA, voluntarios, etc.) para facilitar la incorporación de información de diversas fuentes y de diversos ámbitos temáticos. La plataforma implementada no solo tiene capacidad de incorporar información de distintos actores, sino que también es un buen canal para distribuir entre dichos actores información existente. Así, es posible enviar notificaciones sobre el estado de variables biofísicas de Sierra Nevada. Por ejemplo, se pueden enviar avisos climáticos, de presencia de animales o de impactos observados. Por último, se ha creado un portal web, [CINDA](#), que muestra información sobre las distintas campañas de recogida de datos, así como resúmenes de dichas campañas, y ofrece información útil para cualquier organización que decida utilizar este sistema en sus propios proyectos, siguiendo una filosofía de software libre. Este portal está conectado con el sistema de información del [Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada](#).

Todos los módulos del producto construido se han publicado con una licencia libre (el plugin de wordpress se ha publicado bajo licencia abierta en el servidor de [código github](#)) y se han diseñado con una estructura de información muy flexible, no limitada a una campaña de recogida de datos concreta, sino reutilizable en casi cualquier escenario que implique la participación de voluntarios que aporten datos estructurados para ser procesados posteriormente. De este modo, cualquier organización o particular que lo desee podrá, con unos conocimientos técnicos relativamente asequibles, crear su propio sistema de recogida de datos, facilitando la colaboración de científicos y profesionales con la ciudadanía.

La aplicación móvil es la parte del sistema con la que interactúan los usuarios y que se encarga de comunicar con el servidor. Se trata de una aplicación para android multiservidor (nos permite conectarnos a cualquier sistema donde se haya instalado previamente el componente descrito en el punto anterior), multicampaña (nos permite colaborar en diferentes campañas en cada servidor) y multiidioma (identificando automáticamente el idioma configurado en el teléfono del usuario). Es la parte más flexible del sistema, ya que con una única instalación es posible conectarse a varios servidores a los que suministrar datos. En la actualidad la aplicación CINDA está [disponible en la tienda de aplicaciones de google](#) sin coste alguno y el código utilizado para crear dicha aplicación está también disponible de manera gratuita en [github](#).



El proyecto 'Nuevas formas de gobernanza de los espacios naturales protegidos como criterio para fomentar el desarrollo sostenible del medio rural y contribuir a la atenuación de los efectos del cambio global. Aplicación al caso singular del Parque Nacional de los Picos de Europa' [FB12] perseguía avanzar en la reflexión y debate sobre los modelos de gobernanza que pueden facilitar una mejor conservación y gestión adaptativa de los parques nacionales en un contexto de cambio global. Para ello, se realizó un análisis de diferentes modelos y se procuró conocer las percepciones, opiniones y discursos de los distintos grupos de actores sociales en el Parque Nacional sobre la gobernanza o formas de gestión actualmente existentes en el Parque.

«El término gobernanza, que proviene de la expresión en lengua inglesa *governance*, se diferencia del de gobierno o *government*, fundamentalmente en que el primero entiende el ejercicio de gobierno como un proceso, como una actividad dinámica en continuo estado de cambio, y no como algo estático o sometido a unas reglas fijas, a la vez que apela a la intervención de un conjunto de relaciones y actores más amplio que los pertenecientes directamente al espacio de las instituciones de gobierno. De esta manera, la gobernanza se argumenta sobre la base de una forma de gobernar o de gobierno que se distancia del modelo tradicional basado en el control jerárquico/vertical de “arriba” a “abajo”, o también del que antepone los intereses del mercado a los intereses públicos o generales. La acción gubernamental se articula desde esta visión desde la interacción sociopolítica y la cooperación entre Estado y sociedad, de nuevo con la incorporación de actores de diversos ámbitos institucionalizados o no institucionales, ya sea a escala local, nacional o internacional».

#### **7] Explorar las vías más adecuadas para la realización de proyectos de alcance más amplio, susceptibles de aunar el trabajo de diferentes equipos de investigación hacia un esfuerzo conjunto**

Existen determinadas líneas de investigación que puede ser complicado abordar desde equipos pequeños, ya que podrían requerir un tipo de trabajo muy disperso geográficamente o muy exigente en términos de trabajo de campo, documental o de laboratorio, por ejemplo. Sería interesante explorar vías para apoyar o impulsar el desarrollo de proyectos de esta naturaleza, que



necesiten la colaboración de equipos de investigación diferentes (ya sea de una misma disciplina o transdisciplinarios) embarcados en unos objetivos comunes.

Una de las fórmulas posibles a explorar es el trabajo con sociedades o asociaciones científicas (la Asociación Herpetológica Española, la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, la Asociación Española de Ecología Terrestre, etc.) que demuestren un interés particular por abordar temas relacionados con el cambio climático y cambio global y que sean capaces de articular proyectos que impliquen a diferentes equipos de investigación que, en condiciones habituales, trabajan se-

paradamente.

**8] Generar espacio para proyectos que analicen y tengan en cuenta la contribución de las actividades económicas que se desarrollan en el territorio como potenciales factores relevantes en**



**términos de adaptación al cambio climático, con especial atención a las actividades agroganaderas y forestales sostenibles (agricultura ecológica, ganadería extensiva y ecológica, pastoreo y silvopastoralismo, aprovechamientos forestales sostenibles,...).**

Como este trabajo ha demostrado, los temas de conservación y gestión relacionados con el cambio global en múltiples ocasiones tienen una relación muy directa con los usos del territorio y las actividades económicas que en él se desarrollan, en particular con los usos agroganaderos y forestales. Es por ello que sería interesante abrir espacios de investigación, reflexión, comunicación o intercambio sobre estas interrelaciones y la forma en que pueden establecerse medidas o líneas de trabajo orientadas a establecer sinergias y estrategias de apoyo mutuo en materia de investigación, reflexión, conservación, gestión y/o acción en el terreno.

Un ejemplo de esta línea de trabajo puede ser el establecimiento de cauces de diálogo, intercambio de información y/o colaboración con los **grupos operativos** que se formen en relación con el cambio climático y, en especial, con aquellos en los que tenga un papel relevante el análisis y/o adopción de medidas dirigidas a reducir los efectos del cambio climático sobre la pérdida de biodiversidad.

«Uno de los principales instrumentos para impulsar y acelerar la innovación en el medio rural es la Asociación Europea de Innovación de agricultura productiva y sostenible (AEI o EIP, por sus siglas en inglés), definida en la Comunicación de la Comisión sobre la cooperación de innovación europea "Productividad y sostenibilidad agrícolas"

La AEI es un nuevo instrumento que pretende acelerar la innovación en el sector y en el medio rural, así como su divulgación y diseminación en el territorio a través de proyectos concretos, adaptando la oferta científica a la demanda sectorial y favoreciendo la resolución de problemas concretos o el aprovechamiento de oportunidades que contribuyan a aumentar la competitividad y a mejorar las condiciones de vida del medio rural.

La AEI se pondrá en práctica mediante su programación específica en los programas de desarrollo rural autonómicos y en el programa nacional de desarrollo rural, que será gestionado desde el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA).



El principal vehículo para cumplir con los objetivos de la AEI son los grupos operativos, que son los beneficiarios financiados a través de las medidas de cooperación establecidas en el Reglamento de Desarrollo Rural. La misión del grupo es definir un proyecto concreto mediante el cual intentar resolver un problema o aprovechar una oportunidad determinada en los sectores agroalimentario y forestal.

Los grupos están formados por, al menos, dos componentes, y podrán ser agricultores, ganaderos, investigadores, empresas, asesores, etc.; los pertinentes para la consecución de los objetivos planteados con la puesta en marcha del proyecto innovador.

Los grupos operativos podrán contar, para la preparación del proyecto, con un agente de innovación (Innovation broker), que es la persona u organización que busca y pone en contacto a los actores idóneos para llevarlo a cabo, sin tener que estar involucrado técnicamente. Sus tareas también podrán incluir la asistencia de cara a perfilar y concretar la idea del proyecto, la búsqueda de fuentes de financiación y la preparación de la solicitud, entre otras.

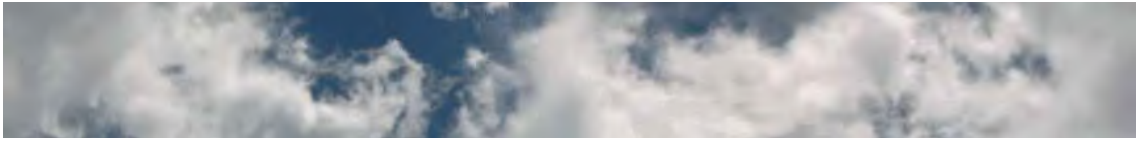
Los proyectos de los grupos operativos deben contribuir a la consecución de los objetivos de la AEI de agricultura productiva y sostenible, que son los siguientes:

- a) promover un sector agrícola y forestal que utilice eficientemente los recursos, sea económicamente viable, productivo y competitivo, que tenga un escaso nivel de emisiones, sea respetuoso con el clima y resistente a los cambios climáticos, que trabaje hacia sistemas de producción ecológica y en armonía con los recursos naturales esenciales de los que dependen la agricultura y la silvicultura;
- b) contribuir a un abastecimiento estable y sostenible de alimentos, piensos y biomateriales, tanto de los tipos ya existentes como nuevos;
- c) mejorar los procesos encaminados a la protección del medio ambiente, la adaptación al cambio climático o su mitigación;
- d) crear vínculos entre los conocimientos y tecnologías punteros y los agricultores, administradores de bosques, comunidades rurales, empresas, ONG y servicios de asesoramiento.



En esta línea, cabe mencionar también el ‘Programa nacional de innovación e investigación agroalimentaria y forestal’, presentado por el MAGRAMA en 2015, como un instrumento al servicio del sector agrario que se ha plasmado en la creación del portal web [IDi-A](#) y cuyos objetivos son: identificar y priorizar las necesidades y oportunidades del sector agroalimentario y forestal; incluir estas líneas de acción en la programación y financiación

de la I+D+i nacional y comunitaria; facilitar y promover la difusión, la participación, la comunicación y la transferencia de resultados entre los diferentes agentes del sector para dar respuesta a las necesidades reales de agricultores, ganaderos, productores forestales, industrias y resto de actores, para aumentar su competitividad y ser más respetuosos con el medio ambiente».



## ANEXO

# SÍNTESIS DE CONTENIDOS DE LOS PROYECTOS COFINANCIADOS POR EL ORGANISMO AUTÓNOMO PARQUES NACIONALES [OAPN] Y LA FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD [FB]

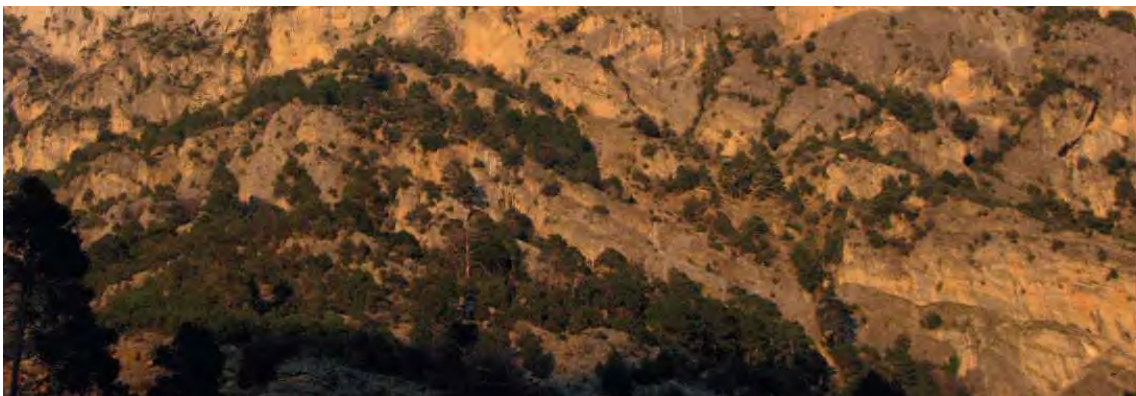


## **OAPNO1 | El cambio climático en Sierra Nevada a partir de escenarios fitocenológicos, especies y comunidades vegetales indicadoras y la evaluación de la actividad biológica de los suelos en el piso crioromediterráneo (ciclos de C y N)**

- Entidad en la que se desarrolla el proyecto: Universidad de Granada
- Investigador Principal: Joaquín Molero Mesa - Universidad de Granada
- Parque Nacional donde se ubica el estudio: Parque Nacional de Sierra Nevada
- Palabras clave: Flora, cartografía, actividad biológica suelos, piso crioromediterráneo.
- Organismo cofinanciador: Organismo Autónomo Parques Nacionales
- [Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' \(OAPN\)](#)
- Inicio: 13/05/2006
- Fin: 13/05/2008

### **Sinopsis**

La instalación en la alta montaña de escenarios para la observación, estudio y previsión sobre los efectos del cambio climático, tomando como base la flora y la vegetación, se ha desarrollado en Europa desde los inicios del presente siglo, teniendo en el proyecto **GLORIA** –acrónimo de la Iniciativa para la Investigación y el Seguimiento Global de los Ambientes Alpinos (*Global Observation Research Initiative in Alpine Environments*)-, una red mundial para la observación e investigación comparada, a largo plazo, del impacto del cambio climático sobre la biodiversidad de la alta montaña. Gracias a *Gloria Europe* se instalaron, con una metodología estandarizada desarrollada por los propios investigadores, 18 zonas piloto (*target regions*) en otras tantas montañas de Europa, incluida Sierra Nevada. Este proyecto permitió instalar una segunda zona piloto en Sierra Nevada para el seguimiento de la flora líquénica y el análisis de la actividad biológica de los suelos. También se estableció un nuevo gran escenario como observatorio: el piso de vegetación crioromediterráneo, que presenta una gran originalidad en su flora y vegetación. En este trabajo se recoge el proceso de instalación y los resultados iniciales de control, junto con las conclusiones para la delimitación del piso crioromediterráneo.



### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

La influencia del cambio climático sobre la biodiversidad del planeta ha sido resaltada en diferentes estudios desde finales del siglo pasado, incidiendo en la vinculación entre dicho cambio con la fragmentación de los diferentes hábitats, la posible variación de las potencialidades de las especies y la alteración en las comunidades y su funcionamiento, previendo desplazamientos en altitud de taxones y ecosistemas. Las observaciones mantenidas en largos intervalos de tiempo, o las comparaciones con datos existentes tiempo atrás, vienen a confirmar que estamos asistiendo a un calentamiento en los ambientes de alta montaña.

Numerosos investigadores han destacado las zonas más altas de las montañas como uno de los lugares idóneos para observar el proceso actual de cambio climático. Esto se debe a que, entre otras razones, estas regiones muestran unos gradientes ecológicos acusados, ecotonos estrechos y comprenden ecosistemas sencillos, dominados por factores abióticos relacionados con el clima. Estos ambientes incluyen hábitats naturales, con ecosistemas poco modificados por la influencia directa del hombre. Estos ambientes incluyen hábitats naturales, con ecosistemas poco modificados por la influencia directa del hombre.

En relación al área de distribución de las especies de las cimas, se ha comprobado la existencia de 34 taxones endémicos exclusivos de Sierra Nevada y otros 16 que se extienden, en mayor o menor grado, por el resto de montañas béticas, donde la predominancia de sustratos de naturaleza calcárea es manifiesta.

Para el piso de vegetación crioromediterráneo las asociaciones más destacadas, por su frecuencia y significación han sido: *Erigeronto frigid-Festucetum clementei*, *Saxifragetum nevadensis* y *Viola crassiusculae-Linarietum glacialis*. En el piso oromediterráneo, *Senecioni granatensis-Digitalium nevadensis*, *Arenario frigidae-Festucetum indigestae*, *Siderito glacialis-Arenarietum pungentis*, *Centrantho nevadensis-Sedetum brevifolii* y *Genisto versicoloris-Juniperetum hemisphaericae*. Otras asociaciones son menos específicas y abarcan territorios oro y crioromediterráneos: *Campanulo willkomii-Polystichetum lonchitidis*, *Festucetum moleroio-pseudoeskiaae* y *Cirsio gregarii-Dactyletum juncinellae*.

La delimitación del área que, en nuestra opinión, comprende el piso de vegetación crioromediterráneo ocupa una superficie continua de 3875.7 ha, oscilando sus límites altitudinales, en función de la orientación, entre 2.750 y 3.290 m.

El primer efecto del cambio climático será sobre los procesos de fijación del carbono atmosférico y su transferencia al suelo, es decir la producción de biomasa, plantas y mantillo. El aumento del CO<sub>2</sub> y de los nutrientes favorecerá la producción de biomasa y tendrán efectos directos sobre la descomposición-renovación del compartimiento orgánico del suelo. Estudios de los efectos del aumento de la temperatura, en diversas aproximaciones, proporcionan, casi todas, una cierta evidencia del efecto de la temperatura sobre flujos y el stock o almacenaje del carbono del suelo.

El aumento de la temperatura: a) Estimula la producción, por respiración, del CO<sub>2</sub> del suelo, vía dominante de la pérdida del carbono de los ecosistemas terrestres en respuesta al calentamiento. La interferencia de otros factores medioambientales y sus efectos sobre el ciclo de carbono demuestra la complejidad de las respuestas en el tiempo del efecto del calentamiento. Los cambios en la composición del compartimiento microbiano, en un determinado plazo, favorecen a los microorganismos menos sensibles que son, posiblemente, más tolerantes a las condiciones extremas y puede dar lugar a una verdadera aclimatación fisiológica. Esta adaptación reducirá el índice de pérdida del carbono del suelo debido a las temperaturas elevadas. b) Causa una pérdida neta del carbono en períodos de sequía extrema, datos que reflejan los preocupantes efectos de los eventos extremos sobre los procesos principales que pueden dar lugar a un cambio significativo en los suelos.

Se han estudiado, analizado y delimitado los taxones y sintaxones vegetales presentes en el piso de vegetación crioromediterráneo, con el fin de establecer el límite inferior de este piso y conseguir así tener un nuevo escenario de observación. El resultado de esta última aproximación concluye que el territorio ocupado por este piso es bastante menor del esperado, lo que pone de manifiesto que la fragilidad de la zona culminar de Sierra Nevada es muy alta. Los estudios históricos comparados sobre la flora de este piso también ponen de manifiesto su progresivo aumento en los últimos 150 años, posiblemente en concordancia con el aumento de las temperaturas.

## OAPN02 | Evolución climática y ambiental del Parque Nacional de los Picos de Europa desde el último máximo glaciar

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología
- **Investigador Principal:** Blas Lorenzo Valero Garcés - CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de los Picos de Europa
- **Palabras clave:** sedimentología lacustre, último ciclo glaciar, deglaciación, Pequeña Edad del Hielo, polen, diatomeas, quironómidos, ostrácodos, paleoclima.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' (OAPN)**
- **Inicio:** 11/12/2006
- **Fin:** 11/12/2009

### Sinopsis

Los principales objetivos fueron detectar, valorar y cuantificar, mediante la utilización de diferentes técnicas geomorfológicas, físicas, sedimentológicas, geoquímicas y biológicas (análisis de polen, quironómidos, ostrácodos y diatomeas), los cambios paleoclimáticos, paleoambientales y paleohidro-limnológicos que han quedado registrados en los sedimentos del Lago de Enol (Cordillera Cantábrica, Norte de España). El trabajo se ha realizado a diferentes escalas temporales, en particular una desde el Último Máximo Glaciar -incluyendo los últimos 38.000 años- y otra focalizado en los últimos 300 años. El estudio ha evidenciado el impacto del final de la Pequeña Edad del Hielo (PEH) y del calentamiento global durante el siglo XX, junto a una influencia variable de las actividades antrópicas.



### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

La reconstrucción de la historia de un lago, de su evolución, nos permite conocer los cambios que se han producido, cómo le han afectado variaciones del clima y/o de la vegetación local o regional, o incluso los usos que el ser humano ha podido hacer, tanto de él, como del paisaje de su entorno. En el sedimento lacustre queda registrada información sobre la evolución en el tiempo del lago y del ambiente en el que se encuentra. Así, podemos obtener datos de cómo era el clima (frío, cálido, seco, lluvioso), qué tipo de vegetación

predominaba en la zona (bosque, pradera, matorral, campos de cultivo, etc.) y qué tipo de seres vivos habitaban en el lago en cada momento. Es decir, su historia paleoambiental. Gracias a estos estudios, que nos cuentan cómo han variado el clima y el paisaje, podemos obtener “fotos” en el tiempo de los que denominamos “escenarios climáticos” del pasado, e intentar dilucidar las pautas y patrones de los cambios paleoambientales.

Entre 1840 y 1900 sería el momento más frío de la secuencia reciente [en un análisis realizado sobre los últimos 300 años] y podría corresponder con uno de los intervalos fríos del final de la Pequeña Edad de Hielo [un período frío que abarcó desde comienzos del siglo XIV hasta mediados del XIX]. Probablemente, el lago permanecía helado varios meses al año

El último intervalo estudiado es el que vivimos en la actualidad. Entre los años 1960-1970 se detecta una bajada puntual de la temperatura. Posteriormente, las temperaturas incrementan pero las precipitaciones comienzan a disminuir. Además, se produce un reemplazo de *Cyclotella ocellata* por *Cyclotella radiosa*. Esta última es típica de verano, mientras que la primera es más frecuente durante el periodo de primavera-verano, por lo que interpretamos que los veranos se han alargado en las últimas décadas. Estos dos nuevos cambios indican claramente las consecuencias del cambio climático global actual que se están notando ya en el Parque Nacional de los Picos de Europa.

Los cinco años más recientes se caracterizan por un cambio radical en la asociación de diatomeas con el aumento de *Naviculadicta vitabunda*, que es característica de ambientes eutróficos, apuntando a un aumento de los nutrientes que llegan al lago. Nos queda preguntarnos si las temperaturas record de los últimos años tienen algo que ver en esta modificación de la ecología del Lago de Enol, o si es la mayor afluencia de visitantes a la zona de los Lagos de Covadonga la responsable de estas afecciones.

Aunque se detectan indicadores de actividades pastoriles durante los dos últimos siglos, existen diferencias entre los siglos XIX y XX. En el siglo XIX se observan grandes proporciones de *Compositae* y *Poaceae*, *Plantago*, *Urtica* y altos porcentajes de hongos coprófilos, lo que indicaría que las cabañas ganaderas pasarían largos periodos en zonas de altitud como la del Lago de Enol. Durante el siglo XX, por el contrario, aunque las extensiones de pastos continúan siendo importantes, la presencia de hongos coprófilos se reduce notablemente. Durante el siglo XX suceden varias transformaciones generalizadas en la cornisa cantábrica, dentro de un contexto de especialización láctea. El ganado vacuno autóctono es sustituido por ejemplares de vaca pardo-alpina y, posteriormente, por frisonas, razas más productoras de leche. De este modo, se pasa de una ganadería de tipo extensivo en la propia montaña, con vacas autóctonas, a otra de tipo intensivo y con estabulación en los fondos de valle, ya que las nuevas razas no están acostumbradas a las duras condiciones montañosas. Esta transformación también podría estar relacionada con procesos de matorralización, como muestra el incremento de *Cytisus/Ulex*, ya que los pastos de montaña habrían sido parcialmente abandonados y colonizados por arbustos.

Un hito a resaltar es la aparición de las primeras plantaciones de *Eucalyptus* en el registro, alrededor de 1930. El incremento de los pinares a techo de la secuencia también puede asociarse a plantaciones en la zona de los Picos de Europa. La antropización durante el último siglo en los Picos de Europa ha sido, por lo tanto, alta, aunque en ciertos aspectos ha disminuido con respecto a la época tan desfavorable que fue la Pequeña Edad del Hielo. Aun visualizándose un alto impacto humano en el diagrama polínico del sondeo corto, se observa cómo la masa forestal se ha ido recuperando en las últimas décadas. Las repoblaciones forestales con especies alóctonas empiezan a combatirse, aunque todavía ocupan amplios sectores, por lo que la recuperación de masas de roble y hayedo, está en aumento.

## OAPN03 | Geoindicadores de alta montaña y cambio global: análisis y control de indicadores geomorfológicos en el Parque Nacional de los Picos de Europa

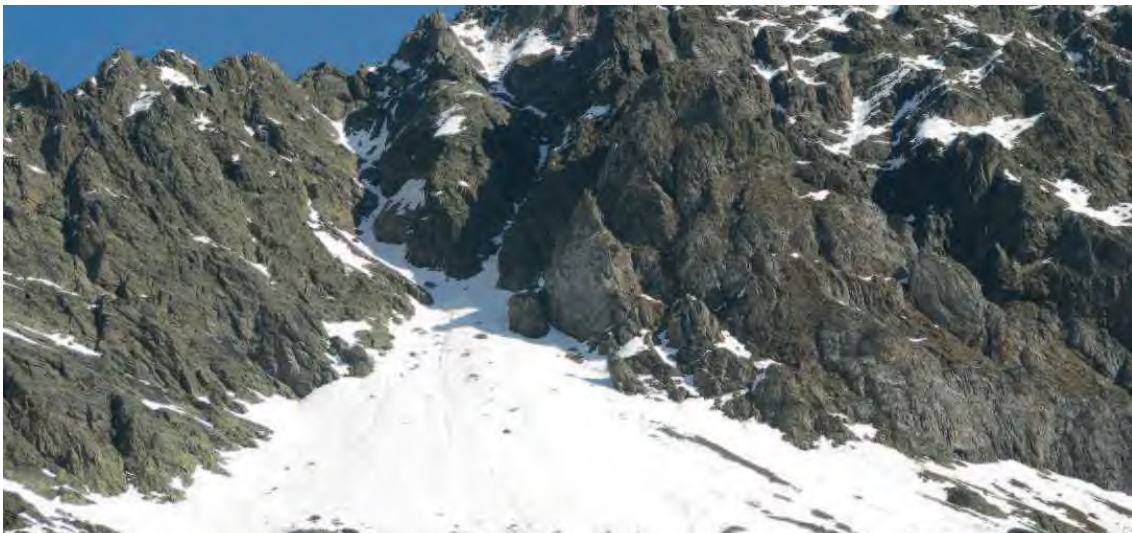
- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Valladolid
- **Investigador Principal:** Enrique Serrano Cañadas - Universidad de Valladolid
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de los Picos de Europa
- **Palabras clave:** Geomorfología, geoindicadores, cambio global, alta montaña, deglaciación pleistocena, procesos periglaciares, soliflucción, heleros.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' (OAPN)**

### Sinopsis

Las proyecciones sobre el calentamiento climático incluyen un incremento de las precipitaciones y temperaturas más elevadas en el aire y en el suelo. Es por ello que las montañas europeas están experimentando un incremento de la actividad de laderas con efectos negativos sobre las actividades humanas. El estudio de los procesos de ladera y los vinculados a la existencia del manto nival y del hielo en el suelo se ha convertido en los últimos años en uno de los temas clave dentro de los estudios sobre los cambios climáticos pasados y presentes en Europa.

La sensibilidad al cambio climático de las laderas de montaña puede ser utilizada para reconstruir climas pasados e implementar los modelos predictivos sobre cambio climático. Para ello, es necesario obtener registros lo más fiables posible, que nos aporten información sobre cambios en los sistemas morfogénéticos de laderas inducidos por los cambios climáticos. Este trabajo se inscribió en la línea de investigación de la red UE - CRYOSLOPE, aprobado por la [European Science Foundation \(ESF\)](#) en septiembre de 2006 y promovido desde la [International Permafrost Association \(IPA\)](#). Esta red tiene como objetivo coordinar y promocionar redes de monitorización, la comprensión de la evolución de las laderas de montaña, su respuesta a los cambios climáticos y favorecer el desarrollo de nuevas aplicaciones (sensores remotos, geofísica, control de cambios, monitorización ambiental, etc.).

Como excepción en toda la Cordillera Cantábrica, en el Parque Nacional de los Picos de Europa se presentan de modo claro restos glaciomorfológicos heredados de fluctuaciones climáticas históricas, como el recrudecimiento climático asociado a la Pequeña Edad del Hielo, lo que demuestra su sensibilidad a los cambios naturales y posibilita el estudio de los cambios recientes y por venir. Constituyen un ámbito importante para la aportación de nuevos datos integrables en el conocimiento peninsular, europeo y global como modelo de montañas atlánticas, muy poco conocidas y de gran interés.





### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

Las montañas constituyen uno de los ambientes más sensibles a los cambios climáticos y ambientales, por lo que el estudio de su dinámica geomorfológica resulta clave para conocer las repercusiones de los cambios actuales. Las laderas y los elementos de la criosfera (hielo, nieve, neviza) son ambientes geomorfológicos muy activos, con una dinámica altamente sensible a los cambios naturales o inducidos por la humanidad, por lo que es necesario comprender la interacción entre los indicadores climáticos y los geomorfológicos. En este sentido, los procesos y formas activas (de laderas, periglaciares, nivales) y las herencias del pasado (heleros, huellas glaciares y periglaciares) se convierten en geoindicadores climáticos y ambientales muy expresivos.

En conjunto se aprecia un orden altitudinal, con una zona alta -por encima de 2.200 metros- en la que la intervención del hielo es significativa y han existido glaciares en épocas históricas, mientras por debajo los procesos son más atenuados y asociados a la nieve. En altitud existen masas de hielo residual, los heleros. En ellos se ha constatado la pérdida rápida de hielo, caracterizada por fases de rápidas pérdidas asociadas a condiciones de baja innivación y veranos cálidos y periodos de equilibrio sin variaciones en la masa de los heleros. En el estado actual de conocimiento, a partir de los registros dinámicos y térmicos, los procesos geomorfológicos por debajo de los 1800 metros son atenuados y preponderantemente nivales.

Fuentes históricas y estudios geomorfológicos señalan la existencia de glaciares en los Picos de Europa durante la Pequeña Edad del Hielo. En el Jou Transllambrion diferentes fuentes constatan la existencia de un glaciar hasta principios del siglo XX, con una extensión de 6,1 Ha, cobijado al norte. Durante el siglo XX y la primera década del XXI ha sufrido una paulatina pérdida de masa hasta quedar reducido a un pequeño lentejón, de 1,4 ha. Entre 1996 y 2008 el helero perdió un 76% de su masa, quedando relegado a una pequeña mancha de hielo adosada al pie de la pared. Durante este periodo, la pérdida anual de masa se situaría en el 4,2%, aunque el ritmo de fusión no sería constante, pues durante los años 2009 y 2010 no se ha percibido ninguna reducción. Así pues, el helero se encuentra en una situación crítica en la que la sucesión de dos o tres veranos favorables a la fusión pueden conducir a corto plazo a la total desaparición del hielo.

Por encima de los 2.200 metros han existido glaciares en épocas históricas, por lo que el hielo ha estado presente hasta periodos muy recientes. En altitud existen masas de hielo residual, los heleros. En ellos se ha constatado la pérdida rápida de hielo, que en ambos casos se encuentra en los estadios finales de su desaparición. La pérdida de masa no es continua sino que se caracteriza por fases de rápidas pérdidas asociadas a condiciones de baja innivación y veranos cálidos, con movimientos de los bloques de hielo, y periodos de equilibrio sin variaciones en la masa de los heleros. En los circos glaciares y jous, existen procesos periglaciares y presencia de hielo en el suelo durante todo o gran parte del año, presencia a la que se asocian los procesos actuales, más variados y diversos (suelos ordenados, lóbulos, terracillas, montículos de hielo, flujos de derrubios) que en las zonas bajas, y siempre asociados a la presencia de depósitos superficiales. En las laderas altas y cumbres los procesos son más enérgicos y capaces, pero también más estables ante cambios naturales o antrópicos, pues la elevada energía le hace menos sensible a los cambios.

Las zonas bajas han permanecido libres de hielo durante más tiempo. Se ha establecido que el máximo glaciar es anterior a los 35.700-34.850 años cal. B.P., y la retirada de los hielos se produce en torno a 17.300-17.400 años cal. B.P. Las huellas glaciares y periglaciares relictas son muy frecuentes, como herencia de ambientes fríos pasados.

## OAPNO4 | Análisis de la diversidad procariótica asociada a quercíneas (*Quercus ilex* sp. *ballota* y *Quercus pyrenaica*) para la identificación de biomarcadores asociados a la evolución post-incendio y al cambio climático en Sierra Nevada

- Entidad en la que se desarrolla el proyecto: CSIC. Estación Experimental del Zaidín
- Investigador Principal: Manuel Fernández López - CSIC. Estación Experimental del Zaidín
- Parque Nacional donde se ubica el estudio: Parque Nacional de Sierra Nevada
- Palabras clave: Diversidad microbiana, rizosfera de quercíneas, metagenoma, incendios forestales, cambio climático.
- Organismo cofinanciador: Organismo Autónomo Parques Nacionales
- [Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' \(OAPN\)](#)

### Sinopsis

El cambio climático es un hecho constatado e incuestionable. Además de los procesos de tipo industrial existen factores como los incendios forestales que también contribuyen al calentamiento global, dada la alta emisión de CO<sub>2</sub> que se produce. Disminuir la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, evitar su incremento o ayudar a su acumulación en la materia orgánica del suelo, se puede ver beneficiado por un correcto manejo de los bosques. Una rápida revegetación o recuperación de las formaciones autóctonas como son los encinares y robledales (*Quercus ilex* sp. *ballota* y *Q. pyrenaica* Wild.) pueden ayudar en este sentido. Los microorganismos del suelo son los responsables del cierre del ciclo biogeoquímico del carbono, contribuyendo además a la fertilidad del suelo y a la promoción del crecimiento vegetal.

Como consecuencia del cambio climático, en la Península Ibérica se producirá una disminución de las precipitaciones y un incremento de las temperaturas, según las previsiones de los paneles de expertos. En esta situación se podría producir una migración altitudinal de los encinares a costa de otras formaciones boscosas como los melojares (*Quercus pyrenaica* Wild.). Es interesante estudiar esta sucesión de la flora, como indicador del calentamiento global, tanto en el momento actual como en un futuro próximo, ya que nos permitiría ver la adaptación de los sistemas al cambio. Pero además hay que plantearse el estudio de la microbiota asociada a su rizosfera, porque aunque un bosque puede sobrevivir durante decenas de años en una mala situación ambiental, sus microorganismos asociados pueden ser indicadores más sensibles. Así en este trabajo se ha estu-



diado la diversidad de la microbiota del suelo de un encinar quemado, frente a la de un encinar no quemado y se ha comparado con la diversidad bacteriana que presenta el suelo bajo el robledal. Para tener el máximo de variables, y poder determinar posibles efectos del cambio climático o identificar microorganismos indicadores del mismo, también se ha estudiado el robledal a distintas altitudes.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

En los ecosistemas de tipo mediterráneo las comunidades vegetales están expuestas a unas condiciones climáticas que pueden considerarse como extremas ya que alternan periodos de sequía y alta temperatura estival, heladas invernales, y ocasionales lluvias torrenciales. Estas condiciones adversas afectan negativamente tanto al desarrollo como a la supervivencia de las plantas, así como a la pérdida de materia orgánica del suelo y a su compactación, por lo que la abundancia y diversidad de microorganismos también puede verse afectada. Además, las altas temperaturas estivales y los periodos de sequía favorecen la aparición y propagación de incendios forestales, un problema que puede afectar gravemente al Parque Nacional de Sierra Nevada dada su localización geográfica al sur de Europa. El efecto más visible de estos desastres es la desaparición de la cubierta vegetal, pero también hay que tener en cuenta los procesos de erosión del suelo agravados por las fuertes pendientes y la exposición a las lluvias torrenciales. Un efecto menos apreciable, pero igualmente importante, es el que ocurre sobre la microbiota del suelo ya que las altas temperaturas pueden hacer disminuir su diversidad y con seguridad la pérdida de suelo afectará además a su biomasa total.

El fuego, como fenómeno ocasional si su origen es natural, ha influenciado la vegetación de la cuenca mediterránea probablemente desde antes de la aparición del hombre en la zona. Esta influencia de miles de años y su asociación con otros factores, como el pastoreo, hacen que la evaluación del efecto del fuego sobre la vegetación sea difícil si no se hace en un periodo de pocos años después del incendio. Por otra parte, un incendio forestal contribuye de dos formas distintas al proceso de cambio climático, ya que por una parte se produce la emisión de CO<sub>2</sub> de la materia orgánica quemada, y por otra parte la desaparición del bosque hace que, hasta su recuperación, deje de ser un sumidero de CO<sub>2</sub>. Así es importante fomentar una rápida recuperación del ecosistema, y es posible que en este proceso los microorganismos puedan jugar un papel importante.

Muchos estudios de campo han puesto de manifiesto que un aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico hace que las plantas asimilen mayor cantidad de carbono. Otros autores han sugerido que también se produciría un mayor acúmulo de carbono en el suelo, que es el mayor conjunto de carbono del planeta y el más estable. Sin embargo, trabajos realizados en el suelo de quercíneas arbustivas concluyen que una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> atmosférico produce una alteración en las comunidades microbianas que se traduce en un incremento en la utilización de la materia orgánica del suelo y la pérdida de una cantidad de carbono de ≈52% del extra asimilado por las plantas, por lo que un teórico sumidero de carbono se convierte en una fuente.

En el presente proyecto se ha estudiado la microbiota asociada a la rizosfera de quercíneas (*Quercus ilex* sp. *ballota* y *Q. pyrenaica*, encina y roble melojo respectivamente) analizando la diversidad procariótica y la capacidad de fijación de nitrógeno (N). A lo largo del tiempo se ha determinado la humedad relativa y la temperatura del aire y del suelo a 20 cm de profundidad. Se ha podido observar que las diferencias en estos parámetros atmosféricos son mínimas y no significativas por lo que no explicarían las diferencias observadas en la microbiota. Lo mismo puede decirse de la vegetación herbácea asociada a estos árboles. Sin embargo y a pesar de la capacidad de tamponamiento del suelo, se han observado diferencias en la humedad del suelo que sí pueden ser responsables de las diferencias en la microbiota.

## OAPN05 | Degradación de hielo fósil y permafrost y cambio climático en Sierra Nevada

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Barcelona
- **Investigador Principal:** Antonio Gómez Ortiz - Universidad de Barcelona
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Sierra Nevada
- **Palabras clave:** degradación de hielo glaciar, monitorización, permafrost.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' (OAPN)**
- **Inicio:** 17/12/2007
- **Fin:** 17/12/2011

### Sinopsis

El Corral del Veleta (Sierra Nevada, 37°N 3°W, 3.150 m. de altitud), instalado en el nivel de cumbres del Parque Nacional de Sierra Nevada, es un antiguo circo glaciar que durante la Pequeña Edad del Hielo albergó un pequeño foco glaciar del que se tienen noticias escritas desde el siglo XVII. Este glaciar mantuvo restos de hielos hasta mediados del siglo XX. En 1998 no eran ya visibles pero aún persistían vestigios junto con permafrost discontinuo atrapados bajo mantos de bloques.

Los análisis y la interpretación de resultados obtenidos apuntan a que el estado físico y evolución del hielo relicto y permafrost se encuentran en proceso de degradación. Así se ha determinado a partir de la monitorización de un incipiente glaciar rocoso asentado sobre el techo de las masas heladas referidas. Los datos obtenidos de los controles anuales realizados durante el periodo 2007-2009 de la temperatura de la capa activa, grado de recubrimiento nival del suelo, movimientos del cuerpo del glaciar rocoso y prospecciones geofísicas realizadas (tomografía eléctrica) de su interior vienen a indicar la paulatina merma del hielo relicto y permafrost atrapados. El volumen de pérdida de masas glaciares relictas para el periodo de estudio ha sido de 3.505,9 m<sup>3</sup>.

Los procesos que explican esta degradación se suceden en cadena a partir de la radiación externa que incide en el suelo en verano, que es cuando las temperaturas son más elevadas. En efecto, cuando esta radiación logra la fusión progresiva de la nieve se opera el progreso de la onda expansiva térmica en el seno de la capa activa del suelo pudiendo alcanzar el techo de las masas heladas (hielo fósil relicto y permafrost), que degrada y funde. En todo este proceso encadenado también la circulación de las aguas de fusión desempeñan un cometido muy destacado al actuar como trasmisoras de calor. De esta manera se explica la subsidencia y el reajuste continuado que experimenta todo el paquete clástico, así como la fusión del techo helado en el que se asienta. Esto sucede en verano y en pocas semanas.

Las razones de estos acontecimientos climáticos y geomorfológicos deben tener su explicación en las actuales condiciones climáticas que dominan las cumbres de Sierra Nevada, que resultan poco propicias al mantenimiento de nieves en el suelo durante el verano y que pudieran estar relacionadas con variaciones recientes del clima iniciadas a partir de mediados del siglo XIX y más notorias desde la segunda mitad del siglo XX.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

La metodología que se utilizó participa de técnicas procedentes de diferentes disciplinas complementarias entre sí, pues los resultados que se aportan tienden a converger en objetivos comunes: explicar el proceso de degradación de las masas heladas.

En el año 1998, que fue cuando se llevó a cabo la primera auscultación tomográfica, el conjunto de la masa congelada conformaba paquetes continuos y relativamente homogéneos, pudiéndose extender por todo el tercio oriental y zonas adyacentes de la base del Corral del Veleta (...) En 2009 se realizó una nueva prospección y los resultados indicaron una reducción significativa de masas heladas.

Las condiciones climáticas actuales resultan poco favorables al mantenimiento de las masas heladas atrapadas en el interior del glaciar rocoso. La interpretación de ella permite entender que los hielos glaciares relictos y el permafrost retenido bajo el manto de bloques en el tercio oriental de la base del Corral del Veleta se encuentran en proceso continuado de degradación, que se resuelve en repetidas subsidencias, reajustes del paquete clástico y progresiva merma de la masa helada en la que se apoya y muy tímidos avances del conjunto del glaciar rocoso. Esto último evidencia su estado decrepito, al contrario de lo que sucede en otros glaciares rocosos del Pirineo central y Alpes austríacos. Esta degradación continuada de las masas heladas descritas debe ser resultado de la sucesión de procesos físicos en cascada, iniciados a partir de la radiación externa que incide en el suelo y funde la nieve (...)



Es el grado de cobertura nival en verano quien favorece o dificulta la eficacia de la temperatura y circulación de aguas en el seno del suelo y, por consiguiente, la degradación de las masas heladas profundas como resultado final. Así, la degradación de estas masas heladas sucede en verano, en pocas semanas, y de manera más notoria y acelerada desde que la nieve tiende a permanecer menos tiempo en las cumbres de Sierra Nevada, hace ya décadas.

Los datos acumulados del comportamiento físico de las masas heladas y manto nival en el Corral del Veleta son aún limitados para obtener conclusiones sólidas de carácter climático. Sin embargo, las observaciones y experiencias de campo hechas durante estas últimas décadas (desde 1975) nos permite evidenciar que la permanencia de la nieve en el suelo es cada vez de menor duración: progresivo refugio en cotas cada vez más elevadas, predilección por enclaves topográficos al resguardo de la radiación y, en el caso de orientaciones meridionales, además, en concavidades a sotavento. Acontecimientos, todos ellos, que parecen incidir en una tendencia de aumento en las temperaturas, como parece mostrarse en los Alpes, donde su repercusión es notoria en el incremento de la movilidad de muchos de sus glaciares rocosos.

Al respecto, no resulta aventurado afirmar que las actuales condiciones climáticas que dominan los tramos cimeros de Sierra Nevada no resultan favorables al mantenimiento permanente de la nieve en el suelo, bien porque los valores de las temperaturas sean superiores a los que se registraban durante periodos anteriores, bien porque la innivación ha venido mermando, bien porque coinciden ambos supuestos, o bien porque los regímenes termopluviométricos en la Sierra han sufrido variaciones en su comportamiento temporal estacional.

## OAPN06 | Diversidad, estrategias vitales y filogeografía de especies sensibles al cambio climático: tricópteros en el Parque Nacional de Sierra Nevada

- Entidad en la que se desarrolla el proyecto: Universidad de Granada
- Investigadora Principal: Carmen Zamora Muñoz - Universidad de Granada
- Parque Nacional donde se ubica el estudio: Parque Nacional de Sierra Nevada
- Palabras clave: bioindicadores, biodiversidad, filogeografía, Trichoptera, cambio climático
- Organismo cofinanciador: Organismo Autónomo Parques Nacionales
- [Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' \(OAPN\)](#)
- Inicio: 17/12/2007
- Fin: 20/12/2011

### Sinopsis

Sierra Nevada representa a la alta montaña mediterránea dentro del conjunto de parques nacionales y es un lugar ideal para testar los efectos del cambio climático por su altitud, climatología y por albergar una elevada biodiversidad. Se espera que dichos efectos sean especialmente severos en especies de alta montaña con un estrecho rango de distribución. En este proyecto se ha estudiado el orden Trichoptera -especialmente adecuado para reflejar la intensidad de diferentes factores estresantes en ecosistemas acuáticos- en Sierra Nevada con el fin de utilizarlos como sensores del cambio climático. Se citan 42 especies en el macizo, de las que el 19% corresponden a endemismos ibéricos. Los resultados muestran que la temperatura media del agua de los ríos de Sierra Nevada ha aumentado en unos 2°C en los últimos 20 años y que ha ido acompañada de un aumento de la riqueza de especies de tricópteros. Este aumento ha sido más acentuado al incrementar la altitud, presentando un máximo en altitudes intermedias, como consecuencia de la ampliación del rango de distribución de especies de tramos medios hacia cotas más elevadas y de colonización desde sierras próximas. La relación detectada entre altitud y cambio en riqueza puede ser explicada mediante la hipótesis de que las montañas con un gradiente altitudinal considerable actúan como refugio de especies en un escenario de calentamiento climático.

Se ha detectado una fuerte vulnerabilidad al cambio climático de las dos especies endémicas de *Annitella* en Sierra Nevada (*A. iglesiasi* y *A. esparraguera*) por estar localizadas en pocos ríos y tener un flujo genético bajo entre sus poblaciones, . Los resultados de este proyecto ponen de manifiesto la vulnerabilidad de la biodiversidad acuática en Sierra Nevada y llaman a estrategias de conservación que consideren especialmente los ecosistemas fluviales del macizo.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

Conocer la vulnerabilidad de la biodiversidad debido al cambio climático ha despertado un gran interés entre los ecólogos. Sin embargo, existen pocos ejemplos de estudios llevados a cabo en ecosistemas dulceacuícolas, a pesar de que el cambio climático podría tener un impacto muy serio sobre estos ecosistemas y los organismos que los habitan debido al aumento de la temperatura y la alteración del régimen hidrológico. Así, por ejemplo, la abundancia de las especies de vertebrados de agua dulce ha disminuido mucho más entre 1970 y 2000 que la de los ecosistemas terrestres o marinos (ver por ej. [Millenium ecosystem assessment](#)). Uno de los cambios detectados más frecuentes en organismos dulceacuícolas es una tendencia a modificar sus rangos de distribución a mayores latitudes y altitudes en respuesta al calentamiento global y otros factores relacionados. Por ejemplo, estudios efectuados en América del Norte señalan desplazamientos latitudinales de unos 500 a 600 km en peces y macroinvertebrados en respuesta a incrementos de 3-4°C de temperatura.

El efecto que el cambio climático puede tener en la diversidad de tricópteros está basado en las siguientes hipótesis: (1) Las especies de distribución limitada (como las especies endémicas), caracterizadas por un restringido nicho ecológico y escasa capacidad dispersiva, están severamente más amenazadas por el cambio climático que las especies de amplia

distribución; (2) Las especies típicas de la zona del potamon (grandes ríos en zonas bajas) pueden reaccionar al aumento de las temperaturas colonizando los tramos más altos de los ríos; en cambio, las que habitan la zona del crenon (fuentes en cabecera) no pueden desplazarse río abajo y tampoco pueden desplazarse aguas arriba por la inexistencia de hábitat. Como consecuencia de esa reducción de hábitat están más amenazadas por el cambio climático; y (3) Las especies adaptadas a bajas temperaturas (especies estenotérmicas frías) están más amenazadas que las euritérmicas por el aumento de temperatura debido al cambio climático. Un elevado número de especies de tricópteros están ligados a la zona del crenon, presentan nichos ecológicos estrechos y se encuentran particularmente en sistemas montañosos de elevada altitud. Recientemente se ha realizado una estimación del potencial impacto del cambio climático sobre la biodiversidad de tricópteros europeos y se calcula que el 50% de las especies de la Península Ibérica se verán afectadas.

Tras la identificación de más de 2000 ejemplares confirmamos la presencia de 42 especies de tricópteros en cotas medio-altas de Sierra Nevada. La fauna de tricópteros es relativamente pobre en comparación con la de otros macizos montañosos de la Península Ibérica, especialmente de la mitad norte peninsular. La mayoría de las especies presentes en Sierra Nevada son de amplia distribución, propias de las regiones montañosas de Europa occidental (57%, 24 especies). Sin embargo, los elementos más originales de su fauna pertenecen al conjunto de los endemismos ibéricos (19%, 8 especies), especialmente algunas especies meridionales.

La temperatura de las localidades estudiadas aumentó en promedio unos 2°C en las últimas décadas. Este incremento se observó en todas las estaciones del año, sobre todo en otoño y primavera. Al comparar la riqueza de especies entre ambas épocas, ésta resultó ser significativamente mayor en el periodo actual que hace 20 años. Estos cambios han sido más acentuados al aumentar la altitud, pero no de una forma lineal, sino con un máximo en altitudes intermedias. Esto hace pensar que el hecho de encontrar una mayor riqueza de especies de tricópteros en la actualidad a cotas elevadas que hace 20 años se deba a que se hayan visto obligadas a desplazarse en altitud. La migración latitudinal y altitudinal como respuesta ante el cambio climático se ha estudiado en muchas especies pero son escasos los estudios en invertebrados acuáticos en los que se haya puesto de manifiesto un desplazamiento altitudinal de la comunidad, y menos en ambientes mediterráneos.

La fenología de algunas especies se puede estar viendo afectada mediante un adelanto de la emergencia de adultos en las especies primaverales y un retraso en las otoñales. Cambios en las estrategias vitales de los organismos, como los cambios fenológicos, son uno de los efectos ecológicos observados en varios grupos animales, como consecuencia del reciente cambio climático, aunque hay aún pocos trabajos en invertebrados acuáticos en los que se haya documentado.

Ante el cambio climático se prevé un desplazamiento en el rango de distribución de aquellas especies que presenten adaptaciones fisiológicas ante las nuevas condiciones ambientales y capacidades dispersivas hacia nuevos hábitats más favorables. Especies como *Allogamus mortoni* y *Stenophylax nycterobius* no presentaban hace 20 años una distribución tan amplia en las cotas estudiadas de Sierra Nevada. En la región Mediterránea estas especies son típicas de cabeceras y tramos medios de sistemas montañosos calcáreos donde se distribuyen a altitudes más bajas de las encontradas actualmente en Sierra Nevada. El estudio del ciclo de vida de *S. nycterobius* ha puesto además de manifiesto un cambio en la estrategia vital de esta especie que le permite sobrevivir en localidades como las lagunas de Sierra Nevada. Los adultos emergen en septiembre y no migran a cuevas ni sufren diapausa estival. Las condiciones de los ríos de alta montaña en Sierra Nevada influyen en el desarrollo de estrategias vitales particulares adecuadas para sobrevivir y reproducirse en este tipo de hábitats y pueden verse favorecidas por el cambio climático.

Con la previsible alteración de los cursos fluviales a consecuencia del cambio global se corre el riesgo no sólo de perder poblaciones de especies endémicas, sino también un acúmulo importante de diversidad genética e información para entender la historia evolutiva del grupo por la alta diversidad local de dichas especies.

## OAPN07 | Efectos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos y terrestres de alta montaña de Sierra Nevada mediante el análisis del registro fósil en los sedimentos

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Granada
- **Investigadora Principal:** Carmen Pérez Martínez - Universidad de Granada
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Sierra Nevada
- **Palabras clave:** Cambio climático, registro fósil, sedimentos, ecosistemas, alta montaña, historia de la vegetación, análisis polen, historia del clima, incendios, holoceno, antropoceno, diatomeas, cladóceros, índice NAO.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' (OAPN)**
- **Inicio:** 17/12/2007
- **Fin:** 30/05/2011

### Sinopsis

En este proyecto se analizan los sedimentos de la laguna alpina de Río Seco en Sierra Nevada con un doble objetivo: la reconstrucción de la historia de la vegetación y de los incendios en Sierra Nevada durante el Holoceno y el análisis de los cambios sufridos en la propia laguna y su cuenca durante el Antropoceno. En ambos casos se presta especial atención a los cambios derivados de variaciones climáticas.

La datación obtenida de los testigos de sedimento indican que la edad de formación de estos humedales es postglacial u Holocena -últimos 11.000 años- y que la vegetación responde a cambios globales de temperatura y precipitación durante este periodo. El Holoceno temprano está caracterizado por la expansión de *Pinus*, y sugiere un calentamiento del clima hasta los 7 ka, cuando se alcanza el máximo térmico del Holoceno. La aridificación es evidente durante el Holoceno medio y tardío, a partir de 5,7 ka, con la reducción de bosques templados (*Pinus*, *Quercus perennes* y *Betula*) y el incremento de especies de pastizales (*Artemisia*, *Juniperus*, *Ephedra* y *Chenopodiaceae*). El impacto humano en la zona es relativamente pequeño existiendo evidencias de pastoreo por la presencia del hongo *Sporormiella*, que está asociado a las heces de ganado, e incrementos en plantas típicas de pastos (*Rumex* y *Plantago*) que se intensifican a partir de 2,8 ka. Es clara la presencia de la agricultura en los registros desde hace 250 años con el cultivo de *Olea*. Los incendios son muy moderados, pero comunes durante todo el Holoceno. El incremento desde 3.7 ka a 3.9 ka hasta la actualidad evidencia que es una señal regional relacionada principalmente con la expansión de la población humana.

Durante los últimos 200 años se observan cambios significativos en la laguna de Río Seco que comienzan a principios del siglo XX y se acentúan a partir de la década de los 60, de manera que tanto la comunidad de diatomeas como la de cladóceros y quironómidos actual difiere considerablemente de la existente durante el siglo XIX y principios del XX. Estos cambios se correlacionan con variaciones experimentadas en la temperatura del aire en Sierra Nevada y en el índice NAO desde 1856 y se explican través del efecto de estas variables sobre el nivel de agua y extensión superficial de la laguna y sobre el ambiente químico de la misma, principalmente los valores de alcalinidad y la disponibilidad de calcio.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

Los ecosistemas acuáticos alpinos y polares se consideran especialmente sensibles al calentamiento climático y pueden servirnos de torres de vigía en el seguimiento del cambio climático global. En Sierra Nevada existen un variado conjunto de lagunas alpinas situadas entre los 2700 y 3000 msnm aproximadamente, sobre las que no poseemos información relativa a los cambios acaecidos a largo plazo.



La evaluación de los efectos de los cambios antropogénicos y climáticos en los ecosistemas requiere el uso de bases de datos extensas en el tiempo. En la mayoría de los casos, la ausencia de éstas impide determinar de manera directa la variabilidad de los cambios ambientales pasados y el seguimiento de su trayectoria. Para la generalidad de los sistemas, la paleoecología puede proporcionar esta información. La huella de los cambios climáticos puede quedar registrada en el sedimento de los lagos a través de los restos de organismos (polen, carbones, restos silíceos, cladóceros, etc.) y cambios en la composición del sedimento. La datación de los distintos estratos de los sedimentos y el análisis de diversas variables físico-químicas y biológicas a lo largo del tiempo nos permite realizar una «reconstrucción» de las condiciones del lago y las características de la comunidad biológica del pasado.

La laguna de Río Seco, de origen glaciar y situada a 3.040 m sobre el nivel del mar en Sierra Nevada, es una pequeña laguna (0,42 ha), oligotrófica y somera ( $Z_{\max}=2,90\text{m}$ ) que se asienta sobre una cuenca de captación de 9,9 ha parcialmente cubierta de vegetación (15% aprox.) típica de alta montaña denominada localmente «borreguiles», compuesta mayoritariamente por briófitos (*Sphagnum* sp.) y gramíneas (*Nardus stricta*). Río Seco permanece cubierta de hielo y nieve desde octubre-noviembre hasta junio-julio, con importantes diferencias interanuales. La laguna preserva en el archivo de sus sedimentos al menos 11,5 ka de cambio ambiental, no solo de paleo-vegetación sino también de historia de los incendios, cambios en el nivel del agua e impacto humano, en una región donde existen pocos sistemas con un continuo registro del Holoceno. En este estudio se analizan diferentes variables en testigos de sedimento de la laguna con dos objetivos principales: establecer la historia de la vegetación, incendios y clima durante el Holoceno y reconstruir los cambios sufridos en dicho ecosistema acuático y su cuenca durante el Antropoceno, i.e. los últimos 200 años.

Se utilizó la estratigrafía de polen, carbones y microfósiles para determinar los cambios en la vegetación y su relación con la variabilidad climática durante el Holoceno y con los cambios registrados a elevaciones menores, para establecer la historia de los incendios y su concordancia con los cambios en la vegetación y clima, y para analizar el registro de la actividad humana en la región.

Se recurrió a la estratigrafía de diatomeas, cladóceros y quironómidos para establecer los cambios registrados en la propia laguna relacionándolos con cambios en el clima y en índices globales de circulación atmosférica como el índice NAO. De manera general podemos destacar que la biota de la laguna de Río Seco sufre importantes cambios en el siglo XIX que se acentúan a partir de los años 60. Estos cambios se observan en quironómidos, diatomeas y cladóceros. Es destacable que los cambios más importantes en quironómidos y diatomeas ocurren alrededor de los años 60 del pasado siglo mientras que en cladóceros se observan más tarde, a mediados de los años 70.

Los cambios observados desde principios del siglo XIX y especialmente desde los años 60 en las diatomeas y quironómidos puedan atribuirse a un incremento de temperaturas mientras que la acentuación de estos cambios y especialmente el observado en los cladóceros desde los años 70 sea el resultado de dicho incremento de temperaturas y del notable aumento observado en el índice NAO. Es fundamental comprender, en lo posible, la contribución relativa de las deposiciones saharianas, las variaciones climáticas gobernadas por el índice NAO y el calentamiento global a los cambios observados.

El estudio de los sedimentos de sus lagunas, como archivo histórico de la región, se muestra como una herramienta eficaz para conocer la variabilidad natural de los sistemas ecológicos y la respuesta de los mismos a cambios en el pasado tanto en escala de tiempo largas (Holoceno) como más cortas (Antropoceno). Estos hechos resultan imprescindibles en la gestión en el presente y en el futuro del Parque nacional de Sierra Nevada.

## OAPN08 | Modelización de la matorralización de los pastos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su relación con el cambio global

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología (IPE)
- **Investigadora Principal:** Concepción López Alados - CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología (IPE)
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido
- **Palabras clave:** matorralización, pastos alpinos, dinámica de vegetación, *Echinopartum horridum*, *Sus scrofa*, modelización.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' (OAPN)**

### Sinopsis

La tendencia general de la población humana en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (PNOMP) durante la segunda mitad del siglo XX ha sido su migración desde los pueblos y áreas rurales a las grandes urbes industrializadas. Como consecuencia, la presión de la ganadería disminuyó, dando lugar a la invasión de especies leñosas en los pastos (matorralización). No obstante, en determinadas situaciones, los pastos alpinos han mostrado un alto grado de persistencia, permaneciendo con pocos cambios específicos después de 20 años de exclusión al pastoreo. En este proyecto se investigó la influencia de los factores biofísicos y antrópicos sobre los procesos de matorralización. Los resultados obtenidos de las comparaciones entre tres imágenes de satélite (1989, 1998 y 2007) y entre tres fotografías aéreas (1957, 1981 y 2003), revelaron un incremento del bosque y del matorral y una disminución de la superficie de pastos. Asociados a esos cambios se observó un incremento de las poblaciones de ungulados silvestres como el jabalí (*Sus scrofa*), provocando un aumento de sus perturbaciones, principalmente hozaduras, en los pastos alpinos del PNOMP. Estas perturbaciones a su vez modifican e incluso puede llegar a degradar estos pastos. Una de las especies que presenta una mayor influencia en la reducción de los pastos es el erizón, *Echinopartum horridum*, debido a su capacidad de expansión, formando grandes y densas manchas monoespecíficas que pueden cubrir varias hectáreas, y donde sólo unas pocas especies sobreviven en los pequeños claros. La dinámica de la población sugiere que la colonización del erizón continuará en los pastos del PNOMP. Por ello, se simuló diferentes escenarios de gestión consistentes en un gradiente de pastoreo y de quemadas controladas para identificar diferentes situaciones de control de la expansión del erizón en los pastos.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

La matorralización de los pastos montanos y subalpinos es una de las amenazas más importantes que está sufriendo las zonas de alta montaña como consecuencia de los cambios de uso y climáticos. En los últimos 30 años, la lignificación de la vegetación de los pastos alpinos ha alcanzado una tasa de incremento de un 47% debido al abandono de la actividad rural. Es probablemente uno de los procesos de sucesión vegetal más importantes que afectan a la estructura y funcionamiento del ecosistema reduciendo la productividad de los ecosistemas pastorales así como su diversidad. Las causas que producen o aceleran esta transformación se han asociado generalmente al abandono de la tierra, y al aumento de las temperaturas aunque se desconoce la importancia relativa de cada uno de estos factores por separado.

El PNOMP presenta las tres cuartas partes de su superficie cubierta por pastos alpinos. Una de las especies que de forma activa está invadiendo estos pastos es el erizón, una especie calcícola endémica del Pirineo que se extiende ampliamente por la ladera sur de forma más rápida en las últimas décadas, formando manchas monoespecíficas de reducida diversidad. En el Pirineo, el pastoreo es uno de los factores más importantes que controlan la expansión del erizón, generalmente asociado a la quema y desbroce de matorral. Asociados a los procesos de recolonización del bosque y unidos a un descenso generalizado de la cabaña ganadera, son también importantes los cambios en las poblaciones de ani-

males forestales como el corzo o el jabalí, que han visto incrementado su hábitat y descendido su papel como recurso cinegético de supervivencia. El aumento en sus poblaciones trae consigo un incremento de sus perturbaciones, especialmente las hozaduras de jabalí, una de las grandes preocupaciones actuales en áreas protegidas de montaña.

Los modelos de simulación nos permiten predecir no sólo la dinámica y velocidad de los cambios observados sino también dibujar diferentes escenarios de cambio y predecir las consecuencias que dichos cambios producen en los ecosistemas. Una cuestión importante es detectar, evitar y minimizar las amenazas de los cambios de uso y climáticos en la conservación de los espacios naturales. Estudios recientes han demostrado que la variabilidad espacial y temporal en la distribución espacial de la vegetación abre numerosas oportunidades para el establecimiento de nuevas semillas. La distribución espacial de la vegetación tiene pues, un papel predominante en los procesos que en ella se desarrollan, por lo que los modelos desarrollados en este estudio son espacialmente explícitos.

A partir de censos ganaderos realizados mediante encuestas y consultas bibliográficas se ha reconstruido la evolución de los censos ganaderos durante el último siglo. Los resultados dejan ver claramente un fuerte descenso de la carga ganadera sobre todo a partir de los años 90. A partir de esas fechas, en el sector oriental la carga ganadera se ha mantenido al mismo nivel, mientras que en el sector occidental el descenso continúa, aunque de manera más lenta.

En conjunto, los pastos densos se han reducido en un 6% en estos 50 años, pasando de ocupar un 37% de la superficie del PNOMP a ocupar un 31% en la actualidad. Frente a esa disminución, cabe destacar el aumento de matorrales y bosques. La proporción de matorrales disminuyó frente al bosque, mientras que la superficie de bosque aumentó un 7%. En proporción relativa, el erizón es la especie leñosa que aumentó más, dado que duplica su superficie pasando de ocupar el 1,2% del PNOMP al 2,5%. La mayor parte del proceso está caracterizado por una conversión de los matorrales en bosque seguido de la colonización de pastos, prados y suelo desnudo por matorrales y bosques. Las imágenes *Landsat Thematic Mapper* han permitido diferenciar cuatro categorías de vegetación (zonas de bosque, matorrales, pastos densos y pastos ralos) con elevada exactitud y, por tanto, pueden ser utilizadas para la clasificación supervisada de estas cuatro categorías de vegetación de forma muy satisfactoria.

Las perturbaciones por hozaduras de jabalí afectan de forma muy considerable a los pastos del PNOMP. Con respecto al suelo fue destacable el aumento temporal en la disponibilidad de nutrientes como los nitratos, al ser eliminada la absorción de las plantas de dichos nutrientes y estimulados su mineralización con la remoción del suelo. A su vez se encontró un efecto de compactación del suelo, debido a que las hozaduras eliminan la cobertura vegetal levantando las raíces y raicillas de las plantas y por ende desestructurando la estructura porosa del suelo dada por la estructura radical en los primeros centímetros del suelo. Con respecto al banco de semillas, su efecto principal fue la reubicación de semillas de capas más profundas del suelo (desde 5-10 cm), donde se ubican el grueso en número de semillas en estos pastos, a capas superficiales, siendo en esta situación más susceptibles de germinar. Aún así, el impacto de las hozaduras al banco de semillas es bastante moderado, ya que resultó muy reducido el papel de dicho banco en la regeneración y dinámica de los pastos. Para la flora y vegetación de los pastos, las perturbaciones produjeron una disminución de las especies dominantes en estos pastos (*Festuca eskia*, *F. paniculata spadicea*, *Nardus stricta*, *F. gr. rubra*, *Agrostis capillaris*, *Poa supina* y *Trifolium alpinum*). Entre la flora favorecida se encontraron únicamente 6 especies de las cuales ninguna fue gramínea. En cuanto a su composición en grupos funcionales, las perturbaciones provocaron un cambio en la dominancia de especies gramíneas por especies dicotiledóneas.

## OAPN09 | Estrategias de supervivencia ante el cambio global. Las especies de efemerópteros y plecópteros del Parque Nacional de Aigüestortes como paradigma

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes
- **Investigadora Principal:** María de los Ángeles Puig García - CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici
- **Palabras clave:** plecópteros, efemerópteros, biodiversidad, biología molecular, hemocianina, alimentación, distribución altitudinal, hidrología, cambio climático.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' (OAPN)**

### Sinopsis

Este proyecto tuvo como finalidad abordar el estudio de la fragilidad de las comunidades bentónicas fluviales en sistemas de alta montaña ante los posibles cambios (escenarios) que puede introducir el cambio global en estos ecosistemas, ya sea por la reducción de caudales (ampliación de los periodos de sequía) o el incremento de la temperatura, asociada o no con la reducción de la concentración de oxígeno disuelto en el medio fluvial.

Para alcanzar este objetivo global se seleccionaron las especies de efemerópteros y plecópteros, dada su sensibilidad 'a priori' ante este tipo de cambios y el hecho de que la mayoría de sus especies son consideradas como buenas indicadores de la calidad ecológica de los ecosistemas fluviales. Para ello se abordaron aspectos como la presencia de proteínas respiratorias (hemocianinas) en plecópteros y su funcionalidad ante la reducción de la concentración de oxígeno disuelto en el agua; el aislamiento de las poblaciones de las distintas especies en las subcuencas del Parque Nacional de Aigüestortes; el grado de especialización de la dieta de las distintas especies y su papel como factor limitante ante el cambio en la composición y disponibilidad del alimento que puede producirse en el futuro o la capacidad potencial de la estructura de los huevos de ambos órdenes frente a la variabilidad hidrológica que puede someter las puestas a periodos de desecación.



### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

Que el impacto del cambio climático es un hecho en ecosistemas de montaña y que afecta especialmente a los ecosistemas acuáticos, ya ha sido confirmado en distintos trabajos. [Schneider & Hook \(2010\)](#) midieron a nivel mundial un aumento medio de la temperatura superficial del agua en grandes masas continentales en torno a 1,13° C en el período 1985-2009, con valores máximos de hasta 2,5°C. Estos autores también han observado que el

calentamiento es mayor en latitudes altas y medias del hemisferio norte, áreas en las que se encuentran situados los Pirineos.

El cambio climático en ecosistemas fluviales genera un efecto cascada a partir de su impacto sobre el balance hídrico, el cual a su vez incide sobre distintos procesos fluviales (régimen hídrico, estabilidad del canal, estructura del substrato del lecho fluvial, etc.) y la calidad del agua, afectando en este caso a todos sus descriptores, especialmente a la temperatura. Así mismo, la temperatura regula la concentración de oxígeno disuelto en el agua, disminuyendo ésta según aumenta la temperatura. En su conjunto, los cambios que induce el cambio climático sobre los distintos procesos fluviales y la calidad del agua condicionan la permanencia de las comunidades bentónicas fluviales que los habitan e introducen cambios en su estructura y dinámica.

Los efectos del cambio climático pueden verse reforzados en los ecosistemas de alta montaña por la acción humana, como, por ejemplo, los cambios de uso del suelo y la gestión hidráulica de los cauces. Dentro de las cuencas del PN-Aigüestortes, el efecto antrópico consiste principalmente en la regulación de algunos de los lagos de cabecera y la derivación de la mayor parte del caudal desde los cauces fluviales hasta plantas de generación hidroeléctrica que se encuentran en la parte baja de las cuencas o en cuencas próximas. Este tipo de gestión implica caudales mínimos a lo largo de todo el año, sin la mayor parte de las oscilaciones propias del régimen hídrico pirenaico, con temperaturas más altas en verano. Estos factores afectan la estructura de las comunidades fluviales, favorecen la colonización por especies menos estenotermas y reducen la capacidad de respuesta de las comunidades (resistencia y resiliencia) ante fenómenos extraordinarios.

Se ha comprobado que son pocas las especies de plecópteros que poseen hemocianina en la hemolinfa, tratándose principalmente de depredadores de las familias *Perlidae* y *Perlodidae*. En este proyecto se ha demostrado por primera vez que la síntesis de la hemocianina se activa ante la reducción del oxígeno disuelto en las aguas en que habitan. También se ha comprobado que esta síntesis es una estrategia fisiológica que utilizan junto con estados de letargo/diapausa.

El análisis que se ha realizado dentro de este proyecto demuestra que períodos de entre 15 y 20 años son suficientes para permitir la colonización de toda una cuenca fluvial por parte de especies más euritermas procedentes de tramos inferiores y el desplazamiento aguas arriba de las especies más estenotermas con la consiguiente reducción de su distribución geográfica y el aislamiento de sus poblaciones. La gran velocidad de respuesta observada de las especies de plecópteros y efemerópteros ratifica nuestra hipótesis de partida que consideraba a ambos órdenes de insectos como buenos indicadores del cambio climático y del cambio global.

Si las predicciones climáticas se cumplen se esperan importantes cambios en la biodiversidad de plecópteros y efemerópteros, como la eliminación de las especies estrictamente estenotermas frías de plecópteros, que en el Parque Nacional de Aigüestortes representan aproximadamente el 25% de las especies que lo habitan actualmente. También pueden llegar a desaparecer las especies más reófilas de efemerópteros y las estenotermas frías de este orden. De modo que el escenario probable plantea «a priori» una importante pérdida de especies, que implicaría la desaparición/extinción de algunas de ellas.

Hay actuaciones necesarias tendentes a garantizar la conservación de la biodiversidad de plecópteros y efemerópteros en el PN-Aigüestortes que deberían considerarse. Como la especial preservación de algún cauce concreto que incluye buena parte de los endemismos y especies en riesgo, para el que deben establecerse medidas tendentes a limitar los posibles impactos que puedan producirse asociados a la gestión del PN-Aigüestortes. En concreto, se recomienda tener en cuenta la protección del cauce del tercer barranco de Pui Plà. También se deberían aumentar los caudales de los tramos regulados, aproximándolos a los caudales de mantenimiento precisos para preservar el mayor tiempo posible las comunidades de macroinvertebrados propias de estos cauces, cerrando el paso a especies más euritermas de cauces con menor caudal.

## OAPN10 | Efectos del cambio global sobre el funcionamiento de los ecosistemas de la Red de Parques Nacionales españoles: impactos recientes y desarrollo de un sistema de seguimiento

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Almería
- **Investigador Principal:** Javier Cabello Piñar - Universidad de Almería
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** el conjunto de los parques nacionales de la Red
- **Palabras clave:** AVHRR, atributos funcionales, condiciones de referencia, índices espectrales de vegetación, MODIS, tendencias.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **[Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' \(OAPN\)](#)**

### Sinopsis

El desarrollo de programas de seguimiento que permitan una rápida evaluación de las condiciones de las áreas protegidas frente a los efectos del cambio global representa un reto. El uso de la teledetección contribuye a satisfacer estos requisitos, ya que a partir de índices espectrales relacionados con el intercambio de materia y energía entre la vegetación y la atmósfera, se pueden derivar atributos que informan sobre la integridad de los ecosistemas a escala regional y a través de largas series temporales. Este proyecto comenzó evaluando los parques de la Península Ibérica con imágenes de resolución grosera y largas series temporales (AVHRR). A pesar de la variabilidad observada, se detectaron cambios importantes en su productividad, estacionalidad y fenología en los últimos 25 años: la intercepción de radiación fotosintéticamente activa (un subrogado de la productividad primaria) está aumentando, la estacionalidad está disminuyendo, y la fenología del máximo y del mínimo de radiación interceptada se está adelantando en el año. A partir de la experiencia acumulada, y gracias a la disponibilidad de imágenes de mayor resolución espacial y frecuencia temporal (MODIS), se propone un sistema de seguimiento y alerta que permita proporcionar datos de forma periódica, sistemática y homogénea del estado de los ecosistemas mediante una metodología estandarizada para cualquier zona del planeta.



### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

El avance de tecnologías como la teledetección puede contribuir de gran manera al seguimiento del cambio global. El empleo de atributos relacionados con el intercambio de materia y energía entre la vegetación y la atmósfera ofrece una respuesta a más corto plazo que la estructura de la vegetación. Además, este tipo de atributos se prestan a seguimiento a través del empleo de imágenes de satélite con mayor facilidad que los estructurales.

Entre los índices más importantes se encuentran los de vegetación (IV) como el NDVI (por sus siglas en inglés, *Normalized Difference Vegetation Index*) y el EVI (*Enhanced Vegetation Index*). Las investigaciones ecológicas basadas en éstos índices constituyen una valiosa

aproximación en biología de la conservación, como apoyo al manejo de la naturaleza, y en el estudio de las respuestas ecológicas frente a los cambios ambientales.

Se han previsto tres niveles de desarrollo para el sistema: 1) nivel nacional, que brinda la posibilidad de obtener información para todo el territorio nacional, la obtención de este tipo de información resulta básica, ya que el procesamiento de las imágenes se hace para el conjunto de las escenas que cubren todo el territorio nacional, y su uso permite usar los espacios protegidos como áreas de referencia en las que los cambios de uso están minimizados, frente a las que evaluar los impactos del cambio global; 2) nivel de Red, que aportará información relativa al conjunto de la red de parques nacionales, informando sobre ellos de un manera global, sin detallar en las tipologías de ecosistemas y permitiendo establecer comparaciones entre parques; y 3) nivel ecosistema, que proporcionará información para evaluar el estado y dinámica de los ecosistemas de cada parque.

Casi todos los Parques han cambiado significativamente en los últimos 25 años en relación a la productividad anual de sus ecosistemas, la estacionalidad y la fenología. Sin embargo, algunos Parques concentran más cambios que otros y el grado que estos cambios han adquirido varió en función de las condiciones ambientales, la gestión y la historia de conservación de los diferentes Parques. Como patrón general, observamos un aumento en los valores anuales de la media de NDVI (i.e. aumento en la productividad anual) y en los valores mínimos de ésta variable, y un descenso en sus valores máximos y en el contraste entre las estaciones de crecimiento y no crecimiento (i.e. estacionalidad). Además se observó un adelanto de los momentos de máximo y mínimo NDVI, lo que indica importantes cambios en la fenología de los ecosistemas.

Las tendencias observadas, difieren no obstante, tanto en signo como en magnitud entre los parques de una misma región biogeográfica. Así, parques muy próximos y similares en tipos de vegetación mostraron diferentes tendencias. En los parques eurosiberianos, el aumento generalizado de las temperaturas parece haber ocasionado un incremento de la actividad vegetal en primavera al comienzo de la estación de crecimiento relacionado con un adelantamiento de la misma. Por el contrario, en los parques mediterráneos, el aumento de las temperaturas ha favorecido un mayor incremento de la actividad vegetal durante el período frío de otoño-invierno, pero también una aceleración de la senescencia tras el máximo de intercepción de radiación de primavera, probablemente asociado a un aumento del estrés hídrico, lo que ha provocado un adelantamiento de la fecha del mínimo NDVI.

Debido a que el clima mediterráneo es muy impredecible, todos los parques de esta región muestran una mayor variación interanual en fenología y estacionalidad que los de la región eurosiberiana. Los datos revelan la restricción que la disponibilidad de agua impone a la productividad que, aunque es mucho más crítica para los parques de la región mediterránea, también afecta a los eurosiberianos.

De manera genérica, la presencia de bosques mixtos y de hoja plana tiende a aumentar significativamente la media anual de NDVI, mientras que los cultivos marginales y la vegetación dispersa la disminuye. En el caso de los parques eurosiberianos, este valor aumenta a medida que lo hace la presencia de bosques de hoja caduca. En los parques mediterráneos, la productividad aumenta a medida que son más abundantes los bosques esclerófilos (i.e. *Quercus rotundifolia* y *Q. suber*).

Una primera ventaja que se deriva del desarrollo de un sistema de seguimiento en la Red de Parques Nacionales como el que se propone, es su bajo coste y la capacidad de que dispone para proporcionar datos de forma sistemática y homogénea. La arquitectura del sistema y el tipo de datos con los que funciona permiten proporcionar información útil para la priorización de las acciones de gestión. De hecho, el sistema aporta información temporal y espacialmente explícita, que es idónea para la elaboración de modelos que predigan los cambios inducidos al ecosistema por un determinado manejo o agente de cambio ambiental, facilitando al gestor la toma de decisiones al anticipar el resultado de medidas adoptadas en el ámbito de la gestión del uso o conservación del ecosistema.

## OAPN11 | AERBAC: Diversidad bacteriana en lagos de alta montaña: biogeografía y mecanismos de dispersión por aerosoles atmosféricos en el contexto del cambio global

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)
- **Investigador Principal:** Emilio Ortega Casamayor - CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici | Parque Nacional de Sierra Nevada
- **Palabras clave:** aerosol, bacteria, biogeografía, cambio global, dispersión, lagos alpinos, polvo sahariano.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **[Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' \(OAPN\)](#)**

### Sinopsis

El polvo originado en los grandes desiertos del planeta, como el Sahara, puede ser inyectado en la troposfera en grandes cantidades y dispersado a miles de kilómetros de distancia sobre vastas extensiones de cientos de miles de km<sup>2</sup>. El cambio global (sequías, cambios de uso del suelo, cambio de patrones climáticos) exacerba este fenómeno. Además de ser un mecanismo ecológico de fertilización remota, también favorece la dispersión global de microorganismos. Los lagos de alta montaña de zonas protegidas, como los del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de St. Maurici, actúan como colectores naturales de alta sensibilidad y, por tanto, como centinelas de la magnitud del proceso, del tipo de microorganismos inmigrantes y de la calidad microbiológica del ecosistema global. En los lagos del Parque se han identificado bacterias aerotransportadas a larga distancia no esporuladas y cosmopolitas que colonizan con éxito el plancton, pero también poblaciones foráneas de *Acinetobacter* latentes, un género bacteriano que contiene un amplio repertorio de patógenos oportunistas, con el potencial de desarrollarse en estos ambientes pero sometidas a un fuerte control poblacional. Este proyecto representa un ejemplo de cómo zonas especialmente sensibles a la degradación y que quizá no son consideradas relevantes en las agendas de protección por su falta de interés faunístico, florístico o paisajístico juegan un papel clave en la ecología del planeta y tienen un efecto remoto en ecosistemas de alto interés y máximo grado de protección.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

Los microorganismos son seres vivos extremadamente beneficiosos e indispensables para el desarrollo y mantenimiento de la vida en cualquier ecosistema. Su extensa historia evolutiva (más de 3.000 millones de años de antigüedad) encierra la mayor fuente de biodiversidad y riqueza genética del planeta, con un amplio repertorio de moléculas y de vías metabólicas que poseen en exclusividad. La magnitud de sus tamaños poblacionales (del orden de 10<sup>30</sup> individuos) los convierte en el principal reservorio orgánico de nitrógeno y fósforo del planeta y la cantidad de carbono que almacenan es del mismo orden de magnitud que el que está contenido en las plantas terrestres. Paradójicamente, a pesar de su extensa ubicuidad y abundancias astronómicas, el mundo de los microorganismos nos resulta todavía un universo lejano y desconocido debido a la dificultad metodológica de su estudio y a la propia magnitud de la empresa a la que nos enfrentamos.

Estas limitaciones y otras de índole conceptual hacen que actualmente se desconozca cuál es el número de especies bacterianas presentes en la naturaleza, con estimaciones propuestas por diferentes autores que oscilan varios órdenes de magnitud. Tampoco se tiene una buena apreciación sobre qué ambientes tienen más posibilidades de albergar una mayor diversidad de especies y cuáles no, ni tampoco sobre la riqueza filogenética que contienen y su grado de novedad. También existe gran debate en cómo definir correcta-



mente el concepto 'especie bacteriana', ya que se trata de individuos que se reproducen asexualmente y tienen un repertorio morfológico muy limitado, lo que dificulta en gran manera el encaje de todas estas cuestiones.

El transporte de microorganismos a largas distancias (miles de kilómetros) por vía aérea mediante aerosoles atmosféricos ha cobrado un renovado interés ligado a los mecanismos de dispersión, ya que supone la movilización anual por todo el planeta del orden de 10 trillones de microorganismos y se ha visto acelerado en los últimos años por efectos ligados al cambio global. Este fenómeno cuenta con dos puntos calientes de emisión natural de partículas a escala planetaria: la zona del Sahara-Sahel, en África y la del Gobi-Takla Makan, en Asia. Aquí se generan inmensas masas de polvo en suspensión (miles de millones de toneladas), algunas de ellas equivalentes al tamaño de toda la Península Ibérica, que se desplazan miles de kilómetros de distancia saltándose las barreras oceánicas impulsadas por el régimen general de vientos. Las características climatológicas regionales en la zona Atlántico-Mediterránea favorecen la entrada periódica de parte de estas masas africanas hacia la zona continental europea, mientras que polvo del desierto del Gobi puede detectarse en Europa después de haber completado casi una vuelta completa alrededor de la Tierra.

Se ha trabajado en 13 diferentes lagos dentro del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici situados en un rango de altitud entre los 1600 y los 2400 m. La concentración de bacterias en estas aguas osciló entre 100.000 y 1 millón de individuos por mililitro. Se detectó un fuerte componente estacional con máximos de abundancia normalmente observables en los meses de verano. Las entradas de polvo de origen sahariano son fácilmente trazables e identificables y afectan a estos lagos con máximos de incidencia localizados normalmente en primavera-verano.

Las masas de polvo fueron seguidas mediante la información suministrada por el proyecto **CALIMA**. También se utilizaron datos de la sonda **TOMS** de la NASA (*Total Ozone Mapping Spectrometer*). Durante los años 2004 a 2010 se observaron valores de deposición sahariana mensual en el NE de la Península Ibérica con máximos cercanos a los 20 días, con un periodo con máximos de incidencia durante el bienio 2007-2008. En 2007, un 25% de los días del año en esta zona tuvieron algún tipo de episodio de entrada de material sahariano. En promedio, durante el periodo 2004-2010, un día por semana en esta zona geográfica tuvo polvo africano presente en suspensión en la atmósfera.

La movilización atmosférica de polvo a escala global se ha visto acelerada por la persistente sequía que desde hace más de 30 años azota la zona del Sahel y del Sahara y que, junto al crecimiento desmedido de prácticas agrícolas y ganaderas extensivas, han prácticamente desecado extensas zonas acuáticas como el Lago Chad, disminuyendo la cubierta vegetal protectora y aumentando la frecuencia e intensidad de las tormentas de arena. El escaso o nulo control en las prácticas agrícolas y sanitarias en estas regiones de África y la falta de depuración en los vertidos realizados a ríos y lagos hacen que se movilicen de los sedimentos desecados diferentes tipos de contaminantes orgánicos, metales pesados y microorganismos potencialmente patógenos. Se estima que alrededor de 3000 millones de toneladas de componentes del suelo y sedimentos están continuamente flotando en la atmósfera. La mayor cantidad de polvo circulando por el planeta hace que aumente significativamente la carga microbiológica del aire.

Así, en este proyecto se han utilizado lagos y zonas de alta montaña como biosensores de la calidad microbiológica del aire y de la salud del ecosistema. Estos lagos se encuentran relativamente poco alterados por la acción humana a escala local y son considerados relativamente libres de interferencias externas próximas. Los resultados indican que se trata de grandes colectores naturales muy útiles para estudiar la incidencia de microbios invasores de origen remoto transportados por el viento ya que ofrecen datos integradores de alto valor diagnóstico.

## OAPN12 | Variación genética adaptativa de anfibios en gradientes altitudinales: efectos sobre la viabilidad de poblaciones subdivididas en escenarios de cambio climático

- **Entidad en la que desarrolla el proyecto:** Universidad de Oviedo
- **Investigador Principal:** David Álvarez Fernández - Universidad de Oviedo
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de los Picos de Europa
- **Palabras clave:** conservación, anfibios, variación genética adaptativa, cambio climático, fenología reproductora, gradientes altitudinales.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' (OAPN)**
- **Inicio:** 11/12/2008
- **Fin:** 11/12/2011

### Sinopsis

Los anfibios son el grupo de vertebrados más amenazado actualmente y, debido a las características de su ciclo de vida, uno de los grupos más adecuados para el estudio de los efectos del cambio global sobre la biodiversidad. Durante el desarrollo de este proyecto se identificaron los factores climáticos que afectan a la fenología reproductiva de la rana bermeja (*Rana temporaria*). Mediante los datos proporcionados por más de 30 termómetros de registro continuo, el marcaje individual con microchips y los análisis genéticos realizados en 32 núcleos de reproducción distribuidos a lo largo de todo el gradiente altitudinal (32 – 2200 msnm), se ha confirmado la existencia de dos estrategias reproductoras en esta especie y una fenología condicionada por la altitud. Las poblaciones situadas por encima de los 1500 msnm tienen un grave riesgo de extinción local y una probabilidad de recolonización reducida debido al desacoplamiento entre reproducción y clima, en el caso de que tal como apuntan estos resultados, la fenología reproductiva esté fijada genéticamente. Asimismo, se han confirmado la existencia de diferencias significativas, tanto en los mecanismos de selección sexual como en la tolerancia térmica durante el desarrollo embrionario, entre poblaciones situadas en los extremos del gradiente altitudinal.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

El carácter local de muchas poblaciones de anfibios es el responsable de su elevado grado de estructuración y a su vez de su elevada sensibilidad frente a una gran variedad de factores de regresión. Durante las últimas décadas se ha podido confirmar un declive generalizado de muchas especies y poblaciones de anfibios que en muchos casos ha incluido procesos de fragmentación, la extinción de poblaciones locales e incluso de especies en tiempos recientes. Actualmente se considera que los anfibios son el grupo de vertebrados más amenazado, ya que de las aproximadamente 6000 especies reconocidas, un 43% de ellas presentan algún tipo de declive poblacional y un 33% se encuentran globalmente amenazadas. Una de las posibles causas del declive de los anfibios a nivel global es el cambio climático, que podría ocasionar un desajuste temporal entre los procesos de reproducción, crecimiento o hibernación y las condiciones adecuadas para esos procesos.

La aparición de eventos extremos desajustados estacionalmente, como prolongadas sequías o nevadas tardías, puede ocasionar fenómenos de mortalidad masiva que pueden provocar episodios de extinción local. La destrucción y deterioro del hábitat contribuyen en muchos casos a acentuar ese declive, de forma que la persistencia de las poblaciones de anfibios puede vincularse al tamaño del hábitat y a su configuración espacial.

Los efectos del cambio climático y del calentamiento global en particular, se hacen más patentes en los hábitats de montaña, donde las condiciones son más severas y donde muchas especies, tanto animales como vegetales, se encuentran en su límite de distribución altitudinal. En estas zonas, un ligero incremento de la temperatura media anual puede

suponer una reducción drástica del hábitat disponible y además puede tener efectos muy negativos sobre el ciclo de vida de muchas especies. Por otra parte, en las poblaciones de alta montaña la reproducción y el desarrollo de los huevos y juveniles presenta un grado de sincronización muy elevado, por lo que un desajuste puede ocasionar el fracaso de la reproducción. En caso de encadenarse varios años de fracaso reproductor y bajo reclutamiento, las probabilidades de extinción local de estas poblaciones son muy elevadas.

En el caso particular del Parque Nacional de los Picos de Europa, las zonas de alta montaña, debido a su naturaleza cárstica, tienen pocos lugares favorables que permitan la acumulación de agua necesaria para la reproducción de los anfibios, por lo que estos hábitats acuáticos no son muy numerosos y los que aparecen se encuentran muy dispersos dentro de una matriz de hábitat inhóspito. La presencia de barreras geográficas impide la dispersión, por lo que éstas tienen un papel determinante en la estructura espacial de las poblaciones. En este contexto, conocer cómo la estructura del paisaje puede condicionar la estructura genética y demográfica de una población puede ayudar a predecir el potencial de evolución en diferentes situaciones relativas a la fragmentación o perturbación del hábitat, así como a la pérdida de conectividad entre poblaciones.

En los anfibios se pueden presentar dos sistemas de reproducción diferenciados: uno explosivo, en el que todos los individuos de la población se reproducen durante unos pocos días y uno prolongado, en el que la reproducción se extiende en un periodo de varias semanas o incluso meses. En realidad se pueden considerar dos estrategias extremas de un sistema continuo, desde especies que se reproducen durante una sola noche a especies que se reproducen durante todo el año, como ocurre en algunas especies tropicales. En el caso de *R. temporaria* se ha confirmado la existencia de estos dos sistemas a lo largo del gradiente altitudinal, ya que las poblaciones de zonas bajas siguen un sistema prolongado y en altitudes por encima de los 1300 metros la reproducción es explosiva.

Según los resultados de este estudio, son previsibles unos efectos muy importantes sobre la dinámica de las poblaciones de anfibios si, tal como predicen los modelos climáticos, se espera una tendencia al aumento de las temperaturas y en la ocurrencia de eventos climáticos extremos a medio plazo. Se confirma que la temperatura durante el desarrollo larvario podría ser un factor limitante para la supervivencia de las poblaciones situadas en zonas de alta montaña. Una subida de unos pocos grados durante el periodo de desarrollo temprano que, según los modelos actuales no es algo descabellado, podría contribuir a la extinción de las poblaciones situadas en el límite del gradiente de altitud.

Los resultados confirman la elevada sensibilidad de las poblaciones de anfibios de alta montaña y la amenaza de extinción a medio plazo en caso de un aumento de los fenómenos meteorológicos adversos ligados al cambio climático. Hay tres fenómenos relacionados con la temperatura ambiental que condicionan tanto el inicio de la reproducción como la duración del mismo: la fusión del hielo de las charcas, la desecación de las mismas y la congelación.

Podrían resultar efectivas unas políticas de conservación dirigidas a la protección de una red de enclaves que aseguraran la conectividad entre los distintos núcleos de población, de forma que no se cortara el flujo de individuos entre ellos y por ende, el flujo génico. En el caso de estas poblaciones de *Rana temporaria*, que es extensible al de otras especies como el sapo partero (*Alytes obstetricans*), la escasa conectividad entre algunas poblaciones -debido sobre todo al hábitat inhóspito en que se encuentran las charcas de alta montaña-, hace que sea muy improbable la recolonización por individuos de poblaciones cercanas en el caso de que se produjeran fenómenos de extinción local.

## OAPN13 | Interacción planta-herbívoro y dinámica poblacional de la procesionaria del pino en el Parque Nacional de Sierra Nevada en el marco del cambio global

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Granada
- **Investigador Principal:** José Antonio Hódar Correa - Universidad de Granada
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Sierra Nevada
- **Palabras clave:** Cambio global, dinámica poblacional, efectos en el hospedador, interacción planta-herbívoro, procesionaria del pino.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' (OAPN)**
- **Inicio:** 11/12/2008
- **Fin:** 11/12/2011

### Sinopsis

El clima, la calidad de la planta como alimento, y los depredadores y patógenos son las explicaciones más usuales a las que se atribuye la dinámica cíclica de una población animal. Más que averiguar cuál de ellas es cierta o encontrar una explicación general para todas las poblaciones cíclicas, la tendencia actual es entender qué peso tiene cada una de ellas en los distintos sistemas que pueden ser objeto de análisis.

El presente estudio se centra en los efectos que estas variables ejercen sobre la dinámica poblacional de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*, Lepidoptera: Notodontidae), en combinación con la expansión -debida posiblemente al incremento de temperaturas- que la especie está experimentando. El estudio se llevó a cabo en el Parque Nacional de Sierra Nevada y su entorno, que ofrece una inmejorable oportunidad para estudiar estos fenómenos, gracias a sus abundantes pinares, naturales y repoblados, y a su gradiente altitudinal, que permite estudiar los movimientos de la procesionaria en una escala manejable.

El estudio ha permitido determinar que la defoliación previa de los pinos no parece constituir un factor relevante en el colapso de las erupciones poblacionales; en cambio, el microhábitat en el que se entierran para pupar determina en gran medida tanto la tasa de emergencia de mariposas como su fenología. Los resultados obtenidos apuntan a que, entre los factores bióticos, los depredadores y parasitoides representan un factor de mayor entidad que la respuesta inducida en la planta tras la defoliación y que los factores abióticos (en concreto la NAO y sus efectos climáticos asociados) desempeñan también un importante papel, mayor cuanto mayor es la altitud a la que se sitúa el pinar, en la dinámica poblacional de la procesionaria.

Los autores sugieren que el control de la procesionaria debe pasar más por una gestión adecuada de los pinares -que contribuyan a hacerlos más resistentes a la procesionaria- que por medidas paliativas de tipo fumigación, ya que éstas no se muestran efectivas frente a la dinámica de la mariposa, además de ser menos adecuadas en el marco de un espacio protegido. Incrementar la diversidad de las repoblaciones favoreciendo a especies de frondosas, reducir las zonas de suelo desnudo -por ejemplo, mediante la promoción de los matorrales-, y ayudar a los enemigos naturales de la procesionaria, pueden ser medidas eficaces.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

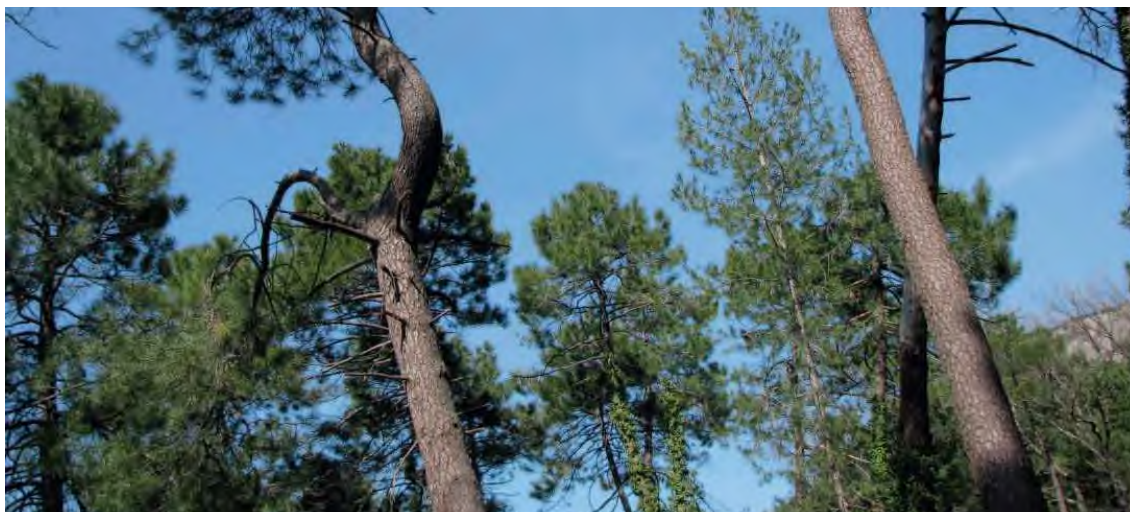
La procesionaria del pino ha registrado una notable expansión en los últimos años, no sólo en España, sino en general en todo el suroeste de Europa, como consecuencia del incremento de temperaturas asociado al cambio global. Esto ha provocado, de forma simultánea, un problema de salud forestal (ataque a los bosques de pinos y repoblaciones), un problema ecológico (posibles efectos negativos en las especies presentes en las zonas defoliadas) y un problema de salud humana y veterinaria (la procesionaria del pino es muy urticante).

Los factores que regulan la población de la procesionaria son el clima, los enemigos naturales y el alimento. Sin embargo, aun cuando la procesionaria se vea favorecida por el incremento de temperatura y se expanda en altitud y latitud, no parece probable que la temperatura sea la única causante de sus erupciones poblacionales. Es necesario establecer claramente la relación existente entre los tres factores con el fin de dar la adecuada respuesta a los dos procesos: el de las defoliaciones cíclicas y el de la expansión de su rango como consecuencia del cambio global. Para ello, necesitamos un mejor conocimiento de algunos aspectos de la biología de la procesionaria, que pueden tener relevancia a la hora de articular la relación entre clima, depredadores y alimento.

El análisis de la base de datos de la Junta de Andalucía indica que las irrupciones de la procesionaria en los pinares andaluces se ajustan mejor a un ciclo de origen biológico (calidad de la planta, depredadores y parasitoides, o ambos) que a una respuesta a las condiciones climáticas, en contra de lo usualmente admitido. Sin embargo, esto no descarta al clima como importante efector, ya que al menos durante el período 1992-2009 los mínimos poblacionales de la procesionaria estuvieron precedidos por años de mínimos en los valores invernales de NAO (Oscilación Atlántico Norte). Esta relación con la NAO es más fuerte con los pinos que viven a altitudes medias y altas, como los de las montañas como Sierra Nevada. Sin embargo, el resultado más inesperado y de especial relevancia para la gestión fue encontrar que no hay diferencias significativas en el comportamiento de los rodales tratados mediante fumigación aérea y los que no, esto es, que en términos de prevención de futuras defoliaciones, la fumigación no representa un beneficio contrastado.

Todo indica que, en un suelo más frío, las larvas no son capaces de mudar de larva a pupa, y en el suelo más abundante en mantillo del matorral y el bosque son atacadas por hongos y nematodos sin llegar a pupar, lo que en verano se ve reflejado en una escasísima salida de mariposas.

Es necesario poner los medios necesarios para que el pinar sea menos susceptible al ataque por procesionaria, esto es, primar las medidas preventivas frente a las paliativas. Hay muchas medidas de gestión forestal que permiten disminuir la susceptibilidad de los pinares a la procesionaria. La primera y principal, que ya se viene aplicando desde hace tiempo, es favorecer la heterogeneidad ambiental en los pinares de repoblación incrementando la proporción de árboles y matorrales caducifolios, en especial en las lindes de los rodales, en donde la procesionaria ataca más. Hemos visto cómo los matorrales no son un buen sustrato de pupación, por lo que podrían usarse para empeorar las condiciones de vida de la procesionaria en las zonas de borde de bosque, aquellas que prefiere para atacar. Tales medidas son especialmente relevantes en los planes de recuperación de la diversidad en nuestras zonas protegidas en los últimos años. Igualmente, es necesario el reforzamiento de las poblaciones de parasitoides y aves insectívoras que contribuirían a estabilizar las poblaciones de procesionaria.



## OAPN14 | Detección remota de los efectos del cambio global en la ecología y la biogeoquímica de las comunidades de macrófitas del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel: diseño de medidas adaptativas y programas de seguimiento para la conservación

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Museo Nacional de Ciencias Naturales
- **Investigador Principal:** Salvador Sánchez Carrillo - CSIC. Museo Nacional de Ciencias Naturales
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de las Tablas de Daimiel
- **Palabras clave:** Cambio climático, ecología, biogeoquímica, macrófitas, humedales mediterráneos.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Inicio:** 11/12/2008
- **Fin:** 30/06/2013

### Sinopsis

En este proyecto se realizó –entre otras aproximaciones y enfoques– un experimento mediante una instalación de enriquecimiento de CO<sub>2</sub> al aire libre en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel. Se incrementó el CO<sub>2</sub> a 550 ppm durante un ciclo vegetativo sobre parcelas de carrizo (*Phragmites australis*). Los resultados mostraron que los efectos del aumento de CO<sub>2</sub> en la vegetación son acumulativos y producen un incremento del 20% en la biomasa de carrizo y, comparativamente, un 36% más del contenido de C foliar. El enriquecimiento de CO<sub>2</sub> dio lugar también a un incremento del 70-170% en el contenido de C del suelo y a un aumento del 44% de la actividad de la enzima proteasa en los carrizales.

Se ha desarrollado asimismo un protocolo básico para identificar mediante teledetección los rasgos espectrales específicos de la degradación de los humedales mediterráneos asociada al cambio climático. La respuesta del ecosistema ante incrementos de CO<sub>2</sub> da lugar a un modelo complejo con numerosos efectos indirectos.

Un estudio complementario sobre los flujos de materia y energía en el humedal ha mostrado la dependencia casi exclusiva del metabolismo del ecosistema de fuentes autóctonas (internas). La mayor parte de la producción detritica se genera en el interior del sistema aunque procedente de una amalgama compleja de restos de productores primarios.

Los efectos de la elevada carga orgánica que en periodos húmedos llega hasta Las Tablas tienen más énfasis en la estructura trófica que en la función. Según las firmas isotópicas fue posible detectar hasta 5 niveles de consumidores secundarios en el humedal, con los niveles más altos de la red trófica ocupados por el pez gato y el pez sol y dos especies de anátidas (malvasía y friso) y los niveles más bajos por gaviotas, garcillas y cigüeñuelas.

A la vista de los resultados alcanzados, los autores/as del estudio consideran básico realizar una evaluación de la biomasa vegetal cada tres años usando un indicador sencillo (coberturas de carrizo y enea), como instrumento de seguimiento y control del exceso de biomasa generado por el aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico. De esta forma se puede limitar la cantidad de carbono acumulado en los sedimentos e impedir que la vegetación emergente colonice las zonas de tablas de agua.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

Los resultados obtenidos en el curso de este proyecto sugieren que las respuestas de la vegetación del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel al cambio global son acumulativas a lo largo del tiempo. Por eso, en lugar de responder a distintos escenarios climáticos, que pueden ser muy distintos entre sí, una gestión adaptativa mediante el seguimiento y detección de cambios resultaría mejor y más barata si se basara en medidas anuales de la vegetación y –a juzgar por su incremento o disminución– desde el Parque se respondiera gestionando aquélla.

Los resultados experimentales, aunque limitados a un solo ciclo vegetativo, muestran que en Las Tablas el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico generará una mayor biomasa de carrizo y previsiblemente ésta será mayor en los ciclos más secos. Esto implica que cada vez habrá menos zonas libres de vegetación, que se acumulará más materia orgánica (C) en el suelo, y que el carbono acumulado en el suelo, si cambian las condiciones hidrológicas, puede llegar a ser revertido a la atmósfera, convirtiendo al humedal en un emisor de CO<sub>2</sub> al incrementarse la actividad microbiana (N).

La propuesta que se realiza sería evaluar cada tres años la biomasa mediante un indicador sencillo: la cobertura del carrizo y la enea. Si dicha cobertura hubiera crecido desde la evaluación precedente, la Dirección del Parque procedería a la retirada de esa cobertura extra mediante siega a ras de suelo. Con estas medidas, se aseguraría el eliminar el exceso de biomasa generado, entre otras causas, por el cambio global, reduciendo así la cantidad de carbono que se acumula en los sedimentos e impidiendo que la vegetación emergente colonice las zonas de tablas de agua, tan necesarias para el crecimiento de la vegetación sumergida, alimento de las crías de anátidas. Esta retirada de vegetación debería prestar una atención especial a la pervivencia de la masiega, cuyas formaciones han ido en descenso en el Parque desde los años 50 del siglo pasado. Es decir, se recomienda expresamente que la posible retirada de vegetación helofítica afecte sólo al carrizo y la enea.

En términos más concretos se propone:

- 1) El control de la biomasa de carrizo (y enea) en zonas que tradicionalmente han sido libres de vegetación emergente mediante siega a ras de suelo y retirada de su biomasa.
- 2) El control del contenido de materia orgánica acumulado en el suelo, permitiendo la circulación del agua en el humedal aguas debajo de la presa de Puente Navarro y, en ciclos continuados de sequía, mediante la acción (1).
- 3) Mantener la mayor superficie inundada posible durante el verano, que es cuando la actividad microbiana es mayor, para reducir las emisiones de C a la atmósfera y la mineralización de N y P en los suelos. Este fenómeno puede incrementar la biomasa de algunos helófitos y el contenido de C de los suelos, pero también ejercería de limitante al crecimiento de especies como el carrizo. La superficie no debería exceder el área mínima encharcada que ha registrado el humedal en los años más húmedos para evitar la sustitución de ciertas áreas por otros macrófitos marginales.



## OAPN15 | Acoplamiento de los ciclos hidrobiogeoquímicos del carbono y nitrógeno en cuencas lacustres de alta montaña durante episodios hidrológicos intensos, estima de su peso relativo en los balances de masa anuales y posibles implicaciones del cambio climático

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes
- **Investigador Principal:** Luis Camarero Galindo - CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici
- **Palabras clave:** ciclos biogeoquímicos, carbono y nitrógeno, episodios hidrológicos abruptos, cuencas de alta montaña, cambio climático.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **[Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' \(OAPN\)](#)**
- **Inicio:** 11/12/2008
- **Fin:** 11/12/2011

### Sinopsis

El objetivo general del proyecto fue determinar las relaciones entre clima, hidrología y biogeoquímica en cuencas de alta montaña, utilizando para ello la cuenca piloto de Contraix en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Se ha prestado especial atención a dos aspectos: los episodios hidrológicos intensos (deshielo y crecidas) y los procesos que afectan al carbono (C) y el nitrógeno (N). Los dos pilares metodológicos de este proyecto son el modelado hidrológico y la determinación de tasas de diversos procesos biogeoquímicos a partir de las concentraciones de los solutos de interés en el agua, con frecuencia de muestreo alta (sub-horaria). En el apartado hidrológico, se han introducido mejoras en el modelo hidrológico distribuido TETIS para adaptarlo a las características de las cuencas de alta montaña. Desde el punto de vista biogeoquímico, se ha profundizado en el conocimiento de algunos procesos relacionados con los ciclos del C y N en estas cuencas: se han utilizado datos obtenidos a alta frecuencia y teniendo en cuenta la heterogeneidad espacial de la cuenca para mejorar las estimas de las tasas de secuestro de CO<sub>2</sub> en reacciones de meteorización, se han localizado las zonas donde tienen lugar las mayores tasas de meteorización y el mayor consumo de los aportes atmosféricos de C y N y se han obtenido unas primeras estimas de esta tasa de consumo, se han recabado nuevos datos sobre el posible control de la disponibilidad de carbono orgánico disuelto (DOC) sobre el procesado de N en la cuenca, y se ha determinado la evolución cuantitativa y cualitativa del DOC en el espacio y en el tiempo. Como trabajo de síntesis, se ha propuesto una metodología para proyectar los cambios en el funcionamiento biogeoquímico debidos a escenarios hipotéticos de cambio climático.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

El régimen hidrológico, esto es, la disponibilidad de agua y la manera en que ésta circula, ejerce un control primario sobre las reacciones biogeoquímicas que tienen lugar en las cuencas hidrológicas. A su vez, la hidrología depende fundamentalmente del clima, siendo la temperatura y la precipitación los dos factores climáticos con mayor peso. A través de la hidrología es posible por tanto establecer una conexión entre el clima y el funcionamiento biogeoquímico de los ecosistemas que albergan las cuencas hidrológicas. En este proyecto se ha prestado especial atención a dos aspectos: 1) los episodios hidrológicos intensos (deshielo y crecidas), de gran peso en el balance hidrológico, pero que por su carácter abrupto a menudo tienden a estar poco representados en los muestreos de seguimiento habituales; y 2) los procesos que afectan al carbono (C) y al nitrógeno (N), como elementos fundamentales no sólo en las cuencas de montaña, sino a una escala global.

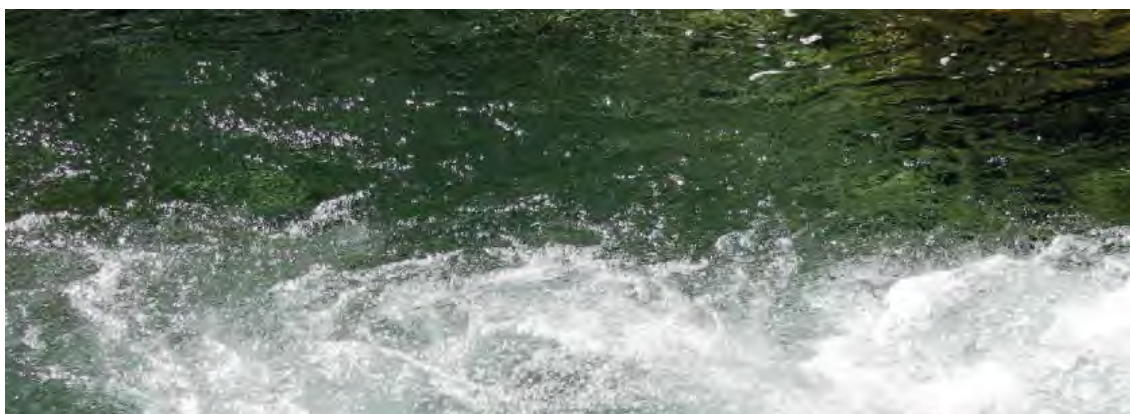
Los eventos pluviométricos y nivales intensos constituyen los mecanismos más importantes que favorecen el lavado de partículas, nutrientes y contaminantes desde la cuenca de



drenaje hacia los sistemas fluviales. En consecuencia, la ocurrencia, frecuencia y magnitud de estos eventos tienen un papel fundamental en la biogeoquímica de estos ecosistemas y por tanto en la calidad química de las aguas continentales. Debido a las implicaciones directas en la calidad de los recursos hídricos y a raíz de las severas alteraciones climáticas que se prevén en la península Ibérica, como el incremento de las temperaturas y la evapotranspiración, disminución de las precipitaciones, disminución de los eventos nivales y de la duración de la cubierta de nieve estacional y períodos de sequías más acusados, el estudio de los cambios químicos de las aguas fluviales durante las crecidas está adquiriendo cada vez una mayor importancia y repercusión social. De aquí que numerosos científicos estimulen a la comunidad de biogeoquímicos a instaurar programas de monitoreo hidro-biogeoquímico a largo plazo con una alta frecuencia de muestreo para poder capturar la variabilidad biogeoquímica real de los ecosistemas fluviales.

El carbono y el nitrógeno son dos elementos fundamentales para la biosfera como componentes mayoritarios de la materia viva. La disponibilidad de ambos en los ecosistemas naturales se ha visto muy alterada a raíz de la actividad humana a escala global y, presuntamente, del cambio climático. Las emisiones humanas a la atmósfera de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxidos de nitrógeno (debidas sobre todo a la quema de combustibles fósiles) y amoníaco (por prácticas de ganadería y agricultura intensivas) han acelerado la puesta en circulación de C y N en sus respectivos ciclos globales. Uno de los principales efectos son la acumulación de  $\text{CO}_2$  atmosférico hasta niveles nunca antes alcanzados en los últimos 400.000 años y la saturación de nitrógeno en los ecosistemas, causante de problemas de acidificación y eutrofización. Pese a la abundancia de estudios biogeoquímicos centrados en el C y el N, apenas se ha estudiado el acoplamiento entre ambos, y se ignora en gran medida la magnitud de las influencias mutuas. El estudio de esta dinámica es importante para entender los ciclos del C y del N, evaluar los cambios en dichos ciclos, y observar la respuesta de los ecosistemas a los cambios. Estos conocimientos son la base para mejorar la gestión de la calidad de las aguas dulces, tanto para el consumo humano como para mantener su calidad ecológica.

A modo de ejemplo sobre los resultados del proyecto, se presentan aquí las simulaciones obtenidas considerando el escenario A2. Un efecto muy previsible es un acortamiento significativo del deshielo, del orden de uno o dos meses, y con caudales de menor magnitud. A la luz de los resultados de los análisis biogeoquímicos, esta reducción del deshielo podría favorecer un aumento de la concentración de carbono orgánico disuelto (DOC) en circulación, pero consistente en moléculas de menor tamaño y más biodisponibles para la microbiota fluvial, como ocurre en verano y otoño. Ello implicaría que estas moléculas serían degradadas o respiradas más rápidamente y recorrerían por tanto distancias más cortas. El efecto general sobre la red fluvial sería una menor disponibilidad de carbono orgánico asimilable en los tramos inferiores de los ríos, con la consiguiente limitación para la actividad microbiana, singularmente para la desnitrificación. Además, se ha observado que el lixiviado de nitrato aumenta en estas condiciones más estivales. Hipotéticamente, estos dos efectos se sumarían para disminuir la capacidad de procesamiento de nitrógeno en estas cuencas.



## OAPN16 | Efectos del cambio climático en el crecimiento y el funcionamiento de los bosques pirenaicos inferidos mediante reconstrucciones dendroecológicas

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología (IPE)
- **Investigador Principal:** Jesús Julio Camarero Martínez - CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología (IPE)
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido | Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici
- **Palabras clave:** anillos de crecimiento, clima, dendrocronología, modelos lineales mixtos, *Pinus uncinata*, Pirineos.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' (OAPN)**
- **Inicio:** 11/12/2008
- **Fin:** 11/12/2011

### Sinopsis

Los árboles registran información climática en sus series de anillos anuales de crecimiento, la cual puede ser recuperada mediante la dendrocronología, que es la ciencia que estudia los anillos anuales de crecimiento. Este enfoque climático prioriza la selección de sitios, bosques y árboles, considerados climáticamente sensibles, cuyos datos de crecimiento se procesan con el fin de extraer una señal climática común. Sin embargo, esta aproximación basada en series medias de crecimiento muy determinadas por el clima enmascara la variabilidad de crecimiento entre individuos y diluye sus diferentes respuestas al clima. Investigar los factores locales (sitio) e individuales (árbol) que determinan las respuestas de los árboles al clima es un objetivo prioritario para entender cómo reaccionarán estos árboles al calentamiento climático. En el presente estudio analizamos en bosques de montaña de *Pinus uncinata* los patrones de crecimiento radial a diversas escalas espaciales: área de distribución de la especie en la Península Ibérica, regiones (Pirineos, pre-Pirineos, Sistema Ibérico), los dos parques nacionales pirenaicos (Ordesa y Monte Perdido; Aigüestortes i Estany de Sant Maurici), bosques (30 sitios) y árboles (642 individuos). Mediante métodos dendrocronológicos se reconstruyeron las series de crecimiento radial y se analizaron sus relaciones entre sitios y con datos climáticos mensuales para gran parte del siglo XX a las distintas escalas mencionadas. Se ha investigado qué factores locales y a nivel de individuo pueden influir en la respuesta de los árboles al clima. Además, se muestra una reconstrucción de temperaturas de primavera basada en datos de la densidad máxima de la madera para ilustrar las implicaciones de nuestros resultados.

Para todas las escalas evaluadas la temperatura del noviembre previo al año de crecimiento es la variable climática que más influye sobre el crecimiento de *P. uncinata*. Sin embargo, existe una gran variabilidad en la respuesta del crecimiento al clima entre sitios, en función de su posición geográfica y de la altitud, y entre árboles del mismo sitio en función de su edad. Nuestros resultados indican la necesidad de un cambio de paradigma pasando de un enfoque basado en medias poblacionales de crecimiento a análisis a nivel de individuo. Este cambio permitirá entender qué factores a nivel de árbol condicionan su respuesta al clima y además servirá para guiar la selección de árboles sensibles al clima para así mejorar y dar un sentido biológico a las reconstrucciones dendroclimáticas.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

La presencia de individuos viejos bien conservados de *Pinus uncinata* en los parques nacionales pirenaicos (Ordesa y Monte Perdido y Aigüestortes i Estany de St. Maurici) permite la reconstrucción con resolución anual del crecimiento y funcionamiento de los bosques subalpinos pirenaicos usando la información derivada de la anchura, densidad y composición de los anillos.

Se han muestreado un total de 30 sitios en bosques dominados por *Pinus uncinata* Ram. (pino negro). Estos bosques abarcan toda la distribución geográfica de la especie en la Península Ibérica. La mayoría de los sitios de estudio se encuentran en los Pirineos, donde la especie es más abundante y domina el piso subalpino, formando bosques de baja densidad o masas con individuos aislados que conforman el límite superior del bosque.

Entre 1994 y 2010 se muestrearon 642 árboles vivos. En cada bosque estudiado, se seleccionaron al azar entre 5 y 65 individuos dominantes. La distancia entre árboles muestreados siempre superó los 20 m para evitar los posibles efectos locales sobre el crecimiento debidos a la vecindad entre árboles. La posición geográfica de los árboles se registró con un sistema de posicionamiento geográfico (GPS) (precisión  $\pm 5$  m). Además se recogieron datos topográficos (altitud, pendiente, orientación) y biométricos (diámetro a 1,3 m de altura, altura total, edad) para cada árbol muestreado.

La altitud media de todos los bosques muestreados es de 2.118 m, con un rango de 1.750 a 2.451 m y el diámetro medio medido a 1,3 m de altura de todos los árboles muestreados es de 56,7 cm. En los bosques estudiados la temperatura media anual y las precipitaciones totales anuales oscilan entre 2,0 y 4,9 °C y entre 1.200 y 2.000 mm, respectivamente, siendo enero (media de -2,0 °C) y julio (media de 12,5 °C) los meses más frío y cálido. Según datos homogeneizados y promediados producidos por la [Climatic Research Unit](#), las tendencias de las temperaturas y precipitaciones anuales en el área de estudio fueron de +0,01 °C/año y +0.02 °C/año y de +0.27 mm/año y -0.08 mm/año para las mitades primera y segunda del pasado siglo XX, respectivamente.

A nivel de bosque y en el contexto del área de distribución ibérica hemos encontrado que los patrones de crecimiento de poblaciones en los límites geográficos de distribución responden de manera distinta al resto de bosques. Esto apunta a la gran plasticidad que muestran las especies de árboles en sus respuestas a largo plazo del crecimiento radial al clima, incluso las coníferas consideradas mucho menos plásticas en su crecimiento que las frondosas. Además, indican la importancia de estudiar y conservar las poblaciones en los límites geográficos de distribución, ya que muestran respuestas al clima peculiares y claramente diferenciadas del resto de bosques del área «central» de distribución.

A nivel de especie hemos detectado que las temperaturas del otoño previo (noviembre) y de la primavera (mayo) del año de formación del anillo son las que más influyen sobre el crecimiento radial de *P. uncinata*.

A nivel de Parque Nacional estas variables aparecen de nuevo como las más relevantes pero también una elevada precipitación en junio y julio favorece la formación de madera, un hecho detectado particularmente en Aigüestortes. Esto indica que el crecimiento radial de *P. uncinata* se ve favorecido por otoños previos cálidos, que posiblemente estimulan la síntesis de carbohidratos usados después para formar la madera temprana en la primavera siguiente, y por primaveras cálidas y comienzos de verano húmedos, que probablemente favorezcan la formación de más traqueidas en la madera temprana.

Los resultados indican que los árboles más viejos son más sensibles a la precipitación de diciembre que los más jóvenes en Ordesa, aunque este efecto puede estar condicionado porque los árboles más viejos suelen estar en zonas de mayor pendiente y por tanto menor retención de agua en el suelo. Igualmente, el efecto negativo de marzos fríos sobre el crecimiento es más intenso en árboles viejos.

Las situaciones en las que el crecimiento de la mayoría de los individuos responde principalmente al clima serían los bosques o masas poco densas situadas a mayor altitud y dominados por individuos longevos y relativamente aislados. Serían estos árboles los que habría que priorizar a la hora de muestrear individuos climáticamente sensibles que aporten información dendrocronológica susceptible de ser usada como una variable capaz de ser transformada en información climática.

## OAPN17 | Facilitación de las especies almohadilladas y cambio global en las comunidades alpinas del Parque Nacional de Sierra Nevada

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Estación Experimental de Zonas Áridas
- **Investigador Principal:** Francisco I. Pugnaire de Iraola - CSIC. Estación Experimental de Zonas Áridas
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Sierra Nevada
- **Palabras clave:** cambio global, conservación de la biodiversidad, ecosistemas alpinos, especies nodriza, especies cojín, facilitación.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' (OAPN)**
- **Inicio:** 30/12/2009
- **Fin:** 30/12/2012

### Sinopsis

Las montañas son lugares adecuados para llevar a cabo estudios de cambio global ya que presentan fuertes gradientes altitudinales, suelen ser refugio de flora ya perdida en otras zonas y son escenarios muy sensibles a cambios ambientales. Trabajos realizados en ecosistemas alpinos han indicado que las interacciones entre plantas influyen en la supervivencia y distribución de las especies, particularmente a través de especies leñosas rastreras o almohadilladas.

Durante 3 años se realizaron diversos trabajos de investigación en el Parque Nacional de Sierra Nevada para estudiar el papel de distintas especies almohadilladas (enebrales-piornales) como especies clave en comunidades alpinas. Se analizó la capacidad de estas especies para amortiguar las condiciones climáticas adversas y para moderar los efectos previsibles del cambio climático y, también, la importancia que las especies almohadilladas tienen en el mantenimiento de la biodiversidad de las comunidades alpina, así como el tipo de interacción que se establece entre las especies almohadilladas y el resto de especies en función de las condiciones ambientales.

Las especies almohadilladas actúan generalmente como especies facilitadoras en la zona alpina de Sierra Nevada y en otros sistemas montañosos, contribuyendo significativamente a la biodiversidad local. Mediante la creación de nicho, y por su capacidad de amortiguar los extremos climáticos, albergan una gran cantidad de especies en sus copas que -con frecuencia- tienen consecuencias negativas para el desarrollo de la propia especie almohadillada. Las variables climáticas relacionadas con el balance hídrico son las que han mostrado una mayor correlación con la riqueza de especies a escala global. En los sistemas alpinos las especies almohadilladas parecen actuar como una «red de seguridad» que sostiene la diversidad en condiciones adversas, lo que puede usarse para mitigar futuros efectos negativos del cambio climático.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

Las interacciones planta-planta son una parte principal de los mecanismos que gobiernan la respuesta de las especies y comunidades vegetales a los cambios ambientales. Cada vez hay más evidencia de que tanto la competencia como la facilitación juegan un papel primordial como moldeadores de los impactos generados en los ecosistemas por la deposición de nitrógeno atmosférico, el aumento de la concentración de dióxido de carbono atmosférico, el cambio climático y las invasiones de especies no nativas.

Sin embargo, aún no está claro el papel de las interacciones planta-planta bajo unas nuevas condiciones ambientales, ni cómo las interacciones se verán alteradas en respuesta a estos cambios. En este contexto, es preciso esclarecer la relación entre las interacciones entre plantas y los gradientes ambientales, la importancia de la especificidad de esas interacciones y cuál es su influencia en el funcionamiento y estructura de las comunidades vegetales.

Entre las especies facilitadoras son de especial interés las perennes, tolerantes al estrés y con formas almohadilladas (pulvinulares). Con este tipo de copa las plantas exponen una mínima superficie con un volumen máximo, de manera que se protegen contra el frío en el período invernal y reducen la pérdida de agua en verano. Un caso particular lo constituyen las denominadas plantas cojín, que presentan un hábito de crecimiento muy compacto, con una copa muy tupida pegada al sustrato y una superficie con escasas prominencias. Las copas de estas especies suelen funcionar como un refugio donde se cobijan otras plantas de diversas especies, más pequeñas y sensibles al estrés.

Estas plantas, denominadas genéricamente como 'nodriza', brindan también protección frente a los herbívoros debido a la presencia de copas coriáceas y/o espinosas. Varios autores han descrito los notables efectos positivos de las plantas cojín sobre la riqueza y diversidad de las comunidades de alta montaña en los Andes chilenos, un patrón confirmado posteriormente a nivel global en zonas alpinas de todo el mundo. Estos efectos positivos se deben principalmente al aumento en la disponibilidad de agua para las plantas facilitadas y, sobre todo, al amortiguamiento de las temperaturas extremas por las copas de las plantas almohadilladas. La intensidad e importancia de estos efectos dependen de la especie facilitadora y del clima local, que hacen que algunas especies se encuentren únicamente dentro del ambiente creado por estas plantas. Por eso, los efectos ecológicos de las plantas almohadilladas pueden ser importantes a nivel de comunidad; una importancia que puede verse incrementada en el futuro por el aumento generalizado de las temperaturas y, en el caso de sistemas montañosos como el de Sierra Nevada, por la previsible disminución de las precipitaciones.

Las comunidades de plantas almohadilladas estudiadas están incluidas como formaciones con un alto grado de endemidad y especialmente vulnerables en el 'Programa de Seguimiento de Procesos y Recursos Naturales para el estudio del Cambio Global en Sierra Nevada', incluido en la iniciativa internacional de investigación y seguimiento de Cambio Global de la UNESCO GLOCHAMORE (*Global Change in Mountain Regions*).

En el estudio observacional de rasgos funcionales de la especie nodriza *Arenaria tetraquetra* (papo) a lo largo del gradiente altitudinal comprobamos que los cojines mostraban un buen estado fisiológico a más altura; eran compactos y grandes, con más agua en el suelo y mayor contenido de materia orgánica en comparación con los claros, y mostraban una facilitación fuerte; es decir, mayor riqueza de especies y mayor abundancia de plantas en comparación con claros. Los datos fisiológicos a baja altura indicaron condiciones abióticas estresantes para *A. tetraquetra*, que formó cojines sueltos y pequeños. Estos cojines mostraron una mejora menor en las condiciones del suelo –comparado con los claros– y unos efectos de facilitación más reducidos que los cojines a mayor altitud.

En general, los resultados indican que las plantas almohadilladas y en cojín juegan un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad de la flora de Sierra Nevada y deben ser tenidas en cuenta en los planes de gestión y conservación del Parque Nacional. Dado que algunos de los endemismos de Sierra Nevada muestran preferencias por estas especies, su conservación y restauración (si fuese necesario) se puede lograr indirectamente a través de este tipo de plantas. Por la misma razón, cualquier problema que pueda afectar a las plantas almohadilladas o en cojín (por ejemplo, plagas o especies invasoras) afectará también a las poblaciones de las especies que albergan.

Las especies nodriza parecen actuar, por tanto, como una 'red de seguridad' que sostiene la diversidad en condiciones muy exigentes, lo que demuestra que el clima y la interacción entre especies deben integrarse al predecir futuros efectos del cambio climático en la biodiversidad. En particular, las especies cojín tienen mayor importancia sobre la riqueza de especies en ambientes más pobres.

## OAPN18 | Seguimiento interanual y análisis experimental de factores de cambio global (UVR y entradas de P) sobre los productores primarios en lagos de alta montaña

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Granada
- **Investigadora Principal:** Presentación Carrillo Lechuga - Universidad de Granada
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Sierra Nevada
- **Palabras clave:** UVR, pulsos de nutrientes, intensidad vs frecuencia, mezcla vertical, estudio a largo plazo, fitoplancton.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' (OAPN)**
- **Inicio:** 28/12/2009
- **Fin:** 28/12/2012

### Sinopsis

Múltiples factores de estrés relacionados con el cambio global (sequía, aumento de la radiación ultravioleta, aerosoles atmosféricos, aumento de la temperatura,...) actúan produciendo un impacto acumulativo sobre los ecosistemas acuáticos, en particular sobre los ecosistemas de alta montaña del sur de Europa. Gracias a este estudio, se han obtenido cuatro grandes grupos de resultados:

- 1.- Efectos de la radiación ultravioleta (UVR) y la intensidad de los pulsos de nutrientes: el enriquecimiento con nutrientes a alta intensidad produjo interacciones no aditivas UVR x Nutrientes, generando un desenmascaramiento y/o potenciación de los efectos negativos de la UVR sobre variables estequiométricas y funcionales, pero con escaso efecto sobre la abundancia de las algas, en una escala temporal corta (una semana). En una escala temporal larga (tres semanas), la interacción UVR x Nutrientes de un pulso de alta intensidad se atenuó, evidenciando una alta capacidad de adaptación de los autótrofos a través de mecanismos fisiológicos y ecológicos.
- 2.- Efectos de la radiación ultravioleta (UVR) y la frecuencia de pulsos de nutrientes: los pulsos de alta frecuencia generaron una respuesta de magnitud mayor que la obtenida por un pulso único, para la mayoría de las variables medidas. Sin embargo, la naturaleza de la interacción UVR x Nutrientes fue similar y sinérgica sobre las variables estequiométricas, al acentuarse los efectos estimuladores de UVR. Ambos factores equilibraron la composición elemental del fitoplancton, lo que se tradujo en el aumento de la producción primaria, la reducción de la excreción de carbono y la atenuación de los efectos dañinos de UVR sobre el porcentaje de carbono liberado. A largo plazo, el aumento de la incorporación de carbono invirtió la interacción sinérgica UVR x Nutrientes sobre la abundancia de algas, lo que indica la elasticidad del ecosistema para hacer frente al aumento de la frecuencia de entradas de polvo del Sahara relacionada con perturbaciones climáticas.
- 3.- Efectos de la radiación ultravioleta (UVR), la mezcla vertical y nutrientes: la mezcla vertical aumentó la inhibición fotosintética en lagos opacos mientras que contrarrestó los efectos nocivos de la UVR en lagos claros. La adición de nutrientes invirtió este efecto en cada tipo de lago.
- 4.- Estudio a largo plazo en el lago de La Caldera: la biomasa de fitoplancton y de zooplancton se correlacionaron fuertemente con la intensidad y la frecuencia de la deposición de aerosoles, la precipitación y la UVR. Sin embargo, el aumento de la biomasa algal asociada a aportes atmosféricos más intensos y frecuentes afectó negativamente a los copépodos, produciéndose un desacople en la transferencia de energía entre los productores primarios y los consumidores.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

El impacto de un factor de estrés de cambio global sabemos que depende de los efectos de otros factores de estrés que intervienen simultáneamente. Sin embargo, carecemos de la

información suficiente para predecir cómo los efectos interactivos de múltiples factores de cambio global podrían mitigar o exacerbar sus efectos individuales y su influencia sobre el funcionamiento del ecosistema. La falta de información en buena medida se debe a la escasez de experimentos multifactoriales que, unido a la complejidad y dinamismo de los sistemas ecológicos complica la predicción sobre cómo se verán afectados los procesos del ecosistema en un escenario futuro de cambio. Indudablemente cualquier política para mitigar el impacto ecológico del cambio global ha de estar basada en un conocimiento científico robusto, ya que las escalas temporales y espaciales de los problemas ambientales globales son tan amplias que la comprensión de un mecanismo basado en relaciones causa-efecto son poco fiables.

Los lagos de alta montaña son laboratorios naturales y centinelas de cambio global debido a sus especiales características: aguas frías, oligotróficas, con baja diversidad, pobre redundancia funcional y relativamente bajos niveles de perturbación humana. Existe una tendencia creciente de impacto del cambio global sobre los ecosistemas de montaña, siendo la radiación ultravioleta (UVR) y la polución por fósforo (P) y nitrógeno (N) algunos de los más importantes factores de cambio global con particular relevancia en estos ecosistemas. Aunque recientes estudios han sugerido que el efecto de UVR podría ser menos pronunciado debido a una potencial aclimatación y adaptación de los organismos como resultado de una historia de larga exposición a intensa irradiancia en estos lagos de aguas transparentes, el verdadero impacto de un incremento en UVR sobre los lagos de alta montaña depende más de la interacción con otros factores de estrés que sólo de un incremento en los flujos de UVR. Esto es particularmente cierto en latitudes meridionales de Europa donde son comunes las sequías, las entradas de nutrientes vía atmosférica procedentes de áreas desérticas (desierto del Sáhara que exporta nutrientes en forma de tormentas de polvo ricas en P, hierro y calcio) o el incremento de temperatura. Todos ellos son factores de cambio global que están relacionados con anomalías de variaciones climáticas periódicas (*North Atlantic Oscillation*, NAO) y oscilaciones de la Zona de Convergencia Intertropical (ITZC), destacando el incremento registrado en la frecuencia e intensidad de intrusiones de aerosoles de origen sahariano.

Aunque está ampliamente establecido que el efecto de UVR sobre las algas es inhibitorio a nivel molecular o a nivel funcional, este efecto inhibitorio es atenuado o suprimido en el nivel de organización de población o comunidad. Por el contrario, el efecto de la adición de nutrientes (principalmente P) es generalmente estimulador de la producción primaria y del crecimiento algal, incrementando la abundancia y biomasa algal. A pesar de estar bien establecidos estos efectos individuales contrapuestos (UVR depresor y enriquecimiento en nutrientes estimulador), los escasos estudios realizados sobre el efecto interactivo UVR×Nutrientes muestran resultados contradictorios tanto a nivel molecular y fisiológico como sobre la estructura y sucesión de las comunidades pelágicas.

Así, por ejemplo, una combinación de un incremento en la intensidad y la frecuencia en las deposiciones de polvo atmosféricas en las últimas tres décadas (1973-2003) con altos niveles de UVR, características de los lagos de alta montaña, dan lugar a cambios interanuales de la abundancias y biomasa de fito- y zooplankton que da lugar a un desacople entre sus dinámicas y por lo tanto en el flujo de carbono en la red trófica.

Los resultados de este estudio sugieren una gran capacidad adaptiva y un incremento en la resiliencia del ecosistema frente a un aumento en la frecuencia de perturbaciones climáticas que implican mayores entradas de polvo asociado a aerosoles saharianos. Además, se desvela la existencia de umbrales temporales de respuesta de los organismos a partir de los cuales la combinación de factores de estrés invierte el efecto individual que ejerce cada factor de cambio global sobre los organismos, generando respuestas netas de los organismos no aditivas y difícilmente predecibles.

## OAPN19 | Gestionando los parques nacionales más allá de sus límites: evaluación y cartografía de servicios como herramienta de gestión territorial ante el cambio global

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad Autónoma de Madrid
- **Investigador Principal:** Carlos Montes del Olmo - Universidad Autónoma de Madrid
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Doñana y Parque Nacional de Sierra Nevada
- **Palabras clave:** socio-ecosistema, cartografía de servicios de ecosistemas, ordenación del territorio, actores sociales, escenarios de futuro.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Inicio:** 23/12/2009
- **Fin:** 23/12/2012

### Sinopsis

El proyecto se enfocó al desarrollo de unas directrices de ordenación territorial para los espacios naturales protegidos, en las cuales no se trabajase sólo con el espacio natural y su entorno, sino que permitiera expandir la conservación más allá de los límites de los mismos.

Ya que el cambio global implica desplazamientos de especies y comunidades vegetales, se argumenta la necesidad de un modelo de gestión adaptativa y pro-activa que integre los espacios naturales en su matriz circundante. Ante este reto, se proponen los servicios de los ecosistemas como marco teórico-práctico capaz de expandir la gestión de los espacios protegidos más allá de sus límites, a la vez que se tienen en cuenta tanto los valores intrínsecos como los instrumentales que los espacios naturales protegidos poseen y los que proveen a la sociedad.

El proyecto tiene una fuerte componente participativa por trabajar con instrumentos sociales (encuestas, entrevistas y talleres de escenarios de futuro). Así, y desde la perspectiva del socio-ecosistema (humanos en la naturaleza), se pretende crear un modelo de ordenación territorial ante el cambio global basado en una interdisciplinariedad que incluya el estudio de los ecosistemas básicos para mantener el bienestar humano y a la sociedad involucrada en su gestión, así como un proceso de toma de decisiones adaptativo.

Para el trabajo empírico, el proyecto se centró en los Parques Nacionales de Doñana y Sierra Nevada. Para ello se delimitaron espacialmente los sistemas socio-ecológicos de ambos parques nacionales y evaluaron los servicios de los ecosistemas que suministran a la sociedad. Dichos servicios se han cartografiado, incluyendo las unidades suministradoras de servicios y los beneficiarios, y se han realizado diversos análisis espaciales incluyendo los *trade-offs* y sinergias entre servicios. En el Parque Nacional de Doñana se han analizado además los impulsores de cambio que provocaron la transformación de la marisma, los cambios de usos del suelo, y los efectos de éstos sobre los servicios. También se han creado cuatro escenarios de futuro para Doñana teniendo en cuenta la complejidad del territorio y la imprevisibilidad que implica el cambio global.





### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

La revisión bibliográfica realizada y el desarrollo del modelo conceptual de ordenación del territorio ha permitido establecer tres etapas diferenciadas en la evolución del concepto de área protegida: áreas protegidas isla, redes de áreas protegidas, e integración del paisaje circundante en las áreas protegidas. Además se han caracterizado las principales limitaciones de éstas: aislamiento respecto a la matriz que las rodea, sesgos en la ubicación hacia lugares elevados y remotos, y falta de apoyo social local.

En el caso de Doñana, este trabajo ha mostrado como la transformación de la marisma ha aumentado los servicios de abastecimiento pero, al mismo tiempo, ha reducido considerablemente los servicios de regulación. Algunos servicios culturales -como el turismo de playa- han aumentado, mientras que otros -como el conocimiento local- han disminuido. Además, el trabajo ha permitido demostrar cómo la intensificación de los usos del suelo reduce en conjunto los servicios de los ecosistemas. En Sierra Nevada, los beneficios percibidos como más relevantes a Granada y los pueblos del ámbito de estudio, son económicos principalmente, y emocionales e identitarios en segundo lugar.

Se han apreciado dos inercias distintas en la relación de la población del ámbito de estudio con Sierra Nevada. La primera basada en los procesos abandono de usos primarios causado principalmente por la progresiva reorientación de la actividad al sector servicios y a la construcción desde los años 60 -que ha provocado que las generaciones siguientes hayan perdido cierta vinculación con el entorno-, así como la pérdida de la imbricación con el territorio y acoplamiento con los sistemas ecológicos por la necesidad de la intensificación de los cultivos para adaptarse a las lógicas capitalistas de los agricultores que siguieron con su actividad y, por otra parte, una superficialización de la mirada en relación al ocio en Sierra Nevada el entender ésta como un objeto de consumo o el soporte de actividades que no favorecen un conocimiento y vinculación con la misma. A la par se aprecia otra inercia, contraria, de vuelta al campo debido a la reciente crisis por la explosión de la burbuja inmobiliaria, así como un aumento de la producción con criterios ecológicos y basados en redes de corta distribución que saca la producción de las lógicas de mercado convencionales y da una oportunidad a los grupos domésticos para poder vivir del sector primario con un cultivo menos intensificado, así como el aumento del montañismo y de otras actividades deportivas y de ocio, como senderismo, esquí de travesía, etc., que promueve una vinculación y un mayor conocimiento de Sierra Nevada. Aunque esta segunda inercia está en aumento, aún se puede apreciar que es menor que la primera.

La adaptación de un nuevo modelo de gestión basado en los servicios de los ecosistemas supone un cambio de perspectiva en la que hay que mirar más allá de los límites del espacio y abordar el estudio de las relaciones desde un planteamiento complejo. Para ello es fundamental una mirada multidisciplinar que evite la sectorialización y aporte una visión holística y sistémica y una mayor información, investigación, educación y difusión de los valores y los conocimientos, beneficios, etc. que promuevan un mayor nivel de conciencia sobre nuestro entorno. Además, se necesita la incorporación de la participación como herramienta de trabajo y como estrategia para la implicación y toma de conciencia de la población para la gestión y resolución de conflictos. La utilización de herramientas participativas puede resultar muy útil en la gestión de los ecosistemas, ya que permiten gestionar/investigar/caminar desde una perspectiva compleja y más cercana a la realidad, e implicando a los actores tanto en la búsqueda de soluciones como en la ejecución de las mismas. Esta segunda inercia e interés por recuperar ciertos usos tradicionales puede ser aprovechada como una oportunidad para implicar y practicar una co-gestión del territorio ya sea de los montes comunales, o incluso de algunas fincas privadas o públicas.

## OAPN20 | El decaimiento del alcornoque de la pajarera de Doñana en un contexto de cambio global: una aproximación experimental

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología
- **Investigador Principal:** Luis-Ventura García Fernández - CSIC. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Doñana
- **Palabras clave:** influencia aviaria, suelo, sequía, patógenos, *Quercus suber*.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Inicio:** 28/12/2009
- **Fin:** 31/03/2014

### Sinopsis

El asentamiento de colonias de aves nidificantes en los alcornoques centenarios del ecotono de Doñana parece estar relacionado con un incremento en la mortalidad de los árboles, que a la tasa actual podrían extinguirse localmente en pocas décadas. Ello unido a la ausencia casi total de regeneración, a causa de la intensa presión de los herbívoros, amenaza el futuro de la especie en ésta y otras zonas del parque.

El objeto de este proyecto fue evaluar, mediante aproximaciones experimentales, el efecto de la acumulación en el suelo de los productos aviarios, así como el de sus componentes potencialmente tóxicos, sobre la supervivencia y vitalidad del alcornoque en las primeras etapas del desarrollo. Se estudió el efecto de la acumulación de productos aviarios en el suelo en la regeneración de *Quercus suber*, en condiciones experimentales. Tras un estudio previo de los niveles de contaminación del suelo, estacionalidad de los aportes aviarios, climatología y accesibilidad del nivel saturado en la zona, se han simulado distintos escenarios considerando factores como el nivel de contaminación del suelo, la estacionalidad (con o sin aporte de guano fresco), la disponibilidad de agua y la edad de la planta.

Los resultados obtenidos indican que:

- Los niveles máximos de contaminación aviaria observados en la zona de estudio son letales de necesidad para semillas y plántulas de un año, cualquiera que sea el escenario hídrico que se considere.
- Los niveles de contaminación aviaria próximos a la media de los árboles de la zona afectan de forma significativa a la emergencia (tiempo y éxito final) y al crecimiento y actividades fisiológicas básicas (fotosíntesis, transpiración) de las plantas, condicionando su supervivencia.
- El efecto más significativo de la contaminación aviaria es la atrofia de la raíz principal de la plántula, lo que descarta prácticamente su supervivencia, que normalmente depende del desarrollo de una raíz pivotante profunda antes de la llegada de la estación seca.
- Para niveles globales de contaminación similares, el efecto de los aportes de guano fresco al suelo (que provoca la liberación de amoníaco y el aumento de los niveles de amonio) es mucho más dañino que el que se deriva de la contaminación residual tras finalizar la estación de cría (dominada por nitratos).
- Los efectos de la contaminación aviaria se ven agravados en el escenario de sequía, si bien los efectos son aditivos para la mayoría de los parámetros estudiados.
- Los efectos negativos de las distintas soluciones artificiales empleadas en el desarrollo de las plantas parecen, mayoritariamente, derivados de la concentración global de los solutos mayoritarios, más que de componentes particulares. No obstante, en el caso de las raíces emerge el amonio como predictor significativo de algunos de los daños observados, frecuentemente en conjunción con la salinidad global.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

El trabajo observacional y experimental llevado a cabo durante los 4 años de ejecución del proyecto ha puesto de manifiesto que el ecosistema terrestre más amenazado del Parque Nacional de Doñana es el alcornocal, ya que la presencia masiva de aves zancudas sobre los alcornos centenarios produce alteraciones drásticas en la mayoría de los parámetros del suelo que condicionan el desarrollo de las plantas. Dichos cambios generalizados en el suelo afectan tanto a macro- como a microelementos, esenciales o no, si bien los que han resultado más significativos son macronutrientes implicados en los procesos de eutrofización y salinización que producen los productos aviaros acumulados en el suelo (nitratos, amonio, fosfato, sulfato, cloruros).

En general, la alteración incluso moderada del suelo por deposiciones aviaras produce efectos negativos en las primeras fases del desarrollo del alcornoque. La textura y materia orgánica del suelo modulan los efectos del guano sobre las plantas, con relación a un sustrato de arena lavada, permitiendo aquélla una mayor tolerancia a los productos aviaros. En la mayoría de los casos la sequía acrecentó los efectos negativos en las plantas, añadiéndose a los del guano.

Así, además de la falta de regeneración, asociada a la presión de herbívoros, se han constatado y confirmado en este estudio dos amenazas importantes:

- La presión aviaria, que amenaza gravemente la supervivencia de los árboles adultos (mercados en más de un 40% cuando han sido ocupados reiteradamente) y la regeneración natural y asistida en las zonas que reciban detritos aviaros incluso en cantidades moderadas.
- Los oomicetos patógenos y en particular *Phytophthora cinnamomi*, patógeno invasor especialmente activo que destruye las raíces absorbentes de los árboles provocándoles el decaimiento y muerte por inanición. La prospección de patógenos en diversas zonas de la Reserva ha mostrado que entre 2009 y 2013 la fracción de alcornos centenarios en los que se encontró *Phytophthora cinnamomi* en la rizosfera se multiplicó por cuatro.

La nidificación masiva y persistente de las zancudas sobre los alcornos centenarios es incompatible con la supervivencia de estos últimos que, salvo casos puntuales, mueren tras 10-20 años de ocupación intensa. Dado el efecto negativo comprobado sobre plántulas y plantones no debe intentar repoblarse en la cercanía de zonas de nidificación.

Se proponen varias medidas urgentes para evitar la desaparición del ecosistema autóctono:

- 1) Actuaciones en el sentido de forzar a la colonia de aves a nidificar en otras zonas menos sensibles, como vienen haciendo –por ejemplo- otras colonias de más reciente constitución en la zona de marismas.
- 2) Si la actuación anterior no llega a producirse, cualquier actuación de restauración o repoblación del alcornocal debe realizarse en zonas no afectadas por las aves.
- 3) Actuaciones para salvar a los alcornos centenarios de la acción de *Phytophthora cinnamomi* mediante la prospección de la población y tratamiento local (inyecciones en el tronco) con fosfonato potásico.
- 4) Exigir una certificación sanitaria de ausencia de los patógenos más peligrosos a todas las partidas de árboles que se introduzcan en el Parque Nacional. Durante la última década se ha repoblado el Parque con miles de plantones de alcornoque y otras especies. La última prospección de la *International Union Forest Research Organisation* ha constatado la presencia de *Phytophthora cinnamomi* en la mayoría de los viveros forestales de la región mediterránea, situación que deriva de la falta de normativa que obligue a efectuar controles sanitarios en las plantas forestales, a diferencia de lo que ocurre, por ejemplo, con los árboles frutales.

## **OAPN21 | Criosfera y cambio global en espacios naturales protegidos: control de procesos geomorfológicos asociados a la nieve y el hielo como geoindicadores de cambio ambiental en el Parque Nacional de los Picos de Europa**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Valladolid
- **Investigador Principal:** Enrique Serrano Cañadas - Universidad de Valladolid
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de los Picos de Europa
- **Palabras clave:** geomorfología, periglaciario, nivación, geomática, Picos de Europa.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Inicio:** 27/12/2010
- **Fin:** 27/12/2013

### **Sinopsis**

Este proyecto presenta la continuidad del proyecto 'Geoindicadores de alta montaña y cambio global: análisis y control de indicadores geomorfológicos en el Parque Nacional de los Picos de Europa' [OAPN03]. Entre sus objetivos estuvo completar el registro de observaciones sistemáticas con la aplicación de técnicas innovadoras para la auscultación de procesos y formas y el estudio de aspectos nuevos relativos a la criosfera, como la nieve y el hielo en cavidades y, también, obtener un registro más amplio del obtenido con el proyecto anterior.

Los resultados en este caso se centraron en el control de procesos asociados a la nieve y el hielo y su comportamiento a corto y medio plazo en relación con las condiciones ambientales y los regímenes térmicos de los suelos. Se realizó el balance de masa de heleros, con pérdidas para el ciclo registrado, en el que los años de ablación, los menos, superaron a los de acumulación. No se han detectado deformaciones de las masas, pero sí deslizamientos que colaboran en la rotura y pérdida de masa asociados a los años más cálidos con circulación subbasal de agua líquida. Se ha establecido que el hielo estacional sólo aparece en una porción intermedia por encima de 1870 metros, en orientaciones favorables, quedando libre el resto, y hay hielo permanente sólo en cuevas y en el Jou Negro, por las condiciones topoclimáticas y la presencia de la masa de hielo. La actividad geomorfológica principal deriva de la nivación, elemento de la criosfera más activo en los Picos de Europa.



### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

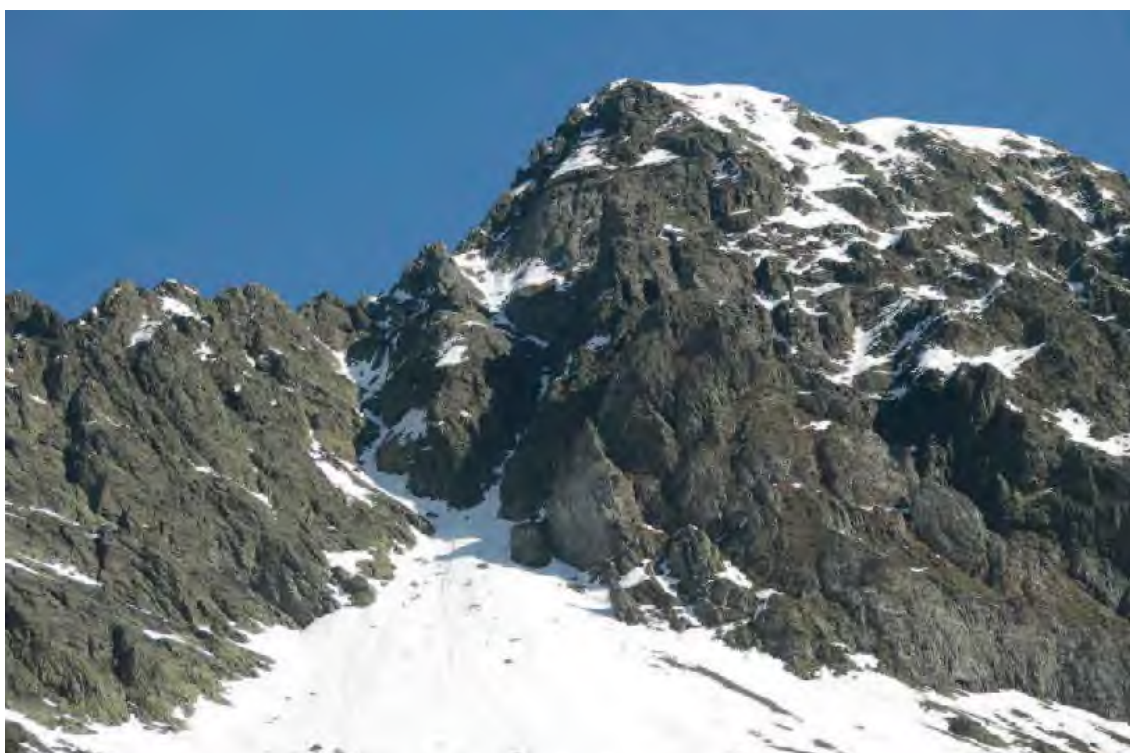
Para el conjunto del glaciar del Jou Negro se ha establecido una pérdida del 60% de su superficie aflorante durante los últimos 30 años, y entre 10 (zona baja) y 50 (zona alta) metros de adelgazamiento del hielo. Para el periodo controlado (2007-2008) se ha registrado una pérdida del 7,6% de la superficie, concentrada prioritariamente en la porción superior. Se ha detectado un movimiento del helero, que denota procesos de deslizamiento, con adelgazamiento en la porción superior y engrosamiento en la inferior, sin deformaciones de flujo ni cambios en las estructuras glaciares visibles. En conjunto el helero muestra una

rápida respuesta anual y cambios en su disposición, recubrimiento y pérdida de la masa de hielo, relacionado con diversos procesos geomorfológicos del entorno y de la propia masa de hielo. Queda pendiente de confirmar si esta respuesta es continua, señalando una activa dinámica con cambios muy rápidos, o puede estar en relación con años favorables para la fusión, la presencia de agua en las paredes, sobre el hielo y bajo el hielo que denotan una actividad extraordinaria, si bien la tendencia general de retroceso, pérdida de masa y recubrimiento queda constatada.

En las cuevas heladas se han establecido los tipos de hielo heredado y dinámico y un balance de masas anual y global. En conjunto se ha detectado que pierden masa para los años analizados, aunque en algunos bloques, donde se ha registrado movimiento, existe un rango de incertidumbre entre las cifras de pérdida o de hundimiento. Las varillas han permitido confirmar fusiones centimétricas en todos los cuerpos helados. Las aportaciones estivales al ciclo hidrológico son efectivas, aunque no se han podido estimar cifras de aportación a los caudales subterráneos.

La importancia del patrimonio asociado a la criosfera y de las cuevas heladas en particular en los Picos de Europa deriva de su consideración como elementos helados supervivientes y únicos de los climas fríos pasados. En superficie tan sólo persisten en la actualidad cuatro heleros de lo que fueron los glaciares históricos de la Pequeña Edad del Hielo, sobre los que se viene comprobando su nula dinámica y su marcado retroceso. Otros elementos y procesos significativos de medios fríos del pasado, o herencias, aun actuales, pero en disarmonía con las condiciones ambientales actuales tienen un papel primordial para la educación en espacios naturales protegidos.

En particular, las cuevas heladas de los Picos de Europa merecen una valoración patrimonial. Pero no se ha de perder de vista que, del otro lado de la moneda, se encuentra su propia belleza estética. Aunque en el caso de los Picos de Europa sus accesibilidades son difíciles (la mayoría de las cuevas requieren de habilidades espeleológicas y/o de esforzadas aproximaciones), y por tanto están lejos de las realidades de degradación que soportan algunas de las cuevas turísticas más reconocidas, la carga de visitantes que soporta el Parque las puede convertir en objetos potenciales de atracción turística, con el consiguiente deterioro ambiental. Especialmente en el caso de aquellas más accesibles, como es el caso del la cueva helada de Peña Castil.



## OAPN22 | Caracterización ecofisiológica de las respuestas de distintas especies representativas del piso subalpino al cambio climático

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Barcelona
- **Investigador Principal:** Isabel Fleck Bou - Universidad de Barcelona
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Aiguestortes i Estany de Sant Maurici
- **Palabras clave:** Fotosíntesis, fotoprotección, CO<sub>2</sub> elevado, discriminación isotópica del C, dendroecología.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' (OAPN)**
- **Inicio:** 27/12/2010
- **Fin:** 27/12/2013

### Sinopsis

La caracterización de las respuestas de la vegetación a las variaciones ambientales relacionadas con el cambio climático (aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> y de la temperatura y disminución de la disponibilidad hídrica) es esencial para prever la estrategia de adaptación morfológica y fisiológica a los mismos y que determinarán su capacidad de supervivencia. Se han escogido el pino negro, el abedul y el rododendro como especies arbóreas perennifolia, caducifolia y arbustiva respectivamente para su caracterización fisiológica.

Los objetivos concretos del estudio fueron:

- 1) Analizar el efecto del aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, de la temperatura y el aumento de la sequía estival previstos como consecuencia del cambio climático sobre el proceso fotosintético y la economía hídrica.
- 2) Analizar los mecanismos de fotoprotección bajo situaciones de estrés oxidativo en las especies seleccionadas.
- 3) Analizar las características estructurales y minerales de las especies objeto de estudio para identificar su posible papel limitante de la producción en las condiciones previstas de cambio climático.
- 4) Relacionar la discriminación isotópica del C (13C) en hojas y anillos del leño con los valores de eficiencia en el uso del agua (WUEi) obtenido mediante sistema de intercambio gaseoso de cada vegetación.
- 5) Caracterización de la incidencia y susceptibilidad a la infección por patógenos en las especies objeto de estudio.



### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

El estudio procuró caracterizar las respuestas fotosintéticas y de fotoprotección de individuos de pino negro, abedul y rododendro del Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici frente a circunstancias asociadas al cambio climático, a fin de detectar su capacidad de adaptación y establecer mecanismos de gestión forestal. Y, también, la presencia y susceptibilidad a las infecciones por patógenos en dichas especies en su emplazamiento natural bajo situaciones de estrés ambiental, a fin de evaluar su capacidad de resistencia y su efecto sobre la fisiología de los individuos afectados.

El conocimiento de las respuestas fisiológicas frente a circunstancias asociadas al cambio climático como mayor sequía, temperatura y CO<sub>2</sub> atmosférico elevado es esencial para predecir probables variaciones en las comunidades naturales y establecer mecanismos de gestión. En condiciones de CO<sub>2</sub> elevado todos los individuos aumentaron su tasa fotosintética y la eficiencia en el uso del agua, hecho que puede ayudar a superar el estrés hídrico estival.

Los resultados de intercambio de gases, discriminación isotópica, fotoquímica, fotoprotección, contenido mineral y características estructurales mostraron grandes diferencias entre especies observándose un gran efecto de la sequía estival en *Betula pendula*, mientras que *Rhododendron ferrugineum* se vió fuertemente afectada por situaciones de irradiancia elevada y *Pinus uncinata* lo fue principalmente por la disponibilidad de nitrógeno.

El estudio de los anillos de crecimiento de los árboles de *P. uncinata* permitió poner de manifiesto que su crecimiento en área basal ha aumentado significativamente en las últimas décadas, aunque el crecimiento en grosor se ha mantenido al mismo nivel. Las relaciones crecimiento-clima indican que la falta de agua en junio tiene un efecto limitante en los árboles jóvenes a una altitud de 2050 m, una limitación que no muestran los árboles más viejos. Las temperaturas demasiado frías del mes de mayo limitan el inicio del crecimiento de los árboles –tanto viejos como jóvenes-.

El final del periodo de crecimiento está limitado por las altas temperaturas pero sólo para los árboles jóvenes. Hemos puesto de manifiesto que hay una relación significativa y positiva entre la longitud del brote, la longitud de las hojas y el grosor del anillo. También hay una relación significativa y positiva entre la eficiencia del uso del agua de las hojas y los anillos. La eficiencia en el uso del agua para los últimos 500 años muestra que, desde principios del siglo XX, ha habido un aumento exponencial y que se ha traducido en un aumento significativo y lineal del área basal.



## OAPN23 | Diversidad genética espacial y flujo genético en anfibios pirenaicos: evolución potencial bajo escenarios de cambio global

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN – CSIC)
- **Investigador Principal:** David Rodríguez Vieites - Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN – CSIC)
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido
- **Palabras clave:** anfibios, montaña, rana pirenaica, distribución, conservación
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **Inicio:** 27/12/2010
- **Fin:** 27/12/2013

### Sinopsis

En este proyecto se ha realizado un trabajo de campo intenso que nos ha permitido recabar datos de genética, morfometría, densidad poblacional, distribución y estado de poblaciones de dos especies de anfibios pirenaicos: la rana bermeja y la rana pirenaica.

La diversidad genética espacial de la rana bermeja es mayor de lo esperado, habiendo encontrado dos linajes nuevos en Iberia, uno de ellos endémico de Aragón, siendo el más basal de todos los de esta especie. Este linaje coexiste con otro más común, habiendo sido localizado solo en la zona de Benasque y no por ahora en otras zonas.

La rana pirenaica es muy homogénea genéticamente, tanto en el genoma mitocondrial completo como en marcadores nucleares, y probablemente ha sufrido, recientemente, un cuello de botella con posterior expansión geográfica. Las diferencias entre el núcleo oriental y occidental son mínimas, y ha existido un flujo genético reciente entre poblaciones. En cuanto al estado de conservación, nos hemos concentrado principalmente en la rana pirenaica, por ser un endemismo en peligro de extinción cuyo estado actual se desconocía en gran medida. Hemos incrementado el área de distribución conocida de esta especie con nuevas localidades, si bien muchas poblaciones históricas han desaparecido por causas desconocidas. El tamaño poblacional estimado es bajo en muchas localidades, por lo que la probabilidad de extinción local es elevada. Los modelos de conectividad espacial sugieren una cierta fragmentación, con siete unidades desconectadas recientemente entre sí, y una separación efectiva entre el núcleo oriental y occidental de la especie, si bien la conectividad dentro de estas unidades parece elevada.

Se ha detectado la presencia masiva del hongo *Batrachomyxium dendrobatidis* en todo el área de distribución de rana pirenaica, si bien su impacto en la especie es desconocido. El monitoreo de la fenología de puesta en ranas pardas sugiere que se adelanta más de un mes en años cálidos frente a años fríos, siendo también la mortalidad de larvas mayor especialmente en arroyos poco profundos. El análisis de tendencias de las series históricas de estaciones meteorológicas del Pirineo Central indica que en el futuro las condiciones climáticas serán más cálidas, lo que sugiere que las ranas se reproducirán antes y se deberán enfrentar a condiciones de sequía estival. Los datos obtenidos confirman a la especie como en peligro de extinción. Se proponen una serie de medidas de gestión para la conservación *in situ* y *ex situ* de la especie, así como unidades de gestión en toda el área de distribución.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

Las oscilaciones climáticas durante el cuaternario han perfilado el patrón actual de distribución de la biodiversidad en los Pirineos, así como influido en la estructura genética espacial de las especies. En este proyecto se investiga la diversidad genética y flujo genético entre poblaciones de dos especies de ranas pardas, la rana bermeja (*Rana temporaria*) y la rana pirenaica (*Rana pyrenaica*) en el Pirineo central. Ambas especies se caracterizan por



estar distribuidas a lo largo de todo el Pirineo central, desde baja a alta montaña, si bien la primera presenta un mayor rango altitudinal y utiliza principalmente charcas y lagos para reproducirse, mientras que la segunda (endemismo pirenaico en peligro de extinción), se reproduce en aguas rápidas de cabeceras de ríos. Aparte de las diferencias ecológicas que pueden afectar al flujo genético entre poblaciones, ambas muestran una relativa homogeneidad genética en marcadores mitocondriales y en el caso de la rana bermeja también en alozymas, aunque en esa especie se observa una gran diversidad morfológica en todo el Pirineo mientras que para pirenaica no hay datos.

Mediante el empleo de marcadores moleculares de evolución rápida (microsatélites) se estudió la estructura genética espacial de estas especies y evaluó la existencia de aislamiento o conectividad reciente entre poblaciones. Se midió y evaluó la existencia de flujo genético entre las diferentes poblaciones, valles, vertientes y en gradientes altitudinales, para detectar posibles discontinuidades y barreras que servirán para generar modelos realistas de conectividad mediante teoría de circuitos. Se prestó especial atención a cuánta diversidad genética alberga el P.N. de Ordesa para estas dos especies, y si existe flujo genético reciente entre el Parque y otros valles. Se elaboraron modelos de distribución potencial y de conectividad de ambas especies en base a datos ambientales y genéticos, que puedan ser proyectados bajo escenarios climáticos futuros.

Uno de los objetivos principales del proyecto consistió en determinar el área de distribución actual de *Rana pyrenaica*, especie amenazada y en peligro de extinción endémica del Pirineo. En los tres años del proyecto se realizó un trabajo de campo muy exhaustivo para localizar las localidades de presencia de *Rana pyrenaica*. Primero, se realizó un modelo de distribución potencial en base a datos históricos para determinar las zonas donde potencialmente se podría encontrar la especie, y se determinaron nuevas zonas a muestrear en base a ese modelo. Se visitaron tanto localidades históricas como zonas nuevas, si bien aquellas localidades donde se registró la presencia histórica de la especie y en las que en 2010 no fue localizada por nosotros, fueron visitadas de nuevo en 2011, 2012 y 2013 para confirmar la ausencia real de la especie en la zona. Los muestreos consistieron en transectos por ríos, arroyos, pequeños torrentes y manantiales, localizando adultos y larvas de la especie a medida que se iba recorriendo la zona.

Además de los genomas mitocondriales completos, se amplificaron varias muestras de las poblaciones oriental y occidental de *Rana pyrenaica*, y éstas se separan mitocondrialmente pero tan solo por 4 mutaciones entre sí. Esto sugiere que la divergencia entre las mismas es muy reciente y se ha estimado entre 6000 y 21000 años. Esta separación coincide con el último máximo glacial y posterior deglaciación, y junto con los paleomodelos de distribución, sugieren que la especie sufrió una contracción brutal que supuso una pérdida de variación genética (cuello de botella), se aisló en dos zonas y hacia el Holoceno se expandió su rango de distribución, sufriendo una fragmentación posterior más reciente de sus poblaciones. La rana pirenaica es pues una especie con muy poca variabilidad genética, distribuida en dos áreas que se han separado muy recientemente y todavía no muestran una diferenciación genética muy marcada entre ellas.

La integración de estos datos permitirá elaborar modelos espaciales y proyecciones futuras bajo diferentes escenarios de cambio global, que pretenden ser de utilidad y aplicación directa en la gestión del P. N. de Ordesa, permitiendo evaluar también cuál es la contribución de la Red de Parques Nacionales a la conservación de la diversidad y el potencial evolutivo de estas especies. Dado que la rana pirenaica es un anfibio endémico y en peligro de extinción, los datos generados serán de mucha utilidad también en la conservación general de la especie.

## OAPN24 | Dinámica glacial, clima y vegetación en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido durante el Holoceno

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología
- **Investigador Principal:** Blas Lorenzo Valero Garcés - CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido
- **Palabras clave:** Pirineos, Holoceno, glaciario, paleoclima, vegetación.
- **Organismo cofinanciador:** Organismo Autónomo Parques Nacionales
- **[Enlace a publicación en la serie 'investigación en la red' \(OAPN\)](#)**
- **Inicio:** 28/12/2009
- **Fin:** 28/12/2013

### Sinopsis

Este estudio pluridisciplinar muestra la variabilidad de la dinámica geomorfológica, hidrológica, climática y de la vegetación del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (PNOMP) durante el Holoceno basándose en estudios geomorfológicos, de evolución reciente de los glaciares y análisis de registros lacustres. La integración de tres registros sedimentarios (La Larri, La Estiva y Marboré) ha proporcionado las primeras reconstrucciones paleoclimáticas y paleoambientales para el PNOMP.

Desde el final de la Pequeña Edad del Hielo (PEH) y hasta el presente encontramos los niveles más altos de productividad orgánica de los últimos 3000 años. El análisis polínico muestra condiciones climáticas templadas y relativamente húmedas durante el Periodo Húmedo Íbero-Romano, una transición a la Anomalía Climática Medieval, más árida y seca y un gran incremento de los porcentajes de olivo y cierto descenso de los taxones arbóreos coincidiendo con una mayor presión humana y condiciones más frías en las zonas de montaña durante la PEH. Se han observado picos de concentración de plomo durante los últimos 2000 años que reflejan el influjo de la contaminación global por plomo y las actividades mineras en el valle del Alto Cinca.

A la espera de los resultados de nuevas dataciones con isótopos cosmogénicos, la nueva cartografía de detalle del circo de Marboré sugiere que la gran morrena de Monte Perdido y las morrenas más externas, ya individualizadas de los glaciares Occidental y Central, corresponden a la primera etapa de la Pequeña Edad del Hielo (siglos XVII o XVIII). La rápida expansión que se superpone a las morrenas anteriores correspondería a una segunda etapa a principios del siglo XIX. La tendencia de las últimas décadas de la evolución de los glaciares es claramente regresiva. Los factores fundamentales en el retroceso glacial son el aumento de las temperaturas durante el período de ablación (fundamentalmente las temperaturas máximas) y el descenso de las precipitaciones nivales durante el período de acumulación.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

El Holoceno (últimos 11.700 años) representa el interglacial actual, un periodo cálido y relativamente húmedo que se ha considerado estable en comparación con el estadio glacial anterior (entre hace 120.000 y 11.700 años). Aunque el rango de variación de temperatura durante el Holoceno ha sido menor que en periodos glaciares, las reconstrucciones en ambientes continentales han permitido describir grandes variaciones en las precipitaciones y el balance hidrológico, a escala global y regional y tanto a escala de milenios como de pocos cientos de años. En este trabajo se presentan los resultados del proyecto HORDA en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, que ha investigado la evolución durante el Holoceno de los glaciares, la vegetación y el clima basándose en registros glaciológicos, geomorfológicos y lacustres.

La evolución de todos los cuerpos de hielo durante el período estudiado ha sido similar en su evidente tendencia regresiva, aunque con matizaciones: pérdidas moderadas de área

en el Inferior de Monte Perdido, medias en el Superior de Monte Perdido y muy notables en el de Marboré. El período 1957-81 muestra una cierta estabilización en los retrocesos de todos los aparatos, mientras que en el tramo temporal 1981-2006 se registran los mayores descensos en superficie.

Las pérdidas en volumen total de hielo entre 1981-1999 ascendieron a 0,0106 km<sup>3</sup>, con una tasa de 594.259,27 m<sup>3</sup> a<sup>-1</sup> (al no existir estimaciones de volumen para los glaciares del macizo en 1981 no es posible apreciar la importancia relativa de estas pérdidas sobre el total inicial de cada masa glaciar).

En el glaciar Superior de Monte Perdido las pérdidas de superficie se repartieron por todo su perímetro y, fundamentalmente, por su sector frontal oriental. En el glaciar Inferior de Monte Perdido las pérdidas de superficie se concentraron en el extremo occidental y en su tramo frontal. Los glaciares-helero Occidental y Oriental de Marboré constituían un único glaciar en 1981, fragmentado en dos cuerpos en 1999. Las pérdidas de superficie se repartieron por todo el glaciar y condujeron a esa fractura en dos cuerpos. Las pérdidas de espesor, muy notables e igualmente bien distribuidas, dejaban ya entrever el inminente desgajamiento de un nuevo fragmento que se confirmó tras el análisis de las fotografías aéreas verticales de 2006.

Respecto a los elementos que han condicionado la dinámica regresiva observada en los glaciares analizados, se ha confirmado para el área de estudio la presencia de un factor de control general ligado al comportamiento climático a nivel regional, caracterizado por el aumento de las temperaturas durante el período de ablación (fundamentalmente las temperaturas máximas, las que mayores repercusiones tienen en el balance de masa glaciar) y el descenso de las precipitaciones nivales durante el período de acumulación.

Dentro de los factores locales, asociados a la topografía, el retroceso observado a nivel de detalle en superficies y espesores glaciares en la zona de estudio puede relacionarse con las diferencias en las entradas de radiación solar incidente. Este factor es el que condiciona de una forma más estrecha la degradación glaciar en las fases finales de retroceso.

La tendencia de los últimos siglos de la evolución de los glaciares es claramente regresiva. Muy probablemente la gran morrena de Monte Perdido y las morrenas más externas, ya individualizadas de los glaciares Occidental y Central corresponden a la primera etapa (siglos XVII o XVIII), mientras que la rápida expansión que se superpone a las morrenas anteriores correspondería a la segunda etapa, es decir, a principios del siglo XIX. Desde entonces la temperatura media ha aumentado en la alta montaña pirenaica entre 0,85 y 1°C según las estimaciones realizadas por diferentes autores.

Desde el final de la PEH, cuyo último máximo corresponde a la década de 1820, el proceso dominante en el circo de Marboré ha sido la deglaciación. Hasta mediados del siglo XX el glaciar de Monte Perdido constaba de tres masas de hielo escalonadas, de las que la inferior ya ha desaparecido. Las otras dos masas han entrado en una fase muy regresiva desde la década de 1980, disminuyendo algo en extensión pero sobre todo reduciendo su espesor. Así, el glaciar medio (ahora inferior) ahora es una masa biselada en su frente, por donde ya no asoma al borde del escarpe, habiéndose registrado pérdidas de espesor de hasta 40 m entre 1981 y 1999 (Julián y Chueca, 2007)<sup>1</sup>. Chueca et al. (2002)<sup>2</sup> compararon la extensión ocupada por los glaciares pirenaicos al final de la PEH y en 1998-2000. En el caso de los glaciares del circo de Marboré se ha pasado de 238,9 ha a 62,1 ha, que en 2011 se habían reducido hasta 49,2 ha (Chueca y Julián, 2010)<sup>3</sup>.

1] Julián, A., Chueca, J. (2007) Pérdidas de extensión y volumen en los glaciares del macizo de Monte Perdido (Pirineo central español): 1981-1999. *Boletín Glaciológico Aragonés* 8, 31-60.

2] Chueca, J., Julián, A., Peña Monné, J.L. (2002) Comparación de la situación de los glaciares del Pirineo español entre el final de la Pequeña Edad del Hielo y la actualidad. *Boletín Glaciológico Aragonés* 3, 13-41.

3] Chueca, J., Julián, A. (2010) Dinámica de los glaciares del Pirineo aragonés: resultados de la campaña glaciológica del año 2011. *Boletín Glaciológico Aragonés* 11, 9-183.

## FBO1 | Efectos del cambio global sobre la biodiversidad del Parque Nacional de Cabrera: el caso de la comunidad del coralígeno de *Paramuricea clavata*

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB)
- **Equipo de investigación:** Rafel Coma (IP), Emma Cebrián, Cristina Linares, Fiona Tomas, Antoni García, Enric Ballesteros.
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera
- **Palabras clave:** Coralígeno, mortalidad, cambio climático, Mediterráneo, *Paramuricea clavata*.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/10/2008
- **Fin:** 31/01/11

### Sinopsis

El calentamiento del mar es una de las principales manifestaciones del cambio climático sobre los ecosistemas marinos. En los últimos años se acrecienta la percepción de que el calentamiento global está afectando los ecosistemas bentónicos marinos a través de epidemias, invasión de especies y mortalidades masivas. La señal de alarma se desencadenó en los arrecifes de coral durante los severos episodios de blanqueo de corales de 1997-98<sup>1</sup>. Sin embargo, aumentan las evidencias de que también el Mediterráneo está sufriendo los efectos del calentamiento global. Hasta el momento, las principales respuestas biológicas a este cambio ambiental en los ecosistemas mediterráneos son la llegada de especies de afinidad tropical y los eventos de mortalidad masiva de macroinvertebrados, ambos relacionados con anomalías térmicas positivas.

El coralígeno es una comunidad emblemática del paisaje submarino mediterráneo. Su importancia biológica radica en la gran diversidad que alberga (~ 1666 especies) pero a la vez en el hecho de que es una comunidad muy vulnerable. Esta vulnerabilidad radica en que las especies que la caracterizan son muy longevas y con una dinámica muy lenta, como son las poblaciones de gorgonia roja *Paramuricea clavata*, a priori muy poco adaptadas a resistir perturbaciones importantes. En el coralígeno del Parque Nacional de Cabrera la introducción de especies exóticas ha sido observada de forma puntual y actualmente está siendo objeto de estudio. Sin embargo, durante la realización de inmersiones de prospección biológica a finales de verano de 2007 se observó un evento de mortalidad masiva en el coralígeno de *P. clavata* de la pared sur del islote de la Imperial, no observándose efecto sobre los otros invertebrados de la comunidad. El estudio de la evolución en los tres años siguientes al impacto (2008 a 2010) permitió contribuir a determinar las consecuencias del episodio de mortalidad de 2007.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

La comunidad de *Paramuricea clavata* estudiada en el PN de Cabrera presenta una elevada riqueza de especies, comparable a otras localidades estudiadas del Noroeste del Mediterráneo. La zona menos profunda (en torno a 38-45 m), que coincide con el límite superior de la comunidad, es la que presenta una menor riqueza de especies, y se caracteriza por una mayor presencia de algas rojas incrustantes. El coralígeno más profundo (en torno a 55-65 m) se caracteriza por presentar una mayor abundancia de *Paramuricea clavata* y una mayor riqueza de especies. Aunque las algas rojas incrustantes también están presentes, son las especies animales las que presentan una mayor dominancia, destacando ciertas especies de esponjas, el antozoo *Leptopsammia pruvotii* y el poliqueto *Salmacina dysteri*.

1] [Harvell, C.D., Mitchell, C.E., Ward, J.R., Altizer, S., Dobson, A.P., Ostfeld, R.S., Samuel, M.D. \(2002\). Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. Science 296: 2158-2162](#)

La gorgonia *Paramuricea clavata* tiene unas características demográficas caracterizadas por la baja tasa de crecimiento, el bajo reclutamiento de nuevas colonias y la baja tasa de mortalidad natural de las colonias, características demográficas propias de una especie sometida a bajos niveles de perturbación. A pesar de ello, esta especie ha sido una de las más afectadas por diferentes eventos de mortalidad relacionados con anomalías térmicas en la columna de agua que han sido asociadas al cambio climático, generalmente por encima de los 35 metros de profundidad. En cambio, la mortalidad de 2007 detectada en el Parque Nacional de Cabrera se observó a partir de 38 metros, donde la especie tiene aquí su límite superior de distribución.

El impacto de la mortalidad del 2007 afectó de manera notable a esta población. El porcentaje de tejido afectado por epibiosis (el tejido ha muerto o está recubierto por otros organismos) estimado antes del impacto (menos del 10%) se vio incrementado por un factor de 7 y esto se tradujo en una pérdida de biomasa de más del 50% de las colonias situadas sobre los 38 m. Las colonias situadas alrededor de los 45 metros de profundidad también sufrieron el impacto pero en mucho menor grado. No se detectaron cambios perceptibles en las colonias entre 55 y 65 metros, lo que indica que estas profundidades fueron poco afectadas por el evento. Estos resultados demuestran que los bosques por debajo de los 35 metros de *P. clavata* no están a salvo de los efectos del cambio climático y únicamente las colonias localizadas a mayor profundidad (>45 m) parecen estar a salvo de estos eventos de mortalidad, cada vez más frecuentes.

La temperatura afecta a la fisiología de los organismos. La exposición a temperaturas elevadas puede causar la muerte de los organismos en períodos breves (horas-unos pocos días) de tiempo. La exposición a temperaturas subletales causa alteraciones en el metabolismo de la especie cuyos efectos son detectables si la exposición perdura durante largos períodos de tiempo (días-meses). La temperatura máxima en 2007 fue superior en 1-2,2 °C a la de 2008 y 2009 pero tan solo en 0,5° C superior a la de 2010. Sin embargo, los efectos sobre los organismos fueron observados en 2007 pero no en 2010. Esto sugiere que el régimen térmico muy probablemente no alcanzó la temperatura letal sino que el efecto sobre los organismos haya sido fruto de la exposición prolongada a temperaturas subletales. En este sentido, el régimen de temperatura de 2007 se diferencia claramente del régimen térmico de los otros 3 años mostrando un contenido en calor mucho más elevado. Se ha podido demostrar experimentalmente que el principal mecanismo a través del cual las temperaturas subletales afectan negativamente a las poblaciones de *Paramuricea clavata* se relaciona con el aumento del coste energético que la respiración representa para la especie durante el período de menor disponibilidad de alimento en la columna de agua (Coma et al., 2009)<sup>2</sup>.

Los estudios que han evaluado el impacto de estas perturbaciones durante largos períodos de tiempo han mostrado la necesidad de estos seguimientos a largo plazo a la hora de entender su impacto real. Tanto el estudio a largo plazo del episodio de mortalidad de la gorgonia *Paramuricea clavata* ocurrido en 1999 en el Parque Nacional de Port Cros (Francia), como el realizado con la gorgonia *Eunicella singularis* en la Reserva Marina del Norte de Menorca mostraron que los efectos retardados del evento fueron mucho más importantes que los observados inmediatamente después de tener lugar el mismo. De aquí la importancia de determinar la evolución de las poblaciones en los años posteriores al evento.

Al finalizar este estudio la biomasa aún no presentaba indicios claros de recuperación en el rango superficial de distribución. La evolución del porcentaje de epibiosis a 38 m mostró una clara pauta de disminución hacia los valores previos al impacto, debido principalmente a la desaparición de las colonias que presentaban un mayor grado de afectación. Otro aspecto importante que debe ser estudiado con más detalle es el incremento, aunque ligero, del % de epibiosis en las profundidades mayores (55 y 65 metros), concretamente en las colonias que habían recibido un menor impacto durante el evento de mortalidad ocurrido en el 2007.

2] Coma, R., Ribes, M., Serrano, E., Jiménez, E., Salat, J., Pasqual, J. (2009) Global warming-enhanced stratification and mass mortality events in the Mediterranean. *Proc Natl Acad Sci USA* 106: 6176-6181



## **FB02 | Impacto e interacciones del clima con la ecología, comportamiento y distribución de aves de alta montaña en el Parque Nacional de los Picos de Europa**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Estación Biológica de Doñana | Instituto Cantábrico de Biodiversidad
- **Equipo de investigación:** Paola Laiolo (IP), Leandro Meléndez y Mónica García
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de los Picos de Europa
- **Palabras clave:** aves, paseriformes, córvidos, montaña, estrés fisiológico.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/11/2008
- **Fin:** 30/03/2010

### **Sinopsis**

En este proyecto se analizaron varias cualidades de individuos, poblaciones y comunidades de aves en los hábitats del Parque Nacional de los Picos de Europa, intentado disminuir la falta de conocimiento sobre las poblaciones que habitan las zonas altas de la Cordillera Cantábrica y de Europa meridional en general. Se encontraron en las condiciones fisiológicas y de salud de los individuos algunos factores críticos que podrían explicar los patrones de distribución de varias de las especies objeto de estudio.

Los resultados demuestran la influencia de los parámetros climáticos sobre las aves que componen la comunidad de los Picos de Europa. Así, la variación en temperatura y el régimen de precipitaciones inciden en las características de la comunidad de aves, las características de las poblaciones de chovas y en la densidad y distribución del bisbita alpino, el pardillo común, el acentor alpino, el gorrión alpino, la collalba gris y el colirrojo tizón. El estrés fisiológico (medido a través de los glucocorticoides fecales) aumenta en cotas bajas en la especie de chova más típicamente alpina, la chova piquigualda. Así mismo, la condición inmunológica de la collalba gris y el bisbita alpino parecen tener un valor óptimo a alturas intermedias (1400-1600 m), donde se localizan también las mayores densidades de estos paseriformes.

Teniendo en cuenta que con el aumento de la altitud disminuye proporcionalmente el área disponible, y que los paisajes alpinos se hacen más rocosos y menos diversos, es previsible que muchas especies que componen las comunidades de baja cota no toleren estas condiciones y que no se desplacen en altura simplemente siguiendo el gradiente climático previsto para las próximas décadas. En las cotas elevadas de muchas montañas prevalecen los roquedos, hábitats no idóneos para mantener poblaciones viables de varias especies de aves, incluso algunas típicas de las montañas de la cordillera cantábrica. En el caso del bisbita alpino y collalba gris, por ejemplo, las densidades mayores se encuentran donde los roquedos no ocupan grandes extensiones, así que difícilmente estas especies podrán ocupar las cumbres rocosas a pesar de que estas se volvieren climáticamente favorables a causa del calentamiento global.

Estos resultados evidencian que la respuesta de especies y comunidades frente al cambio en las condiciones climáticas se debe valorar a nivel local, teniendo en cuenta la composición del hábitat y su idoneidad para albergar las distintas especies, en término de disponibilidad de recursos y lugares para establecer territorios. Los Picos de Europa, en este sentido, representan un área de montaña especialmente inhóspita a elevadas altitudes.

### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

En la primavera y verano de 2009 se estimó la abundancia y diversidad de especies de aves por medio de censos en 105 estaciones repartidas en 21 zonas distribuidas por el Parque Nacional de los Picos de Europa, en la franja altitudinal de 600 a 2200m, seleccionándose siempre zonas abiertas similares al hábitat alpino. En dichos hábitats abiertos de montaña del Parque Nacional de los Picos de Europa se encontraron un total de 59 especies de aves.

Al analizar los gradientes altitudinales de diversidad, se encontró que la diversidad disminuye con la altitud, aunque los valores se estabilizan a altitudes de 1600 m. Con la altitud varían de forma marcada las características del paisaje en los Picos de Europa, registrándose una disminución de la diversidad de ambientes y un aumento exponencial de la cobertura de rocas a cotas elevadas. Estas características ambientales condicionan significativamente los patrones de biodiversidad encontrados; la diversidad disminuye con el aumento de cobertura de rocas y aumenta con la heterogeneidad ambiental.

Se analizaron los movimientos y uso del hábitat de los dos córvidos más representativos de los Picos de Europa, la chova piquirroja (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*) y la chova piquigualda (*Pyrrhocorax graculus*). Ambas especies abandonan las zonas más elevadas en los periodos con mayor cobertura de nieve (invierno y, en menor medida, primavera), mostrando variaciones altitudinales relacionadas con las condiciones climáticas y a la disponibilidad de recursos. Los análisis preliminares de los valores de estrés fisiológico (glucocorticoides fecales) indican para la chova piquigualda un menor estrés en zonas de mayor altitud, donde presentan las condiciones más apropiadas para esta especie típicamente alpina. En el caso de la chova piquirroja, no se han detectado tendencias significativas, aunque a baja altura se encuentran los individuos con menor estrés.

La abundancia de bisbita alpino y collalba gris experimentó una tendencia a aumentar con el gradiente altitudinal y un descenso en las zonas más altas, con un pico de máxima abundancia alrededor de los 1600 m. La abundancia del pardillo presentó una tendencia a disminuir con la altitud, siendo la especie más abundante a altitudes inferiores (1200 m). En el caso del colirrojo tizón, la abundancia no varió significativamente a lo largo del gradiente altitudinal estudiado. Cuando se sustituyó la altitud por las variables meteorológicas, y se consideraron los otros determinantes ambientales (topografía, hábitat y paisaje) en los modelos de variación de la abundancia, encontramos que las densidades de collalba gris y de bisbita alpino fueron influenciadas principalmente por las variables de cobertura del hábitat y paisaje. La abundancia de pardillo y colirrojo aumentan con la diversidad del hábitat, aunque también participan parámetros climáticos. Las temperaturas más cálidas influyen positivamente en la abundancia del pardillo, mientras que el colirrojo presenta mayores abundancias en áreas con mayores precipitaciones.

Las variables ambientales consideradas en este estudio (hábitat, paisaje, topografía y clima) explican una porción importante de la variabilidad en la condición inmune (63-91 %). Las condiciones climatológicas han resultado ser las variables más influyentes, entrando en la inmensa mayoría de los modelos y, secundariamente, las características estructurales del área y paisaje, especialmente cuando se tornan extremas (ausencia de vegetación o predominancia de un solo tipo de cobertura vegetal y elevadas pendientes). En este tipo de hábitats extremos los individuos de las cuatro especies modelo presentaron una peor respuesta inmunitaria. Comparando las cuatro especies de aves estudiadas se observó que para la collalba gris, el bisbita alpino y colirrojo tizón, las condiciones climáticas de la media-alta montaña favorecían su capacidad inmunitaria (CI), presentando mejores resultados con el descenso de temperaturas y el aumento de precipitaciones, hasta un punto en el que, a partir de altitudes considerables (1800-1900 m), donde las condiciones de frío son más extremas, la CI disminuye en las tres especies. Para el pardillo, la CI era mejor en aquellas zonas donde la temperatura era más cálida y donde se minimizaban las fluctua-





ciones bruscas en las precipitaciones entre meses.

Se ha encontrado un grupo de especies centinelas que podrían ser objeto de un programa de seguimiento a largo plazo para evaluar los efectos del cambio climático. La chova piquigualda, la collalba gris y el bisbita alpino parecen tener efectos fisiológicos negativos cuando las condiciones se vuelven más cálidas, y esto puede tener repercusiones en su distribución altitudinal y por tanto, espacial. Un seguimiento de su rango de distribución en Picos de Europa permitiría estudiar la evolución de los procesos ecológicos relacionados con el cambio climático y evaluar las zonas del parque más críticas y sujetas a mayores riesgos de pérdida de biodiversidad.

### **FB03 | Generación de escenarios locales de cambio climático en parques nacionales para evaluación de impactos**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Fundación para la Investigación del Clima
- **Equipo de investigación:** Jaime Ribalaygua Batalla. Fundación para la Investigación del Clima
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** el conjunto de los Parques nacionales de la Red.
- **Palabras clave:** clima, modelos, *downscaling* estadístico, predicciones.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/09/2008
- **Fin:** 31/08/2009

#### **Sinopsis**

La principal herramienta para la prospección del clima de las próximas décadas son los denominados Modelos de Predicción Numérica del Clima (MPNCs) o, como se les conoce comúnmente, Modelos de Circulación General (MCGs). Los MCGs muestran una capacidad notable para reproducir las principales características de la circulación atmosférica general. El problema surge cuando se chequean los resultados a escala más pequeña, cuando la topografía es descrita con poco detalle, por lo cual es necesario aplicar modelos de reducción de escala (*downscaling*). Tras un análisis de las opciones y de las ventajas e inconvenientes de cada opción, el equipo de la FIC ha optado por desarrollar un método de *downscaling* estadístico y aplicarlo a los parques nacionales españoles, utilizando datos procedentes de las estaciones de la Red y, también, datos de las estaciones meteorológicas (AEMET) próximas. Los resultados de verificación del modelo, una vez aplicado, son muy buenos para la temperatura y aceptables para la precipitación, mientras que los resultados de validación ofrecen resultados robustos para temperatura, pero introducen bastantes incertidumbres para precipitación. Además, los resultados de la verificación y la validación permiten calcular el denominado error sistemático (medida en que las simulaciones por regionalización de las salidas de control de los MCGs no se corresponden con el clima real).

#### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

Los Modelos de Circulación General (MCGs) simulan flujos de energía, masa y cantidad de movimiento, mediante las ecuaciones primitivas de la dinámica, entre los puntos de una red tridimensional que se extiende por la atmósfera y océanos y las capas superiores de la litosfera y criosfera. Mediante la integración temporal de estos flujos, se obtienen evoluciones simuladas de los estados atmosféricos.

Hay distintos tipos de modelos, según las dimensiones en las que trabaje: modelos en 1D (balance de energía, modelos de radiación convectiva), en 2D (plano altura-latitud) y 3D (MCGs; atmósfera, océano, atmósfera-océano). Los MCGs más modernos incluyen capas en la baja y media estratosfera, ya que los recientes estudios demuestran su influencia en el sistema climático. Desde 1990 se está trabajando con modelos acoplados atmósfera-océano y son estos

los incluidos en el cuarto informe del IPCC y con los que se está trabajando en la actualidad.

Los MCGs muestran una capacidad notable para reproducir las principales características de la circulación atmosférica general. El problema surge cuando se chequean los resultados a escala más pequeña (es decir, se seleccionan unos pocos puntos de la rejilla de trabajo) donde las variables, especialmente en superficie, no se aproximan a los valores observados en realidad. Estas limitaciones se pueden explicar por varias razones, algunas de ellas relacionadas con la insuficiente resolución espacial de los modelos, incluyendo el hecho de que la topografía (cordilleras, líneas de costa, etc) es descrita con poco detalle, lo que hace que algunos elementos relacionados con la misma y de extraordinaria importancia a nivel local, sean omitidos y no tenidos en cuenta por el modelo.

Tras un análisis de las opciones y de las ventajas e inconvenientes de cada opción para generar escenarios en topografías complicadas como la española, el equipo optó por desarrollar un método de *downscaling* estadístico. Los resultados de verificación del modelo, una vez aplicado, son muy buenos para la temperatura, y aceptables para la precipitación. Los resultados de validación ofrecen resultados robustos para temperatura, pero introducen bastantes incertidumbres para precipitación. Debe tenerse en cuenta que los resultados obtenidos en los procesos de verificación y validación permiten hacerse una idea aproximada de la incertidumbre asociada a cada simulación de futuro. Además, los resultados de la verificación y la validación permiten calcular el denominado error sistemático (medida en que las simulaciones por regionalización de las salidas de control de los MCGs no se corresponden con el clima real).

Los escenarios que se generan en este proyecto son los escenarios “en bruto”, series diarias, de precipitación acumulada en 24 horas y de temperaturas máxima y mínima diarias, sin corregir los errores sistemáticos. Así, si los usuarios requieren las series diarias, necesitan una corrección que mantenga la variabilidad diaria de la serie. Pero si sólo se requiere la precipitación mensual, o anual, el procedimiento de corrección de errores sistemáticos es diferente. En definitiva, dado que cada usuario puede requerir una corrección específica para su caso, los escenarios se ponen disponibles en bruto, para hacer luego en cada caso las correcciones adecuadas.

La utilización de los escenarios finalmente seleccionados deberá hacerse siempre teniendo en cuenta las incertidumbres asociadas, estimadas en base a los resultados de verificación y validación. Y, si se van a utilizar la series diarias (o sus agregados mensuales, anuales...), deberá siempre realizarse la corrección del error sistemático, en función del uso concreto que se vaya a realizar. Este postproceso de los escenarios exige una cierta experiencia y especialización.

En total se analizan 14 parques nacionales en la primera parte y 10 y 11 parques nacionales para temperatura y precipitación, respectivamente, en la segunda. Que se analice un número distinto de parques en temperatura y precipitación se debe a que no se han utilizado las mismas estaciones en ambas variables, y puede que para un parque sí haya estaciones dentro de él que midan la temperatura y no la precipitación y viceversa.

Aunque los resultados del estudio ofrecen una valiosa información sobre los cambios esperados en los parques nacionales, se observan diferencias significativas en algunas estaciones estudiadas del interior del Parque, con respecto a la media de las estaciones circundantes, por lo que se puede concluir que los análisis deben realizarse de forma local. Se considera muy importante aumentar el número de estaciones disponibles dentro de los Parques nacionales, para poder obtener información a escala local con la mayor fiabilidad posible.

En líneas generales, tanto las temperaturas máximas como las mínimas sufrirán un aumento, aunque las mínimas lo harán de forma más moderada que las máximas. Verano es, en general, la estación que más acusa estos aumentos e invierno la que menos. En cuanto a la precipitación, descensos generales en todas las estaciones. Primavera es la estación con los descensos más altos y verano la que presenta los más bajos.

## **FBO4 | Bases para el seguimiento de los cambios en la flora y vegetación como consecuencia del cambio climático en el Parque Nacional de los Picos de Europa**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT) de la Universidad de Oviedo
- **Investigador principal:** José Ramón Obeso. Universidad de Oviedo
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de los Picos de Europa
- **Palabras clave:** vegetación, bosques, bioclimatología, altitud, teledetección.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/07/2008
- **Fin:** 31/12/2009

### **Sinopsis**

Los ecosistemas de alta montaña figuran entre los medios más sensibles al cambio global. En particular, y teniendo en cuenta las previsiones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), las montañas experimentarán un calentamiento sin precedentes durante el siglo XXI, de magnitud dos a tres veces superior a los cambios acaecidos el pasado siglo. En Europa, las oscilaciones climáticas afectarán de un modo especial a las montañas de transición entre las regiones mediterránea y eurosiberiana, por lo que estas áreas representan objetivos prioritarios para la valoración de los efectos del cambio climático. Así, la vegetación de alta montaña constituye uno de los principales indicadores de cambio global, con una respuesta directa a las condiciones climáticas y al impacto antrópico. En el ámbito del sistema alpino europeo, los cambios más evidentes constatados hasta el momento se deben al desplazamiento de especies de alta montaña hacia estratos de mayor altitud, atribuidos tanto a los cambios de uso del territorio como al calentamiento climático. Aun considerando que las plantas de alta montaña disponen de recursos de adaptación que les ha permitido sobrevivir a los cambios pasados, existen aún incertidumbres sobre su capacidad de respuesta, por lo que numerosas iniciativas desarrollan sistemas de seguimiento de la vegetación de alta montaña como base para el estudio de los efectos del cambio global.

Uno de los objetivos de este estudio fue la obtención de variables e índices bioclimáticos para el Parque Nacional de los Picos de Europa (PNPE) utilizando los datos climáticos provenientes de estaciones meteorológicas y modelos implementados en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se ha establecido la tipología bioclimática del PNPE y se han obtenido las correspondencias entre los valores obtenidos y la distribución actual de diferentes comunidades vegetales en el PNPE, con el fin de analizar la validez predictiva de los mismos. Como objetivos parciales se ha procuró elaborar una cartografía que permita la realización de modelos predictivos de distribución de flora y vegetación en escenarios climáticos pasados, presentes y futuros.

También se analizó la situación actual y evolución reciente del límite del bosque en el PNPE. A pesar de que los bosques naturales de la Cordillera Cantábrica se han visto sometidos a una reducción histórica muy importante, traducida en una intensa fragmentación, aún existen zonas relativamente bien conservadas que pueden aportar información sobre el límite del bosque natural. El PNPE representa en este sentido un territorio heterogéneo, ya que comparte zonas muy deforestadas y con gran uso ganadero con bosques relativamente bien conservados. Sin embargo, el estado de conservación de los bosques más altos del PNPE y su dinámica reciente se conoce poco. Con el fin de evaluar la situación actual, se realizó un análisis sobre los principales tipos de bosques relacionados con el límite forestal. En concreto, el rango de altitud y las formaciones que constituyen el límite del bosque en el PNPE y detectar e interpretar posibles cambios históricos (últimos 50 años) en dicho límite.

### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

El límite superior del bosque constituye un ecotono natural donde las especies arbóreas encuentran factores limitantes para su crecimiento y dispersión. A pesar de las diferencias

geográficas y la variabilidad de las especies que lo constituyen, el límite del bosque puede relacionarse con un rango de temperatura concreto a escala mundial, que en las regiones templadas y a 10 cm de profundidad se localiza entre los 7 y 8°C de temperatura media anual. Dada la relación entre la temperatura y el límite natural de los árboles, estos ecosistemas pueden ofrecer respuestas ecológicas determinadas frente a los cambios climáticos. Sin embargo, dicha respuesta puede ser especialmente lenta y condicionada por la actividad humana, principalmente el impacto de otras causas de cambio global como la deforestación y el pastoreo. Debido a ello, cualquier análisis sobre la relación entre el límite del bosque y las condiciones climáticas debe basarse en el conocimiento previo sobre las características locales y la implicación del uso histórico del territorio, con el objeto de interpretar cambios derivados de la sucesión natural, el cambio climático o de ambos factores en común.

La altitud máxima (1797 metros) del límite del bosque en el Parque Nacional de los Picos de Europa (PNPE) se sitúa por debajo del límite superior identificado en la mayor parte de las montañas europeas, lo que puede atribuirse al carácter oceánico del territorio, cuya humedad estival limitaría la presencia de especies de coníferas en el estrato superior.

Las mayores altitudes del límite del bosque están representadas por los abedulares altimontanos, lo que concuerda con la caracterización general de estos bosques en otras zonas cantábricas. Sin embargo, la elevada representatividad de hayedos silicícolas como límite del bosque en alta cota parece ser una característica propia del PNPE, a falta de estudios más detallados en otros territorios de la Cordillera Cantábrica. Así, el elevado número de transiciones entre hayedos silicícolas y comunidades supraforestales indica que, en el área de estudio y sobre sustratos silíceos, los hayedos pueden compartir el estrato superior del bosque con los abedulares.

La fisionomía del límite actual del bosque es claramente diferente en función del sustrato. Mientras que los sustratos calcáreos producen un límite drástico y continuo, en las áreas silíceas puede interpretarse una transición gradual del bosque hacia los matorrales y pastizales del estrato supraforestal.

Todas las zonas estudiadas mostraron una gran estabilidad –en su distribución altitudinal– durante los últimos 50 años, por lo que es posible que gran parte de ellas representen el límite potencial del bosque en las condiciones actuales de disponibilidad de suelo, vegetación actual, etc. Los resultados corroboran la escasez de datos tangibles sobre expansiones en altitud del límite del bosque, y con ello la dificultad de interpretar limitaciones derivadas de la dispersión y reclutamiento o del clima. La elevada frecuencia de comunidades secundarias (principalmente aulagares) detectada sobre los hayedos calcícolas sugiere considerar otros factores que pudieran limitar la expansión del bosque, como el efecto actual del pastoreo o las características edáficas del área (especialmente rocosa).

Dado que la recuperación del bosque como consecuencia del abandono del territorio debería resultar evidente, puede deducirse que las zonas seleccionadas presentan un límite natural del bosque. En las condiciones actuales, estos bosques están en cierto modo restringidos a su ocupación actual. En las zonas de Coriscao y Cebolleda, donde el límite del bosque se encuentra a mayor altitud, es posible interpretar un límite definido principalmente por factores climáticos, interpretable a partir de la escasa alteración antrópica y reducida dinámica detectada durante los últimos 50 años, e indicado por la alta proporción de transiciones hacia comunidades subalpinas.

Dejando a un lado la dinámica relacionada con la alteración humana del territorio, puede concluirse que las zonas silíceas reconocidas en este trabajo constituyen lugares óptimos para el estudio de los factores ecológicos implicados en el límite del bosque, así como su relación con el clima. La medición de dichos cambios debería tener en consideración otras variables no consideradas en este estudio, como la densidad, estructura o respuesta fisiológica de la vegetación. En las zonas calizas, donde el límite resulta en líneas generales más abrupto, es más difícil interpretar las causas que lo producen. En este caso, sería recomendable realizar estudios más detallados sobre los factores limitantes de estos bosques (vallados experimentales, toma de datos edáficos o climáticos, etc.).

## FB05 | Elementos preliminares para una evaluación del cambio climático en el Parque Nacional de los Picos de Europa

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Zaragoza
- **Investigador principal:** Jesús Abaurrea. Universidad de Zaragoza
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de los Picos de Europa
- **Palabras clave:** clima, modelos, calidad de los datos, evolución climática, estaciones meteorológicas.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/10/2008
- **Fin:** 30/09/2009

### Sinopsis

En este proyecto se plantearon dos tipos de objetivos: unos tienen que ver con la caracterización de la evolución climática observada en la precipitación y la temperatura en el área del Parque Nacional de los Picos de Europa (PNPE) en las últimas décadas, incluyendo el análisis de los datos suministrados por algunos modelos de circulación general (GCM) en sus nodos más próximos a la región con el objetivo de evaluar la necesidad de aplicar procedimientos de reducción de escala (*downscaling*) para obtener proyecciones sobre el clima esperado en el siglo XXI en dicha región. Además, se desarrollaron objetivos relacionados con el control de calidad de las medidas tomadas por la red de estaciones meteorológicas automáticas instaladas en el territorio del Parque Nacional, con el fin de ayudar a establecer los efectos observados del cambio climático en esa región, un territorio montañoso y poco poblado en el que no abundan las estaciones de observación meteorológica.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

Se ha seleccionado en la red de AEMET un conjunto de estaciones de referencia con las que realizar el control de calidad y la validación de las medidas procedentes de las estaciones automáticas instaladas en el PNPE. Se ha desarrollado un procedimiento de control de calidad de los registros de las estaciones automáticas basado en análisis comparativos entre los registros de las propias automáticas y entre los de éstas y los de las estaciones de referencia de la red AEMET.

Se detectó que la medición de la precipitación en las estaciones automáticas durante el año 2008 y el invierno 2008-09 resultó problemática, motivo por el cual sólo se ha validado el registro de la estación PP06, una estación de referencia situada a 1257 m, cuyas medidas, salvo en la segunda quincena de mayo de 2008, parecen correctas.

La validación de los registros de T, en especial de T<sub>min</sub>, en las estaciones automáticas que miden en condiciones más extremas, plantea problemas en los meses más fríos, enero en



particular, debido a las diferentes condiciones de esas estaciones respecto de las estaciones AEMET de referencia, que no alcanzan los 1000 m de altitud. Sin embargo, las medidas que registran las estaciones PNPE en esa época del año son consistentes, por lo que concluimos que han realizado registros de temperatura correctos.

El análisis del intervalo 1970-2008, basado en 7 estaciones meteorológicas para cada variable, ha resultado complejo porque hemos encontrado que, con frecuencia, el comportamiento en las estaciones de la vertiente Norte es diferente, en ocasiones bastante, de las estaciones del Sur.

Las dificultades mayores surgen con la temperatura (con una densidad espacial de estaciones menor que P), en especial con Tmax, ya que su evolución se ha tenido que analizar, en la práctica, sólo con estaciones de la vertiente Sur (la estación de Cangas acaba en 1994, Tama muestra una evolución que consideramos peculiar y de Tresviso sólo aceptamos los registros de invierno y primavera). Además, el perfil de evolución observado en Tmax es más complejo que el de Tmin que, en muchas de sus señales, muestra un comportamiento creciente y monótono desde 1970.

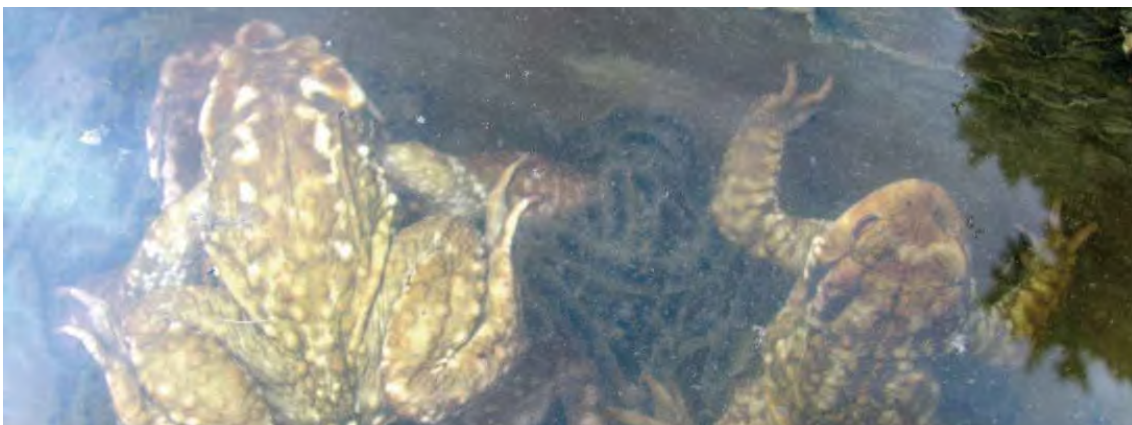
A pesar de estas dificultades se han identificado patrones de evolución, que consideramos relevantes para el territorio del PNPE, del valor medio estacional de Tmax y Tmin y de la precipitación acumulada estacional. Asimismo se han analizado los índices de carácter extremo asociados a la precipitación y la temperatura definidos como fundamentales (*core*) en el proyecto europeo STARDEX.

Respecto a la evolución de la precipitación, se distingue un comportamiento diferenciado en las vertiente Norte y Sur del territorio que puede tener elementos comunes, por ejemplo el cambio de tendencia en los 90 en invierno o la evolución decreciente en verano.

En las estaciones que rodean al PNPE no se observa ninguna evidencia de que se esté produciendo una disminución generalizada de la precipitación. La fase descendente más prolongada, al Norte y al Sur, se produce en verano con una tasa en torno al -1% anual desde 1973. En la vertiente Sur se observa un incremento del valor medio de la precipitación acumulada en otoño que hace que el nivel medio actual sea, en las 3 series más breves, el máximo observado. En los índices de carácter extremo se aprecian cambios congruentes con la evolución observada en el nivel medio: disminución en verano del número de días con precipitación sobre el percentil 90 (R90N) y, en otoño, de la duración de la mayor racha de días secos consecutivos (CDD), así como el incremento de este último índice en primavera.

La evolución de la temperatura máxima es compleja. En el periodo analizado tiene fases de calentamiento pero también fases descendentes y de estabilidad. En el intervalo temporal disponible, 1955-2008, no se encontró evidencia, salvo en Tama, de un proceso de calentamiento sostenido.

En la variable Tmin se observa, en ambas vertientes, un incremento generalizado del valor medio y de sus índices extremos desde los años 70, de modo que los suavizados en la última época se sitúan, frecuentemente, en valores máximos o próximos al máximo de



todo el periodo analizado. Se observan disminuciones estadísticamente significativas en el número de días de helada (Fd) en invierno, primavera y otoño en todos o en la mayoría de los observatorios.

Ninguno de los 3 modelos analizados ECHAM5 (2 trayectorias), CGCM3 y MIROChi reproduce las características de la precipitación diaria observada. Los GCM no reproducen las características de las distribuciones de los valores de Tmax y Tmin pero se obtiene una reproducción adecuada de sus distribuciones globales una vez corregido el sesgo en el valor medio, en el caso de Tmin, y también en variabilidad, para Tmax.

La obtención de proyecciones a medio y largo plazo sobre los efectos del cambio climático en la región va a requerir para la precipitación un procedimiento de reducción de escala (*downscaling*) complejo. Para la temperatura es factible desarrollar un procedimiento estadístico que corrija el sesgo en el valor medio y en la variabilidad sobre las salidas directas que proporcionan algunos GCM.

### **FB06 | Comunicando los impactos del cambio global mediante nuevas tecnologías geoespaciales: una aplicación con los anfibios y reptiles de España**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Centre Tecnològic Forestal de Catalunya
- **Investigador principal:** Lluís Brotons. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** los parques nacionales de la Red
- **Palabras clave:** anfibios, reptiles, comunicación, mapas predictivos, web, divulgación.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/09/2009
- **Fin:** 01/11/2010

#### **Sinopsis**

El objetivo de este proyecto es comunicar las consecuencias del cambio global en anfibios y reptiles ibéricos, implementando resultados de investigación en un portal web basado en tecnologías geoespaciales, para facilitar su comprensión y situarlos en un contexto geográfico, sociopolítico y cultural más próximo a la sociedad. Este objetivo general queda desglosado en los objetivos específicos siguientes:

- Obtener productos que contribuyan a explicar las consecuencias del cambio global en anfibios y reptiles ibéricos, en forma de mapas predictivos de distribución actual y futura, y mapas de indicadores de cambio global.
- Desarrollar material divulgativo que integre los productos en forma de una colección de mapas y facilite la comunicación sobre los efectos del cambio global en los anfibios y reptiles en España.
- Difundir el material divulgativo desde un portal web basado en las nuevas tecnologías geoespaciales, y empleando también otros canales de comunicación.

#### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

Los anfibios y reptiles se hallan sumidos actualmente en un proceso globalizado de pérdida de diversidad debido a diferentes procesos relacionados con el cambio global que actúan de forma sinérgica y que incluyen el cambio climático, la pérdida y degradación de los hábitats, las enfermedades emergentes y las especies invasoras, entre otras causas.

El cambio climático se presenta como una de las transformaciones ambientales más dramáticas a medio y largo plazo, con consecuencias impredecibles en la estructura y la composición de las comunidades vegetales y animales. Los anfibios y reptiles no quedan exentos de sus efectos y, aunque estos sean de difícil pronóstico, lo cierto es que el calentamiento global actuará como catalizador de los impactos del resto de procesos relaciona-

dos con el cambio global.

En **CAMBIARÉ?** se han analizado las consecuencias del cambio climático dentro del área de distribución de las especies de anfibios y reptiles de la España peninsular, y se ha constatado que tanto anfibios como reptiles en general pueden perder entre el 30% y el 60% de sus áreas climáticamente adecuadas antes del 2080, habiendo especies que pueden llegar a perder hasta el 100% de dichas áreas. Para relacionar las actitudes de la sociedad y las consecuencias del cambio climático, el análisis se ha realizado teniendo en cuenta dos escenarios de emisiones de CO<sub>2</sub>: A2 o ‘pesimista’, que asume un mundo heterogéneo con un continuo aumento de la población mundial que enfatiza el desarrollo económico regional, y B<sub>2</sub> u ‘optimista’, que asume un mundo donde predomina la protección ambiental a nivel regional, y con un desarrollo económico intermedio y un crecimiento progresivo de la población.

En su web, los autores de este proyecto presentan los resultados del análisis en forma de mapas interactivos de idoneidad climática actual y del Índice de cambio de idoneidad climática en el futuro para todas las especies. También ofrecen fichas descriptivas de las especies donde se recogen las principales amenazas que las acechan. Los visitantes pueden relacionar ambas informaciones y esclarecer cuales serán los principales impactos del cambio global sobre los anfibios y reptiles en sus localidades.

**CAMBIARÉ?** tiene como principal objetivo identificar los impactos del cambio global sobre 70 especies de anfibios y reptiles en la España peninsular, estableciendo una relación entre la sensibilidad al cambio climático de las especies, y las principales amenazas relacionadas con el cambio global. Con este portal se pretende trasladar los principales resultados obtenidos a la sociedad. Para ello, se diseñaron una serie de materiales que pueden resultar de interés para organizaciones públicas y privadas, educadores y para el público en general:

- **Fichas\_** recogen una descripción general de las especies, acompañada por fotos y figuras (mapas y gráficos), haciendo hincapié en su distribución geográfica, hábitats, estado de conservación y amenazas.
- **Mapas\_** muestran la idoneidad climática actual de las especies y los efectos futuros del cambio climático a través del Índice de cambio de idoneidad climática. Este indicador mide la diferencia de idoneidad climática entre el futuro y el presente, en base a la extrapolación de modelos predictivos de distribución de especies al futuro (2020, 2050 y 2080), empleando distintos modelos de clima global y escenarios de emisiones.

Los mapas de idoneidad climática actual y futura se han generado con modelos predictivos de distribución de especies, también denominados modelos de nicho ecológico. Se trata de métodos numéricos que relacionan las localidades geográficas donde se han observado las especies con las características ambientales de estas localidades. Estas herramientas analizan el nicho ecológico de las especies en base a las relaciones especie-ambiente y permiten extrapolar dichas relaciones en el espacio (áreas donde faltan datos de muestreo o ámbitos geográficos alternativos) y en el tiempo (futuro o pasado). El resultado de estos modelos se plasma en forma de mapas predictivos de distribución de especies que muestran la idoneidad del hábitat o la probabilidad de aparición de forma continua para el ámbito geográfico analizado.

No obstante, la extrapolación de modelos al futuro debe abordarse con cautela pues quebranta algunas claves para la correcta aplicación de estas técnicas. Por ejemplo, que las especies se hallan en equilibrio con el medio y que los gradientes ambientales se hallan adecuadamente representados en la muestra. En este sentido, una hipótesis de trabajo que relacione cambios en la distribución con cambios ambientales violará ambas asunciones e invalidará la aplicación de estas técnicas. Así mismo, existen alternativas que facilitan el uso de la extrapolación de modelos hacia el futuro. En este caso se ha optado por analizar la diferencia entre el modelo actual y su extrapolación al futuro para obtener una medida informativa sobre la sensibilidad de las especies a los cambios climáticos que se



avecinan.

### **FB07 | Estudio del impacto del cambio climático sobre la diversidad y la composición de las cubiertas forestales en los parques nacionales españoles**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Fundación para la Investigación del Clima
- **Equipo de investigación:** Jaime Ribalaygua Batalla. Fundación para la Investigación del Clima
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** el conjunto de los Parques nacionales de la Red.
- **Palabras clave:** clima, *downscaling*, interpolación, fitoclimatología, proyecciones.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/01/2010
- **Fin:** 31/03/2011

#### **Sinopsis**

En general, los colectivos que trabajan en la gestión y la conservación de los parques nacionales han trabajado con información (climática y fitoclimática) basada en observaciones meteorológicas de las últimas décadas y en referencias corológicas. Por ejemplo, los criterios con los que determinar la especie con la que repoblar una zona seseleccionaban en referencia a datos del pasado (observaciones meteorológicas o especies presentes en el pasado) sin considerar los posibles cambios a futuro. Con el objetivo de poder disponer de información climática y fitoclimática futura en las zonas de interés para la conservación y protección de los parques nacionales españoles se ha llevado a cabo este proyecto.

Como punto de partida para el estudio fitoclimático de las zonas de interés, surge la necesidad de generar escenarios locales de clima futuro. A partir de esos escenarios locales de clima futuro se realiza un estudio fitoclimático completo en las zonas de interés para evaluar el impacto del cambio climático sobre las masas forestales. Posteriormente se deberán diseñar políticas y actuaciones que busquen minimizar los impactos negativos que se identifiquen, y maximizar los impactos positivos. Los escenarios utilizados en este proyecto fueron desarrollados en el proyecto '*Generación de escenarios locales de cambio climático en parques nacionales para la evaluación de Impactos*' [FB03], y deben manejarse con precaución y rigor. Se trata de estimas, de simulaciones, que pretenden dar una idea de cómo puede ser el clima futuro, pero en ningún caso deben analizarse como predicciones categóricas o deterministas.

#### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

Existen dos aproximaciones en la lucha contra el cambio climático, la mitigación y la adaptación:

- La mitigación tiene como objetivo minimizar el cambio climático que se llegue a producir en el futuro, reduciendo lo máximo posible (dentro de los niveles "naturales") la concentración de GEI en la atmósfera. Este objetivo puede conseguirse mediante la reducción de las emisiones de estos GEI, o/y mediante su retirada de la atmósfera (fijación en sumideros, captura de carbono...)
- La adaptación tiene como objetivo minimizar los impactos negativos del cambio climático que se llegue a producir (que ya en parte es inevitable). Para afrontar la adaptación es necesario disponer de escenarios del clima que se espera para el futuro, y a partir de ellos evaluar el impacto que ese clima futuro va a tener en los campos de interés. Por último, a partir de esos impactos, se deben diseñar políticas de adaptación orientadas a minimizar los impactos negativos que se hayan identificado, y a aprovechar al máximo los impactos positivos, que sin duda también aparecerán.

La gran importancia que la cubierta forestal tiene en la lucha contra el cambio climático se debe a su papel mitigador, y es necesario tomar medidas que maximicen dicho papel y que

lo mantengan en el futuro. En el caso de los parques nacionales, la conservación de las masas forestales es también un objetivo prioritario en sí mismo. Es decir, surge la necesidad de definir y aplicar herramientas que permitan una gestión de los montes lo más eficaz posible, tanto para afrontar la problemática del cambio climático como para garantizar su conservación en el futuro, adaptándose a dicho cambio.

En el proceso de generación de escenarios se llegó a la conclusión de que se espera que la temperatura aumente (tanto de las máximas como de las mínimas) a lo largo de todo el siglo XXI, siendo este aumento más acusado para la temperatura máxima que para la mínima. En verano se esperan los aumentos más bruscos mientras que en invierno se espera que sean más leves. En cuanto a la precipitación, se esperan descensos generalizados en todas las estaciones del año, esperándose los más bruscos en primavera y otoño y los más débiles en invierno.

Mientras que los aumentos de temperatura para todos los Parques muestran un consenso en la estación donde se sufrirán los mayores/menores ascensos (aunque las magnitudes varían en función del Parque), los descensos de precipitación van a ser más variables dependiendo del régimen pluviométrico del Parque en cuestión. En líneas generales se esperan descensos, a excepción del verano que el intervalo de proyecciones va desde aumento del 5% hasta descensos del 18%. El número de días con precipitación también se espera que se reduzca en casi todas las épocas del año, y al igual que ocurre en la precipitación en verano el intervalo de proyecciones recoge desde aumentos hasta descensos, del 2 al -13%. En el resto del año: -2 a -8 % en invierno, de -9 a -13 % en primavera y de -2 a -8% en otoño.

En cuanto al estudio puntual, las conclusiones más generales y aplicables a todas las zonas del estudio muestra que los 3 escenarios coinciden en presentar una situación de futuro, en la que, con distintos grados de intensidad, se incrementa la aridez, intensidad y duración, y las temperaturas. Es decir, se produce una mediterraneización de la zona. De los tres escenarios, el BCM2-A1B es el más favorable (es decir, sufrirá los menores cambios) a la vegetación actual mientras el EGMAM-A1B es el más desfavorable.

En cuanto al estudio *in continuum* en la Península y Baleares caben destacar las siguientes conclusiones: 1) Los comportamientos termopluviométricos se traducen en un aumento de la duración de la aridez, salvo en Aigüestortes, Ordesa y Picos de Europa; 2) La evolución del periodo vegetativo (PV) es la variable menos homogénea entre los Parques estudiados y son los Parques de montaña los que registran aumentos de este factor, mientras que los Parques más áridos presentan disminución de PV; 3) Se observa una clara diferencia entre los Parques de montaña y alta montaña. Para estos Parques es de prever un aumento de la diversidad fitoclimática debido fundamentalmente al enriquecimiento en especies planifolias de los bosques de coníferas de montaña y también por la migración en altura de los bosques de coníferas, que tenderán a colonizar zonas actualmente desarboladas de alta montaña. Los Parques situados a baja altitud y especialmente en áreas mediterráneas sufren fuertes caídas de la diversidad fitoclimática, principalmente debidas a la progresiva incompatibilidad con especies marcescentes, tendiendo a basarse las estrategias fisionómicas de las cubiertas casi exclusivamente en estrategias esclerófilas. La franja altitudinal comprendida entre los 1000 y los 1500 m presenta un comportamiento heterogéneo.

En cuanto al estudio *in continuum* en el Archipiélago Canario caben destacar las siguientes conclusiones: 1) Los comportamientos termopluviométricos se traducen en un aumento de la duración de la aridez, salvo en Timanfaya. El aumento promedio de la duración de la aridez es especialmente notable en el parque del Teide, de casi 1 mes; 2) La evolución el periodo vegetativo (PV) tiende a aumentar en todos los parques salvo en Garajonay, que tiende a la estabilidad; 3) Las conclusiones de carácter fitoclimático que se pueden extraer para los parques Canarios presentan mayor dificultad que para los parques peninsulares y baleares debido a la escasa extensión del Archipiélago y por tanto a lo reducido de los ámbitos factoriales de calibración del modelo. Aunque gran parte de la actual laurisilva entra en zona de incertidumbre en el periodo 2030-2065, su continuidad parece probable siempre y cuando los escenarios futuros de cambio climáticos no impliquen variaciones en

el régimen de alisios y contra-alisios que motiven variaciones en los niveles altitudinales de condensación del agua atmosférica y formación de nieblas.

### **FB08 | Gradientes altitudinales de biodiversidad en el Parque Nacional de los Picos de Europa: cómo se origina, mantiene y conserva la riqueza de organismos en un escenario de cambio climático**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** CSIC. Estación Biológica de Doñana
- **Investigadores principales:** Leandro Meléndez y Paola Laiolo. Unidad Mixta de Investigación en Biodiversidad (UMIB) - Instituto Nacional del Carbón (INCAR-CSIC), Oviedo
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de los Picos de Europa
- **Palabras clave:** aves alpinas, diversidad, respuesta inmune, dinámica poblacional, biometría.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/04/2010
- **Fin:** 31/03/2011

#### **Sinopsis**

Los objetivos de este proyecto incluyeron la descripción de los patrones altitudinales de diversidad de aves en la región del Parque Nacional de los Picos de Europa, separando los distintos tipos de hábitat que le caracterizan (bosque, matorral y zonas abiertas). Además, se analizó cómo el clima podría incidir sobre las aves alpinas, empleando como modelo el bisbita alpino (*Anthus spinoletta*) y su condición frente a las variaciones naturales que se producen en el gradiente altitudinal de las montañas. Se estudió en particular la afección del clima sobre diferentes parámetros de condición inmune relacionados con la supervivencia del individuo -el recuento linfocitario, la prevalencia de patógenos y la carga de patógenos- que pueden condicionar los patrones de distribución y abundancia y al mismo tiempo ser buenos indicadores de su vulnerabilidad. Se realizaron estudios biométricos y de dimorfismo sexual del bisbita alpino y la collalba gris (*Oenanthe oenanthe*) tratando de analizar cómo la divergencia biométrica adaptativa de las poblaciones animales puede originarse por factores históricos dependientes del aislamiento y cómo el clima puede influir en éste, ya que se trata de especies que habitan en macizos montañosos separados por valles profundos. Por último, se desarrollaron las primeras fases de un estudio de dinámica de poblaciones, en el que se evidencia cierta filopatría en ambas especies, esto es, la tendencia que presentan muchas especies animales a permanecer en el mismo territorio en que nacieron, o a volver al mismo para reproducirse o nidificar. La collalba gris, especie que migra en invierno, muestra mayor fidelidad a los sitios de cría que el bisbita alpino, que se caracteriza por movimientos más erráticos en invierno, y posiblemente prospecta y elige los territorios a lo largo de todo el año.

#### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

Al contrario que otras montañas europeas, la Cordillera Cantábrica no presenta un gradiente entre bosques de caducifolias y coníferas, estando cubierta en exclusiva por formaciones forestales de hoja caduca. Así mismo, el matorral deriva de una larga historia de manejo y quema y, aunque diverso en su composición a gran escala, cada parche está constituido por una especie dominante (*Erica*, *Calluna* o *Ulex* spp.). Esta igualdad de características estructurales a lo largo del gradiente determinaría una uniformidad en la composición y riqueza de especies de aves forestales y típicas de matorral, cuyas comunidades son muy sensibles a las características fisionómicas del hábitat.

Sin embargo, en hábitats abiertos sí se observa una disminución lineal de la diversidad cuando aumenta la altura sobre el nivel del mar. En estas regiones altas, la diversidad de aves podría estar limitada por la reducción de la capacidad de carga que supone el aumento de la superficie rocosa, la mayor pendiente, menor productividad y otros costes ecológicos asociados a la altitud como un mayor tiempo de desarrollo, mayor coste energético, aumento de la estocasticidad reproductiva, etc.. La áreas más elevadas presentan,

además, una reducción del espacio disponible y un mayor aislamiento de otras zonas similares, lo que podría favorecer un declive de las tasas de inmigración y un aumento de las tasas de extinción locales, dando lugar a una menor diversidad de aves. Esta disminución del hábitat es especialmente importante en la Cordillera Cantábrica, donde por encima de los 2000 m.s.n.m. el espacio se reduce a unas pocas cumbres rocosas sin apenas vegetación y donde el número de especies de aves estrictamente alpinas es relativamente inferior respecto a aquellos de otras montañas europeas.

Se espera que el cambio climático altere la distribución de algunas especies y provoque la extinción de otras a escala local al no poder adaptarse a las nuevas condiciones. En las regiones montañosas las especies podrían desplazar hacia arriba el borde inferior de su área de distribución a medida que aumenta la temperatura, dando lugar a una reducción de los tamaños poblacionales de las especies de alta montaña. Este desplazamiento hacia arriba provocaría una disminución de la cantidad de área disponible para cada tipo de especie, lo que disminuiría la diversidad de aves, además de quedar las poblaciones más aisladas.

Sin embargo, teniendo en cuenta que con el aumento de la altitud disminuye proporcionalmente el área disponible, y que los paisajes alpinos se hacen más rocosos y menos diversos, es previsible que muchas especies que componen las comunidades de baja cota no toleren estas condiciones y no se desplacen en altura simplemente siguiendo el gradiente climático previsto para las próximas décadas. En las cotas elevadas de muchas montañas prevalecen los roquedos, hábitats no idóneos para mantener poblaciones viables de varias especies de aves, incluso algunas típicas de las montañas de la Cordillera Cantábrica. En el caso del bisbita alpino (*Anthus spinoletta*) y la collalba gris (*Oenanthe oenanthe*), por ejemplo, las densidades mayores se encuentran donde los roquedos no ocupan grandes extensiones, así que difícilmente estas especies, aunque muy abundantes y con características 'alpinas' en otras regiones geográficas, podrían ocupar las cumbres rocosas a pesar de que estas se volvieran climáticamente favorables a causa del calentamiento global.

Los resultados de este estudio apuntan a que un factor clave en la supervivencia de las aves como es la respuesta inmune, está condicionada por la variación climática. A pesar de que los hábitats alpinos suelen presentar bajas tasas de parasitismo o enfermedades, la dureza de las variables ambientales en estos sistemas de montaña puede condicionar de manera indirecta o directa la fisiología de las especies que allí habitan. La incidencia de eventos extremos como tormentas, grandes nevadas y bajadas extremas de temperaturas, afectan de manera directa a los organismos, pudiendo causar mortalidad elevada y desplazamientos o migraciones a otras zonas más favorables. Sin embargo, es la exposición prolongada a condiciones meteorológicas adversas (frío, escasez de agua, cobertura de nieve, etc.), lo que puede condicionar en mayor medida la viabilidad de las poblaciones animales en estos entornos. Ante un evento adverso prolongado, puede reducirse la disponibilidad de alimento, obligar a cambios de comportamiento y elevar los costes energéticos de sus funciones vitales, lo que desencadena una situación de estrés crónico que afecta a la fisiología y condición física del individuo.

Las variables estudiadas como indicadores de la respuesta inmune se mostraron determinadas por el clima, positivamente por la cantidad de lluvias en los meses de reproducción y negativamente por la temperatura. Los individuos de bisbita alpino en mejor estado de salud (mejor condición inmune y menor carga de parásitos), se presentaron en las zonas con temperaturas más bajas y con mayor régimen de precipitaciones. Son áreas preferentemente desarboladas, moderadamente rocosas y con elevada cobertura herbácea, lo que corresponde en la zona de estudio a altitudes de entre 1600-1800m.

Si se cumplen los escenarios climáticos previstos para finales de este siglo, se produciría un ascenso de los pisos bioclimáticos en la Cordillera Cantábrica, lo que desplazaría las condiciones óptimas para las especies alpinas a cotas más elevadas. Sin embargo, en este sistema montañoso en particular, el desplazamiento en altitud de los pisos está muy limitado, ya que la superficie disponible por encima de los 1800 m es muy reducida y las proporciones de cobertura de rocas se hacen muy elevadas. Puesto que no es posible una evolución de los pisos vegetales en un periodo similar a las predicciones de cambio climá-

tico, el hábitat adecuado para la especie disminuiría drásticamente, por lo que la afección sobre las poblaciones de aves alpinas, y en particular sobre el bisbita alpino podría ser importante.

### **FB09 | Evaluación para el seguimiento del cambio global en el ámbito socioeconómico del Parque Nacional de los Picos de Europa**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad Carlos III de Madrid
- **Investigadora principal:** Mercedes Pardo Buendía. Universidad Carlos III de Madrid
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de los Picos de Europa
- **Palabras clave:** indicadores socioeconómicos, seguimiento, evaluación, cambio global.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/02/2010
- **Fin:** 31/03/2011

#### **Sinopsis**

El objetivo global de esta investigación fue diseñar y hacer operativo un Sistema de Evaluación y Seguimiento del impacto social y económico del Cambio Global en el Parque Nacional de los Picos de Europa, siendo el primero realizado para los Parques Nacionales de España.

Se ha tratado de dar respuesta a la necesidad de disponer de un conjunto de datos suficiente para monitorizar a corto, medio y largo plazo los efectos del cambio global en el ámbito social y económico de los espacios protegidos, focalizando la investigación en el Parque Nacional de los Picos de Europa, aunque, al mismo tiempo, tratando de extraer recomendaciones para una posterior aplicación del Sistema de Evaluación y Seguimiento del impacto social y económico del cambio global diseñado, con sus correspondientes adaptaciones, a otros parques nacionales.

Los objetivos perseguidos por este proyecto pueden ser definidos de la siguiente manera:

- Registro continuo de la dinámica de los sistemas que son objeto de estudio, con el análisis de las tendencias de cambio, bien por causas naturales o antropogénicas.
- Mejora del conocimiento sobre los sistemas estudiados, mediante la recopilación o generación de nueva información relacionada con el impacto socioeconómico del cambio global sobre los espacios naturales protegidos.
- Prevención ante cambios puntuales y/o globales en los sistemas estudiados, especialmente alteraciones o daños por eventos no esperados.



→ Identificación de los efectos producidos por las prácticas de gestión en la dinámica de los sistemas sociales, y detección de efectos no deseados.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

Los indicadores elaborados son el resultado de una selección entre todos los indicadores posibles resultantes de la gran complejidad de los sistemas naturales y sociales que se entrecruzan en los espacios naturales protegidos.

Los indicadores se han organizado según el esquema 'Presión-Estado-Respuesta'. En el se identifican primero los indicadores de 'Presión', que corresponden a las causas de los fenómenos estudiados (cambio climático en este caso); de 'Estado' del sistema en segundo lugar, sobre el que inciden los impactos que produce la presión; y en tercer lugar a la 'Respuesta' de la sociedad a los problemas planteados. Se trata de un marco de referencia mediante el que se hacen explícitas las relaciones causa-efecto (cadena de causalidades) en el sistema objeto de seguimiento.

Los indicadores referentes al primer marco de referencia ('Presión') reflejan las causas que esta investigación plantea como inductoras del cambio global y del cambio climático, y se agrupan en un bloque denominado cambio global, el cual diferencia estas seis categorías:

1. Cambio climático.
2. Pérdida de productividad de los ecosistemas.
3. Pérdida de biodiversidad.
4. Alteraciones en el funcionamiento de los ciclos biológicos.
5. Grandes cambios en los usos globales del suelo.
6. Aumento de la contaminación.

El segundo bloque tiene como marco de referencia el relativo al 'Estado' dentro del esquema PER, y por tanto es el denominado 'medio receptor' en el presente trabajo: la variación experimentada por sus indicadores es la que irá reflejando los impactos sociales y económicos del cambio global y del cambio climático. En concreto se han propuesto las siguientes categorías en los niveles de diferenciación de 'grupo' y 'subgrupo':

1. Recursos naturales (usos del territorio, utilización del agua, utilización de la energía, recursos agrarios, recursos ambientales, y tratamiento de residuos).
2. Base demográfica (población y características, y actividad, ocupación y paro).
3. Base económica (producción de bienes y servicios, empleo en actividades productivas, actividad turística, renta y transferencias, e inversiones públicas).
4. Base social, política y cultural (salud, organización política y social, cohesión social, bienestar, pobreza y seguridad, y cultura).

Finalmente, se consideró de interés diferenciar un tercer marco de referencia, que es el correspondiente al denominado 'Respuesta' y que recibe la denominación de 'Mitigación y adaptación al cambio global'. En este marco de referencia, se han propuesto dos niveles de diferenciación de 'grupo' y otros más de 'subgrupo':

1. Gobernanza (Reglada; No reglada; Gestión del Parque Nacional).
2. Instrumentos sociales y de investigación (Información y comunicación; Percepción; Formación, capacitación y participación; Investigación).

Los indicadores elaborados varían en su detalle, por razones diversas entre las que se encuentran la falta de información estadística suficientemente desagregada, así como la necesaria investigación primaria que requiere aquellos indicadores de naturaleza cualitativa, que permitan examinar los procesos sociales, las relaciones entre los grupos sociales, la percepción social del estado de bienestar social y el comportamiento basado en dicha percepción de los diferentes actores sociales incidentes en los parques.

Se concluye en la importancia que tiene el conocimiento de este impacto social y econó-

mico, dado que el cambio global es uno de los retos más importantes que afrontan las sociedades actuales. Para ello, se requiere continuar desarrollando instrumentos teóricos y metodológicos *ad hoc* para los Parques Nacionales que hagan posible dicha evaluación y seguimiento en el tiempo.

### **FB10 | Análisis del cambio climático proyectado en las variables de Precipitación y Temperatura en el área del Parque Nacional de los Picos de Europa para el periodo 2031-60**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Zaragoza
- **Investigador principal:** Jesús Abaurrea. Universidad de Zaragoza
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de los Picos de Europa
- **Palabras clave:** clima, proyección, 2031-2060, precipitación, temperatura, heladas.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/01/2010
- **Fin:** 31/12/2010

#### **Sinopsis**

El fin de este proyecto fue evaluar el cambio climático proyectado para el Parque Nacional de los Picos de Europa (PNPE) en el periodo 2031-60, en los valores medios mensuales de la frecuencia de ocurrencia de precipitación y de la cantidad de precipitación recogida, así como de la temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin) diarias. También se evaluó el cambio previsto en los procesos de ocurrencia de heladas y en la duración de las rachas secas prolongadas.

En lo referente a la precipitación, el objetivo fue construir un modelo estadístico que relacione el proceso de precipitación diaria a escala local, ocurrencia y cantidad recogida, con un conjunto de variables atmosféricas de gran escala. Utilizando el modelo estadístico construido, una vez validado, se simularon trayectorias de precipitación diaria para el periodo 2031-60 en los escenarios A1B, A2 y B1 y se compararon sus características con las observadas en el clima presente para establecer los cambios proyectados.

Además, se procuró obtener proyecciones verosímiles de la temperatura, máxima y mínima diaria, Tmax y Tmin, para el periodo 2031-60, en 6 localidades de la región del PNPE, en tres escenarios de cambio climático, así como el análisis de los cambios previstos. Y, por último, se persiguió obtener datos fiables sobre las características de los procesos de helada en el área del PNPE en 2031-60, su tasa de ocurrencia y la duración de las rachas de días de helada consecutivos.

Los resultados muestran que una región particular puede tener un escenario de cambio diferente del que se asigna generalmente a un territorio más amplio («disminución de las precipitaciones en la Península Ibérica», por ejemplo) y que distintos aspectos de un fenómeno pueden requerir análisis diferenciados.

#### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

Para estimar los cambios previstos en el proceso de precipitación diaria en el periodo 2031-60, aplicamos un modelo estadístico ajustado a cada localidad. El objetivo es obtener valores medios de frecuencia, de cantidad de precipitación y generar trayectorias de precipitación diaria en esa época, que analizamos y comparamos con la trayectoria observada y las simuladas en el periodo 1971-2000. El proceso de construcción del modelo estadístico garantiza que, en el escenario de cambio climático 2031-60, el modelo va a operar en condiciones similares a las del periodo 1971-2000 en que fue construido, donde conocemos su validez y calidad. En consecuencia, debe considerarse que los valores ajustados y las trayectorias simuladas de precipitación para el periodo 2031-60 tienen la misma habilidad representando el clima futuro, que las trayectorias siglo XX representando el

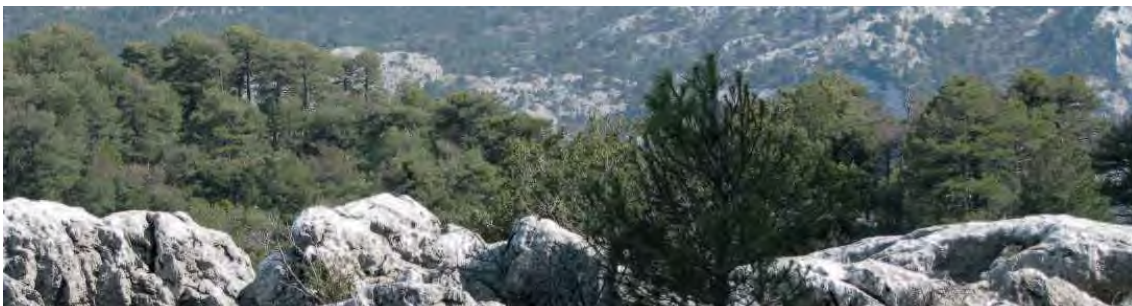
clima presente, habilidad que fue evaluada en la fase de validación.

Para el escenario A1B, en Amieva, las frecuencias relativas proyectadas se sitúan, en la mayoría de los meses, próximas a los valores observados en el siglo XX. Por estaciones, la tasa de ocurrencia se incrementa en torno a un 5% en primavera e Invierno y disminuye en otoño y verano (-8,5%). Por meses, los incrementos más significativos se dan en marzo y diciembre y las reducciones en mayo, agosto y octubre. El valor medio mensual proyectado para la cantidad de precipitación se sitúa dentro del correspondiente intervalo de confianza, salvo en los meses de febrero y octubre (reducciones) y en marzo y diciembre (incrementos). En Lario-Burón, vertiente sur, la cantidad media proyectada se incrementa en los meses de marzo, julio y diciembre y, estacionalmente, vemos incrementos del valor medio, de un 15% aproximadamente, en todas las estaciones salvo en otoño.

Para el escenario A2, en la vertiente Norte (Amieva) se proyecta una primavera más húmeda que la actual, como ocurre en A1B, con un incremento algo mayor en las cantidades, 8,5%. Se proyecta un verano más seco, -10,4% de descenso en la intensidad, como consecuencia de una disminución de la frecuencia de precipitación de -11,7%, manteniéndose las cantidades similares a las actuales. En la vertiente Sur se proyecta un cambio análogo al de A1B en primavera e invierno, con un aumento de la precipitación respecto a los valores actuales, 14,7 y 10,1% de incremento en la intensidad media. En verano se proyecta una leve disminución de la frecuencia, -1%, y un incremento de la cantidad media, 11,2%, que globalmente hacen que la intensidad media se incremente la mitad que en A1B, 9,2 frente a 21,4%. El otoño se proyecta más húmedo que en A1B, 8,5% de incremento en la intensidad frente a 2,1%, debido a una menor disminución de la tasa de ocurrencia, -1,3 frente a -6,3%.

El escenario B1 es el que proyecta incrementos de las intensidades medias, anual y estacionales más elevados, especialmente la anual en Amieva (2,6% en A1B y 1,6% en A2 frente a 11,4% en B1), debido a los incrementos de frecuencia de precipitación que propone, mayores en las dos vertientes y en las 4 estaciones que los de A1B y A2. Las características de la distribución de cantidades muestran cambios anuales similares a los de los otros escenarios.

En el caso de la temperatura, para el escenario A1B los cambios proyectados son siempre incrementos de temperatura, ninguno inferior a 1,2°C. El cambio proyectado en Tmax (en términos absolutos) es, en todas las estaciones y localidades, superior al correspondiente de Tmin. Tama es el lugar donde, salvo en la variable Tmax en invierno, se producen los mayores incrementos tanto en Tmax como en Tmin. Los menores incrementos en térmi-



nos absolutos, tanto en Tmax como en Tmin, se proyectan en primavera, salvo en Tama (Tmax), donde es en invierno.

Para el escenario A2, los cambios que se proyectan en todos los observatorios, en las 4 estaciones del año, son también incrementos de temperatura, mayores, en términos absolutos para Tmax que para Tmin. Como en A1B, los mayores incrementos se proyectan en otoño para Tmax, entre 2,7 y 3,5°C, a los que siguen los incrementos proyectados en verano en la vertiente Norte. Para la variable Tmin los mayores cambios proyectados se dan en verano, entre 1,9 y 2,1°C, seguidos del otoño, entre 1,6 y 2°C.



Y para el escenario B1, a diferencia de lo que ocurre bajo A1B y A2, los incrementos proyectados para Tmax en este escenario no superan siempre los correspondientes de Tmin. El incremento proyectado en Tmax es menor en primavera (0,7-0,8°C) que en el resto de estaciones, siendo éste del orden de 2°C en otoño, en los lugares del Norte en verano y en los del Sur en invierno. El aumento de Tmin es menor en primavera e invierno, situándose en el intervalo 0,7-1,1°C, mientras en las otras dos estaciones es, al menos, de 1,5°C.

Como era de esperar, se proyectan, salvo en marzo bajo B1, disminuciones de la frecuencia de helada en los tres escenarios (A1B, A2 y B2). Los cambios proyectados en Boñar suponen, en general, una disminución de la longitud mediana de las rachas en el periodo de noviembre a marzo; en los meses de abril, mayo y octubre el modelo no proyecta cambios. En los meses que van de noviembre a marzo, dos o los tres escenarios proyectan un decrecimiento de la longitud de las rachas; los tres escenarios coinciden en proyectar decrecimientos en febrero, entre el 5 y el 17% de la longitud 1971-2000, y en noviembre, en torno al 14%. Los escenarios A2 y A1B coinciden en todos los meses en el signo del cambio, salvo en enero, donde A1B proyecta un ligero incremento; los cambios varían entre un 3% en enero y marzo con A2 hasta el 20% en diciembre con A1B. En Cangas, los únicos cambios se circunscriben a diciembre, donde la reducción se sitúa entre un 21 y un 34%.

### **FB11 | Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada: diseño y desarrollo de un sistema de monitorización ecológica basado en la red de estaciones multiparamétricas**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Granada
- **Investigador principal:** Regino J. Zamora Rodríguez. Universidad de Granada
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Sierra Nevada
- **Palabras clave:** Estaciones de Monitoreo Intensivo (EMIs), sistema de indicadores, plataforma web, seguimiento y evaluación del cambio global.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/05/2011
- **Fin:** 30/07/2012

#### **Sinopsis**

El primero objetivo del proyecto fue el diseño de una red de Estaciones de Monitoreo Intensivo (EMIs) en el Espacio Natural de Sierra Nevada, parcelas de territorio ecológicamente homogéneo en torno a una estación multiparamétrica en la que existe una alta concentración de sensores y protocolos de recogida de datos atmosféricos, edáficos y biológicos. Además, se ha diseñado y desarrollado un sistema de captura de datos de las estaciones multiparamétricas de las EMIs, para el procesado continuo de indicadores y otro de teledetección para las EMIs, tratando de obtener de forma completamente automatizada datos de sensores transportados, particularmente del sensor **MODIS** del satélite TERRA, que incluye productos como el índice de nieve (NDSI), la delimitación de incendios o el índice de vegetación (NDVI y EVI) con resoluciones de 250 m, parámetros muy útiles de cara a estudiar los cambios sufridos por los ecosistemas en el contexto de cambio global.

Se persiguió asimismo diseñar un modelo para integrar los datos climáticos, los datos bióticos procedentes del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada y los datos procedentes de sensores remotos. También, la creación de un sistema de indicadores de estado para la red de EMIs que permitan conocer con precisión espacial y temporal el estado de conservación. La idea de partida es que estos indicadores se procesen de forma automatizada conforme los datos brutos se transfieran a la base de datos, lo que permita un seguimiento continuo. Y, por último, el proyecto incluyó el diseño y creación de una plataforma web para la consulta y descarga de datos en el marco del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada.

#### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

En una EMI, además de los datos de la propia estación multiparamétrica (humedad relativa, precipitación, radiación solar, temperatura del aire y suelo, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, temperatura del suelo, radiación UVB1 y UVA1 y Nivel de nieve), se toman datos biológicos (flora y fauna) mediante los protocolos de seguimiento del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada, y datos de distinta naturaleza obtenidos mediante teledetección (cobertura de nieve, albedo, índices de vegetación, productividad, incendios). Por ello podemos considerar una EMI como un punto caliente de obtención de datos de alta frecuencia de actualización y gran calidad. Dentro del área de una EMI, cada dato recogido tiene una localización geográfica precisa, definida en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Para calcular las zonas con mayor concentración de protocolos de muestreo se llevó a cabo en primer lugar una revisión de todos los protocolos de seguimiento socio-ecológicos que se están llevando a cabo dentro del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada. Mediante la aplicación de la Estimación de la densidad de Kernel (KDE)<sup>3</sup> se obtuvo un mapa estandarizado de densidad de protocolos de seguimiento, en el cual las zonas con mayor valor se corresponden con aquellas que presentan una mayor concentración de protocolos de seguimiento por unidad de superficie.

Con esta base, y teniendo en cuenta la localización de las estaciones meteorológicas, así como las características topográficas y el concepto de cuenca hidrográfica como unidad de gestión socio-ecológica, se llevó a cabo una primera delimitación espacial de las Estaciones de Monitoreo Intensivo, sobre la cual se identificaron los diferentes ecosistemas que incluían dichas EMIs. Para ello se tuvo en cuenta el mapa de ecosistemas creado dentro del **Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada**. Con la delimitación previa de las diferentes EMIs se llevó a cabo una visita de campo a cada una de ellas para comprobar *in situ* los límites de dichas EMIs y ver los ecosistemas que incluían dichas EMIs. De igual modo se aprovecharon las visitas para recopilar diferente material audiovisual (videos, fotografías) de las EMIs con los cuales hacer fichas divulgativas de las mismas. En campo también se comprobó que en cada una de las EMIs propuestas se incluía alguno de los ecosistemas más representativos de Sierra Nevada. De este modo tuvimos representados los encinares (EMI05), robledales (EMI07 y EMI0203), pastizales y canchales de alta montaña (EMI08), matorrales de alta montaña (EMI06 y EMI0203) y de media montaña (EMI01 y EMI04).

Para cada una de las EMIs se ha realizado una caracterización en la cual se muestra su delimitación sobre ortofotografía, el mapa de ecosistemas y el porcentaje de ocupación de cada uno de ellos, las metodologías de seguimiento ecológico presentes en la EMI, su caracterización topográfica (incluyendo para la altitud el histograma y el valor medio, el mapa de orientaciones y su gráfica de porcentajes y el mapa de pendientes con su histograma y valor medio. También se ha realizado para cada EMI una caracterización climática, en la cual se muestran gráficas de temperatura mínima y máxima, así como de precipitación, tanto para el pasado como las predicciones para el futuro según cuatro escenarios de cambio climático: ECHAM4-A2, ECHAM4-B2, CGCM2-A2 y CGCM2-B2. Además, se han realizado unas fichas divulgativas que contienen imágenes panorámicas de las EMIs y videos de los ecosistemas presentes.

Los indicadores se pueden definir como los parámetros o combinación de los mismos que explican de manera satisfactoria el funcionamiento de un proceso concreto, resumen la situación de un recurso natural determinado o registran la evolución de los mismos dentro de un ecosistema. Los indicadores ecosistémicos se pueden clasificar de acuerdo al modelo de Presión, Estado, Respuesta (PER) que sigue el concepto de causalidad, por el cual el ser humano hace uso de los recursos (presión) generando un cambio en las características físicas, químicas o biológicas (estado). Una vez que se ha identificado el cambio, la sociedad actúa intentando remediar, paliar, prevenir o compensar el daño generado (respuesta). A su vez, la presión puede incluir indicadores asociados a cambio climático, usos del

3] Kernel Density Estimation, una de las técnicas más utilizada para el análisis y detección de puntos calientes. Lin, Y.P., Chu, H.J., Wu, C.F., Chang, T.K. & Chen, C.Y. (2011) Hotspot analysis of spatial environmental pollutants using kernel density estimation and geostatistical techniques. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 8(1): 75-88.

territorio, contaminación, etc. y el estado de cada ecosistema se puede evaluar de acuerdo a tres aspectos fundamentales: organización (composición + estructura), función (producción, fenología, ciclo de nutrientes,...) y resiliencia (regeneración, banco de semillas,...) o, también, hacerlo a través del seguimiento de una especie o grupo de especies indicadoras. Por su parte, los indicadores de respuesta pueden incluir parámetros relacionados con la gestión forestal, la recuperación de especies amenazadas, actuaciones para el control de erosión o la prevención de incendios forestales, etc.

### **FB12 | Nuevas formas de gobernanza de los espacios naturales protegidos como criterio para fomentar el desarrollo sostenible del medio rural y contribuir a la atenuación de los efectos del cambio global. Aplicación al caso singular del Parque Nacional de los Picos de Europa**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad Carlos III de Madrid
- **Investigadores principales:** Mercedes Pardo Buendía e Iván López. Universidad Carlos III de Madrid
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de los Picos de Europa
- **Palabras clave:** gobernanza, desarrollo sostenible, medio rural, cambio global, planificación, gestión.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/03/2012
- **Fin:** 28/02/2013

#### **Sinopsis**

La gobernanza viene a expresar el ejercicio del gobierno como un proceso dinámico de amplia base social. El presente proyecto de investigación ha analizado el estado actual de la gobernanza en el ámbito concreto del Parque Nacional de los Picos de Europa, como espacio protegido español más antiguo, de más compleja situación en cuanto a dependencia administrativa, interrelaciones de usos e integración con la población interna y de su contorno.

A su vez, por medio del análisis del complejo entramado de asociaciones y grupos de intereses existentes en su ámbito y entorno de influencia, así como por el análisis y comparación con uno o más modelos de gobernanza exitosos en parques nacionales de nuestro país y el extranjero, se ha buscado formular propuestas que permitan una cierta mejora en la gobernanza de este Parque Nacional, así como una adaptación continua a los procesos de cambio social vigentes y que, además, puedan ser exportables a otros espacios protegidos de nuestro país.

Se ha dado especial importancia, en el análisis de propuestas de mejora de gobernanza, a aquellas que permitan una mejor implicación de la sociedad en los procesos de prevención y adaptación a los efectos del cambio global.

El proyecto ha perseguido conocer las percepciones, opiniones y discursos de los distintos grupos de actores sociales en el Parque Nacional sobre la gobernanza o formas de gestión. Y ello para formular nuevas formas mejoradas de gobernanza de los espacios naturales protegidos, y su aplicación al caso singular del Parque Natural de los Picos de Europa.

#### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

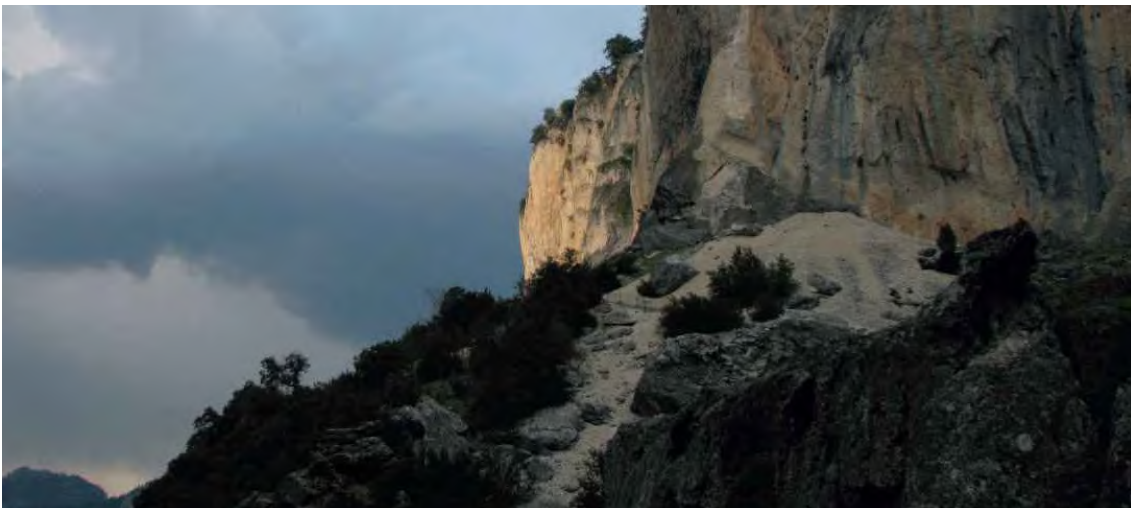
La gran mayoría de los parques nacionales cuentan con estructuras administrativas, legislativas, de gestión y de gobierno que han evolucionado muy limitadamente en los últimos lustros (siendo ello tanto más apreciable si lo comparamos con el propio devenir de la sociedad), de modo que muchas de ellas, particularmente por lo que se refiere a sus órganos de representación social, son similares a las que se establecieron ya con la Ley de Espacios Naturales Protegidos de 1975.

El término gobernanza, que proviene de la expresión en lengua inglesa *governance*, se diferencia del de gobierno o *government*, fundamentalmente en que el primero entiende el ejercicio de gobierno como un proceso, como una actividad dinámica en continuo estado de cambio, y no como algo estático o sometido a unas reglas fijas, a la vez que apela a la intervención de un conjunto de relaciones y actores más amplio que los pertenecientes directamente al espacio de las instituciones de gobierno.

La acción gubernamental se articula desde esta visión desde la interacción sociopolítica y la cooperación entre Estado y sociedad, de nuevo con la incorporación de actores de diversos ámbitos institucionalizados o no institucionales, ya sea a escala local, nacional o internacional.

En el siglo XXI los municipios que conforman el Parque Nacional de los Picos de Europa han perdido la mitad de la población con que contaban, aunque en algunos la sangría poblacional ha sido extrema: Tresviso ha perdido 4/5 de sus vecinos, Oseja tres de cada cuatro y Amieva dos de cada tres. La tendencia demográfica regresiva ha continuado en el presente siglo aunque a un ritmo algo menor, y no tiene visos de revertir dado el alto grado de envejecimiento observado. Cangas de Onís, núcleo urbano fuera de los límites del PN, concentra la mitad de la población del territorio municipal que conforma el espacio natural, mientras que a principios del siglo XX solo era el 28%.

Por otra parte, los municipios que crecen son solo los que tienen su núcleo principal fuera del Parque, al contrario de los que mantiene el cien por cien de su población dentro de los límites del PN, los cuales presentan además fuertes desequilibrios demográficos. Si la población acaba por dejar de estar presente dentro del Parque Nacional, ello podría implicar la desaparición de muchos de los elementos definitorios del espacio a proteger, como son las actividades tradicionales, las infraestructuras históricas e incluso el paisaje antropizado que caracteriza actualmente al espacio natural. Los objetivos de sostenibilidad serían cada vez más difíciles de alcanzar, ya que dependen del mantenimiento de gran parte de las actividades tradicionales y éstas están estrechamente vinculadas a la presencia de población en el PN. Se trata por tanto de un conflicto de primer orden entre despoblamiento y sostenibilidad sobre el que habría que actuar con propuestas concretas.



Es conocida la dificultad de proteger espacios naturales donde residen y desarrollan actividades económicas sus pobladores históricos, ya que en la gran mayoría de las ocasiones la gestión de conservación que deben desarrollar las Administraciones públicas se contrapone a y entra en conflicto con los intereses particulares de la población local. En los Picos de Europa, estos intereses son básicamente ganaderos y son efectivamente contrapuestos a los objetivos de conservación, empezando por el hecho mismo de que los primeros no valoran positivamente la propia figura de protección: el Parque Nacional. Son personas

que no acaban de ver los beneficios que les reporta residir en un espacio natural protegido, al considerar muy descompensado el balance entre las prohibiciones y las limitaciones al desarrollo de su actividad, por un lado, y las ayudas y subvenciones que pueden recibir, por el otro. Que los hijos de los ganaderos prefieran trabajar como camareros o como guardas forestales es un indicador bien ilustrativo de que existe un conflicto serio que amenaza a las actividades tradicionales que desde siglos atrás han conformado los Picos de Europa.

Son significativos en este sentido los obstáculos que está encontrando el crecimiento de las queserías y que se materializan en falta de mano de obra y de materias primas, sobre todo en León. También son reseñables problemas de comercialización de unos productos tan identificables con el espacio natural que podrían convertirse fácilmente en su referente más emblemático. Otra de las principales amenazas que se cierne sobre el PNPE es la creciente presión turística derivada de una afluencia de visitantes que supere su capacidad de carga, ya que la misma significación del espacio natural hace crecer el interés por su visita.

El peligro para la conservación del espacio natural se agudiza al producirse la afluencia de forma muy concentrada en el espacio (entradas asturianas del PN) y en el tiempo (muy acusada estacionalidad). Un Parque Nacional con pequeños núcleos urbanos habitados en su interior necesita un particular y constante esfuerzo de resolución de conflictos por parte del ente gestor para evitar que estos alcancen un grado que pueda llegar a poner en peligro los objetivos de conservación. En el ámbito institucional, una de las fuentes de conflictos es el escaso apoyo de los Ayuntamientos en su gestión municipal a la figura de protección del PN. Se observa una baja aceptación social de los objetivos de conservación y una escasa cooperación intermunicipal.

La investigación concluye con una serie de propuestas de ampliar el gobierno del Parque Nacional de Picos de Europa a un proceso de gobernanza adaptado a los retos a los que se enfrenta al siglo XXI.

---

### **FB13 | Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada (Fase II): Creación de una red de sensores inalámbricos en las Estaciones de Monitoreo Intensivo. Experiencia piloto.**

---

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Granada
- **Investigador principal:** Regino J. Zamora Rodríguez. Universidad de Granada
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Sierra Nevada
- **Palabras clave:** red de sensores inalámbricos, Estaciones de Monitoreo Intensivo (EMIs), plataforma web, seguimiento y evaluación del cambio global.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/05/2012
- **Fin:** 31/07/2013

#### **Sinopsis**

Este proyecto, que da continuidad al '*Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada: diseño y desarrollo de un sistema de monitorización ecológica basado en la red de estaciones multiparamétricas*' [FB11], tuvo como primer objetivo el diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos para medir determinadas variables abióticas (humedad del aire, humedad del suelo, temperatura del aire y temperatura del suelo) y bióticas (actividad fotosintética) en una Estación de Monitoreo Intensivo en Sierra Nevada.

Se desarrolló en el marco del Observatorio de Cambio Global y como experiencia piloto para su posible transferencia posterior a toda la Red de EMIs del Parque Nacional. Además, se diseñó e implementó un sistema de información que permite gestionar de manera consistente los datos generados, incluyendo una base de datos que alberga la información suministrada por los sensores y su integración en redes científicas internacionales. Se configuró una plataforma web para la descarga de datos y el análisis de los mismos y se planificaron los pasos a dar para la implementa-

ción de los resultados obtenidos con esta experiencia piloto en la red de EMIs del Parque Nacional de Sierra Nevada.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

El diseño de una red de sensores inalámbricos es un proceso complejo que requiere considerar muchos factores clave: objetivo del estudio, tipo de variables a medir, cobertura espacial que se pretende cubrir, frecuencia de muestreo, etc. A su vez, la implementación requiere de una puesta en valor de las consideraciones previstas en el diseño y el contacto con el entorno real. El objetivo de esta red inalámbrica es suministrar información de variables abióticas y a gran resolución espacial y temporal para una Estación de Monitoreo Intensivo de Sierra Nevada. Esta información se pone a disposición de la comunidad científica a través del Observatorio de seguimiento del cambio global de Sierra Nevada.

Para la creación de la red de sensores inalámbricos se han tenido en cuenta la topografía del terreno en la EMI de Cáñar, el tipo de sensores, frecuencia de muestreo, protocolos de comunicación y posibles proveedores para la adquisición de los materiales necesarios. La EMI del robledal de Cáñar se encuentra en la ladera sur de Sierra Nevada. Es un monte de titularidad pública que contiene un robledal bien conservado rodeado de pinares de repoblación. Tiene una extensión de 200 has cubiertas en su totalidad por robledal de *Quercus pyrenaica*. La estación multiparamétrica incluida en el mismo tiene buena comunicación. Además, en este robledal se concentra un número apreciable de protocolos dentro del programa de seguimiento de los efectos del cambio global de Sierra Nevada.

De los protocolos/estándares examinados el estándar IEEE 802.15.4 es el más versátil entre consumo y distancia máxima de comunicación, siendo a su vez el estándar más usado en la actualidad, lo que permitirá encontrar dispositivos más asequibles y compatibles. Una vez seleccionado el estándar de comunicaciones, se examinaron las posibles topologías de la red que permitan crear la red de comunicaciones: en estrella o en malla. La topología en malla permite la comunicación entre dispositivos. De esta manera, es posible el envío de un mensaje entre cualquier nodo que esté conectado a la red, mediante la transmisión del mensaje entre los distintos nodos que forman la red. Si la red está completamente conectada, cualquier nodo estará comunicado con cualquier otro. Esta topología es más compleja de mantener que la topología en estrella, ya que requiere de mecanismos de enrutamiento, que permita establecer las comunicaciones entre dos nodos cualesquiera, aumento del tráfico de la red al existir más de un posible camino en la comunicación, etc. Frente a esas dificultades técnicas, se constituye en una red confiable y más versátil para cubrir largas distancias. La comunicación entre dos nodos se realiza usando nodos intermedios, por lo que es posible cubrir distancias más largas, con menos capacidad de transmisión.

El diseño de la red se ha realizado teniendo en cuenta las pruebas de cobertura realizadas en campo. La distancia aconsejable (sin modificar el sistema de antenas que tienen los dispositivos) es de 150 m. Los dispositivos se han dispuesto de forma óptima para cubrir la mayor área posible, y cubrir a su vez puntos estratégicos que coinciden con algunas metodologías de seguimiento dentro del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada.

Los cuatro conjuntos de datos generados por los sensores instalados (humedad del aire, humedad del suelo, temperatura del aire y temperatura del suelo) se han documentado dentro del Sistema de Información del Observatorio. Para ello se han utilizado dos estándares de metadatos, EML (*Ecological Metadata Language*) y la Directiva INSPIRE mediante el perfil NEM (Núcleo Español de Metadatos). De esta forma, se permite que los datos estén accesibles y documentados para la comunidad científica (EML) y para las administraciones ambientales (NEM). Estos conjuntos de datos se replican en el catálogo de metadatos de la red internacional [LTER](#) (*Long Term Ecological Research*), un catálogo que integra cerca de 30.000 paquetes de datos de más de 2000 científicos pertenecientes a 26 sitios LTER diferentes.

El presente proyecto se concibió como una experiencia piloto en la instrumentalización de una EMI concreta de Sierra Nevada. Pero el objetivo general a futuro es el de desplegar redes sensoriales en todas las EMI como pieza clave para potenciar los proyectos de investigación sobre cambio global que se desarrollan en Sierra Nevada, comenzando por la EMI Veleta, debido a la gran cantidad de solicitudes de investigación que se realizan en su interior. Esto supone un gran reto técnico, ya que no es fácil encontrar sensores capaces de resistir las condiciones ambientales tan adversas. Otra cantidad elevada de solicitudes de investigación se concentra en la zona de los Peñones de San Francisco y Llanos de Otero, ocupada por matorrales de alta montaña (enebral-piornal), un área donde no hay ninguna EMI definida. También se observa una gran concentración de solicitudes en ecosistemas forestales de la zona occidental y otra en la zona semiárida de Sierra Nevada.

### **FB14 | Consecuencias crípticas del cambio global: efectos sobre la ecología sensorial y señales sexuales de los lacértidos endémicos y amenazados de los parques nacionales pirenaicos y de los Picos de Europa**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Sociedad de Ciencias Aranzadi
- **Investigadores principales:** Carlos Cabido y Maider Iglesias-Carrasco. Sociedad de Ciencias Aranzadi
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido | Parque Nacional de Sierra Nevada | Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici
- **Palabras clave:** lacértidos de montaña, respuesta inmune, señales sexuales, influencia cambio climático.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/01/2013
- **Fin:** 31/07/2014

#### **Sinopsis**

En este proyecto se planteó el examen de efectos no aparentes que el cambio climático puede tener sobre aspectos no considerados hasta la fecha en la ecología de especies de lagartijas montañas endémicas y amenazadas. Estos efectos, de comprobarse, podrían incluirse en los modelos predictivos de distribución en distintos escenarios climáticos y contribuir a un mejor conocimiento sobre la evolución de las poblaciones y estado de conservación de estas especies. Conocer los efectos que el cambio climático tiene sobre el funcionamiento de las señales sexuales en algunas especies amenazadas o especialmente vulnerables, como es el caso de las especies montañas del género *Iberolacerta*, endémico de la Península Ibérica, es especialmente importante para poder identificar futuros escenarios y anticipar las necesarias medidas de conservación.

Estas especies presentan, además, la particularidad de presentar distribuciones en “islas”, normalmente marcadas por un límite inferior dependiente de la altitud que confina cada población en distintas montañas y hace la comunicación entre ellas imposible o muy escasa. Este escenario resulta propicio para examinar las adaptaciones (o su ausencia) y los efectos de condiciones ambientales de cada población-isla. Se trabajó con 5 especies de lagartijas del género *Iberolacerta*: la lagartija pirenaica (*I. bonnali*), la lagartija pallaresa (*I. aurelioi*), la lagartija aranesa (*I. aranica*), la lagartija serrana (*I. monticola*) y la lagartija carpetana (*I. cyreni*). Todas ellas son especies adaptadas a ambientes montañosos, endémicas y amenazadas. La elección de estas especies se debe a sus especiales características ecológicas, que las convierten en modelos ideales para abordar el estudio planteado, por su adaptación a ambientes elevados y por la vulnerabilidad al cambio climático de su hábitat. También se trabajó con la lagartija roquera (*Podarcis muralis*) que, aunque es una especie más común, presenta poblaciones que se encuentran en cotas elevadas, en sintopía con las demás especies objeto de estudio, mientras que otras se encuentran en cotas mucho más bajas.

#### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

Los ectotermos (animales cuya temperatura depende de la del ambiente) terrestres, como las lagartijas, se incluyen entre los grupos más susceptibles al cambio climático. Sin embargo, deberían ser relativamente invulnerables al calentamiento: prefieren y toleran elevadas temperaturas corporales, son capaces de evitar muy bien el estrés térmico y resisten la pérdida de agua. Es más, en el caso de las especies de zonas templadas, al estar las actuales temperaturas por debajo de sus óptimos fisiológicos, su aumento debería favorecerles, mejorando su eficacia biológica.

No obstante, Sinervo y colaboradores (2010)<sup>4</sup> han documentado extinciones en los cinco continentes como consecuencia del cambio climático. Además, han predicho que antes de 70 años el calentamiento provocará la extinción de casi el 40% de las poblaciones de lagartos y lagartijas. Si esta predicción fuese siquiera aproximada, los lagartos y lagartijas protagonizarían el nuevo “declive global” de un grupo de vertebrados, relevando a los anfibios en este dudoso honor.

A pesar de que las lagartijas son animales heliótermos, que toman el sol y requieren de la radiación solar para alcanzar temperaturas corporales fisiológicamente activas, la actividad en condiciones demasiado cálidas puede llevar su temperatura corporal a un máximo crítico. En estos casos, los animales se retiran a enfriarse en refugios para evitar sobrecalentamiento. Sin embargo, las horas de restricción que tienen que permanecer en los refugios reducen el tiempo que pueden dedicar a la alimentación, a la búsqueda de pareja, defensa del territorio, etc. Esto, a su vez, limita funciones metabólicas costosas, como el crecimiento, el mantenimiento o la reproducción, socavando las tasas de crecimiento de la población y aumentando su riesgo de extinción. Así mismo, se ha demostrado que mayores temperaturas de incubación, o una mayor fluctuación de éstas, pueden afectar al éxito de eclosión y al fenotipo de los neonatos, así como a su subsiguiente crecimiento, supervivencia y éxito reproductor. Así pues, las consecuencias de un aumento de la temperatura sobre estos grupos son más complejas de lo que podría intuirse y a menudo resultan poco evidentes hasta que son estudiadas.

Uno de los aspectos apenas considerados es el efecto que el cambio climático puede tener sobre la ecología sensorial de las especies; concretamente, sobre la comunicación sexual. Los distintos aspectos de la selección sexual (el reconocimiento de especies, el emparejamiento y la selección de pareja o la competencia entre individuos de un mismo sexo para acaparar las parejas o evitar la endogamia, etc.) dependen en gran medida del uso de señales sexuales. Así, cualquier efecto sobre éstas del cambio global podría, potencialmente, abocar a la extinción a una población o especie. Sin embargo, hasta el momento, el efecto que el cambio climático puede tener sobre los procesos de selección sexual y, concretamente, sobre el funcionamiento de las señales implicadas, apenas ha sido estudiado. Entre los distintos tipos de señales que los animales usan para comunicarse (movimientos, coloraciones, sonidos, olores, etc.), el caso de las señales químicas (feromonas, señales olorosas), que usan la mayor parte de las especies de lagartijas, sería uno de los que podría verse más directamente afectado por un aumento de la temperatura.

En este estudio se observaron distintos patrones de relación entre altitud de la población y el estado de salud (condición corporal y respuesta inmune inflamatoria) en función de la especie, lo que sugiere una mayor vulnerabilidad de algunas especies/poblaciones frente a otras. Del mismo modo, los primeros análisis de la composición de las secreciones femorales de las especies pirenaicas (de las cuales no existían datos hasta el momento) muestran la presencia de compuestos no presentes en otras especies del mismo género, sugiriendo una diferente función o adaptación al medio de las señales de estas especies. También se observan diferencias entre especies en cuanto al efecto de la temperatura sobre sus señales químicas, sugiriendo diferente vulnerabilidad al cambio climático, así como distintas trayectorias evolutivas en cuanto a ecología sensorial. Es decir, las poblaciones más elevadas de las especies “más montañas” (o aquellas que “invierten” más en señales visuales) son las únicas que ven la eficacia de las señales afectada por la tempera-

4] Sinervo B, Méndez de la Cruz F, Miles DB et al. (2010) Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science* 328: 894-899.



tura. . En el caso de *Iberolacerta cyreni* la eficacia de las señales olfativas es menor a altas temperaturas. Además, los sustratos con marcas olorosas que se han mantenido a temperaturas elevadas no han sido seleccionados por las hembras, a diferencia de las áreas que marcaron los machos y se mantuvieron a temperaturas normales.

Así, el calentamiento global podría disminuir la información contenida en las señales sexuales y, por tanto, su eficacia. Esto podría afectar a la selección sexual, influyendo en la calidad de la descendencia y en la supervivencia de las poblaciones. Aunque las lagartijas podrían mostrar una cierta flexibilidad en el comportamiento termorregulador o en la nidificación, es improbable, sin embargo, que cambios rápidos en el clima, como el calentamiento global actual, puedan ser compensados por cambios evolutivos rápidos en el diseño de las señales sexuales.

### **FB15 | Seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada, fase III: Recopilación de información histórica sobre aspectos estructurales y funcionales de la red de EMIs.**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Granada
- **Investigador principal:** Regino J. Zamora Rodríguez. Universidad de Granada
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Sierra Nevada
- **Palabras clave:** información histórica, vegetación, usos, Estaciones de Monitoreo Intensivo (EMIs), plataforma web, seguimiento y evaluación del cambio global.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/05/2013
- **Fin:** 30/11/2014

#### **Sinopsis**

El objetivo del proyecto es llevar a cabo una recopilación de información relevante sobre cambios en la cubierta vegetal de una de las Estaciones de Monitoreo Intensivo (EMIs) de Sierra Nevada y poner en valor la información disponible en fuentes muy diversas, tales como documentos históricos de trabajos de campo antiguos, cartografías, catastros, etc., con el fin de integrar estos datos en el sistema de información del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada. En el caso concreto de la información sobre la evolución de la cubierta vegetal, se trata de generar una serie temporal lo más completa posible de las formaciones vegetales que han ido ocupando Sierra Nevada desde tiempos históricos. Otro objetivo, complementario a éste, es la recopilación de información histórica sobre usos del suelo y el aprovechamiento de recursos naturales, para lo cual se utilizaron los planes de aprovechamiento de los montes, datos procedentes de las subastas municipales, el SIGGAN (Sistema de Información y Gestión Ganadera en Andalucía) y el SAGA (Sistema de Aprovechamientos Ganaderos de Andalucía, referido a los montes de aprovechamiento público) y la obtención de información a partir de los activos sociales, en particular a partir de entrevistas con ganaderos jubilados y en activo, consultas a expertos y talleres de cartografía participativa. Todos los datos e información obtenida, incluyendo nuevos datos meteorológicos



solicitados a la Dirección General de Tráfico y a la Consejería de Medio Ambiente (procedentes de la antigua Confederación Hidrográfica del Sur), se integran en el sistema de información asociado al Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada, que recibe el nombre de **Linaría** y ya cuenta con gran cantidad de información referente a diversos aspectos de la dinámica y estructura de los ecosistemas nevadenses, además de datos climáticos y socioeconómicos.

### Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto

Existe un amplio abanico de fuentes históricas que proporcionan información valiosa para reconstruir la distribución de la vegetación en el pasado. Además aportan una serie de datos sobre la actividad humana en el territorio que nos ayuda a entender la dinámica de la vegetación y de los cultivos en el pasado. Esto nos permite comprender la distribución y su comportamiento en la actualidad. Este conocimiento de lo ocurrido desde el presente hacia atrás en el tiempo es clave para poder modelizar la distribución de la vegetación en el futuro de acuerdo con diferentes escenarios climáticos.

Para el caso de la cubierta vegetal se caracterizaron fotografías aéreas antiguas<sup>5</sup> -la serie de 1956 y otras de los años 40, 70 y 80-, así como documentos antiguos sobre expediciones de naturalistas a Sierra Nevada (como Edmond Boissier o Simón de Rojas Clemente), además de documentos oficiales que describen la cubierta vegetal de Sierra Nevada -fuentes como el Diccionario Geográfico de Pascual Madoz, el Catastro del Marqués de la Ensenada, el Inventario forestal del Ministerio de Marina de 1748 o el Mapa Catastral de 1920- y, también, cartografías y fotografías antiguas de la zona.

Los trabajos realizados por investigadores, escritores y aventureros sobre Sierra Nevada presentan una información descriptiva sobre zonas concretas apoyadas en ilustraciones o fotos. Sin embargo, la posibilidad de trasladar estos últimos datos a una cartografía es remota y en todo caso muy inexacta, ya que suele tratarse de explicaciones de itinerarios o lugares donde se citan las especies que se encuentran a su paso con un alto nivel de incertidumbre a la hora de ubicarlos o bien se describen los paisajes o la gente que habita la sierra y sus costumbres.

Los archivos del catastro del Marqués de la Ensenada para los diferentes municipios de la provincia de Granada se encuentran en el Archivo Histórico Provincial. Se procedió a adquirir los documentos digitalizados del catastro de los términos de Cañar y de Barjas del año 1752 que actualmente se agrupan en el municipio único de Cañar, en el cual hay una de las EMIs de Sierra Nevada. Se trata de un total de 1.296 hojas en las que se responden a las preguntas generales del catastro y se reflejan para cada uno de los propietarios de estos términos, cuantas fincas tenían, que se cultivaba o que vegetación había en ellas, la superficie y la localización aproximada. La localización de cada finca se realiza nombrando el pago en el que se encuentra y las parcelas colindantes.

Se llevó a cabo un trabajo exhaustivo para rescatar esta información de manera que sea útil y cartografiable. Se comenzó realizando una base de datos en la que poder volcar los datos alfanuméricos de cada uno de los propietarios y de sus fincas y posteriormente se procedió a identificar la ubicación de los pagos en los que se sitúan las fincas para poder dotar a la información extraída del catastro de una componente espacial. En total se incorporó a la base de datos la información de un total de 1.503 fincas agrupadas en un total de 106 pagos y pertenecientes a 349 propietarios entre los lugares de Cañar y Barjas en ese año.

Se analizaron los planes anuales de aprovechamientos de los montes públicos realizados por el Ayuntamiento desde 1950 hasta el año 1968 y de los años 2009, 2010 y 2011. Estos pliegos dan información de los aprovechamientos de madera, ganado, bellotas y otros (leña, aromáticas, etc.). A partir de 1968, debido a la emigración, se produjeron dos hechos: el abandono de los campos de cultivo y la disminución de la cabaña ganadera. Por ello el poco ganado que quedaba pastaba en tierras baldías sin tener que pagar por pastos públicos. Esto hizo que el ayuntamiento pasara a incluir en los impuestos municipales un pago

5] Disponibles en la [fototeca digital del Instituto Geográfico Nacional](#).

en función de las cabezas que tenía cada ganadero y en cobros por derecho de paso del ganado, pastaran donde pastaran. Ese es el motivo de que no existan para un largo periodo datos concretos de las cabezas de ganado que pastaban en los montes objeto de estudio.

Además, en el acervo popular de cada lugar existe una extensa cantidad de información que nos puede ayudar a entender y reconstruir el estado de la vegetación en el pasado, así como los usos que se llevaron a cabo en el territorio. Para la realización de esta parte del trabajo se llevaron a cabo una serie de entrevistas semiestructuradas con una selección de informantes de interés en base a criterios de edad, profesión y capacidad de aportar información al proyecto. La información aportada por los diferentes informantes mostró un alto grado de coincidencia, aunque el taller final de cartografía participativa fue muy útil para poder corregir algunas discrepancias, así como para brindar la oportunidad de que aparezca información nueva, como resultado del debate y la puesta en común.

### **FB16 | Estudio del efecto del cambio global sobre la nieve y la hidrología de alta montaña en el Parque Nacional de Sierra Nevada**

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Córdoba
- **Investigadora principal:** María José Polo Gómez. Universidad de Córdoba
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Sierra Nevada
- **Palabras clave:** clima, hidrología, modelos, predicciones, cambio climático, nieve.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 16/12/2013
- **Fin:** 15/12/2014

#### **Sinopsis**

Las zonas de alta montaña son especialmente sensibles a una variación del clima, por lo que en todo el mundo se han seleccionado enclaves de este tipo como Observatorios del Cambio Global. Sierra Nevada es uno de estos observatorios, destacado a nivel nacional y mundial por sus condiciones especiales. Este Proyecto plantea el análisis del impacto que los escenarios de cambio climático suponen en el área del Parque Nacional de Sierra Nevada (PNSN), aplicando modelado hidrológico a partir de las variables meteorológicas asociadas a dichos escenarios, y analizando en profundidad las implicaciones de ese cambio no sólo sobre las variables atmosféricas (precipitación y temperatura) sino también sobre otras variables abióticas superficiales relacionadas con el ciclo del agua y que condicionan el desarrollo de las especies: cantidad y duración de la nieve, humedad del suelo o caudal en los ríos. El objetivo principal es evaluar el impacto del cambio global sobre la dinámica de la nieve y la hidrología en el área del Parque Nacional mediante la identificación de variables indicadoras altamente significativas y puntos singulares de control de las mismas. Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar los efectos del cambio global en la hidrología de alta montaña de la zona de estudio, en particular, sobre la distribución espaciotemporal de la nieve.
- Estimar dicho impacto sobre el régimen de caudal de la red fluvial en el PNSN, con énfasis en el periodo de estiaje.
- Establecer variables indicadoras de dicho impacto y sus umbrales de variación para diferentes niveles del mismo, así como localizar puntos de control idóneos en el área de estudio.

#### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

En el marco del **AR4-IPCC** (*Intergovernmental Panel of Climate Change*), el último con datos disponibles al inicio de este proyecto, cuatro posibles escenarios futuros son propuestos según diferentes patrones de comportamiento de la población en materia de globalización, tasas de crecimiento o políticas medioambientales. Dichos escenarios se traducen en proyecciones a gran escala de diferentes variables atmosféricas gracias al uso de modelos glo-

bales. A su vez, estas proyecciones han de ser regionalizadas, mediante un proceso de reducción de escala (*downscaling*), y de este modo adaptarse a características regionales o locales influidas por otros condicionantes a esta menor escala (p.e. orografía, usos del suelo).

Para la selección de la técnica de *downscaling* y el modelo global más adecuado para la zona de estudio, las series diarias de precipitación y temperatura facilitadas por la AEMET para cada uno de ellos han sido comparadas con las series de precipitación y temperatura medidas durante el periodo de referencia en las mismas localizaciones. Esta comparativa fue realizada a diversas escalas temporales: diaria, mensual, estacional y anual. La correlación encontrada entre ambas series de datos para las escalas inferiores fue muy baja, encontrándose errores excesivos para la simulación de la nieve y la hidrológica. Se optó por tanto por la escala anual para realizar la selección del modelo más adecuado.

El modelo elegido para este estudio es el ECHAM5, regionalizado con el método estadístico *Análogos*. Dicha combinación presenta los menores errores en global para todas las variables, además de ser uno de los modelos seleccionados por la Junta de Andalucía en sus previsiones de los Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía (ELCCA), lo cual permite una mayor explotación posterior de sus resultados. De los escenarios propuestos en el 4º Informe del IPCC, han sido seleccionados los datos correspondientes a los escenarios A2 y B1 por representar estados posibles extremos en el conjunto.

Un estudio comparativo pormenorizado entre los datos del IPCC y los datos observados ha sido llevado a cabo para el periodo de referencia 1960-2000, para establecer con mayor resolución el posible sesgo del modelo IPCC. Como patrón general se observa una evolución de las temperaturas medias bastante parecida, con ligeras alternancias entre años y con una pequeña sobrestimación de las mismas en el caso de los datos del IPCC. Las tendencias de crecimiento son bastante similares, del orden de 0,03 °C/año. En el caso de las temperaturas máximas esta diferencia es algo mayor, aunque ambos datos muestran una tendencia al alza. Por el contrario, para las temperaturas mínimas los datos del IPCC muestran temperaturas más elevadas con tendencias de crecimiento positivas, mientras que los patrones observados en los datos medidos indican un decrecimiento de esta variable.

En el caso de la precipitación, se muestra como tendencia general una infraestimación de la precipitación proporcionada por las previsiones del IPCC. Puede observarse además como el carácter torrencial de estas zonas, con alternancia de años secos y húmedos, no es suficientemente recogido por estas previsiones.

El modelo hidrológico WiMMed (*Watershed Integrated Management in Mediterranean Environments*) desarrollado por el grupo de investigación de [Dinámica Fluvial e Hidrología \(GDFH\)](#) de las Universidades de Córdoba y Granada y calibrado en cuencas de la zona de estudio, especialmente diseñado para modelar la nieve en condiciones mediterráneas y en áreas de elevada variabilidad espacial, es el empleado para la realización de las simulaciones de nieve e hidrológicas.

En cuanto a las predicciones de temperatura para el periodo 2045-2100, puede observarse un incremento notable para ambos escenarios (A2 y B1), llegando a obtenerse temperaturas medias en las cumbres para el último periodo que antes se alcanzaban solo en las cotas medias de la cuenca. Este incremento es más abrupto para el escenario más restrictivo, A2; para el que en los puntos más elevados llegan a alcanzarse incrementos de 5°C. En el caso de la precipitación el comportamiento es similar al de la temperatura: el escenario A2 pronostica un decremento de la precipitación tres veces superior al pronosticado por el escenario B1. Los valores medios de caudal diario anual circulantes en dichos puntos arrojan una pérdida de entre el 25 y el 31% en el escenario más desfavorable, y entre el 7 y el 12% en el escenario más benigno. Asimismo, aumenta alrededor de un 40% el número de días medio al año sin caudal para el peor escenario, y un 25% para el más benigno. Ambos resultados tienen incidencia clara sobre la disponibilidad de recursos hídricos, sobre todo en el periodo seco del año, y sobre las condiciones ecológicas de los tramos fluviales, así como en otros procesos que inciden en los servicios ecosistémicos asociados a la nieve en alta montaña. La evolución de la vegetación de ribera, condiciones del subálveo fluvial, la

altura piezométrica en pozos, entre otros, se verían afectadas por estas tendencias.

La precipitación anual y la temperatura media anual en la zona de estudio están experimentando una tendencia global decreciente, acotada en aproximadamente -4 mm/año y -0.02 °C/año como media en 40 años, tendencia que se confirma en el análisis por regiones efectuado, con diferencias locales. Estos cambios conllevan una disminución en la precipitación anual en forma de nieve (-1 mm/año como media en 40 años) y en el número de días al año con presencia de nieve en la zona (-0,3 días/año como media en 40 años). La variabilidad anual es muy elevada para las variables climáticas analizadas y se requieren series extensas, de al menos tres décadas, para poder efectuar un análisis preliminar. El análisis apunta a un incremento de la torrencialidad en el régimen de precipitación y de precipitación en forma de nieve. Estos procesos ocasionan una pérdida del equivalente de agua global en la zona de estudio, disminución de la humedad del suelo en su horizonte superficial, pérdida de laminación en el régimen fluvial observado y disminución del periodo de receso estival en los ríos de alta montaña.

---

### **FB17 | Diseño de una aplicación y una plataforma experimental de recepción y recopilación de datos de 'ciencia ciudadana' integrada en el Observatorio de Seguimiento de Cambio Global de Sierra Nevada**

---

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad de Granada
- **Investigadores principales:** María Suárez Muñoz y Francisco Javier Bonet García. Universidad de Granada
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de Sierra Nevada
- **Palabras clave:** proyectos colaborativos, ciencia ciudadana, aplicación móvil, plataforma web, observatorio cambio global.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/03/2014
- **Fin:** 31/10/2015

#### **Sinopsis**

El objetivo general del proyecto es fomentar la difusión y la captura de información de Sierra Nevada a través del diseño e implementación de un procedimiento para incorporar y distribuir información de diversos ámbitos temáticos al Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada usando dispositivos móviles (teléfonos, tabletas) y *wearables* (relojes, pulseras, gafas, etc.). Este procedimiento consta de una plataforma que permite a cualquier tipo de usuario (científico, gestor, ciudadano e incluso sensor automático) suministrar información de diversos ámbitos temáticos (hidrología, fenología, biodiversidad, etc.). Ello permite adaptar los objetivos planteados al concepto de 'ciencia ciudadana'. Así, los productos desarrollados contribuirán a aumentar el número de usuarios del Observatorio mediante la fidelización de sus miembros gracias a las campañas periódicas de captura de información y mejorar la cantidad de personas implicadas en el Observatorio y que son potenciales usuarios de los datos que éste genera. Además, se han diseñado, a modo de experiencia piloto, algunas campañas tipo para la captura de información multitemática sobre Sierra Nevada: es el caso de las campañas 'Mariposeando por Sierra Nevada', '¿Qué plantas están floreciendo en Sierra Nevada?' o 'Ayúdanos a combatir la sarna de la cabra montés'.

#### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

El Observatorio de Cambio Global en Sierra Nevada, creado en el año 2007, es un proyecto promovido por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía. Este observatorio cuenta con la coordinación científica de la Universidad de Granada - Centro Andaluz de Medio Ambiente (IISTA, Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía), y del Organismo Autónomo Parques Nacionales y la Fundación Biodiversidad como entidades colaboradoras.

El objetivo último del Observatorio es el de garantizar la obtención de la información necesaria para identificar con la máxima antelación posible los impactos del cambio global, con objeto de diseñar mecanismos de gestión que permitan minimizarlos y favorezcan la adaptación del sistema a los nuevos escenarios.

La obtención de información se realiza mediante un Programa de Seguimiento del Cambio Global, que recopila datos sobre los sistemas socioecológicos y está compuesto por científicos, técnicos de la Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía (AMAYA), voluntarios y sensores.

Tras varios años de trabajo, el Programa de Seguimiento del Observatorio queda definido en 48 protocolos, que pretenden obtener toda la información relevante sobre el cambio global en este espacio protegido. Los protocolos han sido diseñados de acuerdo a los principios de la estrategia **GLOCHAMORE (GLObal CHAnge in MOUNTain REgions)**, auspiciada por la UNESCO. El Observatorio cuenta también con Estaciones de Monitoreo Intensivo, áreas donde existe una alta densidad de puntos de muestreo detallados y una estación climática multiparamétrica. La aplicación de dicho Programa de Seguimiento genera una gran cantidad de información, que debe ser gestionada y clasificada de forma que sirva de utilidad a científicos y gestores, además de estar a disposición del público interesado. La comunicación de objetivos y resultados tiene un papel fundamental, por lo que se ha desarrollado una Estrategia de Divulgación y Comunicación de los mismos.

La Ciencia Ciudadana (CC) es una forma de *crowdsourcing* en la cual se solicita a un público general la colaboración para la recogida de datos con fines científicos, generalmente con un objetivo de monitorización o vigilancia en una amplia escala espacial y/o temporal. Esto posibilita investigaciones que de otra manera no serían viables debido a limitaciones económicas, temporales o espaciales. Además, y tal y como es el caso del presente proyecto, la CC puede tener una función educativa y de concienciación en temas ambientales. Aunque tradicionalmente la CC ha estado ceñida a los campos de la ornitología y la astronomía, hoy en día existen numerosos proyectos en otras disciplinas, siendo la ecología una de ellas. Un ejemplo de referencia en programas que implican CC es **eBird**, una iniciativa que recopila entre 2 y 3 millones de datos mensualmente. Otro ejemplo interesante



es el **UK Butterfly Monitoring Scheme**, un proyecto que pretende recopilar datos sobre la presencia de 71 especies de mariposas en Reino Unido como bioindicadores del estado de los ecosistemas.

Gracias a este proyecto, se ha generado una aplicación capaz de capturar información sobre distintos aspectos del medio natural en Sierra Nevada. Esta aplicación puede instalarse en dispositivos móviles (teléfonos y *tablets*) y también tiene una parte de visualización

en *wearables* tipo *smartwatch*. La idea es que su uso se extienda entre los colectivos que forman parte del Observatorio de Sierra Nevada (agentes de medio ambiente, investigadores, técnicos de AMAYA, voluntarios, etc.) para facilitar la incorporación de información de diversas fuentes y de diversos ámbitos temáticos. La plataforma implementada no solo tiene capacidad de incorporar información de distintos actores, sino que también es un buen canal para distribuir entre dichos actores información existente. Así, es posible enviar notificaciones sobre el estado de variables biofísicas de Sierra Nevada (avisos climáticos, de presencia de animales o de impactos observados,...). También se ha creado un portal web, [CINDA](#), que muestra información sobre las distintas campañas de recogida de datos y ofrece información útil para cualquier organización que decida utilizar este sistema en sus propios proyectos, siguiendo una filosofía de *software* libre. Este portal está conectado con el sistema de información del [Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada](#).

Todos los módulos del producto construido se han publicado con una licencia libre y se han diseñado con una estructura de información muy flexible, reutilizable en casi cualquier escenario que implique la participación de voluntarios que aporten datos para ser procesados posteriormente. De este modo, cualquier organización o particular que lo desee puede, con unos conocimientos técnicos relativamente asequibles, crear su propio sistema de recogida de datos, facilitando la colaboración de científicos y profesionales con la ciudadanía. El administrador de la plataforma se encarga de crear campañas, definiendo una serie de datos informativos, y una plantilla de datos para cada una de ellas. El *plugin* de *wordpress* se ha publicado bajo licencia abierta en el servidor de código [github](#).

La aplicación móvil es la parte del sistema con la que interactúan los usuarios y que se encarga de comunicar con el servidor. Se trata de una aplicación para *android* multiservidor (nos permite conectarnos a cualquier sistema donde se haya instalado previamente el componente descrito en el punto anterior), multicampaña (nos permite colaborar en diferentes campañas en cada servidor) y multiidioma (identificando automáticamente el idioma configurado en el teléfono del usuario). Es la parte más flexible del sistema, ya que con una única instalación es posible conectarse a varios servidores a los que suministrar datos. En la actualidad la [aplicación CINDA](#) está disponible en la tienda de aplicaciones de google sin coste alguno. El código utilizado para crear dicha aplicación está también disponible de manera gratuita en [github](#).

---

### **FB18 | Sistema de evaluación y seguimiento socioeconómico del cambio climático y el cambio global en el Parque Nacional Sierra de Guadarrama**

---

- **Entidad en la que se desarrolla el proyecto:** Universidad Carlos III de Madrid
- **Investigadores principales:** Mercedes Pardo Buendía e Iván López. Universidad Carlos III de Madrid
- **Parque Nacional donde se ubica el estudio:** Parque Nacional de los Picos de Europa
- **Palabras clave:** indicadores socioeconómicos, seguimiento, evaluación, cambio global.
- **Organismo cofinanciador:** Fundación Biodiversidad
- **Inicio:** 01/01/2014
- **Fin:** 31/03/2015

#### **Sinopsis**

El objetivo global de esta investigación ha sido diseñar y hacer operativo un Sistema de Evaluación y Seguimiento del impacto socioeconómico del cambio climático y del cambio global en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Se trata de dar respuesta a la necesidad de disponer de un conjunto de datos suficiente para monitorizar a corto, medio y largo plazo los efectos del cambio climático y del cambio global en el ámbito social y económico de los Espacios Protegidos, habiéndose focalizado la investigación en el Parque Nacional Sierra de Guadarrama, aunque, al

mismo tiempo, tratando de extraer recomendaciones para una posterior aplicación del Sistema de evaluación y seguimiento del impacto social y económico del cambio global a otros parques nacionales.

Como objetivos específicos, se incluyen la creación y puesta a punto de una base de datos actualizada de los indicadores de cambio social y económico monitorizables (en esta fase, exclusivamente los datos estadísticos publicados) y la definición de un sistema de indicadores para el seguimiento del cambio global en el ámbito social y económico del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, especificando aquello que pueda ser generalizable a otros parques nacionales de características similares.

### **Algunos fragmentos que nos pueden acercar al contenido del proyecto**

Existen diversos sistemas de indicadores que utilizan diferentes marcos de referencia. Uno de ellos, el más simple, consiste en estructurar los indicadores por temas y subtemas de forma que los resultados aparezcan agrupados y ordenados. Otro marco más estructurado es el que responde al esquema 'Presión-Estado-Respuesta' (PER), que fue desarrollado y recomendado originalmente por la OCDE. En él se identifican primero los indicadores de 'Presión', que corresponden a las causas de los fenómenos estudiados en nuestro caso, del 'Estado' del sistema en segundo lugar, sobre el que inciden los impactos que produce la presión, y en tercer lugar a la 'Respuesta' de la sociedad a los problemas planteados. Se trata de un marco de referencia mediante el que se hacen explícitas las relaciones causa-efecto en el sistema objeto de seguimiento.

En el contexto de los espacios naturales protegidos puede resultar útil utilizar como marco de referencia este modelo, tratando de dotarlo de coherencia desde una perspectiva sistémica, orientada por el concepto de desarrollo sostenible. Se trata de una aproximación que parte de la base de que el objeto de evaluación y seguimiento es un sistema, formado por tanto por una serie de elementos interrelacionados entre sí por diferentes procesos.

Los indicadores deben ser variables que informen de las tendencias de cambio en estos elementos y procesos, y expliquen el funcionamiento global del sistema y su alejamiento o aproximación a una mayor sostenibilidad del mismo. Los indicadores referentes al primer marco de referencia ('Presión') reflejan las causas que este proyecto contempla como inductoras del cambio global y se agrupan por tanto en un bloque denominado 'cambio global', el cual diferencia las seis categorías siguientes: cambio climático, pérdida de productividad, pérdida de biodiversidad, alteraciones en el funcionamiento de los ciclos biológicos, grandes cambios en los usos globales del suelo y aumento de la contaminación (atmosférica, ríos, lagos y océanos, y suelos).

El segundo bloque tiene como marco de referencia el relativo al 'Estado' dentro del esquema PER, y por tanto es el denominado medio receptor en el presente trabajo: la variación experimentada por sus indicadores es la que irá reflejando los impactos sociales y económicos del cambio global. En concreto propone las siguientes categorías en los niveles de diferenciación de grupo y subgrupo: recursos naturales (usos del territorio, utilización del agua, utilización de la energía, recursos agrarios, recursos ambientales, y tratamiento de residuos), base demográfica (población y características, y actividad, ocupación y paro), base económica (producción de bienes y servicios, empleo en actividades productivas, actividad turística, renta y transferencias, e inversiones públicas), base social, política y cultural (salud, organización política y social, cohesión social, bienestar, pobreza y seguridad, y cultura).

Finalmente, esta investigación ha diferenciado un tercer marco de referencia, el correspondiente al denominado 'Respuesta' en el esquema adoptado y que recibe la denominación de 'Mitigación y adaptación'. En este marco de referencia propone dos siguientes niveles de diferenciación: gobernanza (reglada; no reglada; gestión del Parque Nacional) e instrumentos sociales y de investigación (información y comunicación; percepción; formación, capacitación y participación; investigación).





GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA Y PESCA,  
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

ORGANISMO  
AUTÓNOMO  
PARQUES  
NACIONALES



Con la colaboración de:

**ferrovial**  
agroman