

# Sierra Nevada

La colaboración entre científicos y gestores para el seguimiento del cambio global

## Regino Zamora

Catedrático de Ecología de la Universidad de Granada, coordinador científico del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada



Los Palacios Nazaríes y el Generalife de la Alhambra de Granada. Al fondo, Sierra Nevada.

El cambio global plantea un reto de gran complejidad para los sistemas tradicionales de gobernanza y gestión de la naturaleza. Se requieren nuevas formas de gestión que contemplen tanto la adaptación de los sistemas naturales a las nuevas condiciones como el intento de compatibilizar su conservación y uso sostenible en un escenario de cambio global.

Comprender el funcionamiento de los ecosistemas es esencial a la hora de definir estrategias de gestión. Esto es especialmente importante en un escenario cambiante, en el que los sistemas naturales se ven sometidos a presiones que derivan en procesos de reorganización ante los cuales es necesario redefinir las estrategias de manejo. En el contexto de la toma de decisiones, suele haber una gran cantidad de incertidumbre, complejidad e interacciones dentro de los sistemas humanos y medioambientales y entre ellos. La ciencia proporciona a la sociedad los conocimientos más objetivos y fiables para orientar la elaboración de políticas de gestión ambiental en esce-

narios complejos e inciertos. El seguimiento ecológico a largo plazo está consolidándose en Europa y es ahora cuando se pueden identificar ejemplos claros de cómo estas redes de monitoreo pueden asistir a los procesos de toma de decisiones. Una cuestión importante para estrechar los vínculos entre investigación y la gestión es analizar la manera en que la aplicación de los conocimientos adquiridos sobre el funcionamiento de los ecosistemas puede permitirnos:

- (1) validar viejas y nuevas técnicas de gestión en los nuevos escenarios ambientales derivados del cambio global,
- (2) desarrollar proyectos dirigidos a mecanismos que impulsan la autoorganización natural de los ecosistemas,
- (3) generar modelos validados con datos de campo para predecir la dinámica de los sistemas naturales,
- (4) utilizar la información ambiental disponible como herramienta de apoyo en la toma de decisiones y
- (5) diseñar las fórmulas de gestión más adecuadas en un escenario cambiante, explorando un amplio espectro de opciones de adaptación.

## El Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada

Para afrontar los retos medioambientales es esencial establecer un espacio común de colaboración entre científicos y responsables de la gestión medioambiental. En este sentido, hemos establecido un marco de colaboración permanente entre investigadores y gestores y técnicos del Parque Nacional de Sierra Nevada gracias al Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada, una iniciativa de colaboración institucional entre la Universidad de Granada y la Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul de la Junta de Andalucía.

En el Observatorio (<http://obsnev.es>) estamos realizando un seguimiento de los impactos del cambio global en los ecosistemas nevadenses con el fin de transferir el conocimiento científico a la gestión y la sociedad en general. El diseño del programa de seguimiento del cambio global en Sierra Nevada se inspiró en sus orígenes en el marco conceptual y las áreas temáticas propuestas por la iniciativa europea GLOCHAMORE (Global Change in Mountain Regions, Grabherr et al. 2005). Nuestro programa se diseñó para identificar los impactos del cambio global en procesos biofísicos clave de los ecosistemas de montaña, proporcionando una visión de las tendencias de cambio que nos permitieran conocer y fomentar su capacidad de adaptación.

El Observatorio recopila toda la información obtenida en las últimas décadas



En la fase inicial, el Observatorio estableció en el año 2010 una serie de protocolos de seguimiento con la supervisión científica de la Universidad de Granada, siendo la toma de datos de campo una tarea asignada a los técnicos de la Agencia de Medio Ambiente y Agua (AMAYA) y a los técnicos y agentes de medio ambiente del Espacio Natural de Sierra Nevada. Además de estos protocolos, que se mantienen en la actualidad, el Observatorio se encarga de recopilar toda la información obtenida por los científicos de la Universidad de Granada y de otras instituciones de investigación en las últimas décadas en Sierra Nevada. Se trata de series temporales de datos biofísicos de naturaleza muy diversa (clima, aerosoles, biodiversidad, procesos ecológicos en sistemas acuáticos y terrestres, aspectos históricos y socioeconómicos, etc.) que nos permiten realizar un seguimiento del estado de salud de los ecosistemas y la biodiversidad de Sierra Nevada en un contexto de cambio global. Los resultados principales de los seguimientos se pueden consultar en dos publicaciones, La Huella del Cambio Global (Zamora et al, 2016) y The Landscape of Sierra Nevada (Zamora & Oliva, 2022). El caudal de datos y conocimiento científico aportados por los grupos de investigación sigue creciendo gracias a proyectos como Smart Ecomountains, que lidera la Universidad de Granada en colaboración con la Diputación de Granada y la Infraestructura Europea LifeWatch-ERIC. Adicionalmente, la ciencia ciudadana es cada vez más relevante como herramienta para implicar a la sociedad y generar datos útiles para la ciencia y la gestión. Por último, la incorporación de entidades públicas y privadas a través de convenios de colaboración con la Universidad de Granada es cada vez más importante, como es el caso de la recopilación de datos climáticos o de información histórica en Sierra Nevada.

## Enfoque multidisciplinar y tecnología

El seguimiento del cambio global es un cometido que requiere, cada vez más, un enfoque multidisciplinar, con equipos que trabajan de manera transversal. A todo ello se suma la incorporación de los nuevos avances tecnológicos (sensores remotos, nuevas tecnologías de la información y comunicación, Inteligencia artificial, etc), lo que multiplica el potencial de las aplicaciones y servicios web para generar información útil para la sociedad y los responsables de la gestión. La participación directa de la sociedad a través de las iniciativas de ciencia ciudadana va también adquiriendo cada vez más protagonismo.

En definitiva, nuestro Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada está recopilando una enorme cantidad de información medioambiental, movilizándolo a la comunidad

científica que trabaja en Sierra Nevada. Este proyecto también ha demostrado su capacidad para establecer vínculos con proyectos similares a escala nacional e internacional.

### Gestión adaptativa: proyecto Life-ADAPTAMED

En las últimas décadas hemos desarrollado en Sierra Nevada una serie de proyectos de gestión adaptativa a largo plazo que abordan retos medioambientales acuciantes y utilizan los conocimientos científicos generados in situ para proponer soluciones. La generación de nuevo conocimiento in situ se ha aplicado a la mejora de la gestión ambiental, gracias a los numerosos proyectos de investigación de ciencia básica y aplicada llevados a cabo en Sierra Nevada, pero también gracias al creciente número de proyectos guiados por las necesidades de la gestión ambiental.

Frente a la gestión tradicional caracterizada por la falta de seguimiento, hemos optado por una “gestión adaptativa” basada en el seguimiento de las acciones para evaluarlos efectos de un tratamiento sometido a prueba. Esto involucra el planteamiento desde el principio de las preguntas relevantes, definiendo los objetivos que se espera conseguir con las actuaciones y concretando los aspectos metodológicos y analíticos necesarios para abordarlos,



Esquema conceptual del proyecto Life Adaptamed



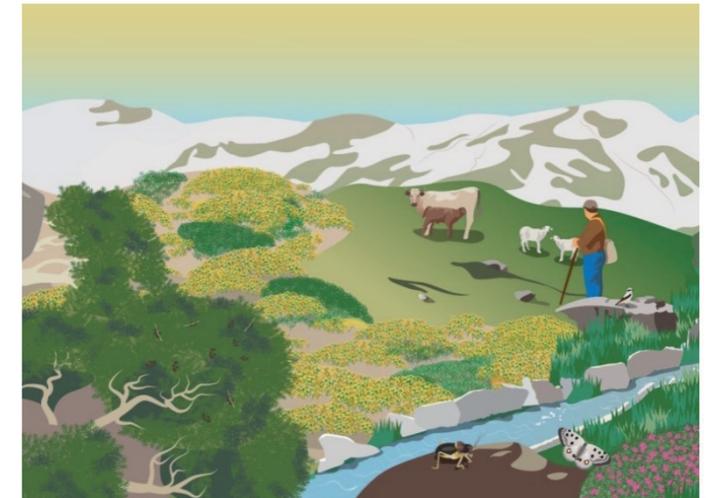
Un montañero contempla del PN desde el punto de encuentro en la cima del Muhacén (3 479 m), el pico más alto de Iberia

### La aplicación de planes de gestión adaptativa requiere la evaluación de la eficacia de la gestión

así como la dimensión espacial y temporal de las actuaciones y su seguimiento, planificando el trabajo que deben desarrollar los diferentes actores implicados. Hemos puesto en práctica esta filosofía en Sierra Nevada, proponiendo preguntas clave desde el principio, definiendo los objetivos que se persiguen con las actuaciones emprendidas y detalles metodológicos y analíticos necesarios para abordar estos esfuerzos. La aplicación de planes de gestión adaptativa requiere, entre otras cosas, la evaluación de la eficacia de la gestión. Esto es aún más vital en un contexto de cambio global, ya que la incertidumbre relativa a las respuestas de los ecosistemas a las acciones realizadas es mayor.

El conocimiento científico generado en Sierra Nevada nos permite validar viejas y nuevas técnicas de gestión en los nuevos escenarios ambientales derivados del cambio global. Nos permite también desarrollar proyectos dirigidos a promover los mecanismos naturales de autoorganización de los ecosistemas e incluso generar modelos validados con datos de campo como herramienta de apoyo en la toma de decisiones, explorando un amplio espectro de adaptación. Toda esta experiencia previa ha servido para desarrollar un ambicioso proyecto de gobernanza denominado LIFE ADAPTAMED (protección de servicios ecosistémicos claves amenazados por el cambio climático mediante la gestión adaptativa de los sistemas socioecológicos mediterráneos). El proyecto se centra en implementar seguimiento, evaluación y difusión de medidas de gestión adaptativa, con un enfoque ecosistémico.

### El proyecto busca reducir el impacto negativo del cambio climático en la provisión de servicios ecosistémicos en Cabo de Gata, Doñana y Sierra Nevada



Servicios ecosistémicos que proporcionan los enebrales de alta montaña © LIFE ADAPTAMED



Servicios ecosistémicos que proporcionan los robledales © ADAPTAMED

### Servicios ecosistémicos

No hay dudas sobre la importancia de los espacios protegidos para la conservación del patrimonio natural, sin embargo, ahora es cuando se empieza a reconocer su papel como suministradores de unos bienes y servicios que comienzan a ser identificados y valorados. Aquí es, precisamente, donde incide el proyecto LIFE ADAPTAMED, con especial énfasis en el contexto de la adaptación de los ecosistemas mediterráneos al cambio climático. Los



Actuaciones de siembra de semillas y desbroce que se han realizado en las parcelas experimentales del proyecto Life ADAPTAMED

objetivos del proyecto son reducir el impacto negativo del cambio climático en la provisión de servicios ecosistémicos de tres Espacios Naturales Protegidos de Andalucía: Cabo de Gata, Doñana y Sierra Nevada. Como resultado,

**Está diseñado para identificar los impactos del cambio global en procesos biofísicos clave de los ecosistemas de montaña**



Sierra Nevada es la cordillera con las cumbres más altas de la Península Ibérica. El pico de mayor altura es el Mulhacén con 3.479 metros © G. Montañés / Ceneam



Durante el deshielo, son muchas las cascadas que se forman en las paredes más escarpadas © JM Reyero / Ceneam

se espera un aumento de la resiliencia de los socioecosistemas afectados, de tal manera que su futura provisión de servicios también se verá mejorada, en comparación con los escenarios de no intervención.

Los servicios ecosistémicos tienen un valor instrumental para la sociedad y evidencian el vínculo entre la naturaleza y la sociedad, abriendo un enfoque prometedor para los responsables de la gestión de los espacios naturales. Con una gestión adecuada, los espacios naturales nos proveen gratuitamente de muchos de estos servicios que de otra forma necesitaríamos hacer costosas infraestructuras artificiales. La cuestión clave es cómo gestionar los espacios naturales respetando la base de capital natural que atesoran, de cuyo estado de salud dependen los beneficios ambientales que nos proporcionan. Con esta visión, los espacios naturales protegidos son también espacios protectores, proveedores de múltiples servicios ecosistémicos dentro del espacio natural y a la región circundante.

**Bibliografía:**

1. Grabherr G, Björnson Gurung A, Dedieu J-P et al (2005) Long-term environmental observations in mountain biosphere reserves: recommendations from the EU GLOCHAMORE project. *Mt Res Dev* 25:376-382doi.org/10.1659/0276-4741(2005)025[0376:LEOIMB]2.0.CO;2
2. Zamora R, Pérez-Luque AJ, Bonet FJ, Barea-Azcón JM, Aspizua R (2016) Global Change Impacts in Sierra Nevada: Challenges for Conservation. *Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía.*
3. Zamora R, Pérez-Luque AJ, Bonet FJ (2017a) Monitoring Global Change in High Mountains. In Catalan, J., Ninot, J. M., Aniz, M. M. (eds.), *High Mountain Conservation in a Changing World*, pp. 385-413. Springer International Publishing, Cham.
4. Zamora R, Pérez-Luque AJ, Bonet FJ et al (2017b) Global Change Impacts in the Sierra Nevada LTER-site (southern Spain). *Bull Ecol Soc Am* 98(2): 157-164.
5. Zamora R, Oliva M(2022) *The landscape of Sierra Nevada: A unique laboratory of global processes.* Springer Nature. ISBN: 978-3-030-94218-2.