

R. Zamora*, F.J. Bonet

Grupo de Ecología Terrestre, Departamento de Ecología, Centro Andaluz de Medio Ambiente, Universidad de Granada, Avda. del Mediterráneo, s/n. 18006 Granada, España

*Correo electrónico: rzamora@ugr.es

47

Experiencias en la transferencia de conocimientos en el Parque Nacional de Sierra Nevada, en el marco del proyecto de seguimiento de Cambio Global

Resumen

Nos enfrentamos a cambios ambientales con tres atributos significativos: globales, importantes y acelerados. El reto del presente y del futuro en la gestión ambiental es la adaptación ante los impactos del cambio global. El programa de seguimiento que hemos diseñado para Sierra Nevada tiene los siguientes objetivos generales:

- Evaluar, mediante protocolos metodológicos estandarizados, el funcionamiento de los ecosistemas del Espacio Natural Sierra Nevada, sus procesos naturales y su dinámica, en un horizonte temporal de medio-largo plazo.
- Identificar los posibles efectos del cambio global en las especies, ecosistemas y recursos naturales monitoreados, proporcionando una visión de las tendencias del cambio que permita construir capacidad de adaptación.
- Diseñar mecanismos para evaluar la efectividad de las actividades de manejo llevadas a cabo en Sierra Nevada, con objeto de proponer los ajustes pertinentes para implementar un modelo de gestión adaptativa.

Introducción

Las montañas constituyen unos lugares privilegiados para llevar a cabo iniciativas de investigación, seguimiento y gestión bajo un escenario de cambio global debido a que:

- Son observatorios privilegiados de procesos remotos, a escala planetaria. Las montañas son observatorios privilegiados de la atmósfera -y de los aspectos relacionados con ella y con el clima- tales como el balance energético, la radiación UV, la deposición

de partículas atmosféricas y contaminantes, gases de efecto invernadero, transporte de formas biológicas de resistencia y microorganismos, etc.

- Las montañas son privilegiados laboratorios naturales, ya que presentan gradientes altitudinales que reproducen cambios similares a los que ocurren a lo largo de los gradientes latitudinales continentales, a una escala espacial mucho menor.
- Son refugios de flora y fauna que pueden haber desaparecido de otros lugares más antropizados.
- Son escenarios muy sensibles a cambios ambientales por los frágiles equilibrios entre los componentes del sistema natural, por lo que sus ecosistemas pueden ser utilizados como sensores de detección temprana de señales de cambio.

En la Figura 1 se muestran los cambios más importantes previstos en Sierra Nevada, siendo algunos ya evidentes.

Sierra Nevada, caso de estudio: En el Parque Nacional de Sierra Nevada se ha puesto en marcha el Observatorio del Cambio Global en Sierra Nevada, un ambicioso programa auspiciado por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, el Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN) y la Fundación Biodiversidad, que aúna el seguimiento de procesos ecológicos, gestión de la información, y proyectos de gestión adaptativa (Aspizua et al. 2012, Zamora & Sánchez 2010, Zamora & Bonet, 2010, Sánchez 2010) y que estrecha las colaboraciones con los proyectos de investigación en curso. En el marco del Observatorio, se ha organizado un programa de seguimiento basado en preguntas específicas sobre el funcionamiento de los sistemas naturales, o sobre

Figura 1.

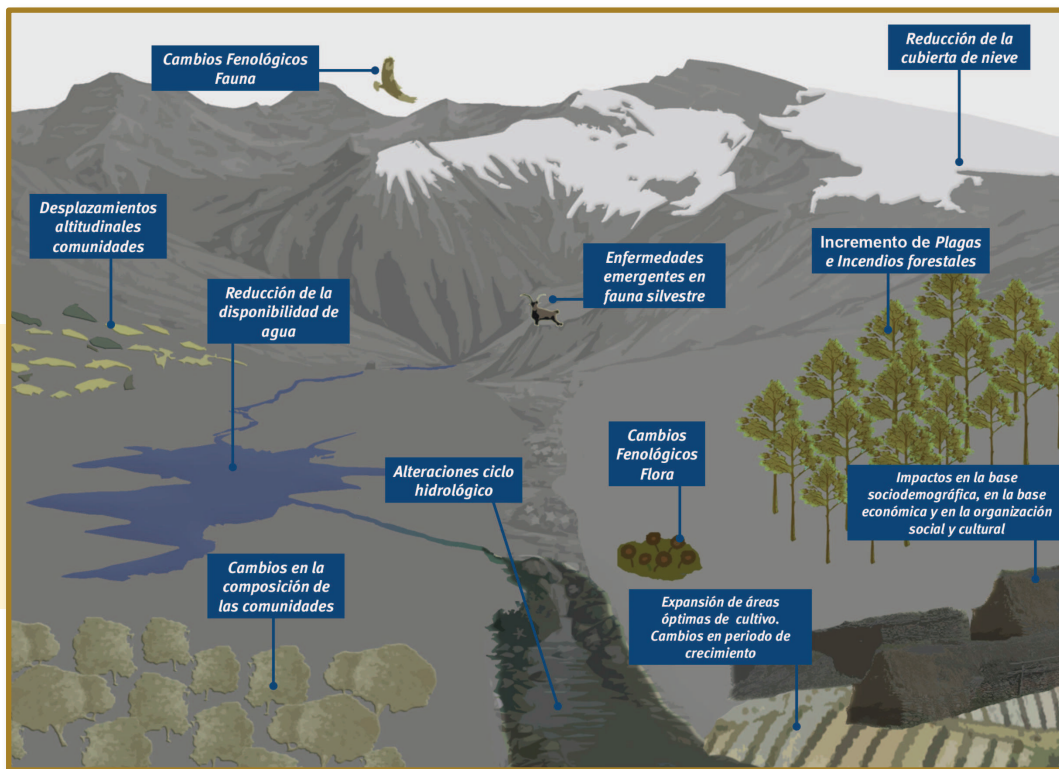


Figura 1. Principales impactos potenciales del cambio global en regiones de montaña. Los sistemas montañosos pueden ser considerados como laboratorios para evaluar los efectos del cambio global. La gran densidad de condiciones y gradientes ambientales que se dan en una superficie reducida permiten evaluar el efecto que tiene el cambio global sobre aspectos locales como la distribución de la biodiversidad o el impacto sobre los servicios ecosistémicos.

Fuente: Elaboración propia.

problemas de gestión, planteadas por los investigadores y los gestores (Lindenmayer & Likens 2009; Zamora 2010).

Una vez puesto en marcha el programa de seguimiento del observatorio, los protocolos metodológicos estandarizados y el sistema de información, los objetivos que nos marcamos, y los resultados más relevantes que estamos obteniendo son:

- 1) Realizar un seguimiento a largo plazo de los ecosistemas para caracterizar las tendencias generales de cambio, así como capturar fenómenos poco frecuentes, umbrales y/o posibles retrasos en las respuestas. A modo de ejemplo: hemos identificado una reducción significativa en la duración de la presencia de nieve, así como relaciones entre la fecha de retirada de la nieve y la fenología de los robledales de Sierra Nevada.
- 2) Generar y gestionar series temporales extensas de datos ambientales que sirvan de base para la modelización de los procesos ecológicos en diferentes escenarios. En este sentido hemos recopilado una gran cantidad de información climática procedente de unas 65 estaciones meteorológicas. Se han generado modelos climáticos espacializados de la serie temporal desde 1960 hasta la actualidad.
- 3) Trabajar en red con otros nodos y programas nacionales e internacionales relacionados con el seguimiento del cambio global (LTER-España, MRI, ILTER, Lifewatch, etc), con el fin de contribuir al seguimiento global de la salud del

planeta, compartiendo protocolos metodológicos, instrumental para la captura de datos, proyectos de colaboración, gestión de bases de datos y experiencias de gestión adaptativa.

- 4) Proporcionar una infraestructura que facilite a la comunidad científica y a los equipos de gestión la investigación y el seguimiento de la salud de los ecosistemas.
- 5) Poner en marcha proyectos de gestión adaptativa que evalúen la idoneidad de las actuaciones de conservación y restauración bajo escenarios de cambio global, y que refuercen la capacidad de resistencia y resiliencia (i.e. capacidad de recuperar la estructura y la función después de una perturbación), así como el mantenimiento de los servicios ecosistémicos.
- 6) Establecer canales permanentes de colaboración y de difusión de nuestras actividades con la red de usuarios finales: administraciones públicas, instituciones responsables de la I+D+I y de la conservación de la naturaleza nacionales e internacionales, fundaciones, empresas privadas, ONGs, etc.

La situación en la que nos encontramos de cambio climático implica nuevos retos para la gestión de los ecosistemas. La gestión de los bosques es especialmente sensible a esta situación por cuanto las actuaciones presentes tienen repercusión décadas después. Los modelos climáticos predicen que durante las próximas décadas habrá tanto un incremento de las

temperaturas como una distribución irregular de las precipitaciones. Además, hay que considerar que las consecuencias de los episodios de sequía no se pueden desligar de otras perturbaciones, algunas de las cuales pueden actuar de forma sinérgica. Entre ellas podemos destacar los incendios y las plagas forestales (Hódar et al. 2013, Lloret, 2013).

Una aproximación preventiva frente a los episodios extremos de sequía es aumentar la resiliencia, o capacidad de recuperarse tras una perturbación de los ecosistemas forestales (Spittlehouse & Steward 2003). Sin embargo, ante un escenario de cambio climático inexorable, en muchos casos el incremento de la resiliencia no será suficiente y es previsible la transformación de muchos ecosistemas forestales. Ante esta situación, la alternativa sería acompañar la transformación gradual del sistema y favorecer su adaptación a las nuevas condiciones, con el objetivo de minimizar los efectos poco deseables de los cambios catastróficos (Millar et al. 2007).

¿Qué medidas preventivas se están tomando para favorecer la adaptación a los cambios?

La gestión activa de ecosistemas en un escenario de cambio climático implica desarrollar una gestión con un enfoque flexible, ya que las formas de gestión actuales pueden no servir en el futuro. Para ello, es necesario poner en marcha proyectos que evalúen la idoneidad de las nuevas y de las viejas técnicas de manejo bajo escenarios de cambio climático. Dichos proyectos son el mejor caldo de cultivo para la necesaria colaboración entre científicos, gestores y técnicos. La colaboración debe producirse desde la fase inicial de la planificación de la actuación, y no sólo al final, como a veces ocurre en la actualidad. Desde el principio deben plantearse las preguntas relevantes para la gestión, definir los objetivos que se espera conseguir con las actuaciones y el trabajo

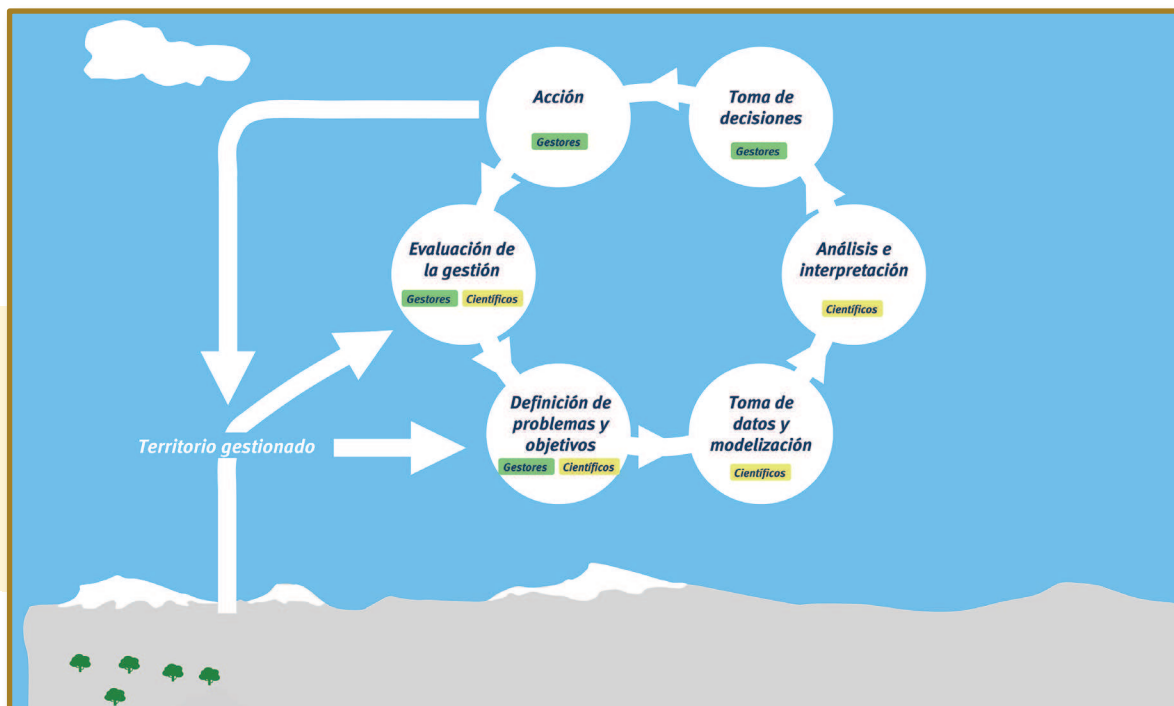
que van a desarrollar los diferentes actores implicados (investigadores, técnicos, agentes de medio ambiente), y concretar los aspectos metodológicos y analíticos necesarios para abordarlos, así como la dimensión espacial y temporal de las actuaciones y su seguimiento. Todas estas iniciativas de colaboración deben contar con un marco conceptual y un plan estratégico sustentado en preguntas (hipótesis) sobre el funcionamiento de los sistemas ecológicos, y sus previsibles respuestas al cambio climático.

Un aspecto crucial de los proyectos de gestión adaptativa que estamos poniendo en marcha es su carácter de demostración, para que se puedan poner en práctica también fuera de Sierra Nevada. La externalización de nuestras experiencias de gestión adaptativa a otros lugares también requiere de un intenso programa de formación de capital humano, que incluya actividades de demostración, talleres, visitas de personal técnico de otros organismos y elaboración de manuales de buenas prácticas para una mejor difusión.

■ Naturalización de pinares de repoblación en Sierra Nevada desde la perspectiva del cambio climático

Se han diseñado una serie de actuaciones encaminadas a mejorar tanto la estructura como el funcionamiento de los pinares de repoblación de Sierra Nevada. Estas mejoras redundarán en una mayor capacidad de estas formaciones de adaptarse a los impactos del cambio climático y de resistir dichos impactos. En definitiva, se trata de mejorar la capacidad de auto-organización de los pinares frente al cambio climático. Para ello, hemos aplicado diversos tipos de tratamientos en función de las características ecológicas y la historia de manejo de la zona (Aspízu et al. 2010).

■ Figura 2.



▲ Figura 2. Modelo conceptual que muestra las distintas fases de la gestión adaptativa de los recursos naturales.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.

Modelo conceptual para el manejo de repoblaciones forestales

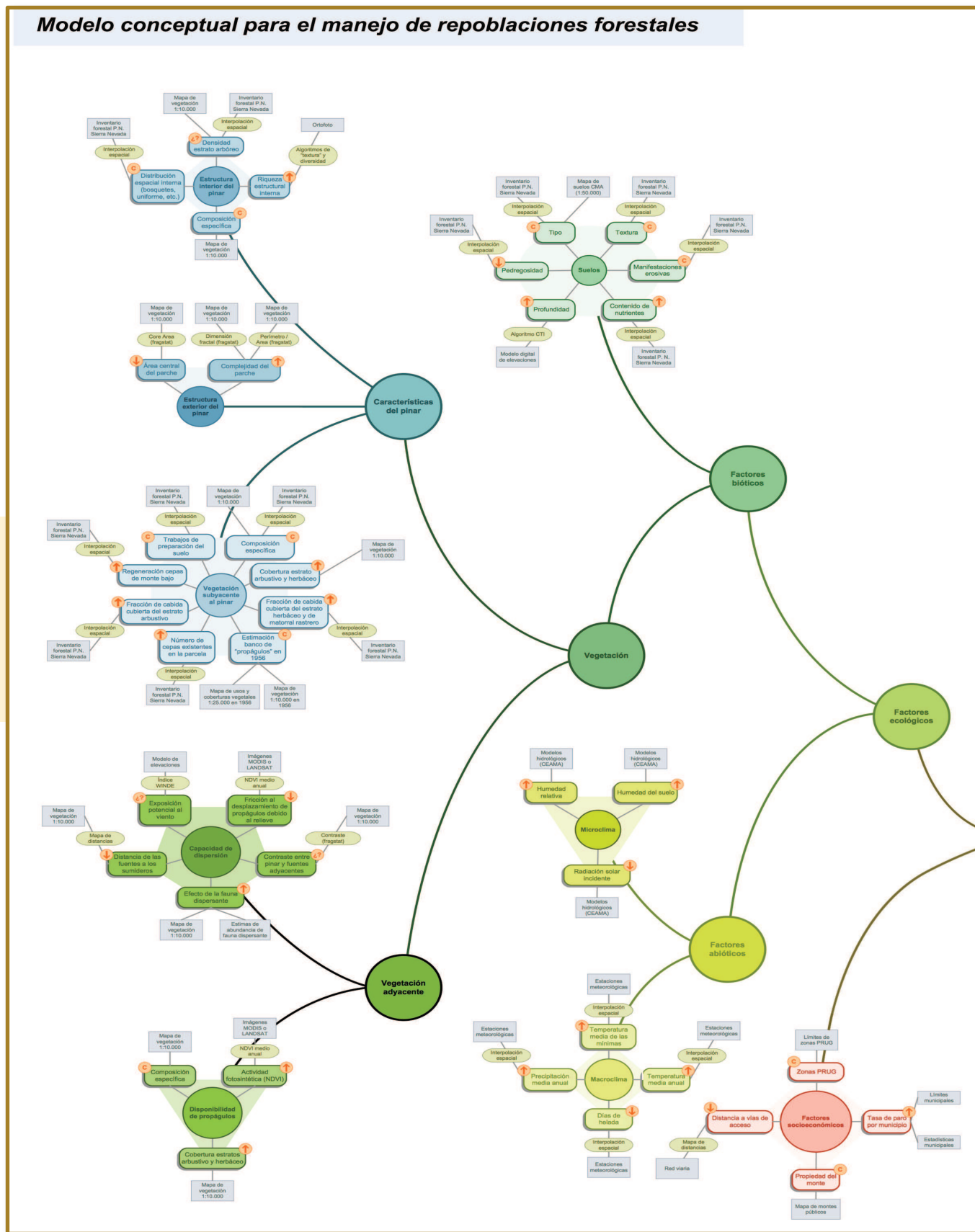
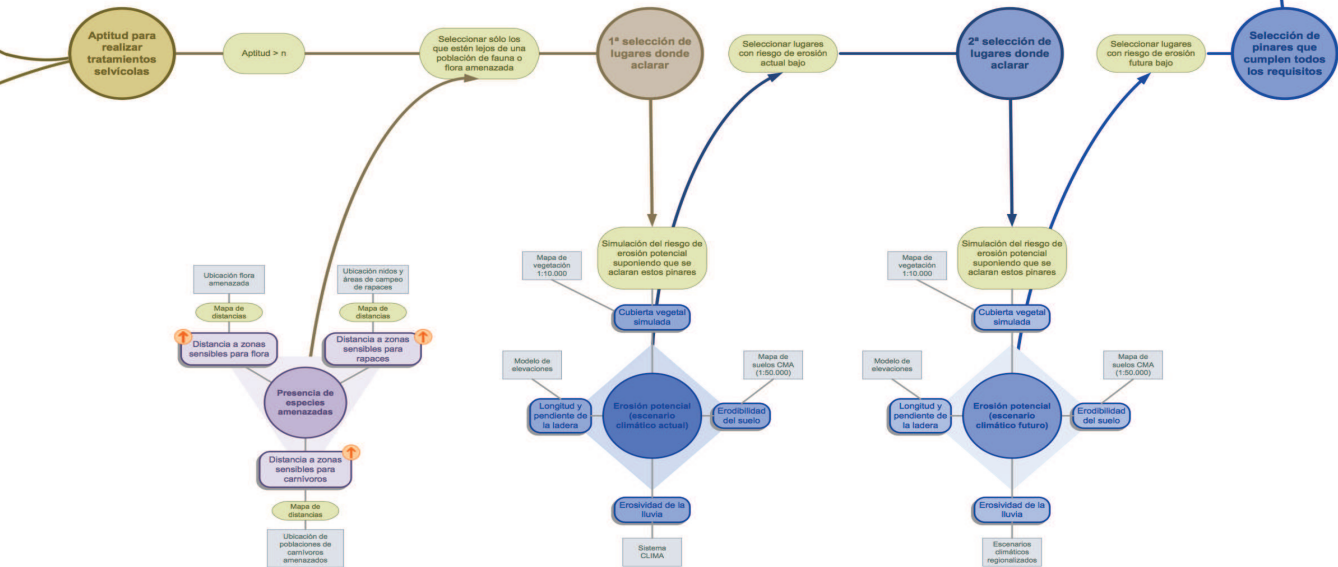
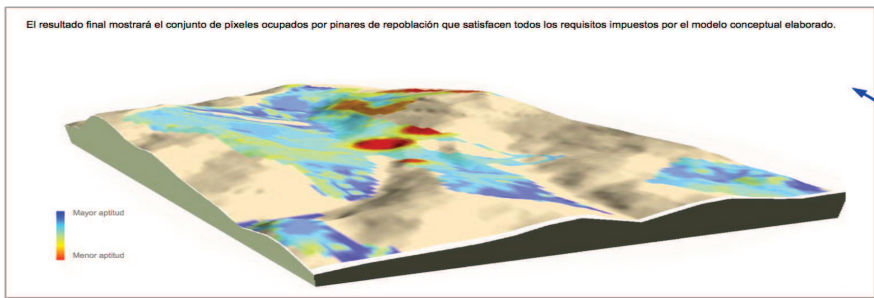
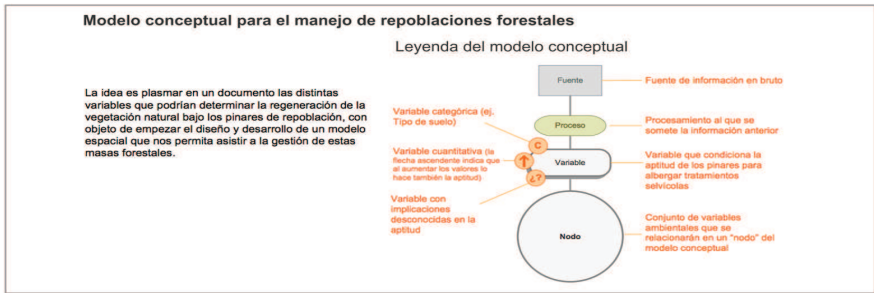
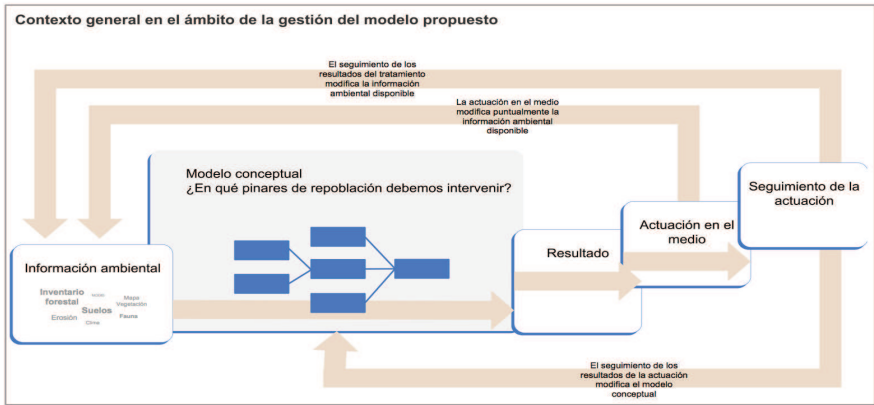


Figura 3. Modelo conceptual que muestra los elementos biofísicos más importantes a la hora de implementar protocolos de gestión adaptativa de los pinares de repoblación. En primer lugar es fundamental tener en cuenta las condiciones ambientales previas a la plantación de los pinares. El exceso de pastoreo, carboneo y los procesos erosivos justificaron las actuaciones forestales. Los usos del suelo en 1956 explican un porcentaje importante de la regeneración de las quercineas observada en la actualidad (Navarro-González et al. 2013). En el presente es fundamental tener en cuenta los gradientes abióticos y la densidad del pinar para evaluar la ubicación de las actuaciones forestales (Gómez-Aparicio et al. 2009). También es imprescindible poner en marcha protocolos de seguimiento para evaluar los efectos ecológicos de los tratamientos realizados a lo largo de gradientes ambientales amplios (altitudinal, exposición), para valorar así los resultados en diferentes contextos ecológicos. Solo así podremos diseñar modelos de gestión predictivos, teniendo en cuenta las diferentes condiciones de partida de las masas forestales, bajo los distintos escenarios de cambio climático.



Fuente: Elaboración propia.

El proceso de naturalización implica que las plantaciones de pinos se transformen en formaciones capaces de suministrar múltiples servicios ecosistémicos a la sociedad. Así, actuando sobre una amplia superficie, se realizan aclareos en pinares de repoblación para favorecer los mecanismos de restauración pasivos (dispersión de semillas por animales, dispersión anemócora) que permitan la colonización y establecimiento exitoso de frondosas dentro de la repoblación. Tanto las claras/clareos como las repoblaciones bajo pinar se han realizado de manera tradicional en muchos pinares de repoblación. Sin embargo, hay dos aspectos operativos clave que deben conocerse con objeto de abordar proyectos de naturalización a gran escala. Por un lado desconocemos cuál es la intensidad de aclareo óptima para fomentar la regeneración bajo el dosel forestal en un escenario de cambio climático. En el contexto del programa de seguimiento del cambio global de Sierra Nevada, se han puesto en marcha diversas metodologías de seguimiento que permiten evaluar el éxito de diversas actuaciones de aclareo realizadas de manera experimental. Por otro lado, es muy importante priorizar geográficamente las actuaciones a realizar mediante algún tipo de sistema de apoyo a la toma de decisiones. Ambas cuestiones se abordan en el siguiente modelo conceptual.

■ Modelo conceptual para abordar el problema

Para trasladar las experiencias piloto al ámbito operacional es importante contar con un marco conceptual adecuado que recoja los aspectos clave del problema ecológico descrito. En nuestro caso hemos adoptado el concepto de gestión adaptativa (Holling, 1978). Esta aproximación se basa en la formulación de problemas y cuestiones científicas relevantes, que han de ser resueltas mediante la captura de datos en el campo y la realización de análisis ecológicos. El conocimiento obtenido es aplicado al territorio por parte de los gestores. A continuación sucede un proceso de evaluación de los resultados obtenidos (ver Figura 2).

En nuestro caso concreto la gestión adaptativa de pinares de repoblación ha de sustentarse en los siguientes aspectos:

- 1.- Responder a cuestiones científicas. Tanto el proceso de seguimiento de los impactos del cambio climático, como la planificación de actuaciones, deben de estar regidas por cuestiones científicas (Lindenmayer & Likens 2009). En este caso, las cuestiones científicas tienen que ver con la regeneración de especies vegetales mediterráneas en función de gradientes de variables ambientales (clima, tipo y estructura del suelo, densidad arbórea existente, etc.). Con objeto de planificar actuaciones de gestión (aclareo) teniendo en cuenta las variables ambientales anteriores, es necesario contar con fuentes de información sobre dichas variables. Así, nuestro modelo conceptual contempla la distribución espacial de variables dependientes (tasa de regeneración, fenología, fructificación, etc.) e independientes (clima, topografía, estructura del pinar, densidad, distancia a fuentes donadoras de semillas, etc.) La Figura 3 muestra las relaciones entre estas variables biofísicas y algunas funciones ecológicas clave.
- 2.- Planificar las actuaciones: una vez que conozcamos la respuesta a las preguntas científicas clave, será posible diseñar un sistema de apoyo a la toma de decisiones que nos permita conocer los lugares en los que es más adecuado intervenir para maximizar la regeneración bajo el pinar, especialmente en las localidades más secas. Este sistema deberá ser espacialmente explícito para obtener “mapas de gestión” que indicarán a los gestores los lugares más adecuados para realizar las actuaciones.
- 3.- Tras la ejecución de las actuaciones forestales en el territorio es necesario poner en marcha mecanismos de evaluación de la eficacia de dichos trabajos. Para ello se establecen parcelas de seguimiento en pinares de repoblación que han sido sometidos a distintos tipos de tratamientos con distintas intensidades. Las parcelas deberán ubicarse en alguno de los rodales afectados por cada proyecto de naturalización de pinares. Esto permitirá conocer el efecto real de las actuaciones forestales realizadas anteriormente para fomentar la resistencia y resiliencia del bosque en un escenario de cambio climático.

■ Referencias bibliográficas

- Aspízu R, Bonet FJ, Zamora R, Sánchez FJ, Cano-Manuel FJ, Henares I (2010) El Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada: hacia la gestión adaptativa de los espacios naturales. *Ecosistemas* 19:000-000
- Aspizua R, Barea-Azcón JM, Bonet FJ, Pérez-Luque AJ, Zamora RJ (2012) *Observatorio de cambio global Sierra Nevada: metodologías de seguimiento*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía
- Gómez-Aparicio L, Zavala MA, Bonet FJ, Zamora R (2009) Are pine plantations valid tools for restoring Mediterranean forests? An assessment along abiotic and biotic gradients. *Ecological Applications* 19:2124-2141
- González-Moreno P, Quero JL, Poorter L, Bonet FJ, Zamora R (2011) Is spatial structure the key to promote plant diversity in Mediterranean forest plantations? *Basic and Applied Ecology* 12:251-259
- Kenk G, Guehne S (2001) Management transformation in central Europe. *Forest Ecology and Management* 151:107-119
- Hódar JA, Zamora R, Cayuela L (2012) Cambio climático y plagas: algo más que el clima. *Ecosistemas* 21:73-78
- Lindenmayer DB, Likens GE (2009) Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology and Evolution* 24:482-486
- Lloret F (2012) Vulnerabilidad y resiliencia de ecosistemas forestales frente a episodios extremos de sequía. *Ecosistemas* 21:85-90
- Millar CI, Stephenson NL, Scott L (2007) Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications* 17:2145-2151
- Navarro-González I, Pérez-Luque AJ, Bonet FJ, Zamora R (2013) The weight of the past: Land-use legacies and recolonization of pine plantations by oak trees. *Ecological Applications* 23:1267-1276
- Sánchez FJ (2010) El observatorio de cambio global de Sierra Nevada: nuevo enfoque en la gestión de un espacio natural protegido ante los desafíos del siglo XXI. *Boletín de la red de seguimiento del cambio global en parques nacionales* 1:14-17
- Ortuño Medina F (1990) El plan para la repoblación forestal de España del año 1939. Análisis y Comentarios. *Ecología* 1:373-392
- Spittlehouse DL, Stewart RB (2003) Adaptation to climate change in forest management. *BC Journal of Ecosystems and Management* 4:1-11
- Zamora R, Sánchez FJ (2009) El valor de los espacios protegidos de montaña en un escenario de cambio global. *Ecosistemas* 18: 335-37
- Zamora R (2010) Las áreas protegidas como Observatorios del Cambio Global. *Ecosistemas* 19:1-4
- Zamora R, Bonet FJ (2010) Programa de seguimiento del cambio global en Sierra Nevada: ciencia y tecnología para la gestión adaptativa. *Boletín de la red de seguimiento del cambio global en parques nacionales* 1:18-21