

## Señales del cambio global en el sitio LTER-Sierra Nevada

A.J. Pérez-Luque<sup>1\*</sup>, F.J. Bonet<sup>1</sup>, R. Zamora<sup>1</sup>, J.M. Barea-Azcón<sup>2</sup>, R. Aspizua<sup>3</sup>, F.J. Sánchez-Gutiérrez<sup>3</sup>

(1) Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía (CEAMA), Universidad de Granada. Avda. del Mediterráneo s/n, Granada 18006, España.

(2) Agencia de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (Junta de Andalucía), C/ Joaquina Egüaras 10, Granada 18013, España.

(3) Parque Nacional y Natural de Sierra Nevada. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (Junta de Andalucía). Carretera Antigua de Sierra Nevada km. 7, Pinos Genil 18191 (Granada), España.

\* Autor de correspondencia: A.J. Pérez-Luque [[ajperez@ugr.es](mailto:ajperez@ugr.es)]

> Recibido el 10 de diciembre de 2015 - Aceptado el 26 de enero de 2016

**Pérez-Luque, J.A., Bonet, F.J., Zamora, R., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R., Sánchez-Gutiérrez, F.J. 2016. Señales del cambio global en el sitio LTER-Sierra Nevada. *Ecosistemas* 25(1): 65-71. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-1.08**

La investigación ecológica a largo plazo proporciona información útil para comprender las complejas dinámicas de los sistemas naturales. Esto se hace especialmente importante en las regiones de montaña como Sierra Nevada, que presenta un fuerte gradiente de condiciones ambientales en una escala espacial pequeña. En el sitio LTER-Sierra Nevada se ha implementado un programa de seguimiento a largo plazo que, junto con la integración de información ecológica sobre los ecosistemas nevadenses, está permitiendo evaluar los efectos del cambio global en esta región de montaña. En este trabajo presentamos algunos resultados de los impactos del cambio global sobre los ecosistemas nevadenses, obtenidos tras varios años de implantación del Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada. Además de una evaluación temporal de los principales motores de cambio global (clima y usos del suelo), presentamos varios casos de estudio del impacto del cambio global sobre la componente biótica y socioeconómica de los ecosistemas de Sierra Nevada.

**Palabras clave:** Sierra Nevada LTER; impactos de cambio global; seguimiento a largo plazo

**Pérez-Luque, J.A., Bonet, F.J., Zamora, R., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R., Sánchez-Gutiérrez, F.J. 2016. Impacts of global change in the Sierra Nevada LTER-site. *Ecosistemas* 25(1): 65-71. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-1.08**

Long-term ecological research (LTER) provides useful information to understand the complex dynamics of natural systems. This is specially relevant in mountain regions, such as Sierra Nevada mountain range that shows strong gradients of environmental conditions at small spatial scales. In the Sierra Nevada LTER-site a long term monitoring program was established to assess the impacts of global change on the ecosystems of this mountain area. In this work, we show some of the results of the long term monitoring revealing impacts of the global change drivers (land use change and climate) on the biotic and socioeconomic component of the ecosystems of Sierra Nevada.

**Key words:** Sierra Nevada LTER; global change impacts; long-term monitoring

### Introducción

#### Importancia de la investigación ecológica a largo plazo

La investigación ecológica a largo plazo proporciona información útil para comprender las complejas dinámicas que presentan los sistemas naturales y ayuda a responder a preguntas clave sobre cambios ambientales (Lindenmayer et al. 2012; 2015). Esto ha propiciado que la comunidad científica reconozca la relevancia de los estudios ecológicos a largo plazo por la importancia que tienen para la conservación de la biodiversidad o para la gestión de los recursos naturales (Callahan 1984; Likens 1989; Risser 1991; Lindenmayer y Likens 2009; 2010; Müller et al. 2010; Lindenmayer et al. 2012; 2015). La obtención de series temporales largas de datos ecológicos requiere el establecimiento y la consolidación de programas de seguimiento ecológico que aseguren un monitoreo continuo de los procesos ecológicos de interés (Müller et al. 2010).

Además de la escala temporal, los científicos han sido conscientes de la necesidad de conseguir series de datos largas sobre los procesos ecológicos en diferentes lugares y a diferentes escalas espaciales. Este hecho es parte de la misión de las principales redes de seguimiento ecológico a largo plazo, como la Red ILTER

(International Long Term Ecological Research), la Red LTER-Europe o la Red LTER España.

#### Los sitios de montaña en la investigación a largo plazo

Las áreas montañosas albergan aproximadamente la mitad de los *hotspots* de biodiversidad del planeta (Spenh et al. 2010; Kohler et al. 2014). En ellas se observa una alta diversidad de condiciones ambientales, debido principalmente a que presentan amplios gradientes climáticos en pequeñas escalas espaciales (Kohler et al. 2014). Esto, unido a la alta sensibilidad y vulnerabilidad que presentan sus ecosistemas aislados geográfica y ecológicamente, hace que las áreas de montaña actúen como sistemas de alerta temprana de los impactos del cambio global (Kohler y Maselli 2009; Macchi y ICIMOD 2010), considerándose laboratorios naturales donde estudiar los impactos del cambio global (Zamora 2010; Doblas-Miranda et al. 2015). Por ello, se hace necesario el establecimiento de sólidos programas de seguimiento ecológico, que nos permitan conocer el pasado, para comprender el presente y adaptarse al futuro, especialmente en las regiones de montaña mediterráneas que han estado sometidas a una alta presión antrópica durante siglos (Barrio et al. 2013).

Un ejemplo de ello es el Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada (OBSNEV) que desde 2007 viene desarrollando un programa de seguimiento ecológico a largo plazo en el sitio LTER-Sierra Nevada. Este programa tiene como finalidad la recopilación de información útil y relevante sobre el funcionamiento de los sistemas ecológicos y socioeconómicos del sitio LTER-Sierra Nevada, con objeto de diseñar protocolos de gestión que minimicen los impactos del cambio global en dicha montaña (Aspizua et al. 2010; Bonet et al. 2010a; 2011). Para satisfacer este objetivo general, el proyecto se basa en cuatro pilares básicos:

- Un programa de seguimiento con mas de 40 metodologías que recopilan información sobre los sistemas socioecológicos (Aspizua et al. 2012).
- Un sistema de información para almacenar toda la información generada y que permite la integración en otras redes internacionales de seguimiento ecológico (<http://obsnev.es/linaria.html> - Bonet et al. 2010b; Pérez-Pérez et al. 2012).
- Una serie de mecanismos que posibilitan la transferencia efectiva de los resultados para implementar un proceso de Gestión Adaptativa.
- Una estrategia de divulgación y comunicación de los resultados obtenidos (véase por ejemplo el portal de noticias del proyecto <http://obsnev.es> y/o la wiki del proyecto <http://wiki.obsnev.es> entre otros) (Pérez-Luque et al. 2010; 2012a).

El diseño del programa de seguimiento del Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada se ha basado en el marco conceptual y los ámbitos temáticos propuestos por la estrategia GLOCHAMORE (GLObal CHange in MOUNTain REGions; Björnsen 2005) y contiene ámbitos temáticos de seguimiento comunes a los planteados por la Red LTER España (Zamora y Sánchez 2009).

### El sitio LTER Sierra Nevada

Sierra Nevada es una región montañosa situada en el sur de Europa, que ocupa mas de 2000 km<sup>2</sup>. Presenta un rango altitudinal que varía entre 860 y 3482 m, incluyendo la cumbre más alta de la Península Ibérica (Mulhacén). Una de las características más importantes de Sierra Nevada es la existencia de marcados gradientes altitudinales y ecológicos, lo que le confiere el carácter de laboratorio natural de seguimiento del cambio global (Zamora 2010). Esta región montañosa alberga un total de 2100 especies de plantas vasculares, representando el 25 % y el 20 % de la flora de España y de Europa respectivamente. Además presenta una alta tasa de endemidad con cerca de 80 especies vegetales endémicas (Lorite et al. 2007). Sierra Nevada contiene 27 hábitats tipo incluidos en la Directiva Hábitats, 28 especies de aves del Anexo I de la Directiva Aves y 15 especies de animales incluidas en el Anexo II de la Directiva Hábitats (1 reptil, 2 anfibios, 7 mamíferos y 5 invertebrados). Todo ello hace que esté considerada como uno de los *hotspots* de biodiversidad más importantes en la Región Mediterránea (Blanca 1996; Blanca et al. 1998; Cañadas et al. 2014). En este sitio LTER hay 61 municipios con mas de 90 000 habitantes, siendo sus principales actividades económicas la agricultura, el turismo, la ganadería, la apicultura, la minería, y el esquí (Fernández et al. 2007).

En este trabajo presentamos un resumen de los principales resultados obtenidos en el sitio LTER de Sierra Nevada (Zamora et al. 2015). En concreto presentamos una evaluación temporal de los dos principales motores del cambio global: el clima y los cambios de usos del suelo, en el sitio LTER-Sierra Nevada; y 3 estudios de caso que ejemplifican el impacto de los cambios observados en los motores anteriores sobre la componente biótica y socioeconómica de los ecosistemas nevadenses.

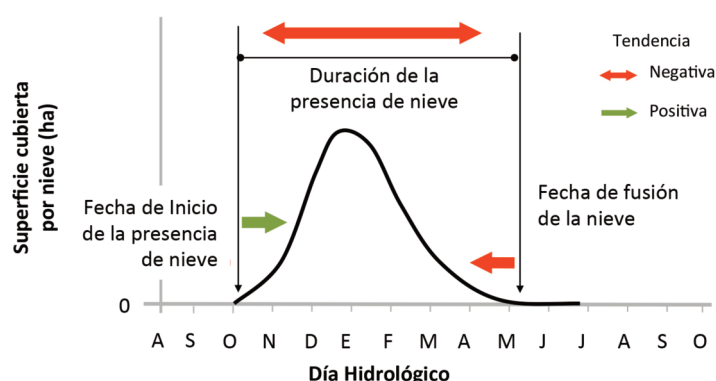
### Cambios en el clima y en la cubierta de nieve de Sierra Nevada

Hemos realizado un análisis de la evolución temporal de las principales variables climáticas (precipitación anual, medias anuales de las temperaturas mínimas y máximas) desde el periodo 1960 hasta la actualidad. Para ello se utilizaron mapas climáticos de alta resolución elaborados a partir de las estaciones climáticas repartidas en un gradiente altitudinal de Sierra Nevada (Benito et al. 2012).

Los resultados obtenidos muestran que el 82 % y el 75.5 % de los píxeles que cubren Sierra Nevada mostraron una tendencia positiva en los valores de temperatura máxima y mínima respectivamente (Pérez-Luque et al. 2015a). Para las temperaturas mínimas la tendencia de aumento fue más acusada sobre todo a partir de la década de los 80. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros estudios a diferentes escalas espaciales (Galán et al. 2001; Horcas et al. 2001; de Castro et al. 2005), y que muestran un patrón generalizado de aumento de las temperaturas en la segunda mitad del siglo XXI. Los resultados además muestran que Sierra Nevada ha sufrido un descenso generalizado en la precipitación (el 99.8 % de los píxeles mostraron tendencias negativas), siendo esta tendencia más acusada en las zonas occidentales que en las orientales. Este patrón concuerda con la tendencia decreciente general observada para el sur de la península ibérica (Rodrigo et al. 1999; Ruiz-Sinoga et al. 2011).

Los cambios descritos en variables climáticas básicas como la precipitación y la temperatura tienen un impacto claro e inmediato en la disponibilidad de nieve. La dinámica de la cubierta de nieve en Sierra Nevada se evaluó a partir de imágenes de satélite del sensor MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) alojado en el satélite Terra de la NASA. Analizando la información del producto MOD10A2 (Hall et al. 2002), se derivaron diferentes índices que caracterizan la estructura de la cubierta de la nieve (Wang y Xie 2009): duración de la presencia de nieve por año hidrológico; fecha de inicio de la presencia de nieve por año hidrológico; y último día de la presencia de nieve por año hidrológico. Para cada uno de estos indicadores se analizó la tendencia temporal desde 2000 hasta 2014 en todos los píxeles que cubren Sierra Nevada (Bonet et al. 2015a).

Los resultados muestran tendencias negativas en la duración de la presencia de nieve en el 79.05 % de los píxeles de Sierra Nevada en la serie temporal analizada. También se observa una tendencia hacia el retraso en la fecha de inicio de la presencia de nieve en el 68.03 % de los píxeles de Sierra Nevada. Finalmente, se observa que el 80.72 % de los píxeles muestran una tendencia al adelanto en la fecha de fusión de la nieve (Fig. 1). Estas tendencias se distribuyen en el territorio siguiendo un patrón espacial bien definido, observándose que tanto la intensidad de la tendencia como la magnitud de cambio (días) se hacen más acusados conforme ascendemos en altura. Por ejemplo, se observa que a partir de 3000 metros de elevación, la duración de la cubierta de nieve se ha reducido una media de tres días en los últimos 14 años.



**Figura 1.** Esquema del perfil de innivación. Se muestran los indicadores de la cubierta de nieve analizados (duración de la cubierta de nieve, fecha de inicio de la cubierta de nieve y fecha de fusión de la nieve). Las flechas indican el resultado del análisis de tendencias para dichos atributos (ver texto para mas detalles).

**Figure 1.** Schematic representation of the snow-cover profile. Snow-cover related variables are shown (snow-cover duration; snow-cover onset date; and snow-cover melting date). Arrows means the results of the trends analysis in each attribute (see text for more details).

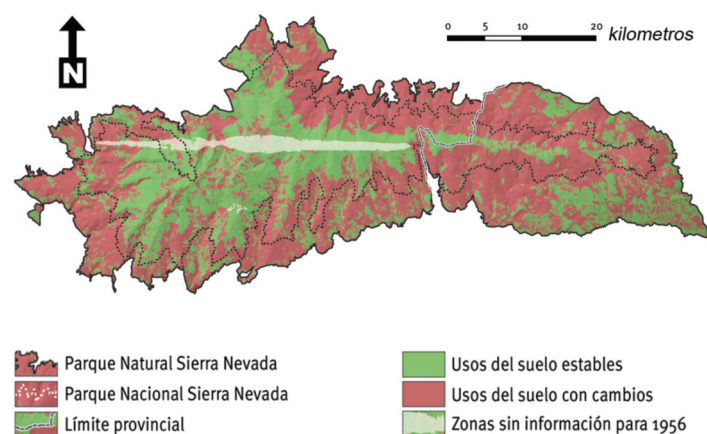


En definitiva, en Sierra Nevada se ha observado una tendencia al aumento de la temperatura (máxima y mínima) en los últimos 50 años, tendencia que es más acusada desde los años 80 sobre todo para la temperatura mínima (aumento promedio de 1.02 °C para toda Sierra Nevada). También en los últimos 50 años se observa una reducción de la precipitación (disminución promedio de 3 mm anual para toda Sierra Nevada), que parece más intensa en la zona occidental del macizo, lo que puede explicar la tendencia observada de reducción de la duración de la cubierta de nieve desde 2000 hasta 2014. Estos resultados son compatibles con el declive significativo de la cubierta de nieve descrito para otras montañas de Europa (Scherrer et al. 2004; Moreno-Rodríguez 2005; Marty 2008; Nikolova et al. 2013).

### Cambios de uso del suelo en Sierra Nevada

Sierra Nevada, al igual que otras regiones del Mediterráneo, ha estado sometida a una considerable presión antrópica desde tiempos históricos (Jiménez Olivencia et al. 2010). El análisis de los registros palinológicos acumulados en las lagunas y borreguiles de Sierra Nevada ha puesto de manifiesto una intensificación de la actividad humana desde hace 3000 años, siendo las señales antrópicas más evidentes el aumento en la frecuencia de incendios, la eutrofización de los humedales, el aumento del cultivo de olivo a gran escala, y aumento de la reforestación con coníferas (Jiménez-Moreno et al. 2013; Jiménez-Moreno 2015).

El cambio de uso del suelo es una constante en la historia de Sierra Nevada desde que se dispone de información. El análisis de estos cambios en el último medio siglo ha revelado que más del 42% de la superficie de Sierra Nevada ha sufrido algún tipo de cambio de uso (Fig. 2). Los cambios más significativos han sido el aumento de la superficie de formaciones arboladas (sobre todo pinares de repoblación), la disminución de las superficies ocupadas por campos de cultivo, y en menor medida una densificación de las formaciones naturales (bosques y matorral autóctono principalmente), así como una recolonización de los campos de cultivo abandonados, y una expansión general del matorral pionero de media y alta montaña (Jiménez-Olivencia et al. 2015, Pérez-Luque et al. 2015b). Estos cambios, observados mediante interpretación de fotografías antiguas a escala de Sierra Nevada, se constatan también a escala de detalle mediante el análisis de información histórica (mapas de catastro, inventarios forestales, fotografías antiguas, cuadros, etc.). Así, en la vertiente sur de Sierra Nevada (municipio de Cáñar) se observa un aumento de la superficie ocupada por la vegetación natural, un aumento de la densidad arbórea y una reducción de la superficie de cultivos desde 1750 hasta la actualidad. Estos cambios paisajísticos van acompañados de una reducción de la carga ganadera y del peso del sector primario en general. Asimismo la zona ha sufrido un descenso neto de población desde 1750 (Moreno-Llorca et al. 2015).



**Figura 2.** Cambios del uso del suelo ocurridos en Sierra Nevada desde 1956 hasta la actualidad.

**Figure 2.** Map showing the land-use changes in Sierra Nevada (red) from 1956 to 2006

### Casos de estudio

#### Cambios en la productividad de los robledales de *Quercus pyrenaica* Willd. en Sierra Nevada y su relación con los cambios en la dinámica de la cubierta de nieve

Los robledales, bosques de *Quercus pyrenaica*, son formaciones forestales consideradas potencialmente vulnerables frente a los impactos del cambio climático (Benito et al. 2011), entre otras razones por sus requerimientos hídricos (García y Jiménez 2009). En Sierra Nevada estas formaciones consideradas relictas (Melendo y Valle 1996), presentan una estación de crecimiento bien definida y centrada en verano (Alcaraz-Segura et al. 2006; Alcaraz-Segura et al. 2015; Dionisio et al. 2012). En este estudio de caso evaluamos como la modificación en los patrones de disponibilidad de agua debido al cambio climático pueden afectar a la productividad de esta formación forestal. Para ello se analizaron cambios en la productividad de las poblaciones de robledal en Sierra Nevada durante el periodo 2000-2013 a partir de imágenes de satélite del sensor MODIS. En concreto se obtuvo el índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) anual y estacional. Para cada uno de los píxeles que cubren las poblaciones de robledal de Sierra Nevada se analizó la tendencia temporal de los valores anuales y estacionales de NDVI.

Los resultados mas destacables muestran que el 75 % de los píxeles que cubren los bosques de *Q. pyrenaica* presentan una tendencia positiva significativa en el valor del NDVI de verano, lo que indica un aumento en la productividad durante el verano en los últimos años (aumento promedio de 1.39 % en la productividad de verano desde 2000). Asimismo, se exploró la relación entre los cambios observados en la dinámica de la nieve y los cambios observados en la productividad de los robledales de Sierra Nevada (Pérez-Luque et al. 2015c). Estos cambios en el patrón de innivación y en la producción primaria, así como sus relaciones, se evaluaron usando una ontología. Estas herramientas permiten analizar series de datos (en este caso procedentes del sensor MODIS) utilizando las relaciones semánticas entre distintos conceptos. Por ejemplo, se pueden implementar consultas del tipo: ¿dónde están los píxeles que tienen una tendencia hacia más producción primaria y adelanto en la fecha de retirada de la nieve?. Los resultados muestran que en los robledales donde la nieve presenta una tendencia significativa a retirarse antes, se incrementa también la productividad primaria. Este acoplamiento entre las tendencias de producción primaria y las de duración de la nieve es más patente para las poblaciones de robledales occidentales de Sierra Nevada, donde el 60 % de los píxeles muestran un adelanto en la fecha de retirada de la nieve y un aumento de la productividad en verano (Fig. 3).



**Figura 3.** Mapa que muestra los píxeles que cubren las poblaciones de robledal (*Q. pyrenaica*) en Sierra Nevada. Se muestran en verde aquellos píxeles que presentan una tendencia al adelanto en la retirada de la cubierta de nieve y una tendencia al aumento de la productividad de los robles en verano.

**Figure 3.** Map showing the pixels covering the patches of *Q. pyrenaica* in Sierra Nevada. Pixels with trends towards more productive summers and earlier snowmelt date are shown.

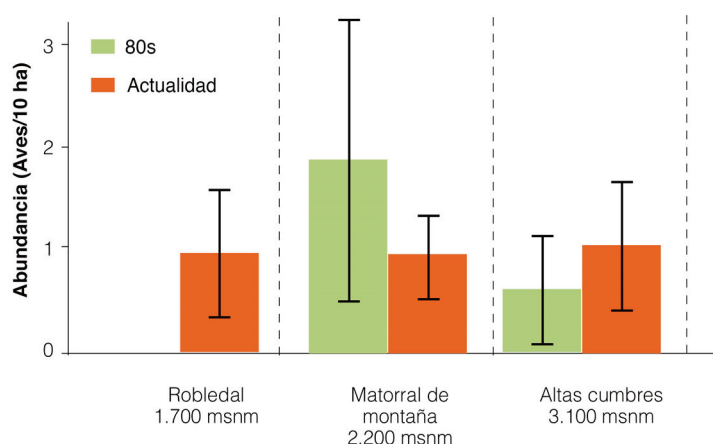
Este estudio de caso muestra cómo una variable ecológica fundamental como la producción primaria muestra tendencias significativas de cambio en Sierra Nevada y cómo estas tendencias están relacionadas con cambios en el clima (que es el responsable del cambio en la cubierta de nieve).

### Cambios en las comunidades de aves de Sierra Nevada

En el Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada hemos analizado las respuestas de diferentes grupos taxonómicos a los impactos del cambio global en Sierra Nevada (Zamora et al. 2015). Las aves, por su capacidad de desplazamiento espacio-temporal, se consideran magníficos sensores bióticos frente a los cambios ambientales. El objetivo del trabajo ha sido evaluar cambios temporales en la composición y abundancia de las comunidades de aves paseriformes y su relación con los cambios de uso del suelo y cambios en el clima de Sierra Nevada. Para ello se compararon censos de aves paseriformes reproductoras realizados en un gradiente altitudinal en tres hábitats diferentes (robledal, enebro-sabinar y ambientes de altas cumbres) a comienzos de los años 80 (Zamora y Camacho 1984; Zamora 1987; 1988a; 1988b; 1990) con censos realizados en la actualidad en las mismas localidades (Zamora y Barea-Azcón 2015). En cada localidad se analizaron los cambios en el uso del suelo acaecidos entre los dos periodos así como cambios en el clima mediante un análisis de tendencias temporales para la precipitación anual y los promedios de temperaturas media y mínima anual de las estaciones meteorológicas más cercanas.

De los cambios observados en el clima durante el periodo estudiado destacamos la tendencia positiva significativa que mostró la temperatura mínima, con un incremento medio de 0.103 °C/año. Por otra parte, apenas se observaron cambios en el uso del suelo significativos desde los años 80 hasta la actualidad en los enebrales-sabinas ni en las zonas de altas cumbres, aunque en el robledal sí se observó un incremento apreciable en el crecimiento de los árboles y el desarrollo de su dosel.

Estos cambios por sí solos no parecen explicar las considerables modificaciones observadas en las comunidades de aves durante los últimos 30 años, período de tiempo en el que han observado notables cambios en la composición y, sobre todo, en la abundancia de las comunidades de aves paseriformes (Zamora y Barea-Azcón 2015). Se aprecia una disminución poblacional muy significativa de muchas de las especies que eran dominantes en los años 80, particularmente en el robledal y en el enebro-sabinar. La magnitud de los cambios se reduce con la altitud, siendo el robledal el ecosistema que más ha cambiado, incorporando a especies más propias de fases sucesionales maduras, y los ecosistemas de altas cumbres los que menos. Por otro lado, algunas especies mostraron un evidente ascenso altitudinal en su distribución (Fig. 4).



**Figura 4.** Cambios en la abundancia del colirrojo tizón (*Phoenicurus phoenicurus*) en un gradiente altitudinal Sierra Nevada. Se muestran valores medios y el intervalo de confianza.

**Figure 4.** Changes in the abundance of the black redstart along the altitudinal gradient of Sierra Nevada. Mean values and confidence interval are shown.

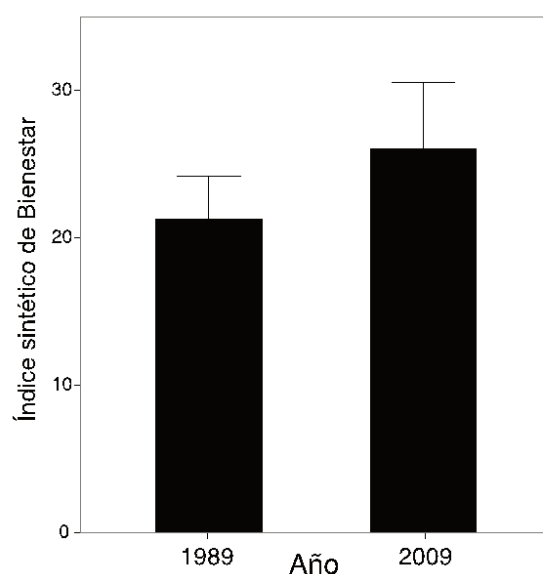
El desacoplamiento existente entre la magnitud de los escasos cambios ambientales observados, particularmente en el enebro-sabinar y las altas cumbres y los notables cambios en las comunidades de aves paseriformes durante los últimos 30 años se relaciona con el carácter insaturado de las comunidades de montaña, expuestas a constantes entradas y salidas de especies. La comunidad de aves paseriformes de Sierra Nevada está perdiendo paulatinamente su carácter alpino, tendencia que se está acelerando en la actualidad, mientras que se va enriqueciendo con elementos mediterráneos de cotas más bajas.

### Socioeconomía: bienestar humano y espacios protegidos

El seguimiento de procesos ecológicos y variables biofísicas debe de ser capaz, idealmente, de identificar en qué medida los cambios observados en los ecosistemas afectan a la calidad de vida de las poblaciones humanas. Para lograr esto es importante que la investigación ambiental a largo plazo incorpore el componente socioeconómico (Haberl et al. 2006; Ohi et al. 2010; Singh et al. 2013).

En el sitio LTER de Sierra Nevada se llevó a cabo una caracterización del bienestar en los municipios pertenecientes al espacio natural (Pérez-Luque et al. 2015d). El objetivo fue realizar una comparación del bienestar de los municipios en dos momentos temporales: antes de la creación del espacio natural y tras 20 años. El análisis del bienestar en los municipios se realizó utilizando la aproximación basada en indicadores compuestos ponderados que agregan diferentes indicadores simples que caracterizan el bienestar y que permite realizar comparaciones entre entidades espaciales y temporales (Somarriba y Pena 2009; Zarzosa y Somarriba 2013). Para cada municipio se calculó un indicador sintético de bienestar en dos momentos temporales: 1989 (antes de la declaración de espacio natural) y 2009. Este indicador se construyó a partir de información de 23 indicadores socioeconómicos que representan diferentes dimensiones del bienestar (población, salud, empleo, economía y renta, infraestructuras, educación, cultura y ocio, y participación social; para mas información ver Bonet et al. 2015b), utilizando para ello un algoritmo de software libre implementado en un paquete de R llamado p2distance (Pérez-Luque et al. 2012b). Posteriormente se creó un ratio de bienestar para cada municipio, donde valores positivos del ratio indican mejora del bienestar entre 1989 y 2009.

El bienestar aumentó significativamente entre 1989 y 2009 para la mayoría de los municipios del sitio LTER-Sierra Nevada (Fig. 5).



**Figura 5.** Índice sintético de bienestar para los municipios de Sierra Nevada en 1989 y 2009.

**Figure 5.** Synthetic indicator of wellbeing for municipalities of Sierra Nevada in 1989 and 2009.



Nuestros resultados coinciden con los obtenidos a nivel regional, donde los municipios pertenecientes a espacios protegidos han experimentado un aumento mayor del bienestar que aquellos no pertenecientes a espacios protegidos (Bonet et al. 2015b). Estos resultados inciden en la importancia de las áreas protegidas, no solamente desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad, sino como generadores de servicios ecosistémicos beneficiosos para la sociedad por su relevancia socioeconómica.

## Conclusiones

Tras varios años de funcionamiento operativo del sitio LTER Sierra Nevada, se pueden extraer diversas conclusiones. La actividad humana en Sierra Nevada ha provocado cambios seculares en la estructura del paisaje, especialmente durante los últimos 50 años caracterizados por el incremento de la superficie reforestada y el abandono paulatino de las actividades agrícolas y ganaderas de montaña.

Se constata un aumento en la temperatura y una reducción en la precipitación en Sierra Nevada desde 1960, lo que explica en buena medida la tendencia más reciente (2000-2014) observada en la reducción de la duración de la cubierta de nieve. Estos cambios se relacionan con patrones de variación en la distribución, fenología y productividad de especies animales y vegetales de montaña (Zamora et al. 2015), como es el caso de las comunidades de aves (Zamora y Barea-Azcón 2015) o de los robledales (Pérez-Luque et al. 2015c). Estos resultados ponen en evidencia que las áreas protegidas montañosas juegan un papel primordial en el mantenimiento de la biodiversidad en un contexto de cambio global, ya que las poblaciones pueden adaptarse a los cambios desplazándose altitudinalmente, de acuerdo a sus requerimientos ecológicos.

Por otro lado, mediante el análisis de diferentes indicadores socioeconómicos, se pone de manifiesto que el bienestar en los municipios pertenecientes a Sierra Nevada ha aumentado en los últimos años. Ello demuestra que los espacios naturales protegidos, además de actuar como instrumentos para la conservación de la biodiversidad y los procesos ecológicos, contribuyen de forma esencial a la protección de la capacidad de sus ecosistemas de generar servicios ecosistémicos que se disfrutan tanto dentro del espacio protegido como fuera de éste, favoreciendo el bienestar de los municipios existentes en su entorno.

Todos estos resultados, tanto de la parte biofísica como socioeconómica son muy relevantes para la gestión medioambiental. Los programas de seguimiento a largo plazo constituyen la herramienta idónea para el monitoreo de los impactos del cambio global, y en general para poner en valor la información ambiental para su conocimiento por la sociedad, y su aplicación a la gestión. En este sentido, en el Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada estamos recopilando una gran cantidad de información ambiental integrada en diversas iniciativas de seguimiento a largo plazo en el ámbito nacional e internacional, en estrecha colaboración con la comunidad científica, para la consolidación de una infraestructura de seguimiento ambiental a largo plazo. Además de ello, el Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada tiene una apuesta decidida por la transferencia de manera efectiva de los resultados de la investigación al ámbito de la gestión para promover la adaptación de los ecosistemas nevadenses al cambio global. En este sentido existen ya diversas actuaciones en marcha como por ejemplo: actuaciones para la naturalización de pinares de repoblación; diseño y seguimiento de las actuaciones de restauración post-incendio; análisis de la dinámica poblacional de la procesionaria del pino en Sierra Nevada; recomendaciones de gestión de robledales; entre otras (ver capítulo 8 en Zamora et al. 2015). Asimismo, recientemente se ha concedido un proyecto LIFE llamado ADAPTAMED (*Protección de servicios ecosistémicos clave amenazados por el cambio climático mediante gestión adaptativa de socioecosistemas mediterráneos*) que nos va a permitir explorar con más detalle la adecuación de diferentes técnicas de gestión a los nuevos escenarios climáticos y de usos del suelo del siglo XXI.

En definitiva, el sitio LTER Sierra Nevada ha recopilado una ingente cantidad de información ambiental, la ha analizado y ha movilizado a la comunidad científica que trabaja en Sierra Nevada para crear una infraestructura de investigación a largo plazo. Asimismo ha demostrado su capacidad de relacionarse con proyectos equivalentes en el ámbito nacional e internacional. También se han sentado las bases para transferir de manera efectiva estos resultados al ámbito de la gestión. La continuación de este trabajo requiere evolucionar de la fase de proyecto (movido parcialmente por el voluntarismo) a la de programa consolidado (movido por el compromiso a largo plazo de la administraciones públicas).

## Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado en el marco de colaboración del proyecto "Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada" financiado por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía (con el apoyo de fondos FEDER de la Unión Europea), la Fundación Biodiversidad y el programa de seguimiento de los efectos del cambio global en Parques Nacionales, del Organismo Autónomo de Parques Nacionales.

## Referencias

- Alcaraz-Segura, D., Paruelo, J., Cabello, J. 2006. Identification of current ecosystem functional types in the Iberian Peninsula. *Global Ecology and Biogeography* 15: 200-212.
- Alcaraz-Segura, D., Reyes, A., Cabello, J. 2015. Cambios en la productividad de la vegetación mediante teledetección. En: Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R. (eds.), *La huella del Cambio Global en Sierra Nevada: Retos para la conservación*, pp. 140-143. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Sevilla, España.
- Aspizua, R., Bonet, F.J., Zamora, R., Sánchez, F.J., Cano-Manuel, F.J., Henares, I. 2010. El observatorio de cambio global de Sierra Nevada: hacia la gestión adaptativa de los espacios naturales. *Ecosistemas* 19 (2): 56-68.
- Aspizua, R., Barea-Azcón, J.M., Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J. y Zamora, R. (eds.). 2012. *Observatorio de Cambio Global Sierra Nevada: metodologías de seguimiento*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla, España.
- Barrio, I.C., Bueno, G., Nagy, L., Palacio, S., Grau, O., Munilla, I., García, M.B., García-Cervigón, A.I., Gartzia, M., Gazol, A., Lara-Romero, C., Anadón-Rosell, A., Ninot, J.M., Chocarro, C., Alados, C.L., Fillat, F., Zamora, R. 2013. Alpine ecology in the Iberian peninsula: what do we know, and what do we need to learn?. *Mountain Research and Development* 33 (4): 437-442.
- Björnsen, A. (ed.). 2005. *The GLOCHAMORE (Global Change and Mountain Regions) Research Strategy*. Mountain Research Initiative Office and University of Vienna. Berna, Suiza y Viena, Austria.
- Blanca, G. 1996. Protección de la flora de Sierra Nevada (Granada y Almería). *Conservación Vegetal* 1: 6
- Blanca, G., Cueto, M., Martínez-Lirola, M.J., Molero-Mesa, J. 1998. Threatened vascular flora of Sierra Nevada (Southern Spain). *Biological Conservation* 85 (3): 269-285.
- Benito, B., Lorite, J., Peñas, J., 2011. Simulating potential effects of climatic warming on altitudinal patterns of key species in mediterranean-alpine ecosystems. *Climatic Change* 108: 471-483.
- Benito, B.M., Pérez-Pérez, R., Reyes-Muñoz, P.S. 2012. Simulaciones climáticas. En: Aspizua, R., Barea-Azcón, J.M., Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J. y Zamora, R. (eds.), *Observatorio de Cambio Global Sierra Nevada: metodologías de seguimiento*, pp. 30-31. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla, España.
- Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J., Moreno-Llorca, R., Zamora, R. 2010a. *Observatorio de Cambio Global en Sierra Nevada. Estructura y contenidos básicos*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía - Universidad de Granada, Sevilla y Granada, España.
- Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J., Pérez-Pérez, R. 2010b. Linaria: an information system to implement GLOCHAMORE project and promote conversion of information into knowledge in Sierra Nevada Biosphere Reserve. En: *Extended abstracts. Global Change and the World's Mountains. Perth, Scotland. 26-30 Sep. 2010*. Disponible en: <https://www.perth.umi.ac.uk/subject-areas/centre-for-mountain-studies/documents/extendedabstracts.pdf>.

- Bonet, F.J., Aspizua, R., Zamora, R., Sánchez, F.J., Cano-Manuel, F.J., Henares, I. 2011. Sierra Nevada Observatory for monitoring global change: Towards the adaptive management of natural resources. En: Austrian MaB Comité (ed.), *Biosphere Reserves in the mountains of the world. Excellence in the clouds?*, pp 48-52. Austrian Academy of Sciences Press, Viena, Austria.
- Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J., Pérez-Pérez, R. 2015a. Análisis de tendencias (2000-2014) en la cubierta de nieve mediante satélite (sensor MODIS). En: Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R. (eds.), *La huella del Cambio Global en Sierra Nevada: Retos para la conservación*, pp 41- 44. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Sevilla, España.
- Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J., Moreno-Llorca, R.A., Pérez-Pérez, R., Puerta-Piñero, C., Zamora, R. 2015b. Protected areas as elicitors of human well-being in a developed region: A new synthetic (socioeconomic) approach. *Biological Conservation* 187: 221-229.
- Callahan, J.T. 1984. Long-Term Ecological Research. *BioScience* 34 (6): 363-367.
- Cañadas, E.M., Fenu, G., Peñas, J., Lorite, J., Mattana, E., Bacchetta, G. 2014. Hotspots within hotspots: Endemic plant richness, environmental drivers, and implications for conservation. *Biological Conservation* 170: 282-291.
- De Castro, de Castro, M., Martín-Vide, J., Alnoso, S. 2005. El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. En: Moreno-Rodríguez, J.M. (ed.) *Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España.
- Dionisio, M., Alcaraz-Segura, D., Cabello, J., 2012. Satellite-based monitoring of ecosystem functioning in protected areas: recent trends in the oak forests (*Quercus pyrenaica* Willd.) of Sierra Nevada (Spain). En: Young, S., Silvern, E. (eds.), *International Perspectives on Global Environmental Change*, pp. 355–374. Intech. Rijeka, Croatia
- Doblas-Miranda, E., Martínez-Vilalta, J., Lloret, F., Álvarez, A., Ávila, A., Bonet, F.J., Brotons, L., Castro, J., Curiel Yuste, J., Díaz, M., Ferrandis, P., García-Hurtado, E., Iriondo, J.M., Keenan, T.F., Latron, J., Llusia, J., Loepfe, L., Mayol, M., Moré, G., Moya, D., Peñuelas, J., Pons, X., Po-yatos, R., Sardans, J., Sus, O., Vallejo, V.R., Vayreda, J., Retana, J. 2015. Reassessing global change research priorities in Mediterranean terrestrial ecosystems: How far have we come and where do we go from here? *Global Ecology and Biogeography* 24: 25-43.
- Fernández, M., Cuenca, E., Salinas, J.A., Campos, J., Aragón, J.A., García, V.J., Martín, J.M., Aranda, J., Vallberg, V. 2007. *Impacto socioeconómico del espacio natural protegido Sierra Nevada: 1989-2005*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla, España.
- García, I., Jiménez, P. 2009. 9230 Robledales de *Quercus pyrenaica* y robledales de *Quercus robur* y *Quercus pyrenaica* del Noroeste Ibérico. En: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (ed.), *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid, España.
- Galán, E., Cañada, R., Fernández, F., Cervera, B. 2001. Annual temperature evolution in the southern plateau of Spain from the construction of regional climatic time series. En: Brunet India, M., López-Bonillo, D. (Eds.) *Detecting and modelling regional climate change*, pp. 119-132. Springer-Verlag Berlin. Alemania.
- Haberl, H., Winiwarter, V., Andersson, K., Ayres, R.U., Boone, C., Castillo, C., Cunfer, G., Fischer-Kowalski, M., Freudenburg, W.R., Furman, E., Kaufmann, R., Krausmann, F., Langthaler, E., Lotze-Campen, H., Mirtl, M., Redman, C.L., Reenberg, A., Wardell, A., Warr, B., Zechmeister, H. 2006. From LTER to LTSE: conceptualizing the socioeconomic dimension of long-term socioecological research. *Ecology and Society* 11(2): 13.
- Hall, D., Riggs, G., Salomonson, V.V., DiGirolamo, N., Bayr, K., 2002. MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment* 83: 181-194.
- Horcas, R., Rasilla, D., Fernández-García, F. 2001. Temperature variations and trends in the Segura River basin. An exploratory analysis. En: Brunet India, M. López-Bonillo, D. (eds.) *Detecting and modelling regional climate change*, pp. 133-142. Springer-Verlag, Berlin, Alemania.
- Jiménez-Moreno, G., García-Alix, A., Hernández-Corbalán, M.D., Anderson, R.S., Delgado-Huertas, A. 2013. Vegetation, fire, climate and human disturbance history in the southwestern Mediterranean area during the late Holocene. *Quaternary Research*, 79 (2): 110-122.
- Jiménez-Moreno, G. 2015. Reconstrucción de la vegetación a partir del análisis palinológico. En: Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R. (eds.), *La huella del Cambio Global en Sierra Nevada: Retos para la conservación*, pp 48-50. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Sevilla, España.
- Jiménez Olivencia, Y., Porcel Rodríguez, L., Piñar Álvarez, A. 2010. Evolución histórica de los paisajes del Parque Nacional de Sierra Nevada y su entorno. En: Ramírez, L, Asensio, B. (eds.), *Proyectos de investigación en Parques Nacionales: 2006-2009*, pp. 109-128. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid. España.
- Jiménez Olivencia, Y., Porcel Rodríguez, L., Caballero Calvo, A., Bonet, F.J. 2015. Evolución de los usos del suelo en Sierra Nevada en los últimos 50 años y cambios en el paisaje. En: Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R. (eds.), *La huella del Cambio Global en Sierra Nevada: Retos para la conservación*, pp 54-56. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Sevilla, España.
- Kohler, T., Maselli, D. 2009. *Mountains and climate changing. From understanding to action*. Geographica Bernensia; Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC). Berna, Suiza.
- Kohler, T., Wehrli, A., Jurek, M. (eds). 2014. *Mountains and climate change: A global concern*. Sustainable Mountain Development Series. Centre for Development and Environment (CDE), Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) and Geographica Bernensia. Berna, Suiza.
- Likens, G.E. (ed). 1989. *Long-Term Studies in Ecology. Approaches and Alternatives*. Springer-Verlag, New York. Estados Unidos.
- Lindenmayer, D.B., Likens, G.E. 2009. Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology and Evolution* 25(4): 199-200.
- Lindenmayer, D.B., Likens, G.E. 2010. The science and application of ecological monitoring. *Biological Conservation* 143 (6): 1317-1328.
- Lindenmayer, D.B., Likens, G.E., Andersen, A., Bowman, D., Bull, C.M., Burns, E., Dickman, C.R., Hoffmann, A.A., Keith, D.A., Liddell, M.J., Lowe, A.J., Metcalfe, D.J., Phinn, S.R., Russell-Smith, J., Thurgate, N., Wardle, G.M. 2012. Value of long-term ecological studies. *Austral Ecology* 37: 745–57.
- Lindenmayer, D.B., Burns, E.L., Tennant, P., Dickman, C.R., Green, P.T., Keith, D.A., Metcalfe, D.J., Russell-Smith, J., Wardle, G.M., Williams, D., Bossard, K., deLacey, C., Hanigan, I., Bull, C.M., Gillespie, G., Hobbs, R.J., Krebs, C.J., Likens, G.E., Porter, J., Vardon, M. 2015. Contemplating the future: Acting now on long-term monitoring to answer 2050's questions. *Austral Ecology* 40 (3): 213-224.
- Lorite, J., Navarro, F.B., Valle, F. 2007. Estimation of threatened orophytic flora and priority of its conservation in the Baetic range (S. Spain). *Plant Biosystems* 141 (1): 1-14.
- Macchi, M., ICIMOD. 2010. *Mountains of the world – Ecosystem services in a time of global and climate change: seizing opportunities – meeting challenges*. International Center for Integrated Mountain Development, Kathmandu. Nepal.
- Marty, C. 2008. Regime shift of snow days in Switzerland. *Geophysical Research Letters* 35, L12501. doi:10.1029/2008GL033998.
- Melendo, M., Valle, F., 1996. Estudio comparativo de los melojares nevadenses. En: Chacón, J., Rosúa, J.L. (eds.), *1a Conferencia Internacional Sierra Nevada, Conservación y Desarrollo Sostenible*, vol. 2, pp. 463–479. Universidad de Granada, Granada, España.
- Moreno-Llorca, R.A., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Zamora, R. 2015. Análisis histórico de los cambios socio-ecológicos en el municipio de Cañar (Alpujarra de Granada) en los últimos 5 siglos. En: Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R. (eds.), *La huella del Cambio Global en Sierra Nevada: Retos para la conservación*, pp 57-60. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Sevilla, España.
- Moreno-Rodríguez, J. (ed.). 2005. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España.
- Müller, F., Baessler, C., Schubert, H., Klotz, S. (eds.). 2010. Long-Term Ecological Research. Between theory and application. Springer, Nueva York, Estados Unidos.
- Nikolova, N., Faško, P., Lapin, M., Švec, M., 2013. Changes in snowfall/precipitation-day ratio in Slovakia and their linkages with air temperature and precipitation. *Contributions to Geophysics and Geodesy* 43: 141–145.
- Ohl, C., Johst, K., Meyerhoff, J., Beckenkamp, M., Grösgen, V., Drechsler, M. 2010. Long-term socio-ecological research (LTSE) for biodiversity protection – A complex systems approach for the study of dynamic human–nature interactions. *Ecological Complexity* 7(2): 170-178.

- Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Pérez-Pérez, R. 2010. Utilización de la web 2.0 en el seguimiento del cambio global: El Observatorio del Cambio Global en Sierra Nevada. En: *X Congreso Nacional de Medio Ambiente*. Madrid, Spain. 22-26 Nov. 2010.
- Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Zamora, R. 2012a. The Wiki of Sierra Nevada Global Change Observatory. *Bulletin of the Ecological Society of America* 93(3): 239–240.
- Pérez-Luque, A.J., Moreno-Llorca, R., Pérez-Pérez, R., Bonet, F.J. 2012b. p2distance: Welfare's Synthetic Indicator. R package version 1.0.1. Disponible: <http://CRAN.R-project.org/package=p2distance>.
- Pérez-Luque, A.J., Pérez-Pérez, R., Bonet, F.J. 2015a. Evolución del clima en los últimos 50 años en Sierra Nevada. En: Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R. (eds.), *La huella del Cambio Global en Sierra Nevada: Retos para la conservación*, pp 22–24. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Sevilla, España.
- Pérez-Luque, A.J., Zamora, R., Bonet, F.J. 2015b. Colonization pattern of *Quercus pyrenaica* in mediterranean abandoned croplands: a study case from Sierra Nevada (Spain). En: *4º Congreso Ibérico de Ecología: La Ecología y los retos sociales*. University of Coimbra, Coimbra (Portugal), 16-19 Jun 2015. doi: 10.7818/IberianEcologicalCongress.2015.
- Pérez-Luque, A.J., Pérez-Pérez, R., Bonet, F.J., Magaña, P. 2015c. An ontological system based on MODIS images to assess ecosystem functioning of Natura 2000 habitats: A case study for *Quercus pyrenaica* forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 37: 142–151.
- Pérez-Luque, A.J., Moreno-Llorca, R., Pérez-Pérez, R., Bonet, F.J. 2015d. Análisis temporal del bienestar en los municipios del Espacio Natural de Sierra Nevada. En: Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R. (eds.), *La huella del Cambio Global en Sierra Nevada: Retos para la conservación*, pp 184–185. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía, Sevilla, España.
- Pérez-Pérez, R., Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J., Zamora, R. 2012. Linaria: a set of information management tools to aid environmental decision making in Sierra Nevada (Spain) LTER site. En: Long Term Ecological Research (LTER) (ed) *Proceedings of the 2013 LTER All Scientist Meeting: The Unique Role of the LTER Network in the Anthropocene: Collaborative Science Across Scales*. LTER, Estes Park – Colorado, Estados Unidos.
- Risser, P.G. (ed.). 1991. *Long-term ecological research – an international perspective*. SCOPE 47 - Wiley, Nueva York, Estados Unidos.
- Rodrigo, F.S., Esteban-Parra, M.J., Pozo-Vázquez, D., Castro-Díez, Y. 1999. A 500-year precipitation record in Southern Spain. *International Journal of Climatology* 19 (11): 1233–1253.
- Ruiz Sinoga, J.D., García Marín, R., Martínez Murillo, J.F., Gabarrón Galeote, M.A. 2011. Precipitation dynamics in southern Spain: trends and cycles. *International Journal of Climatology* 31 (15): 2281–2289.
- Scherrer, S.C., Appenzeller, C., Latenser, M. 2004. Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. *Geophysical Research Letters* 31: L13215. doi: [10.1029/2004GL020255](https://doi.org/10.1029/2004GL020255)
- Singh, S.J., Haberl, H., Chertow, M., Mirtl, M., Schmid, M. (eds.). 2013. Long Term Socio-Ecological Research studies in society-nature interactions across spatial and temporal scales. Springer. Nueva York, Estados Unidos.
- Somarriba, N., Pena, B. 2009. Synthetic indicators of quality of life in Europe. *Social Indicators Research* 94 (1): 115–133.
- Spehn, E.M., Rudmann-Maurer, K., Körner, C., Maselli, D. (eds.). 2010. *Mountain biodiversity and global change*. GMB-DIVERSITAS, Basilea, Suiza.
- Wang, X., Xie, H. 2009. New methods for studying the spatiotemporal variation of snow cover based on combination products of MODIS Terra and Aqua. *Journal of Hydrology* 371: 192–200.
- Zamora, R., Camacho, I. 1984. Evolución estacional de la comunidad de aves en un robledal de Sierra Nevada. *Doñana Acta Vertebrata* 11: 129–150.
- Zamora, R. 1987. Variaciones altitudinales en la composición de las comunidades nidificantes de aves de Sierra Nevada. *Doñana Acta Vertebrata* 14: 83–106.
- Zamora, R. 1988a. Composición y estructura de la comunidad de Passeriformes de la alta montaña de Sierra Nevada. *Ardeola* 35: 197–220.
- Zamora, R. 1988b. Estructura morfológica de una comunidad de Passeriformes de alta montaña (Sierra Nevada, SE de España). *Ardeola* 35: 71–95.
- Zamora, R. 1990. Seasonal variations of a passerine community in a mediterranean high-mountain. *Ardeola* 37: 219–228.
- Zamora, R., Sánchez, J. 2009. El valor de los espacios protegidos de montaña en un escenario de cambio global. *Ecosistemas* 18(3): 35–37.
- Zamora, R. 2010. Las áreas protegidas como Observatorios del Cambio Global. *Ecosistemas* 19 (2): 1–4.
- Zamora, R., Barea-Azcón, J.M. 2015. Long-Term changes in mountain passerine bird communities in the Sierra Nevada (southern Spain): A 30-year case study. *Ardeola* 62(1): 3–18.
- Zarzosa, P., Somarriba, N. 2013. An assessment of social welfare in Spain: territorial analysis using a synthetic welfare indicator. *Social Indicators Research* 111 (1): 1–23.
- Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R. (eds.). 2015. *La huella del Cambio Global en Sierra Nevada: Retos para la conservación*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Sevilla, España. 208 pp.