



Observatorio de Cambio Global Sierra Nevada Metodologías de seguimiento

Febrero 2012



ugr | Universidad
de Granada



OBSERVATORIO DE CAMBIO GLOBAL SIERRA NEVADA. METODOLOGÍAS DE SEGUIMIENTO

Edita: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Consejero de Medio Ambiente: José Juan Díaz Trillo.

Viceconsejera de Medio Ambiente: Ana Patricia Cubillo Guevara.

Director General de Gestión del Medio Natural: Francisco Javier Madrid Rojo.

Directora General de Espacios Naturales y Participación Ciudadana: Rocío Espinosa de la Torre.

Director General de Cambio Climático y Medio Ambiente Urbano: José Fiscal López.

Directora General de Desarrollo Sostenible e Información Ambiental: Esperanza Perea Acosta.

Director del Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada: Francisco Javier Sánchez Gutiérrez.

Conservador del Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada: Ignacio Luis Henares Civantos.

Coordinador científico del Observatorio de Cambio Global Sierra Nevada: Regino Jesús Zamora Rodríguez.

Dirección Facultativa del Programa de Seguimiento de Cambio Global en Sierra Nevada: Francisco Javier Cano-Manuel León y Blanca Ramos Losada.

Coordinadores de la edición: Rut Aspizua Cantón, José Miguel Barea Azcón, Francisco Javier Bonet García, Antonio Jesús Pérez Luque y Regino Jesús Zamora Rodríguez.

Diseño gráfico y maquetación: Creados Visual, S.L.

Como citar este documento:

Aspizua, R., Barea-Azcón, J.M., Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J. y Zamora, R.J. (coords.). 2012. *Observatorio de Cambio Global Sierra Nevada: metodologías de seguimiento*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 112 pp.

Una ficha debe citarse como:

Muñoz, J.M. 2012. Fenología de la floración. Pp.: 66-67. En: Aspizua, R., Barea-Azcón, J.M., Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J. y Zamora, R.J.(coords.). *Observatorio de Cambio Global Sierra Nevada: metodologías de seguimiento*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Créditos fotográficos: Alba Padilla, E.: 87 (sup.); Alcalá Mejías, J.: 94 (inf.) y 95 (sup.); Algarra Ávila, J.A.: 32 (inf.) y 33; Archila Gallegos, F.: 29 (8); Arrufat Jimenez, M.A.: 68; Aspizua Cantón, R.: 22, 23, 26, 27, 28 (inf.), 29 (1-3, 9-10), 41 (sup. dcha.), 46 (inf.), 50 (inf.), 53 (inf. izda. y dcha.), 54 (sup.) y 99; Atienza Fuerte, A.: 78; Avilés García, C.: 28 (sup.) y 29 (4-7); Barea Azcón, J.M.: 9 (sup. izda.), 10, 38, 39, 47 (inf.), 52, 61 (inf.), 65 (inf. dcha.), 71, 72, 80, 81 (inf. dcha.), 82, 83 (todas excepto sup. dcha.), 86, 90, 91, 92, 93, 94 (sup.) y 95 (inf. izda.); Cabezas Arcas, F.M.: 58 y 59; Cano-Manuel León, F.J.: 61 (sup. dcha.); Castro Ojeda, F.: 9 (sup. centro, sup. dcha. e inf.), 64, 65 (inf. izda.) y 87 (inf. dcha. e izda.); Fajardo Merlo, M.C.: 40, 41 (sup. izda. e inf.), 42 y 43; Fernández Cardenete, J.R.: 89 (sup.); Fundación CEAM: 48 (inf.); Galiana García, M.: 44; García Cardenete, L.: 88 (sup.); García Carmona, C.: 59 (inf.); García Sánchez, S.: 60 (inf.), 62 (inf.), 63 (inf. centro); Granados Torres, J.E.: 63 (sup. izda. y dcha., centro izda. y dcha. e inf. dcha.) y 79; Herrero Lantarón, J.: 32 (sup.); Izquierdo Amaruch, O.: 53 (sup.) y 95 (inf. dcha.); Jiménez Moreno, G.: 25; López Martín, R.: 60 (sup.); López Olvera, J.R.: 63 (inf. izda.); López Onieva, M.R.: 69; López Sanjuan, R.: 81 (sup. dcha. e izda.); Martín Jaramillo, J.: 81 (inf. izda.) y 84 (inf. izda.); Moreno Llorca, R.: 102 (sup.), 103 (sup.), 105, 106, 107 y 108; Muñoz Díaz, J.M.: 48 (sup.), 51 (inf.), 54 (inf.), 56, 57, 66, 67, 74, 75 y 77; Muñoz Pedraza, G.: 37 (dcha.); Olivares Villegas, F.J.: 8, 50 (sup.), 51 (sup.) y 62 (sup.); Otero Pérez, M.: 65 (sup.), 84 (sup. e inf. dcha.) y 85; Pérez Luque, A.J.: 46 (sup.), 47 (sup.), 76, 98, 101, 103 (inf.); Pérez Martínez, C.: 24; Román Sánchez, M.: 79; Rubio Rubio, S.: 45; Sánchez Rojas, C.P.: 70 y 73; Schmaltz, J. MODIS, Rapid Response Team, NASA: 49 (sup); Serrano Ferrón, E.: 61 (sup. izda.); Sofos Naveros, E.: 36 y 37 (izda.); Virgós Cantalapiedra, E.: 83. (sup. dcha.).

© de la presente edición 2012, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Depósito Legal: GR-790-2012

I.S.B.N.: 978-84-92807-78-9

Imprime: Rótulos Studio



Observatorio de Cambio Global Sierra Nevada Metodologías de seguimiento

Febrero 2012



ugr | Universidad
de Granada



iicolab
Laboratorio de Ecología del CEAMA,
Universidad de Granada



> Índice

08 > INTRODUCCIÓN EL OBSERVATORIO DE CAMBIO GLOBAL SIERRA NEVADA: PROGRAMA DE SEGUIMIENTO

14 > 1. RECONSTRUCCIÓN DEL PASADO.

- 16 > 1.1. Evolución de los cambios de uso del territorio: cambios de la cubierta vegetal.
 - 16 > 1.1.1. Cartografía histórica de la vegetación mediante ortofotos.
Navarro González, I.; Pérez-Luque, A.J. & Bonet, F.J.
 - 18 > 1.1.2. Caracterización detallada de formaciones vegetales mediante ortofotografía.
Navarro González, I. & Bonet, F.J.
 - 20 > 1.1.3. Cartografía histórica de la vegetación mediante documentos antiguos.
Navarro González, I.; Pérez-Luque, A.J. & Bonet, F.J.
 - 22 > 1.1.4. Análisis retrospectivo de la gestión forestal.
Aspizua, R. & Bonet, F.J.
- 24 > 1.2. Paleopalinología y paleolimnología.
 - 24 > 1.2.1. Análisis de indicadores paleolimnológicos en las lagunas de Sierra Nevada.
Pérez-Martínez, C. & Jiménez Liébanas, L.
 - 25 > 1.2.2. Reconstrucción de la vegetación a partir de análisis palinológico
Jiménez-Moreno, G.

26 > 2. CLIMATOLOGÍA.

- 28 > 2.1. Red de estaciones meteorológicas multiparamétricas.
Muñoz, J.M. & Aspizua, R.
- 30 > 2.2. Suministro y procesamiento de datos climáticos.
Pérez-Pérez, R. & Reyes Muñoz, P.S.
- 31 > 2.3. Simulaciones climáticas.
Benito, B.M.; Pérez-Pérez, R. & Reyes Muñoz, P.S.

32 > 3. ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS TEMPORALES EN LA CRIOSFERA.

- 34 > 3.1. Seguimiento de la extensión de la cubierta de nieve.
Pérez-Pérez, R. & Bonet, F.J.
- 35 > 3.2. Modelo hidrológico de Sierra Nevada: nieve y caudales.
Herrero, J. & Millares, A.
- 36 > 3.3. Estaciones de seguimiento de nieve in situ.
Algarra Ávila, J. A. & Herrero, J.

38 > 4. SISTEMAS ACUÁTICOS.

- 40 > 4.1. Seguimiento de parámetros físico-químicos y caudales.
Fajardo, M.C.
- 42 > 4.2. Seguimiento de comunidades biológicas.
Fajardo, M.C.
- 44 > 4.3. Seguimiento de las poblaciones de trucha común.
Galiana, M., Rubio, S. y Galindo, F.J.

46 > 5. CAMBIOS EN LA QUÍMICA ATMOSFÉRICA, DEPOSICIÓN DE CONTAMINANTES Y AEROSOLES.

- 48 > 5.1. Seguimiento de la contaminación atmosférica mediante dosímetros pasivos.
Muñoz, J.M.
- 49 > 5.2. Deposición de aerosoles atmosféricos.
Morales-Baquero, R.

50 > 6. EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN PARA LA CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIODIVERSIDAD Y FUNCIÓN ECOLÓGICA.

- 52 > 6.1. Evaluación de la gestión forestal en pinares de repoblación.
Aspizua, R., Bollullos, C. & López, M.R.
- 54 > 6.2. Evaluación de la gestión forestal en encinares y robledales.
Aspizua, R., Muñoz, J.M. & Sánchez, C.P.
- 56 > 6.3. Evaluación de la gestión forestal en enebrales y sabinares.
Muñoz, J.M.
- 58 > 6.4. Seguimiento de la restauración post-incendio.
Bollullos, C., Cabeza Arcas, F.M. & López, M.R.

60 > 7. SEGUIMIENTO DE ENFERMEDADES EMERGENTES EN FAUNA AUTÓCTONA.

- 62 > 7.1. Estado sanitario de las poblaciones de cabra montés y jabalí.
Granados, J.E., Cano-Manuel, F.J. & Fandos, P.



64 > 8. REPERCUSIONES SOBRE LA BIODIVERSIDAD: FENOLOGÍA, TENDENCIAS POBLACIONALES Y CAMBIOS EN LA ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES Y COMUNIDADES.

- 66 > 8.1. Fenología de la floración.
Muñoz, J.M.
- 68 > 8.2. Tendencias poblacionales de flora.
López, M.R.
- 70 > 8.3. Comunidades vegetales de alta montaña: proyecto GLORIA.
Sánchez, C.P.
- 72 > 8.4. Enebral-piornal a lo largo de gradientes de estrés.
Sánchez, C.P.
- 74 > 8.5. Bosques autóctonos y matorrales de media y alta montaña.
Muñoz, J.M.
- 76 > 8.6. Pastos húmedos de alta montaña: borreguiles.
Sánchez, C.P.
- 77 > 8.7. Vegetación de ribera.
Muñoz, J.M.
- 78 > 8.8. Seguimiento de la población de jabalí.
Granados, J.E., Cano-Manuel, F.J. & Fandos, P.
- 79 > 8.9. Seguimiento de la población de cabra montés.
Granados, J.E., Cano-Manuel, F.J. & Fandos, P.
- 80 > 8.10. Micromamíferos.
Barea-Azcón, J.M., Martín-Jaramillo, J. & López, R.
- 82 > 8.11. Mamíferos carnívoros.
Barea-Azcón, J.M., Martín-Jaramillo, J. & López, R.
- 84 > 8.12. Aves rapaces.
Barea-Azcón, J.M., Martín-Jaramillo, J. & López, R.
- 86 > 8.13. Passeriformes y otras aves.
Barea-Azcón, J.M., Martín-Jaramillo, J. & López, R.
- 88 > 8.14. Anfibios.
Benítez, M., Chirrosa, M. & Pleguezuelos, J.M.
- 89 > 8.15. Reptiles.
Caro, J., Fernández-Cardenete, J.R. & Pleguezuelos, J.M.
- 90 > 8.16. Mariposas diurnas.
Barea-Azcón, J.M., Martín-Jaramillo, J. & López, R.
- 92 > 8.17. Artrópodos terrestres de alta montaña.
Barea-Azcón, J.M., Martín-Jaramillo, J. & López, R.
- 94 > 8.18. Procesionaria del pino.
Bollullos, C. & Aspizua, R.
- 96 > 8.19. Modelos de distribución potencial de especies y proyecciones futuras.
Benito, B.M.

98 > 9. PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y FLUJOS DE CARBONO.

100 > 9.1. Evaluación de la productividad de la vegetación mediante teledetección.

Reyes Muñoz, P.S. & Pérez-Pérez, R.

101 > 9.2. Seguimiento de intercambios de CO₂ y vapor de agua a escala de ecosistema.

Serrano-Ortiz, P.; Reverter, B.R. & Sanchez-Cañete, E.P

102 > 10. CARACTERIZACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y SOCIOECONOMÍA.

104 > 10.1. Recopilación de información socioeconómica existente.

Moreno Llorca R.

105 > 10.2. Levantamiento de información socioeconómica.

Moreno Llorca R.

106 > 10.3. Evaluación del servicio de regulación de la erosión en Sierra Nevada.

Moreno Llorca R. & Bonet, F.J.

107 > 10.4. Evaluación del servicio de regulación hídrica en Sierra Nevada.

Moreno Llorca R. & Bonet, F.J.

108 > 10.5. Evaluación de la huella humana en Sierra Nevada.

Moreno Llorca R.; Bonet, F.J. & Pérez-Luque, A.J.

110 > ESTRUCTURA DEL OBSERVATORIO DE CAMBIO GLOBAL SIERRA NEVADA



Introducción

El Observatorio de cambio global Sierra Nevada: Programa de Seguimiento

Generalidades del programa de seguimiento de los efectos del cambio global en Sierra Nevada

El Observatorio de cambio global Sierra Nevada tiene como finalidad última la recopilación de información útil y relevante sobre el funcionamiento de los sistemas ecológicos y socioeconómicos de Sierra Nevada, con objeto de diseñar protocolos de gestión que minimicen los impactos del cambio global en dicha montaña. Para satisfacer este objetivo general, el proyecto se basa en cuatro pilares básicos: un **Programa de Seguimiento** (que recopila datos de los sistemas socioecológicos), un **Sistema de Información**, que permite la adecuada gestión de la información, una serie de mecanismos que posibilitan la transferencia efectiva de los resultados sobre la **Gestión Adaptativa**, y por último una **Estrategia de Divulgación y Comunicación** de los resultados obtenidos. La difusión es sin duda una de las principales señas de identidad del proyecto, puesto que se considera primordial el diseño de mecanismos de gestión que incrementen la capacidad de resistencia y de resiliencia de los sistemas naturales ante los hipotéticos nuevos escenarios.

Este documento contiene descripciones detalladas de todos los protocolos que se han implementado en el programa de seguimiento de Sierra Nevada. Todas ellas nos permiten contar con información básica sobre la estructura y

dinámica de procesos clave que pueden mostrar los impactos del cambio global en nuestra zona de estudio.

El diseño del Programa de Seguimiento del cambio global en Sierra Nevada se ha basado en el marco conceptual y los ámbitos temáticos propuestos por la estrategia GLOCHAMORE (GLObal CHAnge in MOuntain REgions <http://mri.scnatweb.ch/projects/glochamore>), auspiciada por la UNESCO, y en cuya elaboración han participado centenares de expertos de reconocido prestigio (científicos, gestores, técnicos). Así pues, nuestro programa de seguimiento puede ser considerado como una implementación del marco conceptual de GLOCHAMORE en Sierra Nevada. La implementación local de una iniciativa global requirió en primer lugar la recopilación exhaustiva de aquellos protocolos de seguimiento que previamente se estaban realizando en Sierra Nevada. De este modo, buena parte de los protocolos de seguimiento de fauna (cabra montés y jabalí) y flora (especies amenazadas y endémicas de las altas cumbres), han sido incorporados al actual programa de seguimiento. El resultado obtenido son 48 metodologías vinculadas a la toma de datos sobre diversos aspectos relativos a la composición, estructura y función de los sistemas ecológicos nevadenses. Este conjunto de protocolos resulta de sumar los ya existentes (tras un proceso de revisión) y los diseñados expresamente para asumir la filosofía

del proyecto GLOCHAMORE. El proceso de diseño de todas estas metodologías se ha realizado bajo la supervisión de científicos expertos en cada materia.

Para cada uno de los **ámbitos temáticos** propuestos por GLOCHAMORE se definieron metodologías de seguimiento con objeto de evaluar tanto el estado de las funciones ecológicas clave, como la estructura de los principales ecosistemas nevadenses y los posibles impactos derivados del cambio global en Sierra Nevada. También se definieron métodos de seguimiento para caracterizar la actividad humana en Sierra Nevada. Este esquema nos permite cubrir muchos de los aspectos considerados clave por la comunidad científica para evaluar los efectos del cambio global en regiones de montaña. Tanto la caracterización de los ámbitos temáticos de GLOCHAMORE como el diseño de las metodologías asociadas a cada uno de ellos, se basa en el planteamiento de hipótesis científicas relevantes que han de ser abordadas por el programa de seguimiento. Además, cada protocolo de seguimiento está incluido en un modelo conceptual coherente que tiene como base al ecosistema (puede verse un ejemplo aquí: http://sl.ugr.es/usuarios_suelo). De esta forma, nuestro programa de seguimiento puede considerarse como “monitoreo basado en preguntas”. Cada protocolo suministra información sobre una serie de variables ambientales

relacionadas con el ámbito temático en el que se incluye. En total se obtienen datos de unas 130 variables diferentes.

Asimismo, nuestro programa se ha diseñado teniendo en cuenta la gran heterogeneidad **espacial** y diversidad ecológica del macizo montañoso. En consecuencia, el programa de seguimiento cuenta con una jerarquía de **escalas espaciales de captura de datos**. Es decir, la escala o resolución espacial de los datos capturados por todas las metodologías cubren una parte importante de la heterogeneidad espacial de Sierra Nevada. De esta forma contamos con protocolos que toman datos a escala detallada (puntos y transectos), a escala algo más grosera pero con extensión de todo el espacio (píxeles de imágenes de satélite o polígonos de un mapa de vegetación, por ejemplo) y por último a escala de límite administrativo (monte público, término municipal o cuenca hidrográfica). Ade-

más, buena parte de los puntos de muestreo que toman datos a escala más detallada (puntos y transectos) se encuentran agregados espacialmente en lugares con una alta densidad de los mismos que además cuentan con una estación climática multiparamétrica. Estos lugares son denominados **Estaciones de Monitoreo Intensivo**. Pero cada uno de estos protocolos no solo tiene una escala espacial de captura de datos, sino que estos datos pueden ser aplicables en otros ámbitos espaciales diferentes. Por ejemplo, los datos tomados por una estación meteorológica (escala de captura puntual) pueden ser extrapolados mediante diversas técnicas a todo el territorio (extensión completa). Este proceso de interpolación no puede aplicarse a otros muestreos ecológicos, como por ejemplo el seguimiento de aves rapaces. Así, cada protocolo se puede caracterizar también por la extensión de aplicación de los datos que se capturan en el mismo. Algunos protocolos tienen una

extensión puntual, mientras que otros pueden extrapolar sus valores a escalas municipales o a todo el espacio protegido.

Por último nuestro programa de seguimiento incorpora la dimensión **temporal** bajo dos perspectivas diferentes. Por un lado consideramos que es fundamental recopilar información histórica sobre la estructura y dinámica de los ecosistemas nevadenses. La finalidad de esta reconstrucción histórica es conocer el pasado para comprender el presente y tratar de así de pronosticar los futuros escenarios. En este sentido, es importante tener en cuenta la longitud de la serie temporal que hay para cada una de las materias objeto de seguimiento. Destacan la vegetación y los datos climáticos por ser los que tienen una serie temporal más larga. Por otro lado, es muy importante tener en cuenta la periodicidad de captura de datos en cada protocolo. De esta forma, contamos con metodologías





que toman información desde una periodicidad inferior al día (estaciones climáticas) a otras en las que se realizan inventarios anuales o plurianuales (ej. seguimiento de reptiles).

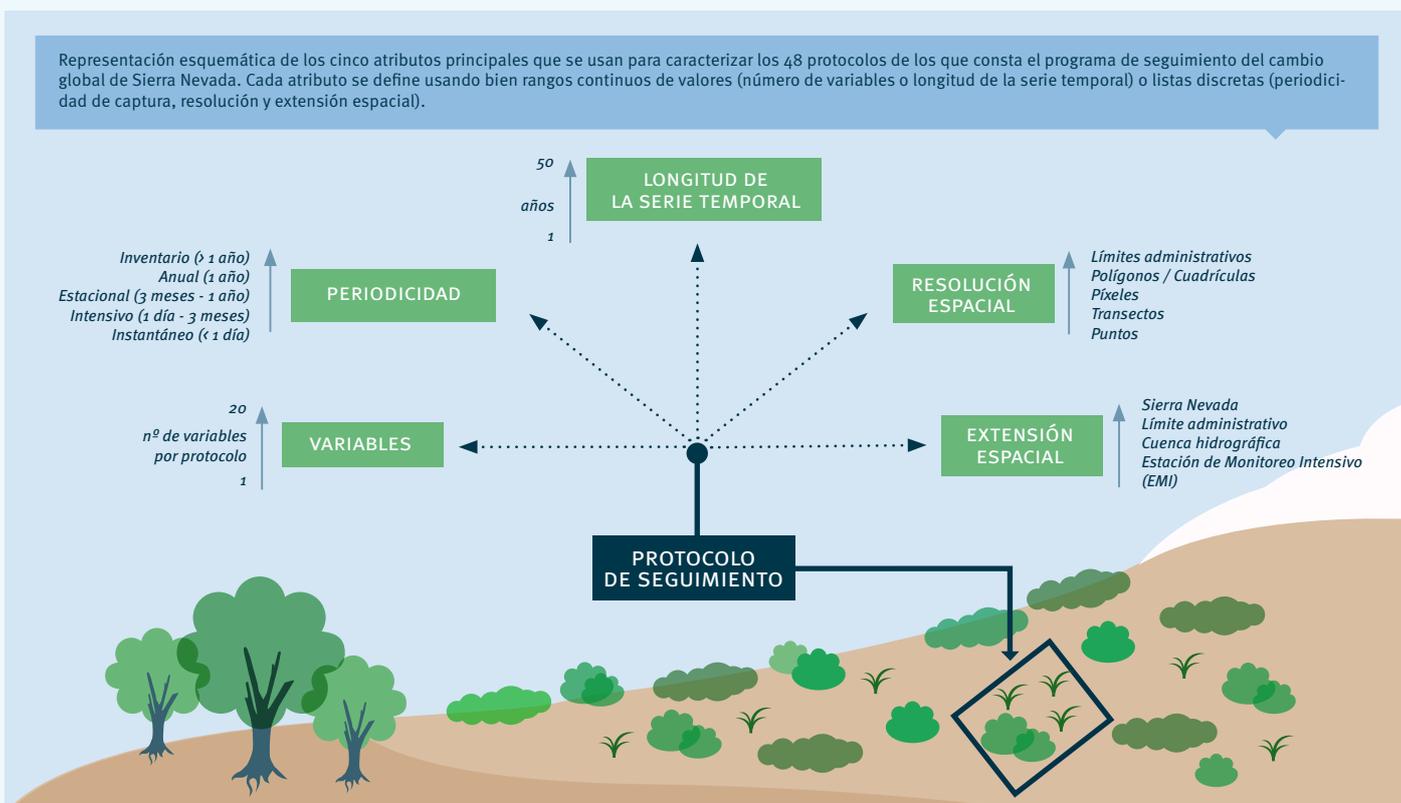
En definitiva, el Programa de Seguimiento de los efectos del cambio global de Sierra Nevada consta de multitud de protocolos que pueden ser descritos atendiendo a una serie de atributos temáticos (ámbito según GLOCHAMORE), espaciales (escala de captura y extensión de aplicación de los datos) y temporales (longitud de la serie temporal y periodicidad de captura).

El siguiente esquema representa de manera sintética los cinco atributos principales que caracterizan cada uno de los 48 protocolos de seguimiento.

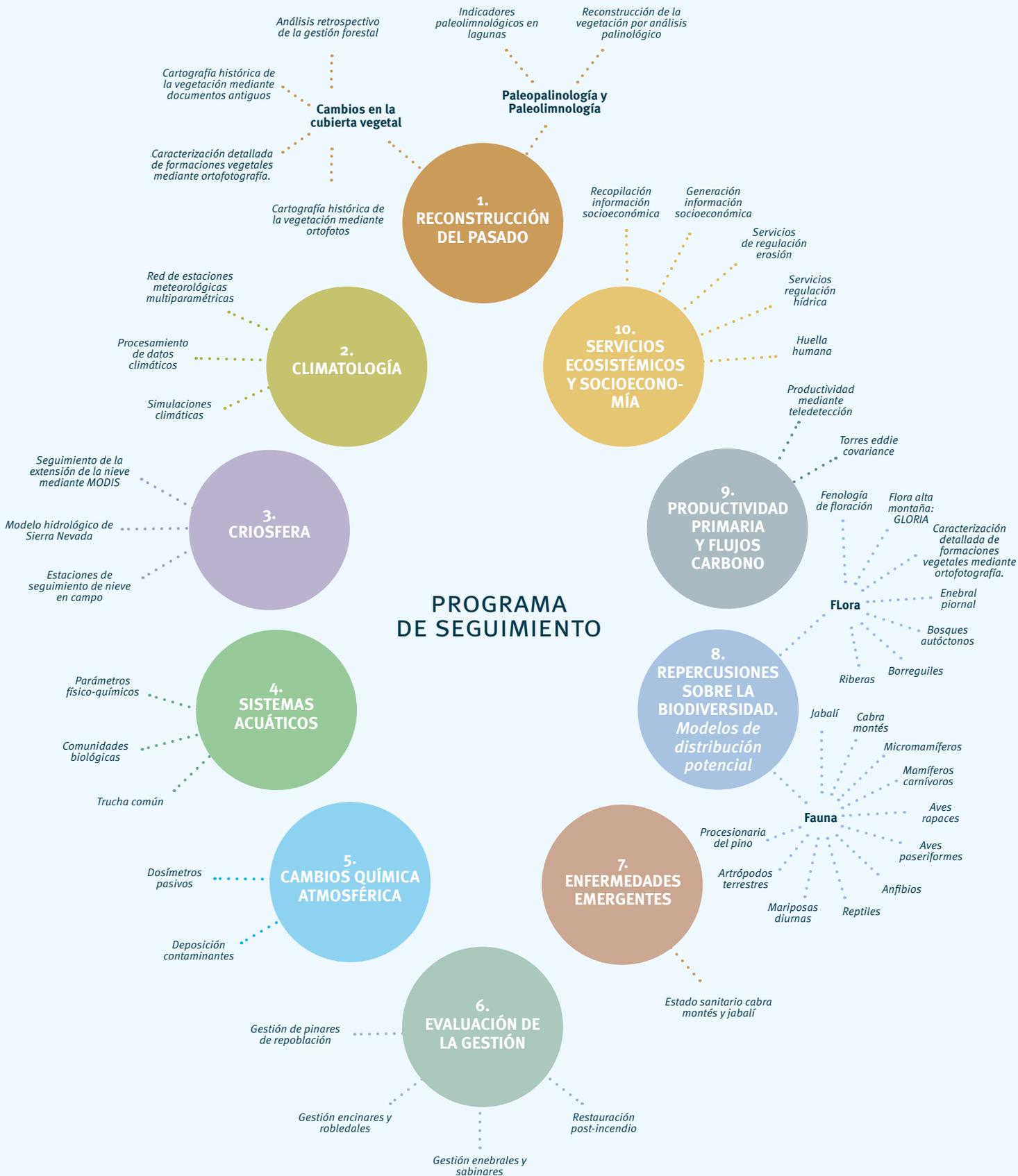
Establecimiento de relaciones con otras redes y proyectos de seguimiento del cambio global.

El Observatorio de Sierra Nevada surge como consecuencia de la confluencia de dos intereses: por un lado los gestores y científicos que desarrollan su trabajo en Sierra Nevada ponen de manifiesto su interés en que el programa de seguimiento que hemos descrito sea una realidad. Al mismo tiempo hay otras iniciativas que surgen de instituciones internacionales y nacionales y que propiciaron la puesta en marcha de este proyecto. La resultante de estas dos tendencias (bottom-up y top-down) es la creación de un proyecto que desarrolla su actividad en un ámbito territorial concreto, pero que pone en práctica metodologías compatibles internacionalmente y que muestra una gran vocación

colaborativa con otras iniciativas similares. Esta vocación se pone de manifiesto con la implicación del Observatorio de Sierra Nevada en el diseño y puesta en marcha de otros proyectos similares tanto a escala regional como nacional. En este sentido destaca nuestra contribución a la creación y consolidación de la Red de Observatorios de Cambio Global en Andalucía. A escala estatal, el Observatorio de Sierra Nevada forma parte de LTER-España (Long Term Ecological Research) y también está implicado en el Programa de Seguimiento de Cambio Global auspiciado por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales (a través de la Fundación Biodiversidad). A escala internacional estamos también implicados en el proyecto EnvEurope (<http://www.enveurope.eu/>) que implica a varios sitios LTER europeos.



PROGRAMA DE SEGUIMIENTO



> Clave para interpretar la ficha de descripción de cada metodología*

Fotografías: pretenden ser un complemento visual a la información expuesta en la ficha. Se incluye una principal y otras secundarias en función del espacio editorial disponible.

Título: se indica el bloque o capítulo en el que se enmarca cada metodología y el número de ficha correspondiente que ocupa dentro de cada bloque temático

1. Objetivos: se establecen los principales objetivos de hipótesis de partida que se pretenden conseguir y testar a través de este seguimiento.

Mapa de situación: en algunos casos se ha incluido un mapa del área de estudio mostrando las zonas donde se desarrollan los seguimientos.

> 8.16 Mariposas diurnas

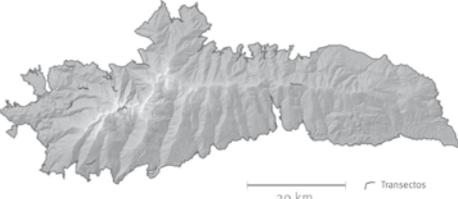
Pericallia apollis nevadensis, vive por encima de los 2.000 metros en la sierra de Sierra Nevada, que es su planta hospedadora.



> Objetivos

Los principales objetivos del seguimiento de mariposas diurnas en Sierra Nevada (BMSSN: *Butterfly Monitoring Scheme de Sierra Nevada*) son: registrar la tendencia poblacional de las especies objeto del seguimiento, registrar los patrones fenológicos de cada especie y los posibles cambios que éstos puedan sufrir con motivo de las modificaciones en la climatología,

identificar variables ambientales relacionadas con la distribución y abundancia de estas especies y, finalmente, establecer un sistema de alertas temprano que permita a los gestores del Parque Natural y del Parque Nacional de Sierra Nevada implementar medidas de gestión adaptativa sobre estas especies y sus ecosistemas.



Pericallia apollis, es un híbrido asociado a las zonas de cambios que se está estudiando para el estudio de los efectos del cambio climático.

90 Observatorio Cambio Global Sierra Nevada: metodologías de seguimiento

Vínculos: se incluyen enlaces a sitios web de referencia en el tema, comenzando por el sitio de la wiki del Observatorio de cambio global de Sierra Nevada donde se aloja lo relativo a esta metodología de trabajo.

2. Método y esfuerzo: se expone de forma concisa el método o los métodos aplicados para lograr los objetivos establecidos y testar las hipótesis de partida.

* Por cuestiones únicamente de espacio, algunas fichas se estructuran en una página y otras en dos.

3. Periodicidad: acoge datos del estilo de la frecuencia con la que se repite cada seguimiento y en algunos casos la antigüedad de las series de datos.

8. REPERCUSIONES SOBRE LA BIODIVERSIDAD

Chromolaichna glaucus es una especie propia de las zonas inferiores de Sierra Nevada. Originalmente puede alcanzar incluso los 2000 m s.n.m., cuando nevaba en las cuerdas sobre los árboles.



> Método y esfuerzo

Se realizan censos de todas las especies de mariposas diurnas (a excepción de las pertenecientes a la Familia Hesperíidae) a lo largo de transectos distribuidos estratégicamente por el área de trabajo: robledales, enebrales, áreas de matorral espinoso y zonas de cumbres. La metodología consiste en la realización de 10 recorridos de aproximadamente 2,5 km cada uno entre los meses de mayo y septiembre en los que se contabilizan todos imagos de las especies objeto de estudio (Familias Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae y Lycaenidae). Estos recorridos se procuran realizar una vez por semana y tan sólo se contabilizan los ejemplares que se sitúan a una distancia de 5 m por delante y en una banda de 2,5 m a los lados del observador. Se capturan los ejemplares de difícil identificación, liberándolos posteriormente o postergando su identificación al estudio más detallado de caracteres morfológicos en los casos que así lo requieran. Solo se tendrán en cuenta los recorridos realizados bajo unas condiciones climáticas apropiadas: temperatura superior a 14°C, cobertura de nubes inferior al 60% y fuerza del viento menor a 5 en la escala de Beaufort.

Las colonias de especies con poblaciones escasas y aisladas requieren un esfuerzo específico de seguimiento. Éste es el caso de elementos de gran interés para el seguimiento del cambio global que raramente son detectados en los transectos de censo prefijados. En estos casos se dedica un esfuerzo especial al cartografiado de colonias y al desarrollo de modelos de nicho ecológico (ver ficha 8.19) que nos permitan orientar mejor la búsqueda de nuevas localidades, la identificación de sus limitantes ecológicos a escala de paisaje y el pronóstico de la evolución de su distribución en un contexto de cambio global según los escenarios previstos para Sierra Nevada.



La mariposa Agriades julii es una de los endemismos de Sierra Nevada más emblemáticos. Sus orugas se alimentan exclusivamente de una endemista, la gramínea Androsace villosa subsp. androsensis.

> Periodicidad

Este seguimiento se lleva a cabo anualmente. Comenzó en 2008 con el seguimiento de algunas especies concretas y en 2009 se llevó a cabo la misma metodología. En 2010 se incorporaron el resto de las especies que actualmente constituyen el BMS de Sierra Nevada.

VARIABLES	
Variable	Unidad
Abundancia	nº Individuos
Densidad	nº Individuos/ha
Densidad relativa	% tramos positivos

> Bibliografía

Settele, J., Shreeve, T., Kovricka, M. y van Dyck, H. *Ecology of Butterflies in Europe*. Cambridge University Press. 526 pp.

Sierfanescu, C., Pelluelas, J., Fiefla, L. 2009. Effects of climate change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Glob. Change Biol.*, 9: 1494-1506.

Wilson, R.J., Gutiérrez, D., Gutiérrez, J., Martínez, D., Agudo, R. y Monserrat, V.J. 2005. Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecol. Lett.*, 8 (11): 1138-1146.

> Vínculos

http://si.ugr.es/obsnev_mariposas

<http://www.ukbms.org/>

<http://www.catalanbms.org/>

Observatorio Cambio Global Sierra Nevada 91

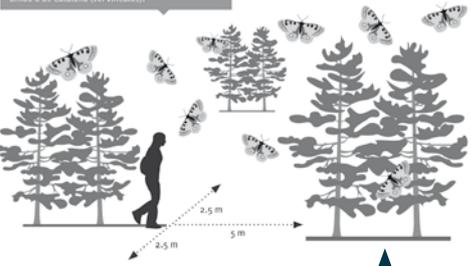


Tabla de variables: recoge algunas de las principales variables que se toman en cada metodología. También incluye las unidades en que se miden dichas variables. Las unidades se expresan según el S.I.

Bibliografía: se aportan referencias de carácter general, principalmente revisiones.

Esquemas: en algunos casos se incluyen esquemas como apoyo o complemento visual a lo expuesto en el texto.

Reconstrucción del pasado.

1. Evolución de los cambios de uso del territorio: cambios de la cubierta vegetal.
2. Paleopalinología y paleolimnología.

El cambio de uso del suelo (deforestación para cultivos y pastos, reforestaciones, extracción de leñas, etc.) es uno de los principales motores del cambio global, ya que la actividad humana altera en mayor o menor medida la cubierta vegetal. De hecho, se estima que el cambio de uso del suelo es la segunda causa de pérdida de biodiversidad a escala planetaria, y la primera en la Cuenca Mediterránea. El cambio climático y los cambios de uso del suelo se combinan y nos permiten explicar la distribución y estructura de las formaciones vegetales en el presente. Por ello es importante conocer con detalle cuáles son los efectos de ambos motores del cambio en la cubierta vegetal: usos del suelo y clima pasado. Para ello es necesario diseñar metodologías que nos permitan **reconstruir una serie temporal lo más larga posible mostrando los cambios de uso del suelo**, y los efectos del cambio climático sobre las formaciones vegetales. En este

capítulo mostramos las metodologías que se han diseñado e implementado en el programa de seguimiento de Sierra Nevada en relación a los cambios en la cubierta vegetal. En términos generales podemos agruparlas en función de la escala temporal: **caracterización de la vegetación a escala de los últimos 2-3 siglos y composición de las formaciones a escalas de miles de años.**

Para caracterizar el efecto de los cambios de uso del suelo en los últimos 2-3 siglos es fundamental contar con fuentes documentales en forma de textos, fotografías o dibujos. En el programa de seguimiento de Sierra Nevada se aplican diversas metodologías en función del tipo de información disponible.

El empleo de **fotografías aéreas para la caracterización de cambios en la vegetación** es un

método ampliamente utilizado en el contexto nacional e internacional. La clave de esta técnica no es sólo describir la vegetación en distintos momentos temporales, sino realizar comparaciones en las distintas fechas para observar posibles cambios. El vuelo americano de 1956 supone la base de referencia para analizar estos cambios. Gracias a estas fotografías se pueden **obtener mapas de vegetación y de usos del suelo mediante fotointerpretación.** Esta primera metodología suministra una visión general a una escala 1:10.000 de la distribución espacial de las formaciones vegetales. Pero hay muchas situaciones en las que es necesario contar con información más detallada sobre ciertas formaciones especialmente interesantes (relictas, en su límite de distribución, escaso éxito reproductor, etc.). En estos casos se aplican otras metodologías, también basadas en fotografías aéreas, que consisten en **delimitar dichas forma-**

ciones a escala de detalle y en caracterizar su estructura interna mediante transectos y conteo de individuos. Además, gracias a la realización de transectos altitudinales, es posible detectar posibles desplazamientos a lo largo de dicho gradiente.

Otra interesante fuente de información para caracterizar el estado de la vegetación en el pasado son los **documentos gráficos antiguos** (dibujos, esquemas, croquis, mapas, etc.) En este sentido contamos con información desde mediados del siglo XVIII; la cartografía descriptiva del Departamento de la Marina de Cádiz de las provincias de Motril y Almería (1763) o los croquis del botánico Rojas Clemente (1805) son algunos ejemplos. Además, existen otro tipo de documentos antiguos como proyectos de restauración hidrológica forestal o fotografías de paisajes rurales que, aun siendo de fechas posteriores a 1956, aportan información comple-

mentaria para la interpretación del estado de la vegetación en el pasado reciente.

Hay un último factor importante que ha de ser tenido en cuenta en las últimas décadas si queremos caracterizar con detalle los cambios de uso del suelo. Se trata de las actuaciones forestales en el territorio. Durante la última mitad del siglo XX se realizaron en Sierra Nevada multitud de actuaciones forestales (replantaciones, tratamientos selvícolas, rozas de matorral, etc.) cuyo objetivo era el de restaurar algunas funciones de la cubierta vegetal (freno a la erosión fundamentalmente). La última metodología que presentamos se encarga de **recopilar información sobre estas actuaciones forestales**, con objeto de evaluar en qué medida fueron eficaces y realizar un seguimiento de las mismas.

A escalas temporales mucho más amplias no es fácil detectar los cambios de uso provocados

por la actividad humana. Pero sí son visibles los impactos de los cambios en el clima. Para realizar un análisis retrospectivo más lejano en el tiempo de lo que nos ofrecen las fotografías aéreas y documentos escritos, hemos de recurrir a otras metodologías muy diferentes. **La paleopalinología y paleolimnología suministran instrumentos relevantes para conocer cómo era la cubierta vegetal en el pasado más remoto.** Gracias a los restos de polen y esporas que quedan atrapados en los sedimentos de lagos y turberas podemos reconstruir de manera aproximada la composición de las comunidades vegetales que vivían en los alrededores de dichos sedimentos hace miles de años. También es posible reconstruir cuáles eran las condiciones climáticas dominantes a partir del análisis de los sedimentos de algas y esporas existentes en el fondo de las lagunas de Sierra Nevada.

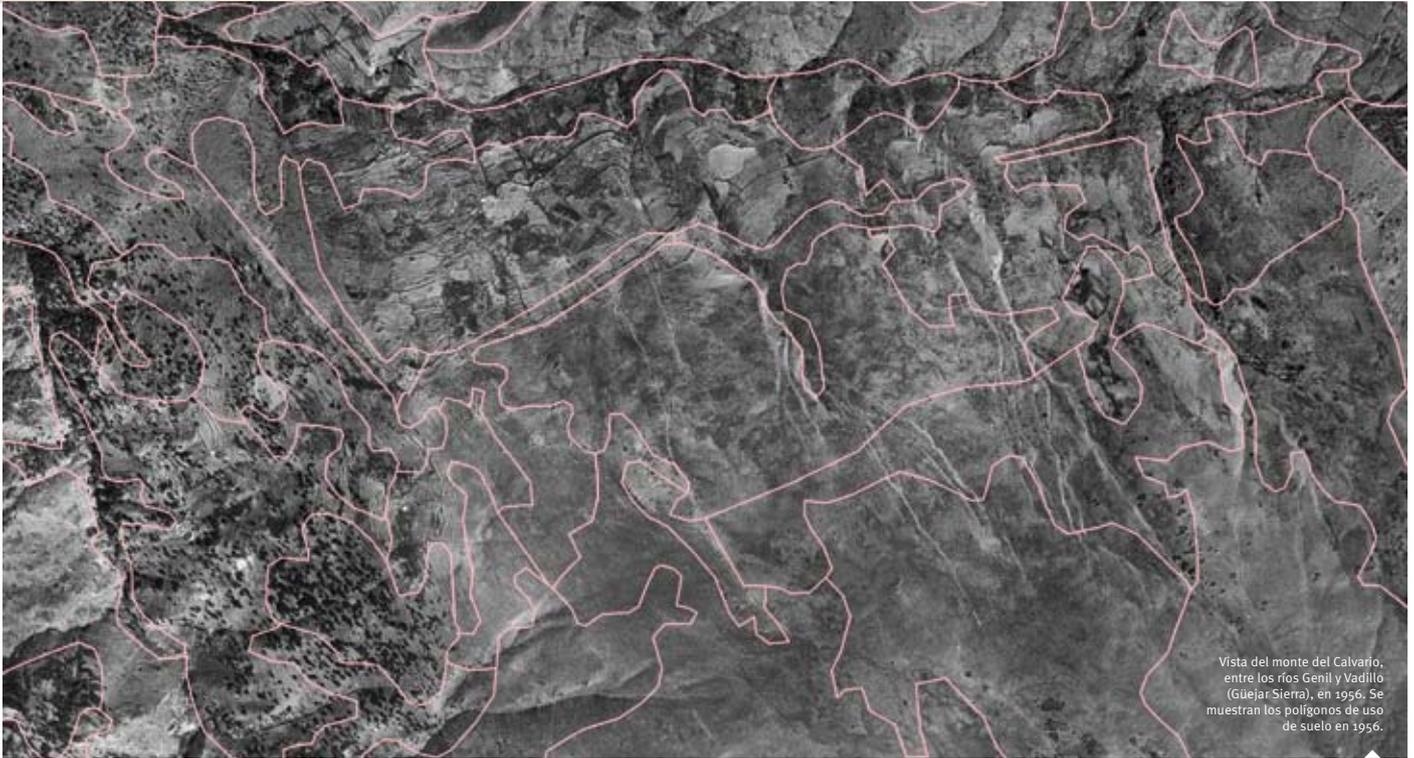
Reproducción de la lámina "Carretera de Granada a la de Laujar Órgiva por el pico del Veleta". 1920 ca. Manuel Torres Molina.
Fuente: Archivo y Biblioteca de la Casa de los Tiros



> Bibliografía

- Dale, V.H. 1997. The relationship between land-use change and climate change. *Ecol. Appl.*, 7: 753-769.
Swetnam, T. W., Allen, C. D., y Betancourt, J. L. 1999. Applied historical ecology: using the past to manage for the future. *Ecol. Appl.*, 9(4): 1189-1206.

> 1.1.1 Cartografía histórica de la vegetación mediante ortofotos



> Objetivos

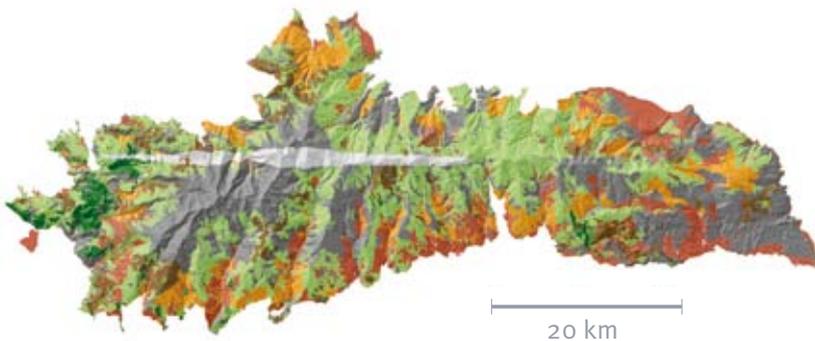
Se está recopilando información espacial sobre la vegetación de Sierra Nevada en el pasado mediante fotografías aéreas antiguas (1956) y a un nivel de detalle comparable con el mapa de vegetación actual (1:10.000). Esto permite estudiar patrones de cambio de uso del territorio y de cubiertas vegetales. Además el proceso de generación del mapa permite identificar áreas singulares en las que se observan procesos ecológicos de especial interés para el estudio del cambio global.

> Método y esfuerzo

Consiste en la reinterpretación de la versión más actual del mapa de vegetación 1.10.000 sobre la ortofotografía de 1956¹. Se llevan a cabo revisiones geométricas y de atributos, asignando a cada polígono las variables fotointerpretadas en 1956. La escala de trabajo es 1:10.000. Utilizando las herramientas de edición SIG adecuadas se revisan más de 35.000 polígonos. También se actualizan algunos polígonos del mapa de vegetación actual en los que se detectan errores. Toda la información generada se integra en una base de datos geográfica

normalizada y compatible con los modelos de datos del Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE) y la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM).

El mapa de vegetación de 1956 a escala de detalle de Sierra Nevada permite: realizar análisis diacrónicos de la cubierta vegetal y usos del suelo, así como detectar procesos ecológicos como migraciones altitudinales, colonización de hábitats degradados, etc.



Mapa de vegetación de 1956 a escala 1:25.000. Con esta metodología se actualiza esta versión del mapa a una escala de trabajo 1:10.000

- Coníferas
- Cultivos
- Matorral denso
- Matorral disperso
- Quercíneas
- Zonas con escasa vegetación (pastos, canchales)

> Periodicidad

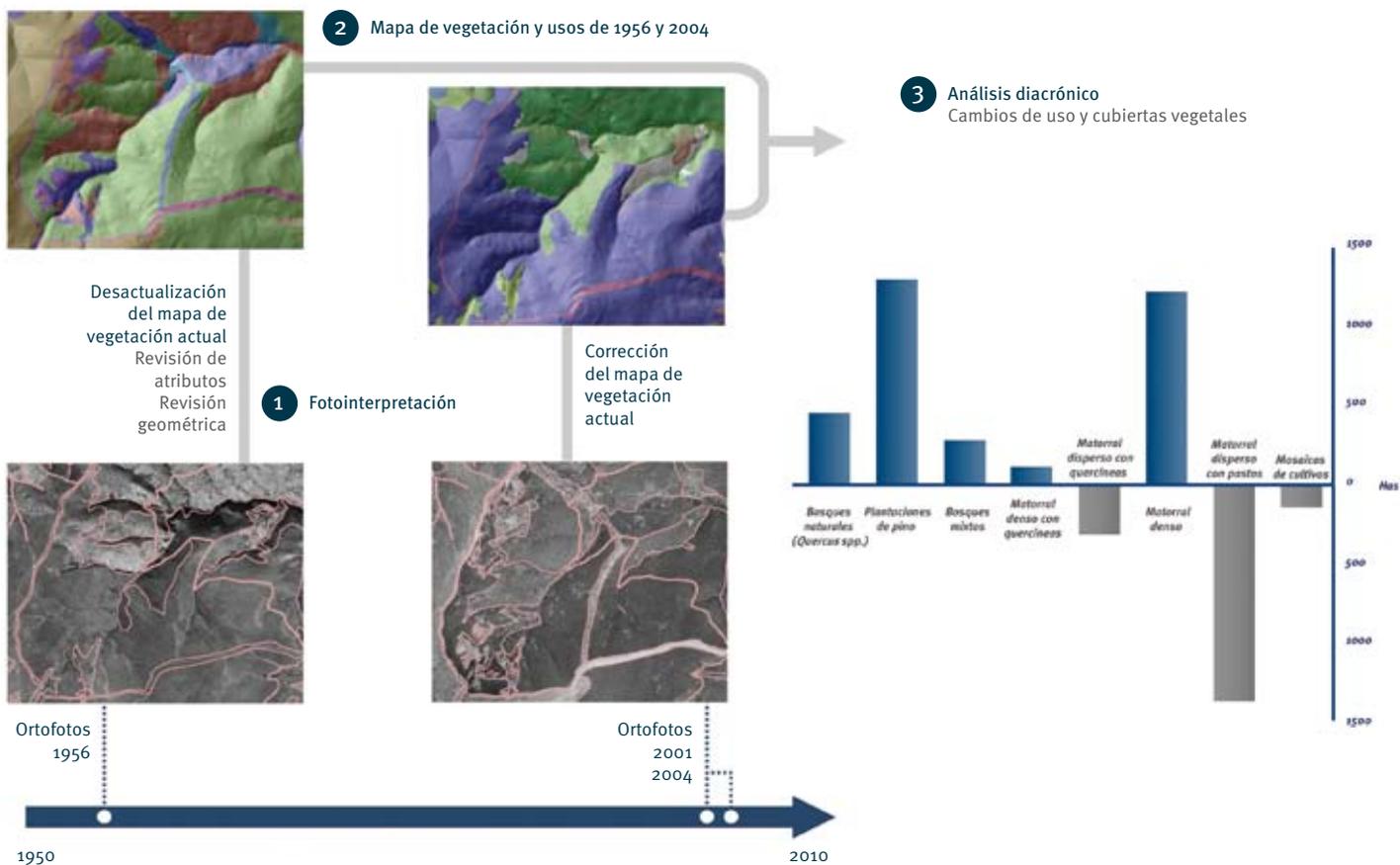
La periodicidad con la que se puede generar este tipo de información depende de las fuentes de partida disponibles. En la actualidad

se cuenta con ortofotos de Sierra Nevada de calidad suficiente para las fechas: 1956, 1977, 1984, 1998, 2001, 2004, 2007 y 2009.

VARIABLES

Variable	Unidad
Tipo de cubierta vegetal/ uso del suelo	clases SIOSE
Cobertura arbórea	% recubrimiento
Cobertura arbustiva	% recubrimiento
Cobertura herbácea	% recubrimiento
Cobertura suelo desnudo	% recubrimiento
Especie principal	clases SIOSE

Esquema metodológico del análisis de los cambios en la vegetación mediante ortofotos



> Bibliografía

Consejería de Medio Ambiente 2007. *Guía técnica del Mapa de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo de Andalucía 1:25.000*. Red de Información Ambiental, Junta de Andalucía. 250 pp.

Molero Mesa, J., Pérez Raya, F., López Nieto, J.M., El Aallali, A. y Hita Fernández, J.A. 2001. *Cartografía y evaluación de la vegetación del Parque Natural de Sierra Nevada*. Consejería de Medio Ambiente. 230 pp.

Navarro González, I. y Bonet García, F.J. 2009. Caracterización de la evolución histórica de la cubierta vegetal y los usos del suelo de Sierra Nevada en un contexto de cambio global. En: *IX Congreso Nacional de la Asociación Española de Ecología Terrestre: La dimensión ecológica del desarrollo sostenible: Ecología, del conocimiento a la aplicación*. Úbeda, 18-22 Octubre 2009.

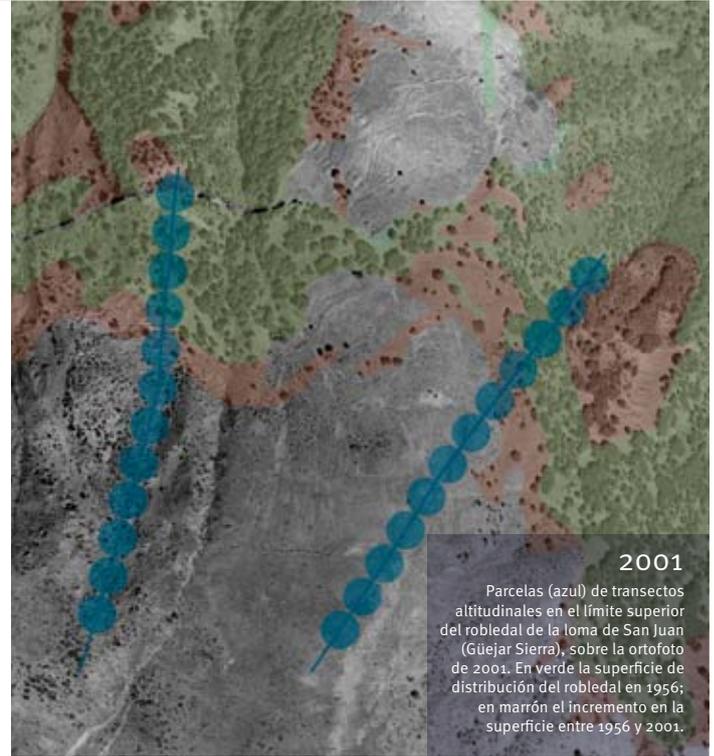
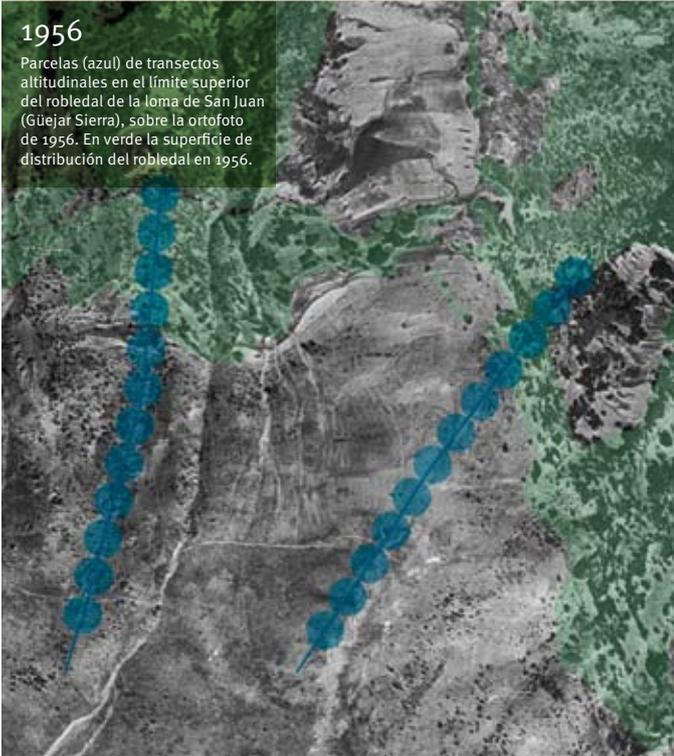
> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_usos
http://sl.ugr.es/obsnev_ortofotos

➤ 1.1.2 Caracterización detallada de formaciones mediante ortofotografía

1956

Parcelas (azul) de transectos altitudinales en el límite superior del robleal de la loma de San Juan (Güejar Sierra), sobre la ortofoto de 1956. En verde la superficie de distribución del robleal en 1956.



2001

Parcelas (azul) de transectos altitudinales en el límite superior del robleal de la loma de San Juan (Güejar Sierra), sobre la ortofoto de 2001. En verde la superficie de distribución del robleal en 1956; en marrón el incremento en la superficie entre 1956 y 2001.

➤ Objetivos

El objetivo de esta metodología es caracterizar de forma detallada los cambios en las principales formaciones vegetales de Sierra Nevada. Concretamente se pretende cuantificar las variaciones temporales en la densidad y grado de cobertura de las principales especies en relación con la altitud.

➤ Periodicidad

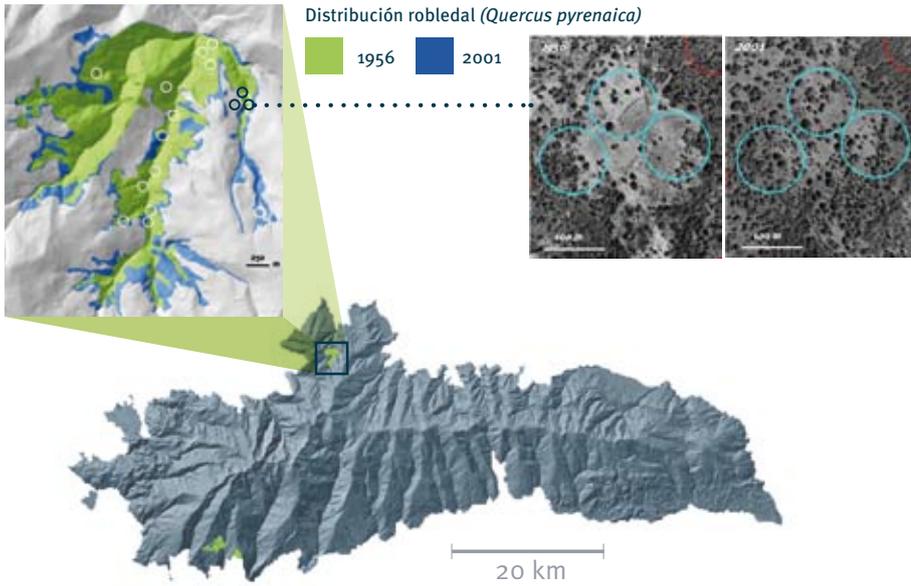
La periodicidad con la que se puede generar este tipo de información depende de las fuentes de partida disponibles. En la actualidad se cuenta con ortofotos de Sierra Nevada de calidad suficiente para las fechas: 1956, 1977, 1984, 1998, 2001, 2004, 2007 y 2009.

➤ Método y esfuerzo

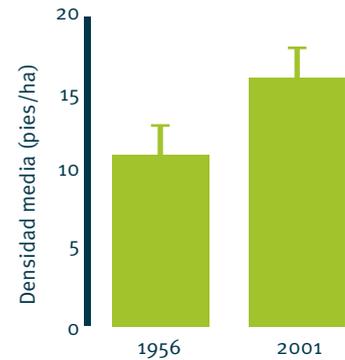
La delimitación detallada de las formaciones vegetales se realiza sobre fotografías aéreas ortorectificadas de distinta fecha. Para ello las ortofotos se integran en un sistema de información junto con otras capas de información como el mapa de vegetación actual de Sierra Nevada y el mapa de 1956, las cuales son utilizadas como referencia para la delimitación. La escala de trabajo varía entre 1:5.000 y 1:8.000 dependiendo de la formación. Se considera 'límite' de la formación aquel que enmarca una cobertura de la especie o especies principales mayor o igual a 5% siempre que exista una continuidad espacial.

Seguidamente se seleccionan algunas zonas dentro del área de distribución de la formación, sobre las que realizar comparaciones entre fechas. Para ello se atiende tanto a la existencia de datos como a la calidad de los mismos para la fotointerpretación. En estas zonas preseleccionadas se distribuyen aleatoriamente una serie de parcelas circulares de 1 ha en las cuales se lleva a cabo un conteo de individuos de la especie principal así como una estimación de la cobertura de la misma para las distintas fechas.

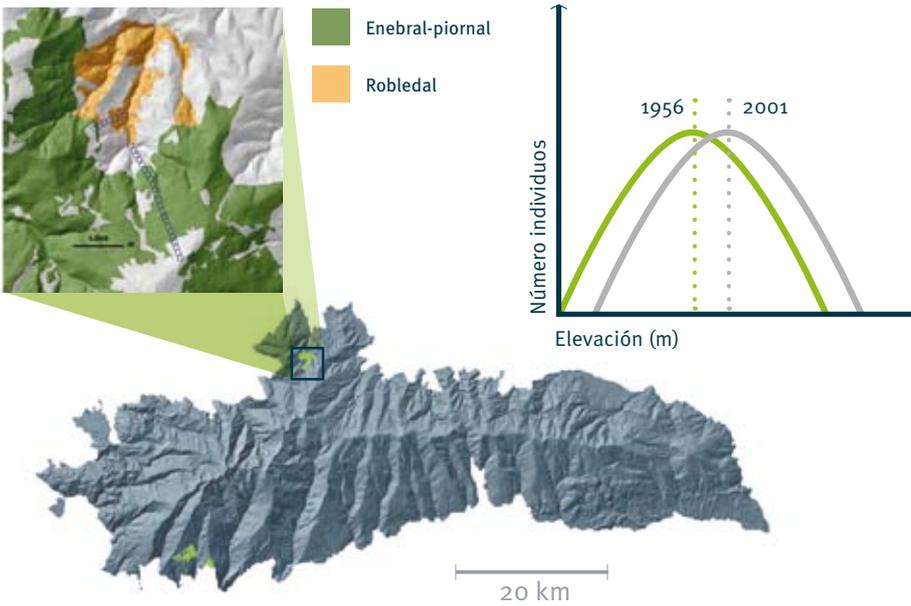
Por otro lado, se llevan a cabo una serie de transectos mediante fotointerpretación según un gradiente altitudinal. Sobre cada transecto se trazan círculos tangentes abarcando el rango de distribución altitudinal de robleales y enebrales (1100 m hasta 2700 m). El relieve y la distribución de las formaciones en cada subcuenca específica condicionan la trayectoria y tamaño de los transectos. El tamaño de las parcelas es de 30 m de radio por considerarse un tamaño adecuado para poder realizar la fotointerpretación de las especies sobre la foto de 1956 (base de referencia), teniendo en cuenta el tipo de vegetación así como la calidad de la foto. En estas parcelas se realiza la fotointerpretación registrando las variables de interés para cada fecha. La escala de trabajo varía entre 1:3.000 y 1:5.000 dependiendo de la formación y la calidad de la foto en esa zona. La altitud media de cada parcela se asigna a partir del modelo digital de elevaciones.



Cambio en la distribución y densidad media del robleal de Camarate (Lugros) entre 1956 y 2001. Ubicación de parcelas aleatorias para la realización de conteos.



Ubicación de transectos altitudinales en el robleal y enebroal de Camarate (Lugros). Cambios esperados en el número de individuos respecto a la altitud, entre 1956 y 2001.



VARIABLES

Variable	Unidad
Área de distribución del robleal	ha
Área de distribución del enebroal-piornal	ha
Área de distribución del pino silvestre	ha
Densidad media de robles	pies/ha
Densidad media de enebros	pies/ha
Densidad media de pino silvestre	pies/ha
Cobertura media de robles	% recubrimiento
Cobertura media de enebros	% recubrimiento
Cobertura media de pino silvestre	% recubrimiento
Densidad de robles por cota altimétrica	pies/ha
Densidad de enebros por cota altimétrica	pies/ha
Cobertura de robles por cota altimétrica	% recubrimiento
Cobertura enebros por cota altimétrica	% recubrimiento

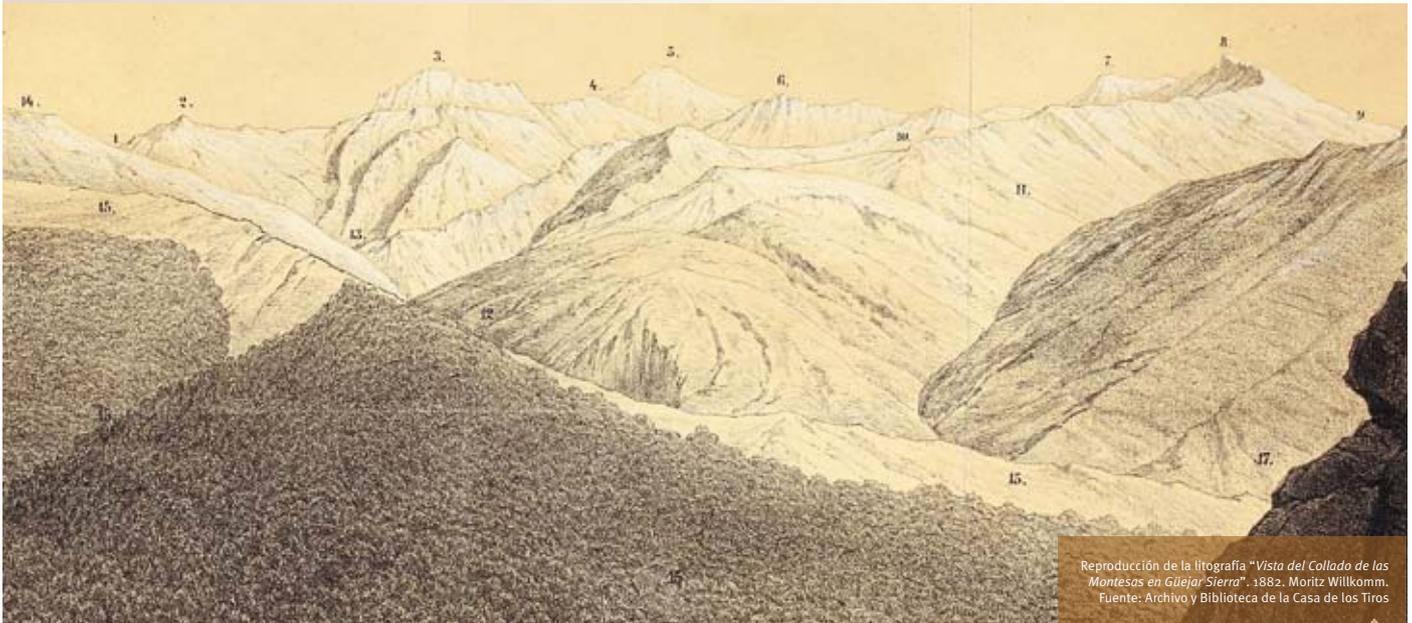
> Bibliografía

- Allen, C.D. y Breshears, D.D. 1998. Drought-induced shift of a forest-woodland ecotone: Rapid landscape response to climate variation. *PNAS*, 95 (25): 14839–14842
- Navarro González, I. y Bonet García, F.J. 2010. Vegetation cover changes in Sierra Nevada mountains (Spain) during the past 50 years and relation to land use and climate change. p. 53. En: *2ª International GMBA-DIVERSITAS Conference "Functional significance of mountain biodiversity"*. Chandolin, Switzerland. 27 - 30 Jul. Conference abstracts.
- Sanz-Elorza, M., Dana, E., González, A. y Sobrino, E. 2003. Changes in the high-mountain vegetation of the central Iberian Peninsula as a probable sign of global warming. *Ann. Bot.*, 92: 273–280.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_usos

➤ 1.1.3 Cartografía histórica de la vegetación mediante documentos antiguos



Reproducción de la litografía "Vista del Collado de las Montañas en Guejar Sierra", 1882. Moritz Willkomm. Fuente: Archivo y Biblioteca de la Casa de los Tíros

- 1 Pucoto de Vacares.
- 2 Cerro de Vacares.
- 3 Cerro de Alcayaba.
- 4 Cerro de la Cubdera.
- 5 Cumbre de Malhacén.
- 6 Cerro de Tajos altos.
- 7 Cerro de los Marhos.
- 8 Picacho de Veleta und Cerral de Veleta.

Ansicht von Canton de Montesas bei Guejar (von der Nordseite der Hochgebirgskette.)

- 9 Collado de Veleta.
- 10 Barranco de Culinon.
- 11 Barranco de S. Juan.
- 12 Barranco de Veleta.
- 13 Barranco del Real.
- 14 Cerro del Calvacio.
- 15 Loma und Dehesa de Burrola.
- 16 Thal des Maydena.
- 17 Thal des Jentil.

➤ Objetivos

Obtener información espacial del estado de la vegetación de Sierra Nevada en el pasado, ampliando la serie temporal todo lo posible según los archivos históricos existentes.

➤ Método y esfuerzo

El método de trabajo consiste en la búsqueda y recopilación de documentos antiguos de diferentes características y fechas a través de los cuales se puede obtener información del estado de la vegetación en una zona concreta de Sierra Nevada en el pasado. Existen documentos gráficos de diferente tipo como cartografías descriptivas, croquis, fotografías, cuadros, mapas de proyectos de restauración forestal, etc.¹ Una vez seleccionados los documentos apropiados, con información relevante y georreferenciable, se procede a la localización e interpretación sobre el ortofotomapa correspondiente según la fecha. En el caso de fechas anteriores a la existencia de fotos aéreas se utiliza las ortofotos de 1956 y 2001 como bases de referencia para la digitalización. Se elaboran panorámicas tridimensionales y se emplean herramientas de fotointerpretación en 3D que facilitan el proceso de interpretación ante la escasez de referencias visuales. Se delimitan los polígonos de las formaciones vegetales interpretadas y se asignan los atributos necesarios para su caracterización. Aunque se trata de información parcial es importante georreferenciarla y almacenarla en una base de datos. Esto permite el análisis

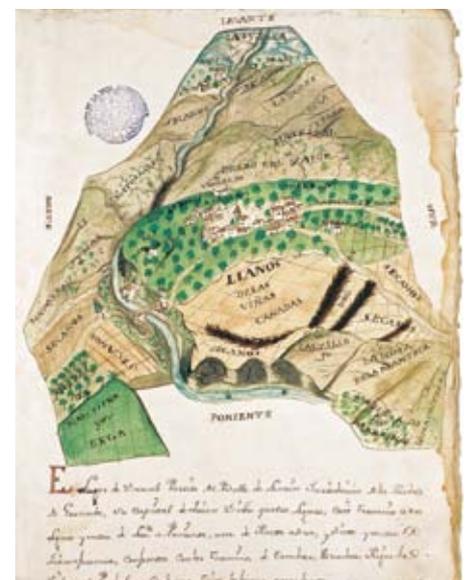
diacrónico de esas zonas con la cartografía de usos del suelo y vegetación actual y de fechas intermedias, pudiendo obtener información de interés sobre la evolución en los usos del territorio y la vegetación desde que se dispone de información documental.

➤ Periodicidad

La periodicidad en la obtención de información depende de la existencia de fuentes documentales accesibles y georreferenciables. Algunas fechas para las que existen documentos previos a 1956 son: 1753, 1763, 1805, 1932 o 1944.

VARIABLES

Variable	Unidad
Tipo de cubierta vegetal/uso del suelo	clase SIOSE
Superficie de distribución de la cubierta vegetal	ha

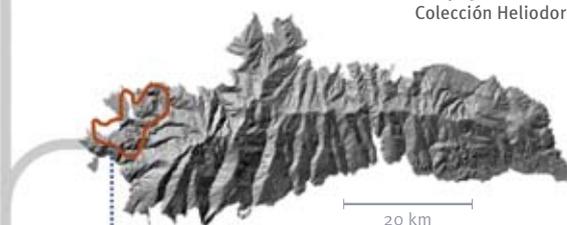


Reproducción del "Croquis de Durcal. Catastro de Ensenada". 1753-1758 Fuente: Archivo Histórico Provincial de Granada

Esquema metodológico

1905 Sierra Nevada. Isidoro Marín
Colección Heliodoro Fernández-Nieto

1 Recopilación de documentos históricos



2 Localización de la zona del documento histórico



Digitalización de las zonas interpretadas sin vegetación en el documento histórico

Utilidad para comparación con el uso del suelo en la actualidad y en 1956

3 Fotointerpretación 3D

> Bibliografía

- Badía Miró, M. y Rodríguez Valle, F. 2005. Una nueva metodología para la reconstrucción de la evolución histórica del paisaje agrario. *GeoFocus*, 5: 69–78.
- Fernández del Castillo, T., Delgado García, J., Cardenal Escarcena, F. J., Jiménez Peralvarez, J., Fernández Oliveras, P. y Irigaray Fernández, C. 2006. Generación de una base de datos de movimiento de ladera mediante técnicas de fotogrametría digital en la Sierra de la Contraviesa (Granada). Pp. 799-814 En: *Actas del XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*. Granada, Sep. 2006.
- Gómez Ortiz, A., Milheiro Santos, B. y Serrano Giné, D. 2008. Nieves, hielos y aguas en los paisajes de Sierra Nevada. El interés de la información gráfica de los libros de época. *Cuadernos de investigación geográfica*, 34: 101–118.

> Vínculos

- http://sl.ugr.es/obsnev_usos
<http://www.lucesdesulayr.es/>

¹Exposición Luces de Sulayr. Cinco siglos en la imagen de Sierra Nevada. Consejería de Cultura. Junta de Andalucía.

> 1.1.4 Análisis retrospectivo de la gestión forestal

Aspecto del robleal de San Jerónimo a principios del invierno, Granada.



> Objetivos

El principal objetivo es realizar una revisión de algunas de las actuaciones de gestión forestal más representativas llevadas a cabo en Sierra Nevada en la última década, tratando de identificar los efectos de dichas actuaciones sobre el estado de los ecosistemas antes y después de los trabajos. Se trata, en definitiva, de llevar a cabo un trabajo de recopilación de la “memoria de la gestión forestal” realizada en Sierra Nevada.

> Método y esfuerzo

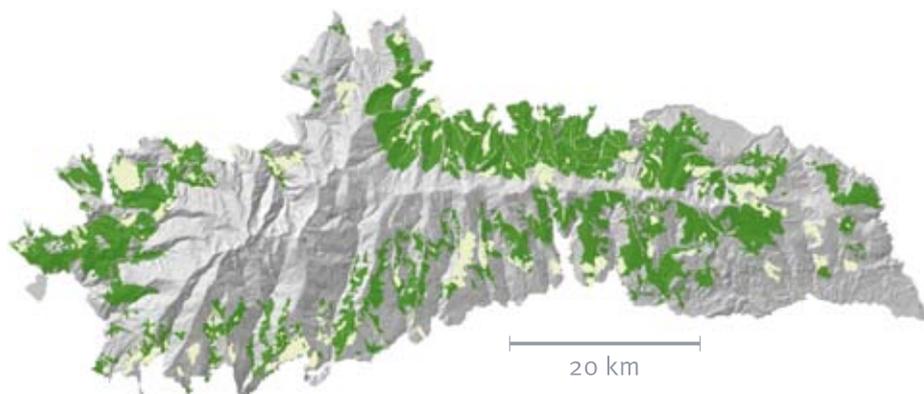
La puesta en marcha de esta metodología de seguimiento implica las siguientes etapas:

1. Recopilación y localización en el espacio de todas las actuaciones llevadas a cabo sobre las masas forestales de los Parques Nacional y Natural de Sierra Nevada a partir de 1999. Todas las actuaciones se digitalizan y se incluyen en una base de datos geográfica que contempla además la fecha de ejecución, proyecto que las

financió y breve descripción de las mismas. Para ello se toma como base una recopilación ya existente, actualizándose con los proyectos realizados con posterioridad a esta recopilación. Mediante consultas a Directores de Obra y Agentes de Medio Ambiente implicados se incorporan posibles modificaciones realizadas en la fase de ejecución de los trabajos por imprevistos surgidos con posterioridad a la fase de redacción.

2. Recopilación de la información que permita realizar una descripción del estado de la masa en diferentes momentos del periodo de estudio. Entre otras fuentes de datos, se tendrán en cuenta:

- Inventario Forestal Nacional.
- Red de parcelas del Sistema Paneuropeo para el Seguimiento Intensivo y Continuo de los Ecosistemas Forestales (Red CE de Nivel II).
- Inventario de caracterización para la naturalización de las masas arboladas del Parque Nacional de Sierra Nevada.
- Inventarios del estado natural de las diferentes ordenaciones realizadas en diversas comarcas de Sierra Nevada (Marquesado, Alpujarra Oriental y Alpujarra Occidental).



- Rodales de actuaciones forestales 1990-2008
- Superficie ocupada por repoblaciones en 1999

- Otros posibles inventarios forestales existentes.

3. Selección de rodales piloto para el análisis retrospectivo de la evolución seguida por la masa como consecuencia de la gestión realizada en ella. Estos rodales piloto se seleccionan atendiendo, por un lado, a la disponibilidad de una información fiable y de calidad referida tanto a las actuaciones acometidas como a la situación de la masa antes y después de las mismas y, por otro, a su representatividad

respecto al conjunto de las masas arboladas de Sierra Nevada. En ellos se realiza un inventario forestal completo (dasométrico, epidemiométrico y florístico) para evaluar la evolución experimentada por la masa a lo largo del periodo de tiempo estudiado. Se estudian variaciones tanto estructurales (variaciones en la estructura vertical y horizontal, variaciones en diversidad tanto florística como faunística, etc.) como funcionales (recuperación de la biodiversidad, capacidad productiva y capacidad de captura de carbono de la masa, entre otras).

Pinar de repoblación en la comarca del Marquesado, Sierra Nevada.



Clara en un pinar de repoblación de pino silvestre.



> Periodicidad

Tanto la recopilación de la información como la toma de datos en campo, se realiza una única vez para cada zona.

VARIABLES

Variable	Unidad
Crecimiento	mm/año
Densidad	nº pies/ha
Fracción cabida cubierta arbórea	%
Fracción cabida cubierta matorral	%
Altura basimétrica por especie	m ² /ha (sp.)
Proyección de copa media arbolado	m (sp.)
Diversidad: riqueza	nº taxones
Diversidad: abundancia	nº individuos/taxón
Regeneración de especies arbóreas	nº brinzales regenerados o cobertura de chirpiales



Encina centenaria en el interior de una repoblación de pino resinero, Abruçena, Almería.

> Bibliografía

Arias Abellán, J. 1981. La repoblación forestal en la vertiente norte de Sierra Nevada. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 11: 283-306.
 Bonet García, F. J., Villegas Sánchez, I., Navarro, J. y Zamora Rodríguez, R. 2009. Breve historia de la gestión de los pinares de repoblación en Sierra Nevada. Una aproximación desde la ecología de la regeneración. En: S.E.C.F.-Junta de Castilla-León (eds.), *Actas 5º Congreso Forestal Español. CD-Rom. Sociedad Española de Ciencias Forestales*. Ávila.
 Cano, L., Castillo A., De La Hoz, F. y Cabrera M. 1998. Ordenación de nueve montes de la zona del Marquesado en el Parque Natural de Sierra Nevada, Granada. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.*, 6: 215-236.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_historia_forestal

> 1.2.1 Análisis de indicadores paleolimnológicos en las lagunas de Sierra Nevada



> Objetivos

El análisis del registro fósil de organismos acuáticos en las lagunas de Sierra Nevada nos permite evaluar los cambios sufridos en estos ecosistemas en un amplio intervalo de tiempo. Los grupos analizados son diatomeas, cladóceros y quironómidos y la escala de tiempo empleada es de 200 años aproximadamente. El sedimento de los lagos recoge los cambios ocurridos en el lago, pero también en toda su cuenca de captación, de modo que de los análisis paleolimnológicos de varios sistemas acuáticos en una región pueden obtenerse evidencias de los cambios ambientales ocurridos en la misma.

> Método y esfuerzo

Se toman testigos de sedimento en la zona de máxima profundidad de varias lagunas. La longitud de los testigos debe registrar los dos últimos siglos y se seccionan en intervalos de 0.25 cm en los 7 primeros centímetros y 0.5 cm en los siguientes. La datación de los sedimentos se realiza radiométricamente por espectrometría gamma (determinación de ^{210}Pb , ^{226}Ra y ^{137}Cs) y espectrometría alfa (determinación de ^{210}Pb más precisa en las capas más profundas). En cada intervalo de sedimento se identifican los fósiles de las diferentes especies de diatomeas, cladóceros y quironómidos y se cuantifica

la abundancia específica. Estos organismos funcionan como paleoindicadores así que, conociendo su nicho ecológico, puede inferirse las condiciones ambientales en las que existieron. Así por ejemplo las diatomeas son excelentes bioindicadores y se usan para inferir cambios en temperatura, pH, alcalinidad, grado trófico o cambios en el nivel de agua. Los quironómidos son especialmente sensibles a cambios en temperatura y grado trófico y los cladóceros a variaciones en el nivel de agua y concentración de nutrientes.



Seccionamiento en intervalos del testigo de sedimento.

> Periodicidad

Estas muestras se toman una sola vez.

VARIABLES

Variable	Unidad
Especie	
Abundancia específica	nº de individuos

> Bibliografía

Smol, J.P. (Series Editor). 2001. *Developments in Paleoenvironmental Research (DPER Series): Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, vols 1 a 5. Springer-Verlag.

> Vínculos

<http://www.pages-igbp.org/>
<http://www.paleolim.org/>
<http://craticula.ncl.ac.uk/Eddi/jsp/>

> 1.2.2 Reconstrucción de la vegetación a partir del análisis palinológico



Muestreo de sedimentos utilizando una sonda Livingston en la Laguna de Río Seco

> Objetivos

El objetivo principal de esta metodología es describir los cambios en la vegetación y en la frecuencia de incendios para descifrar posibles fluctuaciones en el clima, así como la influencia antrópica, en los ecosistemas alpinos de Sierra Nevada.

> Periodicidad

Las campañas de muestreo son puntuales, tomándose todo el registro sedimentario de una vez.

VARIABLES

Variable	Unidad
Abundancia relativa polen	%
Carbones	cantidad de carbones por gramo o centímetro cúbico de sedimento

> Método y esfuerzo

Se recurre al estudio del polen y carbones a alta resolución de los sedimentos de lagos y borreguiles durante el Holoceno (los últimos 12.000 años). Para la obtención de los sedimentos de lagos y borreguiles se toman testigos de sedimento en las zonas de máxima profundidad de estas cuencas mediante una sonda de gravedad y una sonda Livingston. Los testigos son de 1.5 a 2.5 m de longitud y se muestrean posteriormente en intervalos de 0.5 cm. Los sedimentos se datan principalmente a partir de la técnica del carbono 14.

La separación del polen del resto de los sedimentos se realiza a partir del ataque químico con ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF) y Acetólisis que produce la destrucción de las partículas minerales y del material celulósico.

El residuo final, rico en granos de polen, se monta en preparaciones junto con glicerina que son analizadas al microscopio óptico.

Con respecto al estudio de los carbones, se toma un volumen de 1 cm³ cada 0.5 cm a lo largo de los testigos de sedimento. Las muestras se procesan siguiendo el análisis a alta resolución de partículas de carbón descrito en Millspaugh y Whitlock (1995). A las muestras se le añade una solución al 10% de metafosfato de sodio Na(PO₃) hasta que se ha conseguido la total disgregación del sedimento. Más tarde, las muestras se tamizan (tamaño de 125-µm y 250-µm) y el sedimento restante se transfiere a placas de petri, en las cuales a partir de una lupa binocular (x10-20) se procede al recuento de carbones en las distintas fracciones de sedimento.

> Bibliografía

Anderson, R. S., Jiménez-Moreno, G., Carrión, J.S. y Pérez-Martínez, C. 2011. Holocene vegetation history from Laguna de Río Seco, Sierra Nevada, southern Spain. *Quaternary Sci. Rev.*, 30: 1615-1629.
 Jiménez-Moreno, G. y Anderson, R.S. 2012. Holocene vegetation and climate change recorded in alpine bog sediments from the Borreguiles de la Virgen, Sierra Nevada, southern Spain. *Quaternary Res.*, 77: 44-53
 Millspaugh, S.H. y Whitlock, C. 1995. A 750-yr fire history based on lake sediment records in central Yellowstone National Park. *The Holocene*, 5: 283-292.

> Vínculos

<http://www.paleodiversitas.org/>

Capítulo 2

El cambio climático tiene una gran influencia en las altas cumbres de Sierra Nevada, menos alteradas que las zonas más bajas.

Climatología



El clima de Sierra Nevada está dominado por dos gradientes geográficos. En el gradiente altitudinal domina el descenso de la temperatura con la elevación, y en el longitudinal, la precipitación desciende en el sentido oeste-este. Ambos factores determinan las características de la cubierta de nieve, que funciona como un reservorio de agua, distribuyéndose durante la temporada de deshielo hacia los distintos ríos nevadenses y las milenarias acequias de careo, diseñadas para recargar los acuíferos y llevar agua hacia los cultivos de regadío.

Estos patrones climáticos tienen su propia dinámica espacio-temporal. Sin embargo, en los últimos años, como consecuencia del cambio climático, están experimentando cambios importantes, como el incremento de las temperaturas y una mayor irregularidad en las precipitaciones. En el año 2007 el 4º informe del IPCC puso de



La nieve que permanece en las altas cumbres de Sierra Nevada durante gran parte del año tiene una gran importancia en el ciclo hidrológico.

manifiesto que el clima continuará cambiando significativamente como consecuencia de la actividad humana, por lo que es de esperar que estos cambios continúen afectando a Sierra Nevada durante las próximas décadas.

Con el objetivo de determinar los posibles impactos del cambio climático en los ecosistemas nevadenses y en los servicios ecosistémicos que aporta el macizo a los habitantes de su entorno, resulta fundamental conocer la dinámica pasada, presente y futura del clima en Sierra Nevada.

El primer hito en este ámbito fue diseñar e instalar una red de **12 estaciones multiparamétricas automáticas** distribuidas a lo largo del gradiente

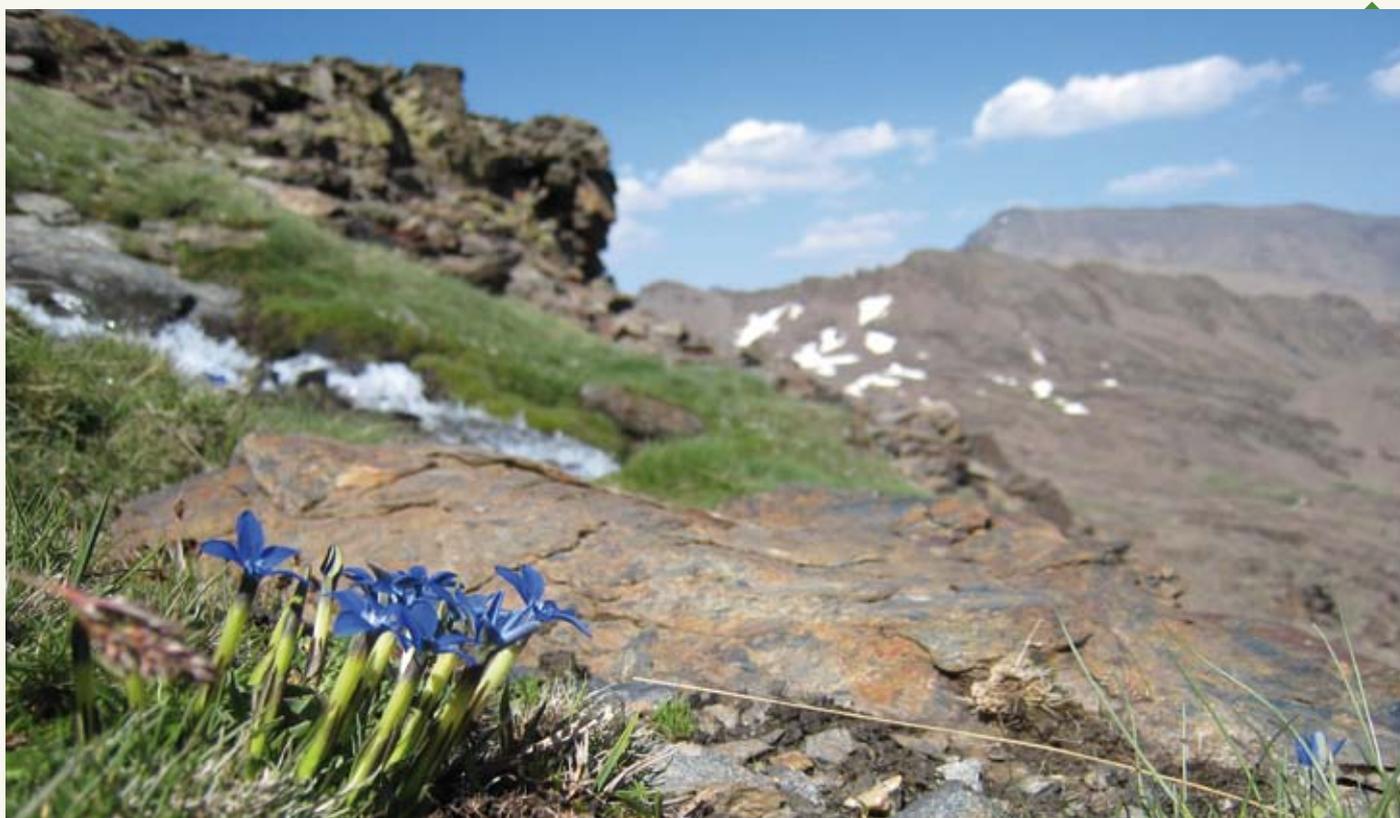
altitudinal existente en el macizo y ubicadas en los ecosistemas más representativos. Esto ha permitido cubrir una carencia importante de datos climáticos en áreas remotas de alta montaña.

Sumando los nuevos registros a los obtenidos de otras redes de estaciones nacionales y autonómicas, se ha diseñado un **sistema de captura, almacenamiento y análisis automatizado** de toda la información en una única base de datos, accesible desde el interfaz del Sistema de Información (<http://linaria.obsnev.es>).

Se han utilizado estos registros y distintas técnicas de modelado espacial para generar en

un entorno SIG un conjunto de **mapas climáticos digitales del pasado reciente** de Sierra Nevada (periodo 1961-2011). Además, utilizando como entrada datos regionalizados de clima simulado según distintos escenarios de cambio climático, puestos a disposición pública por la AEMET, se han elaborado **mapas de clima simulado futuro**. Como resultado final se han obtenido una serie de mapas de alta resolución espacial (100 metros) y temporal (1 año) de las variables precipitación, temperatura media mínima y temperatura media máxima en el periodo 1961-2100, muy útiles para modelar procesos ecológicos sensibles al clima en Sierra Nevada.

La flora de altas cumbres es muy sensible al cambio climático, pues sus posibilidades de colonizar cotas más altas si aumenta la temperatura son muy limitadas.



> Bibliografía

IPCC, 2001. *IPCC Third Special Report. Climate Change 2001: The Scientific basis 2001*. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC, 2007. *IPCC Fourth Assessment Report- Climate Change 2007: the Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

> Vínculos

<http://www.ipcc.ch/>

<http://www.wmo.int>



➤ 2.1 Red de estaciones meteorológicas multiparamétricas

Estación meteorológica situada en las estribaciones del pico Veleta.



➤ Objetivos

Con la red de estaciones multiparamétricas se registran y almacenan series temporales continuas de datos climáticos que pueden ser consultadas por gestores e investigadores. Esta información, fundamental para la interpretación de los resultados del resto de metodologías del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada, raramente está disponible en regiones montañosas por las dificultades que entraña el mantenimiento de estaciones en condiciones tan extremas.

➤ Periodicidad

Todos los datos se registran en continuo. Se almacenan valores medios, máximos, mínimos y acumulados de cada uno de los parámetros medidos con una periodicidad de 10 minutos. Pueden consultarse a través de internet (ver vínculos). Los datos se descargan diariamente, cuando existe cobertura telefónica o mensualmente en caso contrario.

➤ Método y esfuerzo

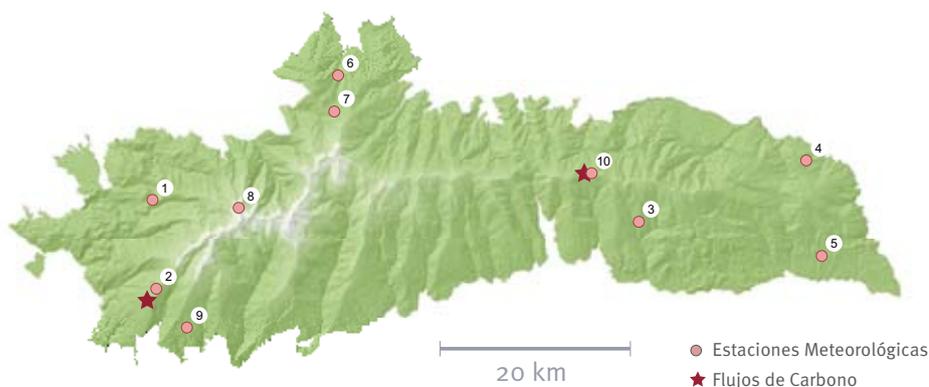


Ejemplo de una estación multiparamétrica.

Se ha instalado una red de estaciones de montaña que cumple con los requisitos establecidos por Global Climate Observing Systems (GCOS). Dos de ellas fueron instaladas por el Parque Nacional de Sierra Nevada (Cortijuela y Lanjarón), mientras que las ocho restantes pertenecen al Organismo Autónomo Parques Nacionales.

Proporcionan un registro continuo de los diferentes parámetros meteorológicos clásicos, así como de otros específicos para evaluar procesos ambientales. Los instrumentos de medida responden a cambios físicos con cambios en las propiedades eléctricas. Los sensores van conectados a *dataloggers* que se descargan sobre el terreno o mediante telefonía móvil GSM/GPRS.

Los equipos están situados en ubicaciones representativas de los principales ecosistemas de Sierra Nevada, distribuidos entre 600 y 3.100 m. Todos, excepto el ubicado en las estribaciones del Veleta, son autónomos y se abastecen de energía mediante paneles solares.



VARIABLES

Variable	Unidad
Precipitación y nivel de nieve	mm y cm
Temperaturas aire y suelo	°C
Humedades relativas aire y suelo	%
Radiaciones: global, UVA, UVB e IR	W/m ²
Radiación PAR	μE/sm ²
Flujo térmico en suelo	W/m ²
Velocidad y dirección de viento	m/s y °
Presión atmosférica	mb



1. Cortijuela. En pleno núcleo calizo, registra los datos climáticos propios de los pinares de silvestre autóctono y sabinas oromediterráneas a 1.700 m.



2. Lanjarón. En un paisaje dominado por las comunidades propias de las fases iniciales de regeneración tras un incendio, en la cara Sur, a más de 2.400 m.



3. El Encinar. En el interior de un encinar a casi 1.700 m de altitud. Esta comunidad está ampliamente extendida por el sector noroeste de Sierra Nevada.



4. Aljibe de Montenegro. En un pinar de repoblación cálido y seco, a 975 m, en la zona de transición entre el albaidal (ladera abajo) y el retamal (ladera arriba).



5. Rambla de Guadix. En un paisaje con extensos albaidales y profundas ramblas, muy influenciado por la cercana zona subsesértica del levante peninsular, a 600 m.



6. Camarate I-Embarcadero. Rodeada por grandes extensiones de encinares y robledales que han perdurado con un bajo nivel de alteración, a 1.550 m.



7. Camarate II-Piedra de los Soldados. En pleno dominio de los enebrales y piornales oromediterráneos, situada a 600 m de altitud por encima de la anterior.



8. Veleta. A 3.100 m, los pastizales alpinos presentes en las zonas más estables alternan con grandes paredes verticales, canchales, roquedos y borreguiles.



9. Robledal de Cañar. Uno de los más meridionales de Europa, muy amenazado por la actual tendencia climática y condicionado por las precipitaciones procedentes del Mediterráneo, a 1.700 m.



10. Laguna Seca. Ubicado en la línea divisoria de vertientes norte-sur de las cumbres orientales. Extensos piornales y pastizales, justo en el límite superior del arbolado, a 2.300 m.

> Bibliografía

WMO, 2008a. Future climate change research and observations: GCOS, WCRP and IGBP Learning from the IPCC Fourth Assessment Report. *GCOS-117, WCRP-127, IGBP Report No. 58 (WMO/TD No. 1418)*. January 2008.
WMO, 2008b. Guide to meteorological instruments and methods of observation. *WMO-No.8*. Seventh edition. World Meteorological Organization, Publications Board.

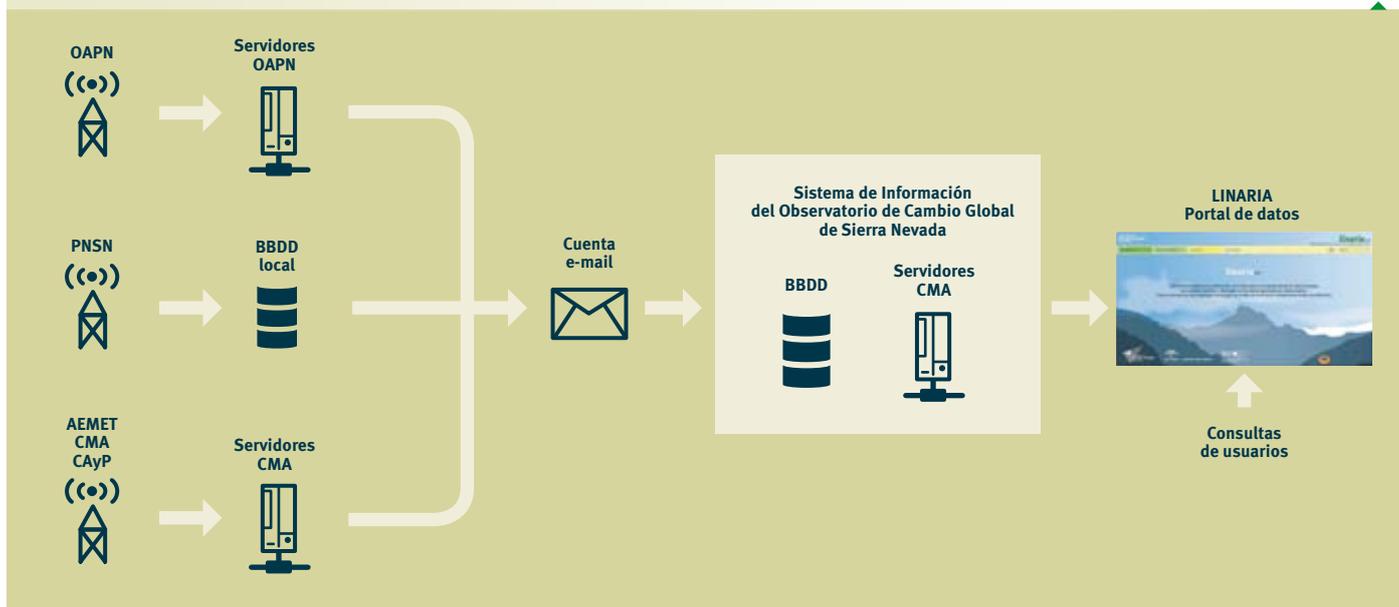
> Vínculos

<http://reddeparquesnacionales.mma.es/parques/rcg/index.htm>
<http://www.cma.junta-andalucia.es/medioambiente/servtc5/sica/sima.jsp>
http://sl.ugr.es/obsnev_estClima

★ **Flujos de Carbono.** En Lanjarón (2) y Laguna Seca (10) se han instalado dos estaciones para el seguimiento de los Flujos de Carbono, la primera en un pinar incendiado y la segunda en un ecosistema de enebro-piornal. La ficha 9.1 describe esta técnica de medición.

> 2.2 Suministro y procesamiento de datos climáticos

Pasos seguidos en el sistema de procesamiento de datos climáticos.



> Objetivos

El objetivo es almacenar sistemáticamente los datos observados por todas las estaciones en una base de datos central para que pueda ser consultada por gestores e investigadores.

Disponer de los datos en bruto procedentes de las estaciones es necesario para poder simular el comportamiento del clima espacialmente o para desarrollar trabajos puntuales de análisis ecológico sobre un área concreta de un ecosistema.

> Periodicidad

Los datos climáticos en bruto se suministran con una periodicidad mínima de un día en caso de las estaciones multiparamétricas del OAPN¹ y máxima de un mes en el caso de las estaciones del Subsistema CLIMA² de la REDIAM³.

El procesamiento de datos se ejecuta de forma automática diariamente, incorporándose los datos al sistema de información del Observatorio de Cambio Global (<http://linaria.obsnev.es>).

> Método y esfuerzo

La integración de los datos en bruto proporcionados por las distintas estaciones y organismos ha implicado las siguientes fases:

1. Definición de la estructura de la base de datos de almacenamiento ajustada al formato de la REDIAM de manera que la información sea fácilmente intercambiable.
2. Puesta en funcionamiento del sistema de transferencia de datos como documentos adjuntos vía email (enviados por los gestores de datos: REDIAM y OAPN) a una dirección de correo electrónico (clima@iecolab.es).
3. Programación del flujo de trabajo que lleva a cabo la tarea de procesar los datos contenidos en los archivos y almacenarlos en nuestra tabla de datos con el nuevo formato. Además este flujo realiza la validación de los datos, filtrándolos según rangos de valores y clasificándolos en función de su calidad.
- 4: Desarrollo de un sistema de consultas mediante interfaz web.

Todo el proceso está documentado en el repositorio de modelos y se ejecuta periódicamente, procesando e integrando los datos climáticos de las distintas estaciones meteorológicas.

VARIABLES

Variable	Unidad
Nivel de calidad de los datos	adimensional

> Bibliografía

Meek d.W. y Hatfield J.L. 1993. Data quality checking for single station meteorological databases. *Agr. Forest Meteorol.*, 69: 85-109.

> Vínculos

<http://reddeparquesnacionales.mma.es/parques/rcg/index.htm>
<http://www.cma.junta-andalucia.es/medioambiente/servtc5/sica/sima.jsp>
http://sl.ugr.es/obsnev_proClima

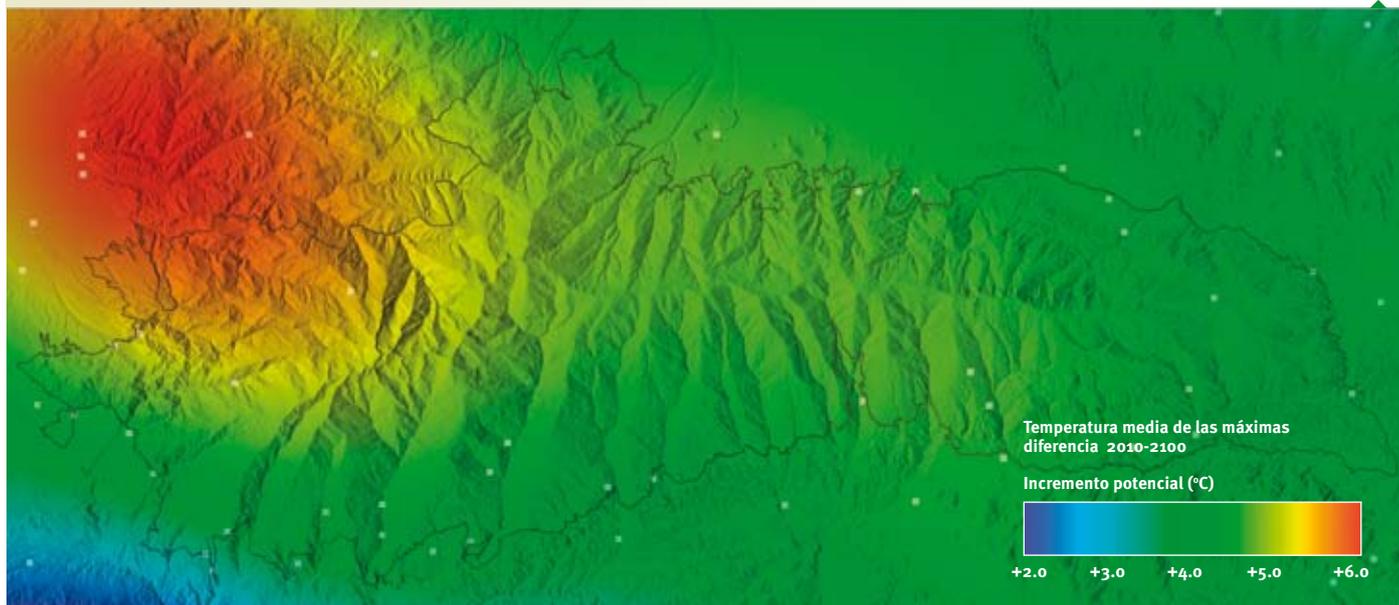
¹ Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

² Subsistema de Información de Climatología Ambiental, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

³ Red de Información Ambiental, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

> 2.3 Simulaciones climáticas

Incremento de temperatura previsto para el período 2010-2100 en el macizo de Sierra Nevada.



> Objetivos

Generar mapas climáticos digitales de alta resolución espacial (100 metros) y temporal (1 año) de las variables precipitación media anual, temperatura media de las máximas y temperatura media de las mínimas para todo el territorio de Sierra Nevada.

Los mapas representan el clima observado en el periodo 1961-2011, y el clima simulado según dos escenarios de cambio climático (A2 y B2) en el periodo 2011-2100.

> Periodicidad

La metodología está completamente automatizada y se repetirá según se obtengan nuevos datos climáticos que mejoren los ya disponibles.

VARIABLES

Variable	Unidad
Precipitación media acumulada	mm
Temperatura media de las máximas	°Cx10
Temperatura media de las mínimas	°Cx10

> Método y esfuerzo

El procedimiento de elaboración de los mapas climáticos del pasado y del futuro es el mismo, cambiando los datos de partida: datos observados para el pasado y datos simulados para el futuro.

Como primer paso se elabora un modelo de regresión múltiple tomando como entrada los datos observados del periodo 1990-2010 y variables predictoras con influencia conocida en el clima. La ecuación resultante se introduce en un SIG para generar un mapa de regresión, que se suma a un mapa de los residuales interpolados espacialmente, resultando un “mapa de referencia”.

Para calcular un mapa de clima pasado o futuro de una variable para un año cualquiera se siguen los siguientes pasos:

- Selección de las estaciones meteorológicas que tienen datos simulados en ese periodo.
- Cálculo de los promedios anuales de las variables climáticas para cada estación.

- Resta de los promedios anuales y el mapa de referencia para obtener los valores de anomalía para cada estación meteorológica.
- Interpolación espacial de las anomalías mediante *Regression Tension Splines*.
- Suma del mapa de referencia de la variable y el mapa de anomalías del periodo en cuestión para obtener el mapa final.

Esta metodología asegura una coherencia espacio-temporal de los resultados, consiguiendo series temporales homogéneas, muy útiles para establecer relaciones entre la dinámica climática y cambios en distintas variables ecológicas, facilitando la obtención de modelos explicativos y el desarrollo de modelos predictivos.

Los mapas están disponibles en el Sistema de Información del Observatorio de Cambio Global, en un formato vectorial compatible con cualquier aplicación SIG.

> Bibliografía

Ninyerola, M., Pons, M. y Roure, J.M. 2007. Monthly precipitation mapping of the Iberian Peninsula using spatial interpolation tools implemented in a Geographic Information System. *2007 Theor. Appl. Climatol.*: 89. 195-209.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_simClima



Análisis de los cambios temporales en la criosfera



La cubierta de nieve condiciona y explica buena parte del ciclo hidrológico de Sierra Nevada. La nieve es un importante reservorio de agua para los sistemas forestales y para los ríos. Además, ejerce un importante papel como amortiguador térmico en las zonas donde está presente. Por ejemplo, la temperatura bajo la cubierta de nieve es más alta y más constante que en lugares sin nieve situados en exposiciones y altitudes similares. También ejerce un efecto físico relevante sobre la vegetación, condicionando en buena medida la distribución en el espacio de formaciones forestales, arbustivas y herbáceas. En definitiva, podemos decir que la nieve es co-responsable del paisaje que observamos por encima del límite del bosque en Sierra Nevada. Pero además, la cubierta de nieve es clave para otros procesos no estrictamente ecológicos. Concretamente en Sierra Nevada es importante también desde un punto de vista económico.

La estación de esquí de Pradollano y la estación recreativa del Puerto de la Ragua suponen una innegable fuente de ingresos para los núcleos urbanos de su área de influencia. Por otro lado es cada vez más frecuente el deporte del esquí de travesía, no estrictamente ligado a instalaciones deportivas fijas. La importancia de la nieve en Sierra Nevada se ve incrementada por el hecho de que se trata de la montaña más meridional de Europa en la que con frecuencia se encuentra agua sólida. Por último, la cubierta de nieve se encuentra entre los fenómenos meteorológicos que se verán afectados con más probabilidad por el cambio climático. La combinación de susceptibilidad al cambio climático más la importancia de este meteoro en Sierra Nevada hacen que su monitoreo sea un aspecto fundamental dentro del programa de seguimiento que describimos en este documento.



Durante un chequeo rutinario de la estación multiparamétrica EN1 ubicada próxima al Collado de las Buitreras (Sierra Nevada).

La estrategia de seguimiento de la cubierta de nieve está basada en tres aproximaciones metodológicas a diferentes escalas. En primer lugar realizamos un **monitoreo automático de la cubierta de nieve mediante las imágenes** suministradas por el sensor **MODIS** de la NASA. Gracias a los satélites Terra y Aqua (en los que se aloja el mencionado sensor) podemos disponer de información diaria sobre la extensión de la cubierta de nieve, el albedo de dicha cubierta y también sobre el porcentaje de nieve que tiene cada píxel. Asimismo, obtenemos información semanal sobre la extensión máxima de la cubierta de nieve. Gracias a este sensor disponemos de una serie temporal que data desde el año 2000 y que muestra, con una resolución de 500 m, aspectos clave de la dinámica de la cubierta

de nieve en Sierra Nevada. Esta metodología describe de manera extensiva la cubierta de nieve. Pero tiene una importante limitación de resolución espacial (500 m es mucho para caracterizar ciertos procesos) y también temporal. Con objeto de soslayar estos problemas se ha diseñado un **modelo hidrológico** para todo el macizo que, gracias a la realización de balances de materia y energía, nos permite simular con 30 metros de resolución variables fundamentales sobre la cubierta de nieve. Este modelo muestra la extensión diaria de la cubierta de nieve, la cantidad de agua contenida en la nieve, el espesor de la misma o el caudal que suministra la nieve al fundirse, por ejemplo. Además, al tratarse de un modelo, es posible parametrizarlo incorporando datos de entrada procedentes de

condiciones climáticas pasadas o predicciones futuras. Esto nos permite conocer el estado de la nieve en otros momentos temporales. La última escala de caracterización de la nieve es fundamental para calibrar el modelo hidrológico anterior. Se trata de una metodología basada en tres **estaciones meteorológicas ubicadas en lugares frecuentemente ocupados por la nieve**. En estas estaciones se miden variables climáticas típicas y al mismo tiempo se evalúa el espesor de la nieve. También se realizan visitas periódicas a las mismas para mantener los equipos y hacer catas en la cubierta de nieve. Estas catas nos permiten conocer el espesor y cantidad de agua acumulada en la nieve.

Trabajos de sondeo de profundidad en la cuenca alta del río Trevélez (Sierra Nevada).

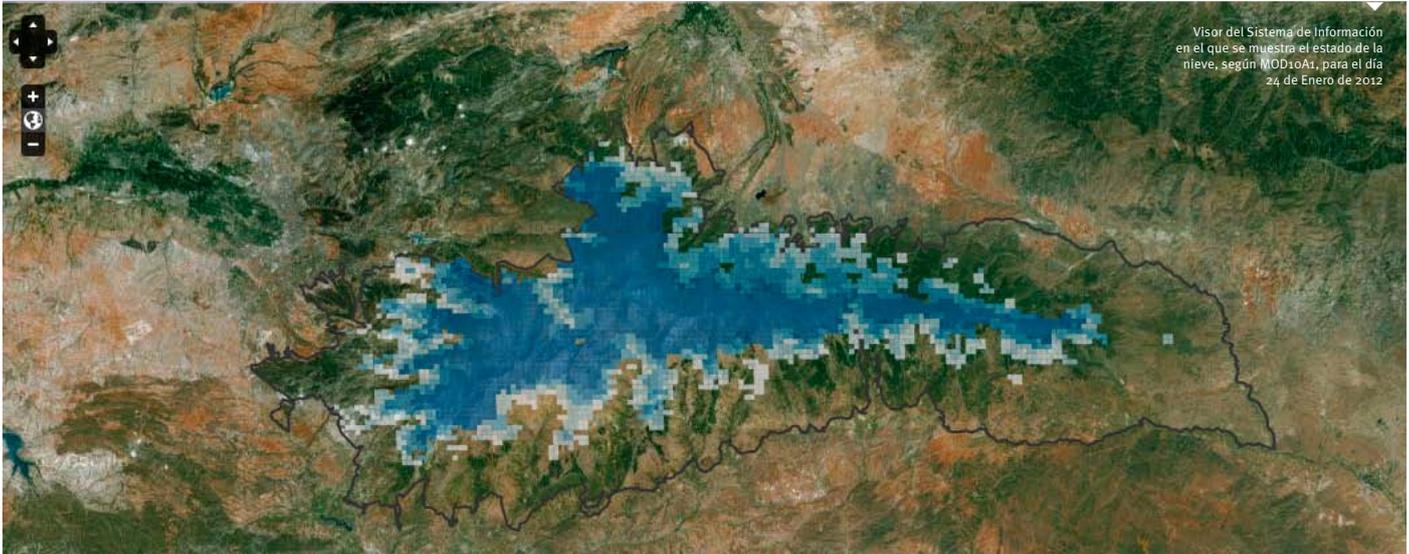


> Bibliografía

- Kelly, R.E.J. y Hall, D.K. 2008. Remote sensing of terrestrial snow and ice for global change studies. Pp. 189-219. En: Chuvieco, E. (ed.) *Earth Observation of Global Change*. Springer-Verlag Press.
- Bonet-García, F.J. 2009. *Caracterización de la cubierta de nieve de Sierra Nevada y tendencias temporales mediante el uso de imágenes MODIS (2000-2008)*. Informe Inédito. Disponible en <http://refbase.iecolab.es/show.php?record=1032>



➤ 3.1 Seguimiento de la extensión de la cubierta de nieve



➤ Objetivos

El principal objetivo de este seguimiento es la caracterización de la cobertura de nieve en el espacio y tiempo, con información básica sobre parámetros tales como duración, extensión, fechas de comienzo y de fin de la temporada de nieve, ciclos de fusión, etc. Todo ello se obtiene mediante la descarga, procesamiento y análisis de las imágenes del sensor MODIS de la NASA, alojado en el satélite Terra.

➤ Periodicidad

Teniendo en cuenta la periodicidad de los productos del sensor MODIS, 1 día para el producto MOD10A1, y ocho días para el producto MOD10A2.

VARIABLES

Variable	Unidad
Porcentaje del píxel ocupado por nieve al día	%
Albedo	adimensional
Índice de calidad de la información	rango de 1 a 5
Extensión máxima de la cubierta de nieve en 8 días	ha
Extensión de la cubierta de nubes al día	ha

➤ Método y esfuerzo

De entre las imágenes tomadas por el sensor MODIS, se han usado dos de sus productos: MOD10A1 y MOD10A2. El producto MOD10A1 tiene una periodicidad diaria y proporciona valores para la cobertura, el albedo, la calidad de la observación y fraccional. El producto MOD10A2 tiene una periodicidad de ocho días, y es un producto agregado que indica el máximo de cobertura de nieve en esos ocho días, mejorando la sensibilidad del producto de un día respecto a la presencia de nubes. Proporciona valores para: cobertura máxima y cobertura en los 8 días. Desde el Sistema de Información del Observatorio se ha incorporado un flujo de trabajo, mediante el Repositorio de Modelos, que se encarga de procesar de forma autónoma las imágenes de satélite y de incorporar los datos en bruto en un modelo relacional. Posteriormente, con los datos en bruto, se generan indicadores para el perfil de innivación, duración, fechas de comienzo y fin de nieve, y ciclos de fusión para distintas entidades espaciales existentes en el Sistema de Información.

El flujo de trabajo se resume del siguiente modo:

1. Descarga de las imágenes de MODIS de la NASA.
2. Extracción de los valores para una zona determinada.
3. Envío de los valores obtenidos al Sistema de Información mediante Servicios Web.
4. Procesamiento de los metadatos asociados a la imagen y envío al Sistema de Información mediante Servicios Web.
5. Generación automática de una noticia informando de la finalización del procesamiento de la imagen.

Una vez que los datos en bruto para cada imagen se encuentran en el Sistema de Información, se obtienen distintos productos:

- Servicios de Mapas con la cobertura de nieve (WMS, WFS, SHP, KML).
- Datos en bruto en formato CSV.
- Indicadores agregados en forma de gráfica y CSV.

➤ Bibliografía

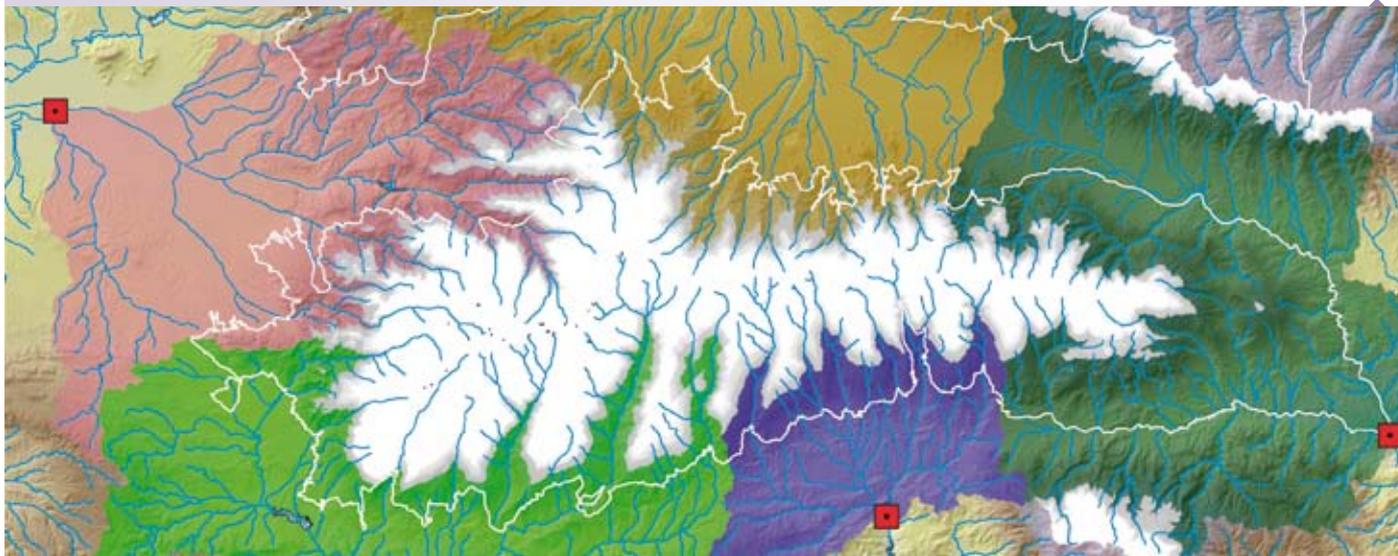
- Pérez-Pérez, R., Benito, B.M. y Bonet, F.J. 2012. Modeler: an environmental model repository as knowledge base for experts. *Expert Syst. Appl.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.180>
- Bonet-García, F.J. 2010. Coupling of snow cover and vegetation structure in Sierra Nevada (Spain). En: *2ª International GMBA-DIVERSITAS Conference "Functional significance of mountain biodiversity"*. Chandolin, Switzerland. 27 - 30 Julio. Conference abstracts, pp. 39-40
- Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., DiGirolamo, N.E. y Bayr, K.J. 2002. MODIS snow-cover products. *Remote Sens. Environ.*, 83 (1-2): 181-194.

➤ Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_nivologia

➤ 3.2 Modelado hidrológico de Sierra Nevada: nieve y caudales

Extensión de la cubierta de nieve simulada por el modelo hidrológico.



➤ Objetivos

Poner a punto un modelo hidrológico en el entorno de Sierra Nevada para poder traducir las predicciones de cambio en el clima a predicciones de cambio en la capa de nieve (en forma de cantidad, extensión, duración y espesor), en la humedad en el suelo y en el caudal en los distintos cauces de Sierra Nevada.

➤ Periodicidad

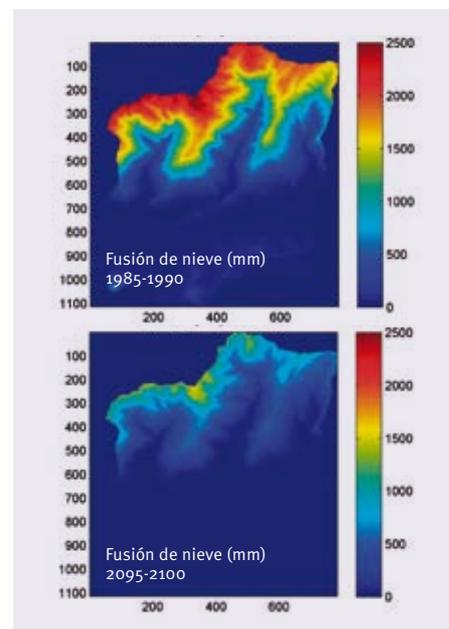
Los trabajos se realizan de manera continuada, ya que se trata de una simulación.

VARIABLES

Variable	Unidad
Equivalente de agua en nieve	mm
Espesor de nieve	cm
Densidad de nieve	kg/l
Temperatura	°C
Precipitación	mm
Precipitación en forma de nieve	mm
Radiación solar	W/m ²
Radiación de onda larga incidente	W/m ²
Fusión de nieve	mm
Evaporación desde la nieve	mm

➤ Método y esfuerzo

Se ha seleccionado WiMMed, un modelo hidrológico físico y distribuido elaborado por las Universidades de Granada y Córdoba para la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. El montaje del modelo ha requerido la recopilación y traducción al formato adecuado de datos meteorológicos, propiedades físicas e hidrológicas del suelo, datos de vegetación e imágenes de satélite. WiMMed utiliza gran cantidad de información para representar con la mayor precisión posible la realidad. A partir de las medidas de nieve y caudales de que se dispone en puntos concretos, el modelo ha sido calibrado y validado. A medida que se dispongan de nuevos datos más precisos o recientes, el modelo será actualizado para perfeccionar la simulación. Se han realizado simulaciones para obtener mapas de nieve históricos (pasados) y para estimar la reducción de la capa de nieve y de su fusión a partir de algunos de los escenarios climáticos barajados en la actualidad por el IPCC.



Cambios en la fusión de nieve media anual en los valles de Poqueira y Trevélez de acuerdo al cambio en el clima predicho por el escenario a2 del modelo CGM2 (2007) para los periodos 1985-1990 y 2095-2100

➤ Bibliografía

Herrero J., Millares, A., Aguilar, C., Díaz, A., Polo, M.J. y Losada, M.A. 2011. *WiMMed. Base teórica*. Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales. Universidad de Granada. Grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología. Universidad de Córdoba. 41 pp.
Piña, V., Carpintero M., Millares, A., Aguilar, C., Herrero, J. y Polo, M.J. 2011. Diferencias en la relación almacenamiento descarga en las vertientes norte y sur de Sierra Nevada. *Estudios en la Zona No Saturada del Suelo*, 10: 347-352.

➤ Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_wimmed
http://sl.ugr.es/obsnev_mod_hidrologico



> 3.3 Estaciones de seguimiento de nieve in situ

Durante un chequeo mensual de la estación EN2 (cota 2.300 msnm).



> Objetivos

El objetivo de este protocolo de seguimiento es recopilar información detallada sobre la estructura de la cubierta de nieve en parcelas concretas. Se aplican distintas metodologías en una misma cuenca con objeto de recopilar información detallada que se utilizará para calibrar y validar el modelo hidrológico WiMMed (ficha 3.2).

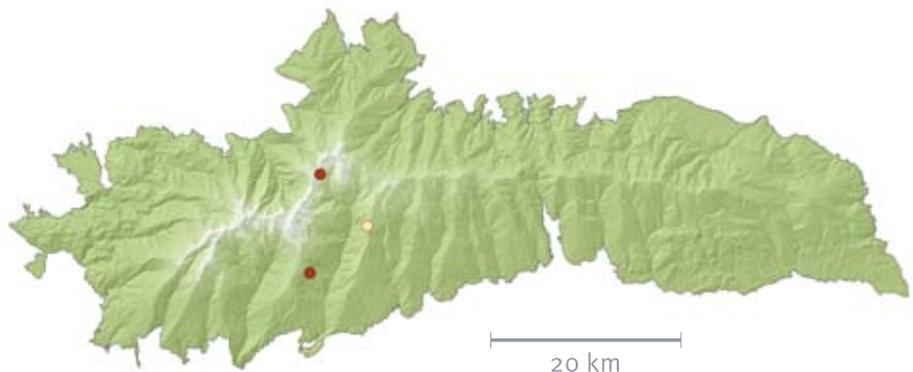
> Método y esfuerzo

Se han instalado tres estaciones específicas para el seguimiento de nieve en una cuenca piloto de Sierra Nevada. Dos de ellas, ubicadas a 2.900 y 2.300 m de altitud respectivamente, son estaciones multiparamétricas con la particularidad de medir el espesor de la capa de nieve, su temperatura y la radiación. Además, también toman datos meteorológicos típicos (tempera-

tura, velocidad del viento, precipitación, etc.). Todo ello permite hacer un balance de energía en la nieve. Un tercer equipo, situado a 2.600 m de altitud con visual de toda la parte superior de la cuenca de estudio, permite la realización de tomas fotográficas automáticas sobre la distribución de la nieve. Se realizan 6 fotos diarias para asegurar que al menos una de ellas es válida,

> Periodicidad

Las estaciones multiparamétricas recogen datos diariamente y, debido a su ubicación remota, se chequean mensualmente. Durante el período invernal se realizan mensualmente al menos 4 jornadas de sondeos de profundidad y densidad de nieve, además de un pozo de nieve.



- Estaciones multiparamétricas
- Estaciones para el seguimiento fotográfico

ya que la nubosidad variable, meteorología adversa, nieblas, etc., condicionan la calidad de la foto. Se realizan visitas mensuales para chequear los equipos y descargar los datos. De forma paralela, a lo largo de transectos se realizan sondeos de profundidad, catas de densidad de nieve y pozos de nieve. Las travesías son de longitud variable (500 m – 4.000 m) dependiendo de la ubicación, climatología, topografía y tipo de nieve. La distancia entre puntos de sondeo es de 200 m; cada punto de sondeo incluye 5 repeticiones en cruz a un metro de distancia para homogeneizar los valores. Las catas de densidad de nieve se realizan en puntos fijos, buscando

recoger cambios significativos en el tipo de nieve en el trayecto de la travesía. En los pozos realizados en cada sondeo se recoge información útil para caracterizar la nieve: densidad, espesor, dureza, temperaturas, microestructura (cristales), macroestructura (capas identificables a simple vista) y profundidad. Todas las tomas de datos quedan georreferenciadas, tratando de abarcar toda la variabilidad dentro de la cuenca. Gracias a esta metodología se combina la captura de información automática a través de las estaciones de nieve, con la caracterización detallada de la cubierta de nieve que proporcionan los datos tomados en los transectos.

VARIABLES

Variable	Unidad
Profundidad nieve	cm
Densidad de la nieve	gr/cm ³
Dureza relativa de la capa de nieve	escala propia
Temperatura de la nieve	°C
Tipo de grano de nieve	escala propia
Tamaño de grano de nieve	mm
Equivalente de agua de la nieve	mm

Perfilando un pozo de nieve para su análisis.



Realizando un sondeo de profundidad.



> Bibliografía

- Corripio, J. G., Durand, Y., Guyomarch, G., Mérindol, L., Lecorps, D. y Puglièse, P. 2004. Land-based remote sensing of snow for the validation of a snow transport model. *Cold Regi. Sci. Tech.*, 39 (2-3): 93-104.
- Corripio, J. G. 2004. Snow surface albedo estimation using terrestrial photography. *Int. J. Remote Sens.*, 25(24): 5705-5729.
- Durand, Y., Guyomarch, G., Mérindol, L. y Corripio, J. G. 2005. Improvement of a numerical snow drift model and field validation. *Cold Regi. Sci. Tech.*, 43 (1-2): 93-103.
- Fierz, C., Armstrong, R.L., Durand, Y., Etchevers, P., Greene, E., McClung, D.M., Nishimura, K., Satyawali, P.K. y Sokratov, S.A. 2009. *The International Classification form Seasonal Snow on the Ground*. IHP-VII Technical Documents in Hydrology N° 83 IASC Contribution N°1, UNESCO-IHP, Paris, 80 p.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_nieve_campo



Sistemas acuáticos

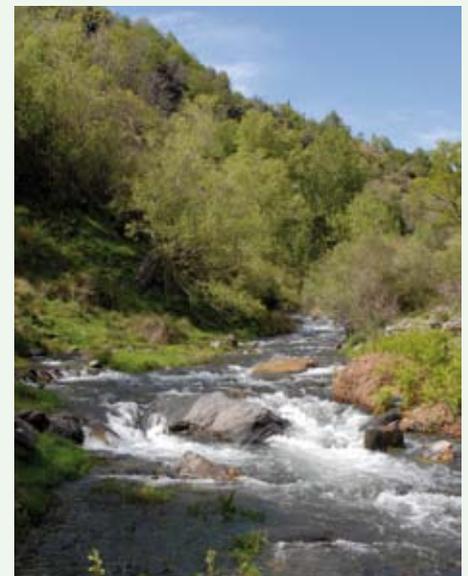


Los ecosistemas fluviales son receptores de muchas presiones e impactos del entorno y por ese motivo constituyen uno de los ambientes más vulnerables frente a los posibles efectos adversos del cambio global. De este modo, tanto el aumento de la temperatura ambiente, como cambios significativos en los ciclos del agua tendrán una repercusión inmediata en los ecosistemas acuáticos continentales.

La temperatura condiciona de manera sustancial **procesos físico-químicos y biológicos**. Cambios importantes en la temperatura pueden afectar al metabolismo, crecimiento, reproducción, emergencia y distribución de multitud de organismos. Con el aumento de la temperatura del agua la tasa de respiración (descomposición de materia orgánica y reciclaje de nutrientes) se incrementaría y por tanto aumentaría el consumo de oxígeno disuelto, con importantes repercusiones

sobre los organismos con altos requerimientos de oxígeno. Por otro lado, una disminución en la duración de la cobertura de nieve, como posibles alteraciones en los ciclos de fusión de la misma, podrían provocar un aumento de la **temporalidad de algunos caudales y lagunas**, causando cambios en la estructura y función de estos sistemas. Lo anterior justifica el seguimiento de los parámetros físico-químicos en los sistemas acuáticos de Sierra Nevada.

Además se han implementado protocolos de seguimiento de la parte biótica de los ecosistemas acuáticos. En este sentido el programa de seguimiento de Sierra Nevada se centra en los **macroinvertebrados acuáticos y en la trucha común (*Salmo trutta*)**. Los macroinvertebrados acuáticos deben ser considerados como verdaderos bioindicadores, debido a su sensibilidad a los cambios de temperatura. Las predicciones



El río Trevélez se sitúa en la vertiente sur de Sierra Nevada y es uno de los cauces mejor estudiados en el programa de seguimiento de Sierra Nevada.

indican que un aumento de la temperatura del agua provocará cambios fenológicos y en la distribución de la biodiversidad de macroinvertebrados, pudiendo llegar incluso a la extinción de alguna de estas especies. De igual manera, especies consideradas como invasoras podrán

colonizar nuevas áreas con consecuencias aún desconocidas para la biodiversidad local. La trucha común por su parte, constituye una de las especies fundamentales de los ecosistemas acuáticos de Sierra Nevada, al ocupar la cúspide de la cadena trófica y por tanto contribuir

notablemente al modelado de las comunidades asociadas. Los cambios ambientales anteriormente descritos podrían afectar a este salmónido modificando su fenología reproductiva, sus rangos de distribución, las tasas de conversión, el éxito reproductivo y la afección de patologías.

Los arroyos de alta montaña canalizan el agua procedente del deshielo.



> Bibliografía

Catalán J., Pla S., Rieradevall M., Felip M., Ventura M., Buchaca T., Camarero L., Brancelj A., Appleby P.G., Lami A., Grytnes J.A., Agustí-Panareda A. y Thompson R. 2002. Lake Redó ecosystem response to an increasing warming in the Pyrenees during the twentieth century. *J. Paleolimnol.*, 28: 129-145.

Durance, I. y Ormerod, S. J. 2007. Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Glob. Change Biol.*, 13(5): 1365-2486.



> 4.1 Seguimiento de parámetros físico-químicos y caudales

Laguna de Aguas Verdes.



> Objetivos

Los principales objetivos en el seguimiento de los parámetros físico-químicos del agua tanto en ríos como en lagunas son: detectar variaciones significativas a medio o largo plazo en la temperatura media del agua, así como la influencia de estas variaciones en el resto de parámetros (pH, oxígeno disuelto y conductividad) y procesos físico-químicos. En el caso de los caudales, la intención es detectar variaciones significativas en el ciclo natural del agua, si se producen mayores irregularidades en los caudales, así como una posible reducción de la cantidad de agua en ríos y arroyos de alta montaña.

> Método y esfuerzo

Ríos:

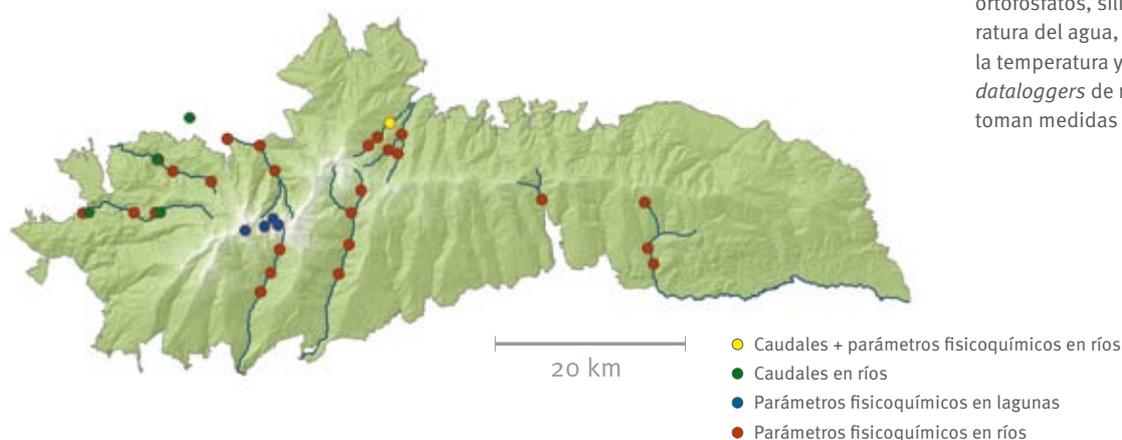
Para el seguimiento de parámetros físico-químicos y caudal en ríos de Sierra Nevada, se han establecido 23 localidades de muestreo, donde se toman datos *in situ* con sondas multiparamétricas: temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y pH. Al mismo tiempo, se recogen muestras de agua, siendo analizadas en laboratorio utilizando un fotómetro multifunción que mide: amonio, nitratos, nitritos, cloro total y fosfatos. En alguna de estas localidades, han sido instalados unos *dataloggers* que

toman medidas de temperatura, con objeto de detectar las oscilaciones térmicas del agua tanto de forma horaria, estacional y altitudinal.

El cálculo del caudal en un tramo del río representativo de la estación se registra según se esquematiza en la figura de la página siguiente.

Lagunas:

En el caso del seguimiento de los parámetros físico-químicos en lagunas de alta montaña, el muestreo se realiza mediante la recogida de una muestra integrada de agua para después analizar distintos parámetros (nitratos, amonio, ortofosfatos, silicatos, conductividad, temperatura del agua, pH y oxígeno disuelto). Para la temperatura y profundidades, se colocaron *dataloggers* de medición en continuo, las cuales toman medidas cada tres horas.



> Periodicidad

En el seguimiento de ríos, se realizan muestreos en cada una de las localidades objeto de estudio en primavera, verano y otoño, mientras que para lagunas de alta montaña, se realiza un muestreo mensual, siempre y cuando el acceso a dichas lagunas sea posible.



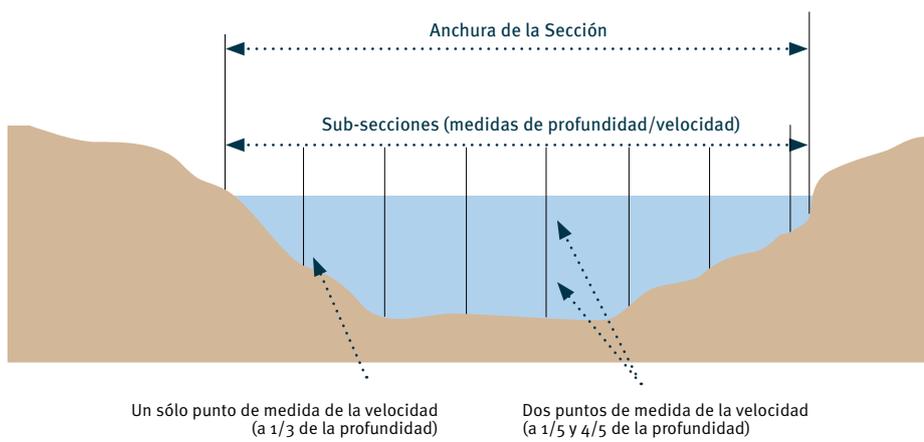
Laguna de Río Seco.



Dataloggers instalados en laguna larga.

VARIABLES

Variable	Unidad
Temperatura en lagunas	°C
Oxígeno disuelto en lagunas	en mg/l y en % de saturación
Conductividad en lagunas	μS/cm
pH en lagunas	unidades de pH
Temperatura en ríos	°C
Oxígeno disuelto en ríos	% de Saturación
Oxígeno disuelto en ríos	mg/l
pH en ríos	unidades de pH
Conductividad en ríos	μS/cm
Amonio en ríos	mg/l
Nitratos en ríos	mg/l
Nitritos en ríos	mg/l
Fosfatos en ríos	mg/l
Cloro Total en ríos	mg/l
Caudal en ríos	l/s



$$V_i = V_{1/3} (h < 0,5 \text{ m}) \text{ ó } (V_{1/5} + V_{4/5}) / 2$$

Caudal en cada subsección: $Q_i = V_i \cdot A_i$
 Caudal total real: $Q_R = \sum Q_i$
 $A_i = h \cdot \text{anchura subsección}$

Para el cálculo del caudal en ríos se mide la anchura total de la sección, estableciendo una primera subsección a 20 cm del margen derecho del cauce, mientras que la distancia entre subsecciones consecutivas corresponde con un 20% de la anchura total de la sección, se calcula la velocidad en cada una de estas subsecciones. Si la profundidad en la subsección es menor de 0,5 m se toma una sola medida de la velocidad a 1/3 de la distancia entre el fondo y la superficie, por el contrario si la profundidad es mayor de 0,5 m, se toman dos medidas de la velocidad, una a 1/5 y otra a 4/5 del fondo. Posteriormente se calcula el promedio de ambas medidas.

> Bibliografía

- Burgmer, T., Hillebrand, H. y Pfenninger, M. 2007. Effects of climate-driven temperature changes on the diversity of freshwater macroinvertebrates. *Oecologia*, 151(1): 93-103.
- Prat, N. y Munné, A. 2009. A. Caudales escasos y más temporalidad en los ríos. P.p.: 237-248. En: *Agua y Cambio Climático. Diagnóstico de los impactos previstos en Cataluña*. Agència Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya.
- Catalán, J., Camarero, L., Felip, M., Pla, S., Ventura, M., Buchaca, T., Bartumeus, F., de Mendoza, G., Miró, A., Casamayor, E.O., Medina-Sánchez, J.M., Bacardit, M., Altuna, M., Bartrons, M., Díaz de Quijano, D. 2006. High mountain lakes: extreme habitats and witnesses of environmental changes. *Limnetica*, 25(1-2): 551-584.

> Vínculos

- http://sl.ugr.es/obsnev_rios_fq
http://sl.ugr.es/obsnev_lagos_fq
http://sl.ugr.es/obsnev_lagos_nivel



➤ 4.2 Seguimiento de comunidades biológicas

Toma de muestras (kicks).



➤ Objetivos

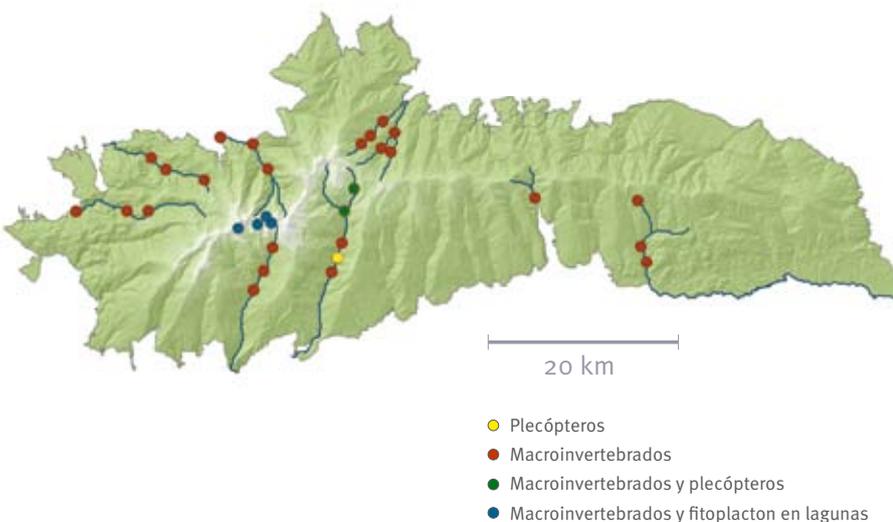
Los objetivos de esta metodología de seguimiento son: detectar posibles cambios en la distribución y abundancia de las comunidades bentónicas, modificaciones en la fenología y distribución en altitud de especies consideradas estenotermas de agua fría (plecópteros), y la posible colonización por especies más tolerantes a las altas temperaturas (euritermos).

➤ Método y esfuerzo

Ríos:

Se implementa una metodología compatible con la Directiva Marco del Agua. Los muestreos se llevan a cabo en 23 localidades, repartidas en 8 ríos de Sierra Nevada (Alhorí, Andarax, Bayárcal, Dílar, Genil, Monachil, Poqueira y Trevélez), donde se toman muestras de macroinvertebrados acuáticos mediante un protocolo de evaluación.

Este método consiste en seleccionar 100 m de tramo de río donde se representen los hábitats más frecuentes (sustratos duros, detritos vegetales, orillas vegetadas, macrófitos sumergidos, sedimentos finos). La cobertura (%) de los tipos de hábitats, determina el número de muestras (20) que corresponden a cada hábitat. En cada punto de muestreo se toman las muestras con una red de mano de sección cuadrada (0.25 m x 0.5 m), removiendo con pies y manos el sustrato situado en los 0.5 m cercanos a la boca de la red. Una vez recogida la muestra, se fijará en alcohol de 96 %. Estas muestras son determinadas como mínimo hasta nivel de familia para poder aplicar el índice de calidad biológica IBMWP “*Iberian Biomonitoring Working Party*”. En el caso del seguimiento de la fenología de plecópteros se realizan muestreos cualitativos y cuantitativos tanto de ninfas como de adultos en el río Trevélez a tres altitudes diferentes (1.500, 2.000 y 2.500 m). Para las ninfas se utiliza una red Surber de 40 x 40 cm (se toman 6 redadas), mientras que para adultos, se toma un transecto en ambas orillas de 50 m de longitud por 5 m anchura en el que se bate la vegetación de ribera con una manga entomológica buscando los adultos escondidos entre las piedras. Estos



adultos se introducen en viales de 10 ml. con alcohol al 70 %, para ser separados e identificados a nivel de especie.

Otros índices de calidad utilizados son, el Índice de Calidad de Ribera (QBR) y el Índice de Hábitat Fluvial (IHF) (Ver ficha 8.7).

Lagunas:

En el caso de las lagunas de alta montaña (Laguna Larga, Aguas Verdes, Laguna de la Caldera y Río Seco), la recogida de muestras de macroinvertebrados se realiza mediante un muestreo semicuantitativo. Se emplea el método *kicking* y redes de mano de 300 µm de luz de malla, y se capturan todos los organismos existentes en las zonas accesibles de la masa de agua.

En estos enclaves también se ha muestreado la comunidad de fitoplancton mediante filtrado con redes y recogida de volúmenes conocidos de agua en diferentes posiciones de la columna

de agua. Para estudiar la composición y abundancia, se toman muestras en varias posiciones de la columna de agua y se realiza un muestreo cualitativo. Las muestras cualitativas se toman mediante arrastres con una red cónica de 60 µm de luz, en superficie (un metro de profundidad) y en el límite inferior de la capa fótica. Para los análisis cuantitativos de fitoplancton y clorofila a se toma un volumen de agua de una muestra integrada con la ayuda de una botella Van Dorn. El muestreo de diatomeas permite establecer la densidad poblacional relativa de cada especie referida a la superficie muestreada mediante el conteo pormenorizado. Para determinar la densidad poblacional y abundancia relativa de las distintas especies, se extraen piedras del lecho de la laguna o de la parte superior del fango. Para la clorofila, se toma un volumen de agua de una muestra integrada con la ayuda de una botella Van Dorn. De cada laguna se recogen tres réplicas.



Los tricópteros se encuentran entre los insectos más exigentes respecto a la calidad de las aguas en donde habitan.

> Periodicidad

Se realizan muestreos en cada una de las localidades objeto de estudio en primavera, verano y otoño, mientras que para la fenología de plecópteros, se realizan muestreos de forma mensual en cada una de las estaciones del río Trevélez.

Adulto de *Perla marginata* (hembra).



Adulto de *Cordulegaster boltoni*, una de las libélulas más características de los arroyos y tramos altos en Sierra Nevada.



VARIABLES

Variable

Riqueza	nº especies
Riqueza	nº familias
Riqueza ETP	nº de familias de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera
Abundancias absolutas de Fitoplancton en lagunas	cél./ml
Abundancia de Diatomeas en lagunas	nº de individuos
Riqueza de Diatomeas en lagunas	nº de especies
Abundancia Relativa Diatomeas en lagunas	%
Abundancia de Fitoplancton en lagunas	nº de individuos

> Bibliografía

- Clarke, A., Mac Nally, R., Bond, N. y Lake, P.S. 2008. Macroinvertebrate diversity in headwater streams: a review. *Freshwater Biol.*, 53: 1707–1721.
- Bonada, N., Rieradevall, M. y Prat, N. 2007. Macroinvertebrate community structure and biological traits related to flow permanence in a Mediterranean river network. *Hydrobiologia*, 589: 91-106.
- Alba-Tercedor, J. 1979. Larvas de plecópteros de las estribaciones de Sierra Nevada (Granada). Factores que intervienen en su distribución. *Boln. Asoc. Esp. Entom.*, 3: 193-198.
- Tierno de Figueroa, J. M., Sánchez-Ortega, A., Membiela Iglesias, P. y Luzón-Ortega, J.M. 2003. *Plecoptera*. Fauna Ibérica (vol. 22) . Ramos, M.A. et al. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. Madrid. 404 pp.

> Vínculos

- http://sl.ugr.es/obsnev_rios_macro
http://sl.ugr.es/obsnev_rios_plecopteros

> 4.3 Seguimiento de las poblaciones de Trucha común

Captura de trucha común mediante pesca eléctrica.



> Objetivos

El objetivo del seguimiento de las poblaciones de trucha común es determinar la influencia de los cambios ambientales sobre la estructura poblacional, eficiencia de conversión de biomasa, fenología reproductiva, límites poblacionales y prevalencia de enfermedades en dicho salmónido. Estas variables se correlacionarán con otras variables ambientales del ecosistema, para tratar de inferir posibles efectos atribuibles al cambio climático.

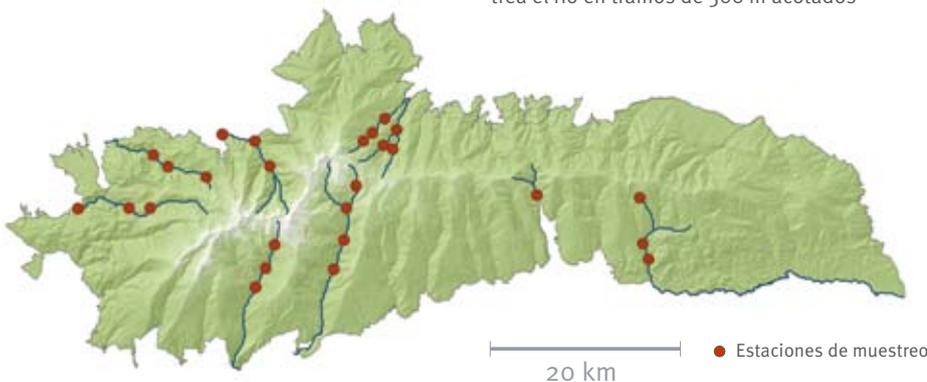
> Método y esfuerzo

Para el estudio de la estructura y biomasa de la trucha común se estudian 7 ríos (Genil, Alcázar, Monachil, Dílar, Trevélez, Poqueira y Andarax) utilizando el método de capturas sucesivas con extracción mediante pesca eléctrica, en superficies homogéneas. Para la delimitación de las poblaciones, en primer lugar se identifican los puntos conocidos con presencia de la especie. A partir de dichos puntos, se procede a verificar mediante pesca eléctrica la presencia de la especie aguas arriba en el caso del tramo superior y aguas abajo en el inferior. Para ello se muestra el río en tramos de 500 m acotados

previamente mediante redes, realizando una sola pasada en todo el tramo con el único objetivo de verificar presencia/ausencia de la especie.

El seguimiento de la fenología reproductiva se lleva a cabo mediante masaje abdominal a los ejemplares capturados en diferentes épocas del año, anotando la formación de huevos o espermatozoides para cada individuo sin realizar una extracción significativa del material reproductor. En cuanto a la determinación de las eficiencias de conversión de biomasa se determina la edad mediante escamas, con objeto de verificar las estructuras poblacionales obtenidas por modelos matemáticos, obteniendo así información sobre aspectos morfométricos con periodicidad anual. Por último, se realizan controles periódicos de patologías para detectar la incidencia de enfermedades emergentes que puedan tener relación con cambios ambientales.

Todas estas variables bióticas se asocian con las variables abióticas tomadas en los mismos puntos de muestreo (ver fichas 4.1 y 8.7).



Extracción de escamas en trucha común para determinación de la edad.



Masaje abdominal en ejemplar de trucha común para seguimiento de la fenología reproductiva.



> Periodicidad

El seguimiento de las poblaciones de trucha común se realiza anualmente.

VARIABLES

Variable	Unidad
Temperatura del agua del río	°C
Oxígeno disuelto en el agua	mg/l
Oxígeno disuelto en el agua	%
Conductividad del agua	μ S/cm
pH del agua	unidades de pH
Turbidez del río	escala propia
Caudal	m/s
Granulometría del lecho del río	%
Composición de la cubierta vegetal y taludes	%
Longitud zona muestreo	m
Anchura zona muestreo	m
Longitud furcal de las especies de ictiofauna capturadas	cm
Peso de las especies de ictiofauna capturadas	gr
Sexo y estado reproductor de las especies de ictiofauna capturadas	

> Bibliografía

García de Jalón, D., Mayo, M., Hervella, G., Barceló, E. y Fernández, T. 1993. *Principios y técnicas de gestión de la pesca en aguas continentales*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 247 pp.
 Petersen, C.G.J. 1896. The yearly immigration of young plaice into Linsfjord from the German sea. *Rep. Dan. Biol. Stn.*, 6: 1-48.
 Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 191: 383.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_trucha

Cambios en la química atmosférica, deposición de contaminantes y aerosoles



La atmósfera es una envoltura fluida que conecta los ecosistemas a una escala global. Su carácter dinámico es evidente si se consideran los procesos atmosféricos relevantes para los ciclos biogeoquímicos, pues la atmósfera es altamente sensible a los procesos biogeoquímicos de la biosfera y especialmente a las perturbaciones antropogénicas.

El transporte atmosférico de materiales es muy eficiente, produciéndose la mezcla hemisférica en apenas dos semanas, lo que implica que emisiones regionales puedan ser transportadas a larga distancia hasta regiones distantes del planeta. Esto explica el importante papel de la atmósfera en los procesos de cambio global, transmitiendo los impactos de actividades y actuaciones locales o regionales a escala global y viceversa. Este efecto se aplica tanto para emisiones primarias (procedentes directamente de

actividades antropogénicas) como para emisiones secundarias (emisiones ambientales o difusas pero inducidas por perturbaciones antropogénicas o por la propia dinámica de los ciclos biogeoquímicos).

Ante la potencial incidencia negativa de ciertos contaminantes en los ecosistemas naturales y el transporte de los mismos hacia áreas remotas, se ha puesto en marcha un protocolo de **seguimiento de la calidad del aire** en Sierra Nevada, descrito en el primer apartado. Para ello, hay que tener en cuenta que se trata de una extensión importante, donde abundan las áreas remotas en las que no es posible disponer de electricidad o de un lugar adecuado para la instalación de equipos sofisticados para la medición de contaminantes gaseosos. Además, el territorio es heterogéneo y la topografía compleja, por lo que las concentraciones de



Vista de la parte alta de la cuenca del río Monachil, con el Pico Trevenque al fondo.

Vista de los picos Alcazaba, 3.371 m. (centro) y Mulhacén, 3.481 (dcha).



los contaminantes en un solo punto no suelen representar adecuadamente todo el territorio. Por ello se ha recurrido a los denominados dosímetros pasivos. Su interés reside en la posibilidad de estimar la concentración de algunos contaminantes gaseosos en lugares remotos o su utilización en extensas redes espaciales. Se han seleccionado para ello cuatro de los gases reconocidos como los contaminantes de mayor impacto en las especies vegetales. Dos de ellos son contaminantes primarios (SO_2 y NH_3) y otros dos secundarios (O_3 , NO_2).

Por otro lado, recientemente se ha descubierto que ciertos elementos de la corteza

terrestre, sin fases gaseosas, se transportan intercontinentalmente en forma de aerosoles, constituyendo el abastecimiento principal de ecosistemas continentales y oceánicos deficitarios en tales elementos. De ahí el interés por conocer los flujos atmosféricos de aerosoles, especialmente en áreas como Sierra Nevada con ecosistemas pobres en nutrientes y cercana al Sahara, la zona árida que produce la mayor cantidad de aerosoles del mundo.

Para realizar un seguimiento de este proceso se ha diseñado un protocolo que permite medir la **deposición atmosférica**, seca y húmeda, de elementos y sustancias de relevancia para

los flujos biogeoquímicos de los ecosistemas nevadenses. En este seguimiento también se pretende estudiar la variabilidad de la deposición seca en relación con las condiciones atmosféricas estacionales y anuales a escala sinóptica. Al contrario que la lluvia, aquella es una variable meteorológica que ha sido escasamente estudiada, a pesar de que en Sierra Nevada los aportes secos son superiores a los húmedos para elementos significativos de los ciclos biogeoquímicos.

Mar de nubes en el robledal de Cáñar.



> Bibliografía

Lelieveld, J., Berresheim, H., Borrmann, S., Crutzen, P.J., Dentener, F.J., Fischer, H., Feichter, J., Flatau, P.J., Heland, J., Holzinger, R., Kormann, R., Lawrence, M.G., Levin, Z., Markowicz, K.M., Mihalopoulos, N., Minikin, A., Ramanathan, V., de Reus, M., Roelofs, G.J., Scheeren, H.A., Sciare, J., Schlager, H., Schultz, M., Siegmund, P., Steil, B., Stephanou, E.G., Stier, P., Traub, M., Warneke, C., Williams, J. y Ziereis, H. 2002. Global Air Pollution Crossroads over the Mediterranean. *Science*, 298: 794-799.

Ramanathan, V. y Feng, Y. 2009. Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. *Atmos. Environ.*, 43 (1): 37-50.

➤ 5.1 Seguimiento de la contaminación atmosférica mediante dosímetros pasivos



➤ Objetivos

Seguimiento de la calidad del aire en Sierra Nevada mediante la medición de contaminantes atmosféricos sin necesidad de instalar una infraestructura permanente o que requiera del consumo de energía eléctrica.

➤ Método y esfuerzo

Los dispositivos instalados se basan en los principios físicos de absorción y adsorción. Permiten generar una serie temporal de la evolución de la concentración de cuatro de los gases reconocidos como los contaminantes de mayor impacto en las especies vegetales. Dos de ellos se consideran contaminantes primarios (SO_2 y NH_3) y otros secundarios (O_3 , NO_2). Pueden haber sido transportados a larga distancia o producidos *in situ*.

Cortijuela

Ubicado en la vertiente noroeste de Sierra Nevada, en la cabecera del Barranco de Huenes, en un paisaje muy heterogéneo dominado por encinares y pinares autóctonos o procedentes de repoblaciones. Es el punto más cercano a la aglomeración urbana de Granada.



Vista, desde abajo, del soporte para dosímetros pasivos. Una carcasa aloja los captadores de Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Amoníaco (NH_3) y Dióxido de Azufre (SO_2), y la otra los de Ozono (O_3).

En cada localización se instalan dos réplicas de captador para cada contaminante. Los captadores de SO_2 , NO_2 y NH_3 van montados en una carcasa de PVC, y los de O_3 en otra. Ambas carcasas se fijan a un poste de 2.5 m de altura. Están ubicados en tres localidades:

Puente Palo

Se encuentra en la vertiente sur de Sierra Nevada, en un entorno forestal donde dominan los robledales y los pinares de repoblación.

Puerto de La Ragua

Paisaje dominado por extensas repoblaciones forestales dentro del dominio del enebro y piornal oromediterráneos, cubierto de nieve durante varios meses al año.

➤ Periodicidad

Se realiza una sustitución quincenal de los captadores.

➤ Bibliografía

- Matyssek, R., Bytnerowicz, A., Karlsson, P.E., Paoletti, E., Sanz, M., Schaub, M. y Wieser, G. 2007. Promoting the O_3 flux concept for European forest trees. *Environ. Pollution* 146. 587-607.
- Bytnerowicz, A., Sanz, M.J., Arbaugh, M.J., Padgett, P.E., Jones, D.P. y Dávila, A. 2005. Passive sampler for monitoring ambient nitric acid (HNO_3) and nitrous acid (HNO_2) concentrations. *Atmos. Environ.*, 39, 2655-2660.
- Ferreti M., Sanz, M.J. y Schaub M. (eds.) 2004. *O_3 SWE- Ozone and the Forests of south Western Europe. Final Report.* 149 pp.

➤ Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_dosímetros

VARIABLES

Variable	Unidad
Concentración SO_2	ppb
Concentración NO_2	ppb
Concentración NH_3	ppb
Concentración O_3	ppb

➤ 5.2 Deposición de aerosoles atmosféricos

Tormenta de polvo sahariano sobre el sur de la península ibérica



➤ Objetivos

El objetivo de este protocolo de seguimiento es medir la deposición atmosférica, seca y húmeda, de elementos y sustancias de relevancia para los flujos biogeoquímicos de los ecosistemas. Además, se pretende estudiar la variabilidad de la deposición seca en relación con las condiciones atmosféricas estacionales y anuales a escala sinóptica.



Captador de partículas pasivo para deposición húmeda (izq.) y seca (dcha.) parcialmente enterrado por la nieve. Estación multiparamétrica de Veleta, Sierra Nevada.

➤ Método y esfuerzo

Las medidas de deposición seca y húmeda se realizan con un muestreador pasivo dotado de un sensor de lluvia que automáticamente abre o cierra los recipientes destinados a recoger las precipitaciones secas ó húmedas. El muestreador colecta de forma continua mientras que las muestras se recogen de forma periódica y se trasladan al laboratorio para su análisis. Esta técnica, aunque no exenta de ciertas limitaciones, es adecuada para realizar el seguimiento de los flujos atmosféricos de las sustancias solubles y particuladas que alcanzan Sierra Nevada. Las medidas de deposición se complementan con captadores de alto volumen, que filtran grandes volúmenes de aire durante periodos de tiempo determinados para retener los aerosoles en filtros que permiten calcular sus concentraciones en la atmósfera. El análisis posterior de los filtros permite conocer las especies químicas de interés. Las medidas de concentración en el aire y de deposición de los aerosoles mejoran el estudio de los procesos implicados en la remoción atmosférica de los mismos.

Además se cuenta con los medios necesarios para relacionar las medidas obtenidas con los movimientos de las masas de aire a una escala superior a los 1000 km.

➤ Periodicidad

La recogida pasiva de aerosoles es continua, muestreándose periódicamente (idealmente cada semana) la colecta obtenida. La captación activa (varias horas) se realiza en función de la presunción de eventos de presencia de aerosoles. Los aparatos son revisados en cada visita.

VARIABLES

Variable	Unidad
Nitrógeno total	μmol/l
Fósforo total	μmol/l
Carbono Orgánico Disuelto (DOC)	μmol/l
Iones principales (Nitratos, Sulfatos, Cloruros, Silicatos)	μmol/l
Cationes principales (Calcio, Sodio)	μmol/l
Alcalinidad	Meq/l

➤ Bibliografía

- Bergametti, G., Gomes, L., Remoudaki, E., Desbois, M., Martin, D. y Buat-Me´ Nard, P. 1989. *Present transport and deposition patterns of African dusts to the north-western Mediterranean*. Pp. 227–252. En: Leinen, M. and Sarnein, M. (eds.). *Paleoclimatology and paleometeorology: Modern and past patterns of global atmospheric transport*. NATO ASI Series no. 282. Kluwer, Dordrecht.
- Morales-Baquero, R., Pulido-Villena, E. y Reche, I. 2006. Atmospheric inputs of phosphorus and nitrogen to the southwest Mediterranean region: Biogeochemical responses of high mountain lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 51(2): 830–837.
- Okin, G. S., Mahowald, N., Chadwick, O. A. y Artaxo, P. 2004. Impact of desert dust on the biogeochemistry of phosphorus in terrestrial ecosystems. *Glob. Biogeochem. Cycles*, 18: Art. No. GB2005.

➤ Vínculos

www.ecosensor.org
<http://visibleearth.nasa.gov>



Evaluación de la gestión para la conservación y recuperación de biodiversidad y función ecológica

En un panorama como el actual, en el que los impactos provocados por la actividad humana son una evidencia constatada (sobreexplotación de recursos, cambio climático, pérdida de biodiversidad, cambios de uso del suelo, contaminación, etc.), la gestión responsable de los recursos debe incorporar necesariamente el concepto de adaptación tanto en sus planteamientos teóricos como en las actuaciones concretas.

Por ello desde el Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada se apuesta por una gestión adaptativa, combinando el conocimiento científico sobre los ecosistemas con la experiencia adquirida en campo. Así, la propia gestión que la administración realiza de los recursos naturales se convierte en objeto de seguimiento y análisis dentro del Observatorio de Cambio Global Sierra Nevada.

El objetivo de este bloque es mostrar las metodologías que nos permiten evaluar de qué manera las principales actuaciones implementadas sobre los ecosistemas forestales logran o no los efectos perseguidos. Estos métodos asumen que no existe conocimiento inequívoco sobre la manera en la que funcionan los ecosistemas y reconocen la incertidumbre que domina nuestra interacción con ellos. Esto implica que el planteamiento de las preguntas, el diseño experimental, la toma de datos, el análisis y la interpretación sean pasos iterativos, sin perder por ello la integridad de largas series de datos y mediciones básicas.

Se han implementado estos protocolos de evaluación de la gestión en formaciones vegetales clave para Sierra Nevada: pinares de repoblación, encinares, robledales y enebrales-sabinares de alta montaña:



Masa mixta de encinas y vegetación riparia, Alpujarra Occidental, Granada.

Los **pinares de repoblación** presentan en la actualidad graves problemas ecológicos. El exceso de densidad y la falta de actuaciones selvícolas durante las primeras edades de los árboles han originado unas masas monoespecíficas, coetáneas y de porte ahilado. La excesiva competencia por agua, luz y nutrientes no ha permitido el desarrollo de un sotobosque adecuado ni la colonización de otras especies forestales bajo el dosel arbóreo. Todo ello se traduce en una gran vulnerabilidad ante posibles perturbaciones y en una oferta de servicios ecosistémicos más limitada de lo que cabría esperar en un bosque natural. Es por ello que en las últimas décadas la administración forestal ha tratado tanto de mejorar sus condiciones frente a posibles incendios como de favorecer su naturalización y diversificación estructural y florística. También se ha invertido un gran esfuerzo en la restauración de zonas incendiadas.

Los **robleales** de Sierra Nevada han sido sometidos en las últimas décadas a presiones cambiantes. Se ha observado un retroceso en

el número de ejemplares, vigor vegetativo y capacidad reproductiva de algunas poblaciones. Una posible hipótesis sería el ascenso en altitud como adaptación al cambio global. Por su parte, los **encinares** con frecuencia han sido eliminados o degradados por la acción humana, a lo que hay que añadir las cortas por carboneo y los frecuentes incendios. Frente a esta situación, se están realizando actuaciones encaminadas a favorecer el estado de estas masas de frondosas en aquellos lugares donde se prevé que puedan desarrollarse de manera satisfactoria según las predicciones climáticas, así como plantaciones y siembras en zonas adecuadas para su colonización.

Las formaciones de **enebral y sabinar** de Sierra Nevada, de enorme diversidad e importancia paisajística, están en claro retroceso debido a las quemadas de pastos y desbroces así como debido a las limitaciones de reclutamiento en las condiciones climáticas actuales. Para revertir esta situación y aumentar la capacidad de adaptación de estos ecosistemas, se ha puesto en marcha un conjunto de actuaciones

cuyo objetivo es la creación de núcleos de dispersión con los principales componentes de esta comunidad.

En este capítulo se describen las metodologías de seguimiento empleadas para evaluar la eficacia de las principales actuaciones que se realizan sobre las formaciones forestales anteriores. También se resume el diseño experimental llevado a cabo para evaluar las diferentes técnicas empleadas en la restauración forestal del **incendio** que calcinó 3.000 ha, la mayoría de pinares, en el año 2005.



Aspecto de una masa mixta en Dehesa del Camarate con la llegada de las primeras nieves.



Algunos robleales nevadenses, muy densos tras un intenso carboneo en el pasado, tienen actualmente escasa capacidad reproductora.

> Bibliografía

- Lee, K. N. 1999. Appraising adaptive management. *Conservation Ecology* 3(2): 3. [online] <http://consecol.org/vol3/iss2/art3/>
Lindenmayer, D. B. y Likens, G. E. 2009. Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends Ecol. Evol.*, 24(9): 482-486.

➤ 6.1 Evaluación de la gestión forestal en pinares de repoblación

Aspecto típico de un pinar de repoblación de pino silvestre en Sierra Nevada. Pueden apreciarse la excesiva densidad y las líneas rectas artificiales coincidiendo con los límites exteriores de la repoblación.



➤ Objetivos

El objetivo es evaluar la respuesta de los pinares de repoblación a las actuaciones realizadas para fomentar la diversidad tanto florística como estructural del ecosistema, su resiliencia y su capacidad para proporcionar servicios ambientales.

A un nivel más concreto, se pretende evaluar la incidencia de:

- La intensidad de los tratamientos realizados a efectos de crecimiento y regeneración de la especie principal, reclutamiento de otras especies

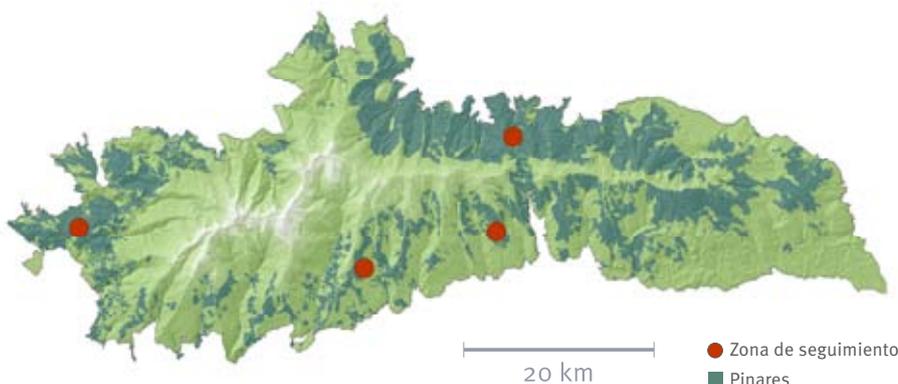
y aumento de la diversidad florística, aumento de la diversidad espacial (estructura vertical), supervivencia tras los tratamientos y posibles efectos sobre el control de las plagas.

- El efecto de la altitud, la exposición y la especie principal para un mismo tratamiento sobre las variables anteriores.
- El tipo de maquinaria empleada para la eliminación de los residuos realizada a efectos de regeneración de especies arbóreas, reclutamiento de otras especies y crecimiento/supervivencia del matorral acompañante.

➤ Método y esfuerzo

La metodología puesta en marcha consiste en el levantamiento de parcelas permanentes de seguimiento, donde se realizan varios tratamientos experimentales. Se seleccionan distintas zonas de tratamiento atendiendo a diferencias fundamentales en cuanto a exposición, altitud, tipo de suelo y especie principal de masa. En cada zona se realizan tres réplicas por tratamiento. Éstos se clasifican según la intensidad de la clara en: 0% (control), 30, 50 y 70%.

Principales parámetros estudiados: altura, diámetro y proyección de copa de los árboles, crecimiento de los últimos años (antes y después del tratamiento), regeneración de la especie principal y de otras especies arbóreas acompañantes, índice de cobertura-abundancia y altura de especies leñosas y matorral con importancia en la sucesión ecológica, índice de área foliar (LAI), nº de ejemplares arbóreos secos, tronchados o caídos, posibles desapariciones o alteraciones en matorral tras las actuaciones y posible afectación por plagas. Además, se realiza una comparación de las parcelas forestales estudiadas con su aspecto en la ortofoto del año 1956.



Fotografía hemisférica tomada desde el interior de un pinar de repoblación de pino silvestre, en la que se aprecia la trabazón de copas.



Aspecto del interior de una repoblación de pino silvestre.



Pinar supramediterráneo en Alpujarra Occidental, Granada.



> Periodicidad

El estudio de parámetros dasométricos y epidemiológicos de las especies arbóreas se realiza inmediatamente después de la actuación selvícola y se repite cada 3-5 años, dependiendo de los resultados obtenidos.

El estudio del crecimiento y regeneración de especies leñosas en el marco de la sucesión ecológica se realiza inmediatamente después de la actuación, repitiéndose un año después y pudiendo espaciarse los sucesivos seguimientos de 1 a 3 años dependiendo de los resultados obtenidos.

VARIABLES

Variable	Unidad
Densidad	pies/ha
Nº individuos/clase diamétrica	número
Altura media arbolado	m
Proyección de copa media arbolado	cm
Crecimiento	mm/año
Fracción de copa viva	% relativo
Regeneración de especies arbóreas	nº brinzales regenerados o cobertura de chirpiales
Diversidad: riqueza	nº de taxones
Diversidad: abundancia	nº de individuos/taxón
Origen regeneración especies frondosas	% brinzales/total y % chirpiales/total
Cobertura media por taxón	% superficie ocupada/taxon

> Bibliografía

Carreras, C. 2006. Diversificación estructural de masas forestales artificiales. Resultados de ensayos en Andalucía Oriental. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* (Fuera de serie): 103-110.
 Guarriguata, M. R. 2009. El manejo forestal en el contexto de la adaptación al cambio climático. *Revista de estudios sociales*, 32: 98-113.
 Noss, R. F. 1999. Assessing and monitoring forest biodiversity: A suggested framework and indicators. *Forest Ecol. Manag.*, 115: 135-146.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_gespinares
<http://www.marm.es/es/biodiversidad/temas/montes-y-politica-forestal/>
<http://www.efi.int>

> 6.2 Evaluación de la gestión forestal en encinares y robledales

Aspecto del robledal de San Jerónimo en invierno



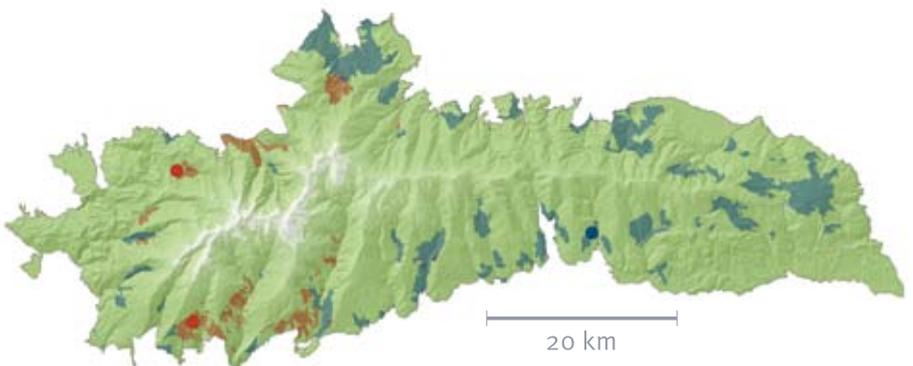
> Objetivos

Realizar un seguimiento de las principales actuaciones de gestión en encinares y robledales de Sierra Nevada, evaluando en qué medidas éstas mejoran el estado de la masa, favorecen su diversificación tanto florística como estructural y, en definitiva, aumentan su resiliencia. Las actuaciones incluyen cortas de liberación y saneamiento, resalveos, realces, así como plantaciones y siembras para fomentar la diversidad, el enriquecimiento y la colonización de zonas potenciales. Los objetivos concretos son:

- Estudiar la incidencia de las actuaciones en la mejora del estado fisiológico de la masa, evaluado a través de su vigor vegetativo, en relación con su capacidad para resistir posibles perturbaciones que puedan verse agudizadas por fenómenos de cambio global.
- Estudiar la relación entre la densidad de encina o roble y su regeneración, buscando la densidad óptima a la cual el proceso floración-polinización-fructificación es más exitoso (máxima productividad) así como aquellas

actuaciones que favorezcan la capacidad de regeneración de semillas (brinzales).

- Estudiar cuáles son las actuaciones de recuperación de la masa más adecuadas para cada sitio (en función de la altitud, exposición, precipitación, tipo de suelo...) y tipo de masa.
- Evaluar el éxito de siembras y plantaciones en el fomento de la diversidad, buscando propiciar la formación de masas mixtas ricas en especies arbóreas y arbustivas.



- Seguimiento de la gestión en robledales
- Seguimiento de la gestión en encinares
- Superficie ocupada por encinares
- Superficie ocupada por robledales



Brinzal de roble.

> Método y esfuerzo

El diseño experimental contempla el estudio de dos robledales, uno en vertiente norte (San Jerónimo) y otro en vertiente sur de Sierra Nevada (Cáñar). En cada uno de ellos se delimitan tres zonas: robledal, transición robledal-pinar y pinar.

a) Estudios previos:

- Estudio de la evolución de la zona de actuación: Comparativa de la información disponible sobre la situación pasada (vuelo de 1956 y mapa de vegetación 1:10.000 del año 1956) con la situación actual (ortofotos recientes, mapas de vegetación actuales y próximo inventario LIDAR).
- Estudio estructural comparativo mediante fotografías sistemáticas (pre-tratamiento, inmediatamente posterior al tratamiento y tres años después del mismo).

b) Seguimiento de actuaciones sobre la masa forestal:

- Tres tratamientos de diferente intensidad de realce y poda (roble) o clara (pino): control, intensidad moderada e intensidad fuerte. Seguimiento de 3 réplicas/tratamiento, incluyendo cada una de ellas:
 - Parcela de seguimiento de la masa arbolada: Marcaje y seguimiento de 10 individuos/parcela (3 ramas/individuo), incluidos en una parcela de tratamiento homogéneo de tamaño variable. Medición de variables dasométricas clásicas, incidencia de plagas, crecimiento vegetativo, productividad y floración.
 - Parcela de seguimiento del cortejo florístico acompañante: idénticas características que las parcelas de seguimiento de comunidades

vegetales en robledal y encinar para poder comparar los datos (ver ficha 8.5). Se estudian determinados grupos de especies, ya identificados previamente en las parcelas de seguimiento de comunidades vegetales, como posibles indicadores de cambios en la estructura o el funcionamiento en robledales y encinares, con especial atención a cambios en densidad y cambios en cobertura.

c) Seguimiento de siembras y plantaciones de diversificación y enriquecimiento:

- Estudio de la supervivencia en plantaciones (seguimiento de 30 plantones/bosquete en un total de 3 bosquetes representativos) y siembras (30 casillas en zonas de pinar/robledal; 30 casillas en zona de degradación media sin cobertura arbolada).

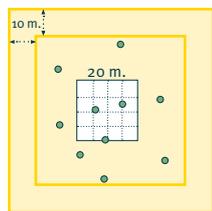
Diseño experimental para el seguimiento de la gestión en robledal. La parcela de seguimiento del cortejo florístico acompañante, de 20 x 20 m de lado, es idéntica a la empleada en el seguimiento de comunidades vegetales (ver ficha 8.5). La parcela de seguimiento de la masa arbolada incluye 10 ejemplares, los cuales están incluidos en una parcela de tratamiento homogéneo de cuyo borde distan como mínimo 10 m.



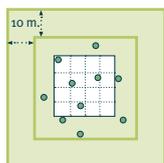
Parcela de seguimiento de la masa arbolada (10 ejemplares)



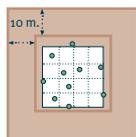
Parcela de seguimiento del cortejo florístico acompañante: (20x20 m.)



Tratamiento A:
resalveo y realce intensos



Tratamiento B:
resalveo y realce moderados



Tratamiento C:
control (no actuación).

> Periodicidad

Periodicidad anual para el primer año, repitiéndose el seguimiento un año después del tratamiento. Seguimientos posteriores se espacian a 2-3 años en función de los resultados obtenidos.

VARIABLES

Variable	Unidad
Densidad	pies/ha
Área basimétrica	m ² /ha
Altura media arbolado	m
Proyección de copa media arbolado	m
Cobertura	%
Riqueza	nº de especies
Crecimiento vegetativo	cm/año
Productividad	nº y tamaño medio bellotas
Plagas	% daños por principales especies plaga

> Bibliografía

- Alvarez, L., Alejano, R., Madrigal, A. y Martínez, E. 1997. Influencia de los tratamientos selvícolas destinados a optimizar el desarrollo de *Quercus ilex* ssp. *ballota* bajo la cubierta de pinares de repoblación. En: *Actas del II Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales*.
- Guarriguata, M. R. 2009. El manejo forestal en el contexto de la adaptación al cambio climático. *Revista de estudios sociales*, 32: 98-113.
- Noss, R. F. 1999. Assessing and monitoring forest biodiversity: A suggested framework and indicators. *Forest Ecol. Manag.*, 115: 135-146.

> Vínculos

- http://sl.ugr.es/obsnev_gesquercus
<http://www.iufro.org/>
<http://icp-forests.net/>



> 6.3 Evaluación de la gestión forestal en enebrales y sabinares

Dominio del enebro



> Objetivos

El objetivo principal de este seguimiento es aportar información para futuras actuaciones de mejora de las comunidades de enebro y sabinar de Sierra Nevada a partir del cálculo de tasas de germinación y supervivencia en cuatro localidades diferentes.

VARIABLES

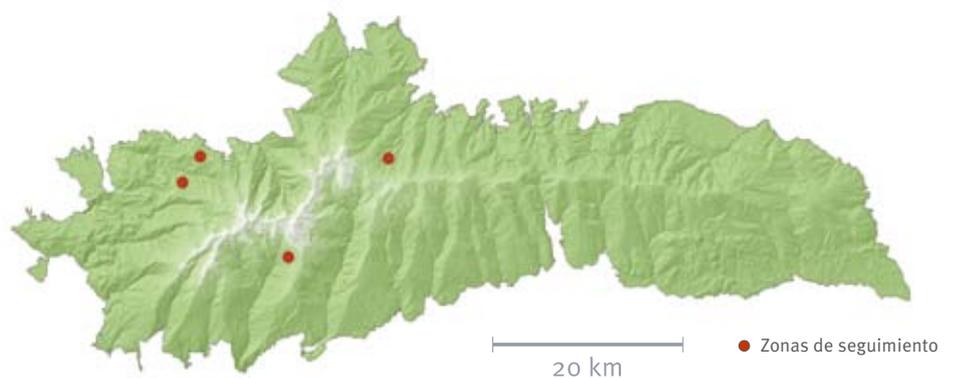
Variable	Unidad
Tasa de supervivencia	nº individuos vivos/ total muestra

> Método y esfuerzo

Se han realizado siembras, plantaciones en bosquetes excluidos del ganado mediante vallados y plantaciones individuales de enriquecimiento en las que se emplean protectores individuales. Las siembras se realizan en superficies de 40 x 40 cm, con 25 semillas por unidad de siembra. Las especies introducidas, su proporción relativa y densidad de plantación varían en cada zona según el grado de evolución de las unidades de actuación.

Para el seguimiento de las plantaciones, en cada núcleo de dispersión se selecciona una muestra de 20 ejemplares por especie y por cada una de las técnicas de exclusión utilizadas. Se registran periódicamente los ejemplares que sobreviven.

En las zonas de Poqueira, Jerez del Marquesado y San Jerónimo se realiza el seguimiento de 40 unidades de siembra sin protección y otras 40 protegidas. Para los ejemplares plantados se



hace seguimiento de la supervivencia de 20 ejemplares de *Juniperus communis* subsp. *nana*, *Thymus serpylloides* y *Cerastium gibraltarcum* excluidos frente a los herbívoros con protectores individuales y vallados perimetrales. Como contraste se han plantado otros 20 ejemplares de cada especie sin estructuras de exclusión. En el punto de plantación de sabinar, en Collado de Las Sabinas, se hace seguimiento de la

Ejemplar de enebro plantado usando piorno como especie nodriza.



También se está trabajando con otras especies propias de esta comunidad.



supervivencia de 20 ejemplares no protegidos y otros tantos excluidos con protección individual para las especies *Juniperus sabina*, *Rosa sicula*, *Vella spinosa*, *Berberis hispanica* y *Hormathophylla spinosa*. Se han diferenciado dos hábitats, el primero un matorral de *Astragalus granatensis* y el segundo en los claros de un pinar de repoblación *Pinus sylvestris*.

El desarrollo de las gramíneas indica un alto nivel de exclusión del ganado.



> Periodicidad

El seguimiento de supervivencia de cada muestra se realiza dos veces al año, uno en primavera y otro en otoño.

> Bibliografía

- García, D., Zamora, R., Hódar, J. A. y Gómez, J. M. 1999. Age structure of *Juniperus communis* L. in the Iberian Peninsula: Conservation of remnant populations in Mediterranean mountains. *Biol. Conserv.*, 87: 215-220.
- García, D. y Zamora, R. 2003. Persistence, multiple demographic strategies and conservation in long-lived Mediterranean plants. *J. Veg. Sci.*, 14: 921-926.
- Harris, J. A., Hobbs, R. J., Higgs, E. y Aronson, J. 2006. Ecological restoration and Global Climate Change. *Restor. Ecol.*, 14(2): 170-176.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_gesenebrales



> 6.4 Seguimiento de la restauración post-incendio

Aspecto general de la zona de seguimiento.



> Objetivos

El objetivo principal es evaluar la eficacia de un plan de restauración forestal tras un incendio en donde se calcinaron más de 3.000 ha en el año 2005 y que afectó principalmente a pinares de repoblación en los términos municipales de Lanjarón, Nigüelas, Lecrín, Dúrcal y Cáñar.

Los objetivos concretos son:

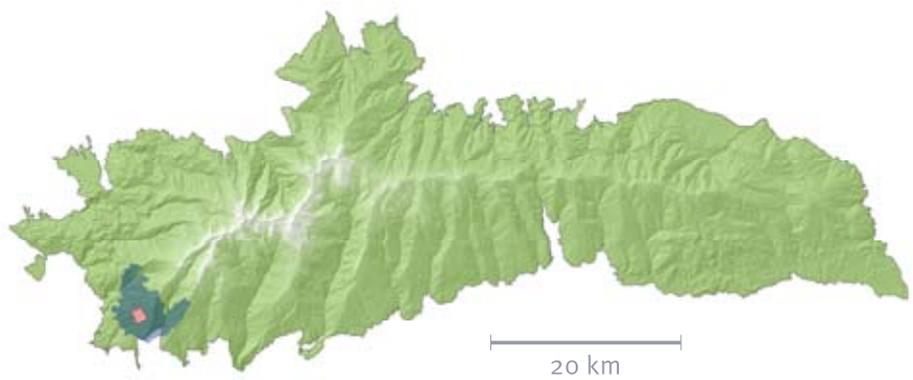
- Evaluar los efectos de diferentes técnicas de restauración de la masa forestal.
- Analizar la supervivencia y crecimiento diferencial de un amplio número de especies arbóreas y arbustivas utilizadas en la restauración.
- Analizar la influencia del matorral pionero y la altitud sobre los plantones en los núcleos de dispersión, teniendo en cuenta la supervivencia, el crecimiento y la herbivoría.
- Analizar el efecto de la altitud y la exposición sobre la supervivencia y crecimiento de los plantones en las repoblaciones tradicionales.

> Método y esfuerzo

El planteamiento experimental consiste en el seguimiento de la restauración realizada a través de núcleos de dispersión y repoblaciones tradicionales.

Núcleos de dispersión: presentan unas dimensiones de 30x30 m y de 10x10 m. En ellos se ha introducido *Crataegus monogyna*, *Rosa canina*,

Berberis hispanica, *Prunus ramburii* y *Quercus ilex* subsp. *ballota*, con una separación de 25, 50 y 100 m entre ellos. Cada uno de estos núcleos está rodeado de pinos, empleando *Pinus sylvestris* en las cotas más altas y *P. pinaster* en las cotas más bajas. El control de las seis especies introducidas se lleva a cabo sobre dos escenarios en cotas bajas (con y sin presencia



■ Zona de seguimiento
■ Área del incendio

de *Ulex* spp.) y otros dos en cotas altas (con y sin *Adenocarpus* sp.). En total se han marcado entre 55-110 individuos de cada una de las 6 especies y entre 550-560 individuos por cada uno de los cuatro escenarios. Además de la presencia o ausencia de matorral pionero (*Adenocarpus* sp. y *Ulex* spp.), también se ha evaluado la influencia de otros factores como la altitud y el tamaño del núcleo.

Repoblaciones tradicionales: en ellas las mismas especies se agrupan en bosquetes de dimensiones variables. Se evalúa la evolución de la masa en dos áreas: una en la cara sur a 1.540 m y otra en la cara oeste a 2.140 m. En cada zona se marcan individualmente para su seguimiento 30 individuos de cada una de las 6 especies escogidas.

➤ Periodicidad

El seguimiento individualizado se lleva a cabo dos veces al año, en primavera y en otoño, para evaluar la mortandad invernal y estival respectivamente.



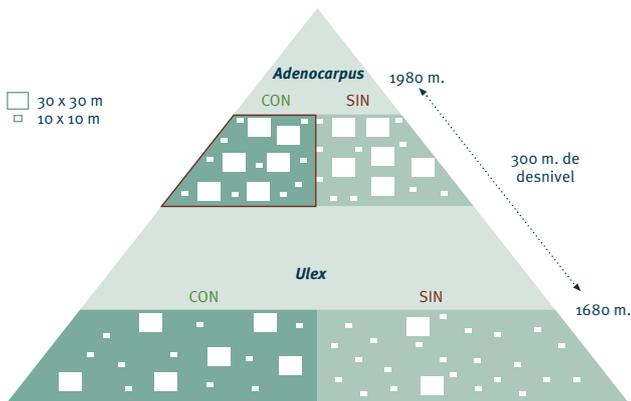
VARIABLES

Variable	Unidad
Supervivencia	%
Crecimiento	cm
Herbivoría	% nº brotes ramoneado/ nº brotes total
Humedad del suelo	%
Estado de la planta	escala propia

Medición del tamaño y estimación del estado y herbivoría de la planta.

Diseño metodológico: En cada escenario (enmarcado en rojo) se miden 6 especies diferentes, realizándose el seguimiento de entre 55 y 110 individuos/especie. En total, se siguen entre 550 y 560 individuos/escenario.

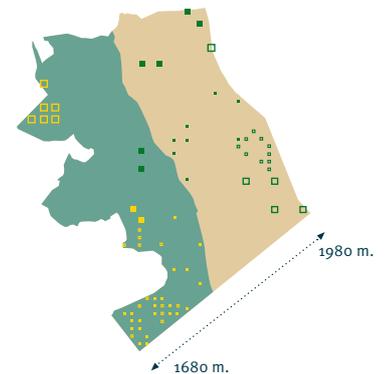
Distribución de los núcleos de dispersión a lo largo del gradiente altitudinal que va de 1680 a 1980 m en el interior de las repoblaciones de pino silvestre y pino pinaster.



Núcleos de dispersión

- Repoblación con *P. sylvestris*
- Repoblación con *P. pinaster*

- Núcleo 30x30m Con *Adenocarpus*
- Núcleo 30x30m Sin *Adenocarpus*
- Núcleo 10x10m Con *Adenocarpus*
- Núcleo 10x10m Sin *Adenocarpus*
- Núcleo 30x30m Con *Ulex*
- Núcleo 30x30m Sin *Ulex*
- Núcleo 10x10m Con *Ulex*
- Núcleo 10x10m Sin *Ulex*



➤ Bibliografía

- Beschta, R. L., Rhodes, J. J., Kauffman, J. B., Griesswell, R. E., Minshall, G. W., Karr, J. R., Perry, D. A., Hauer, E. R. y Frissell, C. A. 2004. Postfire management on forested public lands of the western United States. *Conserv. Biol.*, 18: 957-967.
- Marañón-Jiménez, S., Castro, J., Kowalski, A. S., Serrano-Ortiz, P., Reverter, B. R., Sánchez-Cañete, E. P. y Zamora, R. 2011. Post-fire soil respiration in relation to burnt wood management in a Mediterranean mountain ecosystem. *Forest Ecol. Manag.*, 261: 1436-1447.
- Castro, J., Allen, C. D., Molina-Morales, M., Marañón-Jiménez, S., Sánchez-Miranda, A. y Zamora, R. 2011. Salvage logging versus the use of burnt wood as a nurse object to promote post-fire tree seedling establishment. *Restor. Ecol.*, 19(4): 537-544.

➤ Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_incendio



Seguimiento de enfermedades emergentes en fauna autóctona



Los informes del Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático y de la Organización Mundial de la Salud alertan sobre **cambios de los patrones y de la distribución de las enfermedades potencialmente graves**. Determinadas enfermedades son sensibles al clima, influyendo sobre la frecuencia y distribución y los vectores de transmisión y pueden tener un impacto no solo sobre la salud humana, sino también sobre la cabaña ganadera y sobre la fauna silvestre, sobre todo en el caso de especies amenazadas, que pueden ser empujadas a la extinción por eventos estocásticos.

La interacción de estas variables en un determinado tiempo y lugar tiene como consecuencia el establecimiento de escenarios epidemiológicos propicios para la emergencia y reemergencia de **enfermedades infecciosas** vectoriales y zoonóticas. Se define enfermedad infecciosa emergente a aquella cuya incidencia ha aumentado

en los últimos años o corre riesgo de aumentar en los próximos. En general se diferencian dos grupos: las causadas por agentes desconocidos hasta ahora como el Virus de la Influenza Aviar (H5N1) y aquellas causadas por agentes infecciosos conocidos pero que se encuentran en aumento (enfermedades reemergentes), como la tuberculosis. La fauna silvestre se considera el reservorio más importante de más del 70% de todas las **enfermedades emergentes**.

Estos riesgos deben ser mejor conocidos y requieren mecanismos nuevos de vigilancia y de prevención. Por eso, **las poblaciones de cabra montés y jabalí de Sierra Nevada están siendo intensamente monitorizadas**, no sólo a nivel poblacional sino también respecto a las enfermedades que le afectan, integrando la vigilancia epidemiológica con aspectos ecológicos, demográficos y reproductivos.



Parte del instrumental empleado para la toma de muestras en fauna salvaje.



Piel extendida de una animal seriamente afectado por sarcoidosis.



Toma de muestras en jabalí.



Macho adulto de cabra montés no afectado por sarcoidosis.

> Bibliografía

Cano-Manuel, F.J., Granados, J.E., Aspizua, R., Barea, J.M. Sánchez, F.J., Henares, I.L. y Navarro, J. 2010. Cambio global y cabra montés (*Capra pyrenaica*) en Sierra Nevada, España. *Galemys*, 22 (nº especial): 433-445.

Walther, G, Post, E., Menzel, A., Parmesa, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, H. y Bairlein, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416: 389-395.

> 7.1 Estado sanitario de las poblaciones de cabra montés y de jabalí

Animal afectado por la parasitosis.



> Objetivos

Los objetivos de este protocolo de seguimiento son: 1) Seguimiento y monitorización de la sarcoptidosis y otras enfermedades infectocontagiosas en la población de cabra montés (*Capra pyrenaica*), 2) Supervisión del estado sanitario de la población de jabalí (*Sus scrofa*), como reservorio de epizootias y enfermedades emergentes.



Manejo de los ejemplares de cabra montés

> Método y esfuerzo

Cabra montés

La población de cabra montés sufre desde 1992 una epizootia de sarna sarcóptica, con prevalencias del 4%. La prevención de la sarna incluye medidas para evitar o prevenir la enfermedad en grupos no infectados. La principal herramienta para el manejo de la sarna consiste en la reducción de la densidad de los hospedadores. Con esto, disminuye la probabilidad de contacto y por tanto la transmisión de la enfermedad.

1. Captura de ejemplares en vivo, tanto con métodos físicos (capturaderos, cajas-trampa) como químicos (anestesia). Toma de muestras a los mismos (biométricos y biológicos).
2. Abatimiento de animales, a los que se les toma una serie de datos biométricos y biológicos.
3. Estudios biológicos de la población. Las muestras obtenidas proveen información acerca del estado sanitario de la población (estudios parasitarios y de otras enfermedades infectocontagiosas), estudios biológicos (reproducción, índices de grasas depositadas en órganos, etc).

4. Estudios parasitarios y de otras enfermedades infectocontagiosas.
5. Marcaje y seguimiento de animales con collares y marcas auriculares.
6. Análisis epidemiológico de la sarcoptidosis en la población de cabra montés de Sierra Nevada. Caracterización de individuos resistentes, estudio de transmisión de la parasitosis entre individuos de un mismo grupo y entre grupos.
7. Calibración de la termografía como herramienta de diagnóstico de la sarcoptidosis y de caracterización de la intensidad de parasitación.
8. Estima de la densidad de ácaros en pieles de animales afectados por sarna sarcóptica mediante *real time* PCR.
9. Caracterización del estrés oxidativo de hospedadores afectados por sarna sarcóptica.
10. Patologías asociadas a diferentes niveles de infestación por *Sarcoptes scabiei*.

Jabalí

Con respecto a la población de jabalí en Sierra Nevada, la metodología se ha diseñado para conocer la presencia y frecuencia de agentes infecto-contagiosos capaces de provocar muertes en masa o estados de debilidad. Esta metodología se basa en caracterizar los siguientes aspectos:

1. Toma de muestras a los animales abatidos en los controles poblacionales por parte de la población local.
2. Cálculo de valores epidemiológicos de diferentes agentes infecciosos que pueden provocar muerte en masa o estados de debilidad. Se está efectuando el seguimiento a varios agentes

infecciosos (parásitos, virus y bacterias) dado el carácter epizootico y zoonótico de las mismas.

3. Diagnóstico de la enfermedad tuberculosa en ejemplares manejados.

VARIABLES

Variable	Unidad
Prevalencia sarcoptidosis en cabra montés	nº de individuos afectados/nº de individuos muestreados
Prevalencia tuberculosis en jabalí	nº de individuos afectados/nº de individuos muestreados
Sero prevalencia enfermedad Aujeszky (HVP), <i>Brucella suis</i> , influenza (H1N1), <i>Salmonella</i> spp. Clamidias y Circovirus	nº de individuos afectados/nº de individuos muestreados
Prevalencia triquinosis (<i>Trichinella</i> sp.)	nº de individuos afectados/nº de individuos muestreados

> Periodicidad

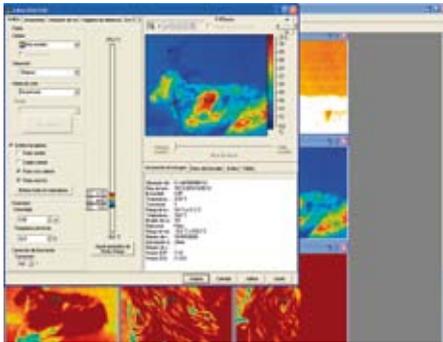
Los trabajos se realizan diariamente, excepto la toma de muestras en jabalí que se realiza durante la temporada cinegética (octubre-febrero).



Ejemplar afectado por la enfermedad marcado con collar GPS-GSM.



Captura de jabalí con trampas-corral.



Aplicación de técnicas termográficas para determinar las lesiones causadas por la sarcoptidosis.



Jabalí capturado para su marcaje y posterior seguimiento.



Monitorización de un ejemplar de cabra montés.



Extracción de sangre en un ejemplar de cabra montés capturado con rifle anestésico.



Necropsia de jabalí. Ganglios submandibulares con lesiones compatibles con tuberculosis.

> Bibliografía

- Granados, J.E., Soriguer, R.C., Pérez, J.M., Fandos, P. y Serrano, E. 2007. La cabra montés. Bases para la implementación de un Plan de gestión de la cabra montés en Andalucía. Pp.: 677-698. En: Barea, J.M., Ballesteros, E., Luzón, J.M., Moleón, M., Tierno, J.M. y Travesí, R. (eds.). *Biodiversidad y Conservación de fauna y flora en ambientes mediterráneos*. Granada.
- Granados, J.E., Castillo, A., Cano-Manuel, J., Serrano, E., Pérez, J.M., Soriguer, R.C. y Fandos, P. 2009. Gestión de la cabra montés. Manejo de sus poblaciones. Pp.: 452-485. En: Saez de Buruaga, M. y Carranza, J. (eds.) *Gestión cinegética en los ecosistemas mediterráneos*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Ruiz-Fons, F., Segalés, J., Gortázar, G. 2008. A review of viral diseases of the European wild boar: effects of population dynamics and reservoir role. *Vet. J.*, 176: 158-169.

> Vínculos

- <http://sefas.uab.cat/sefas/index.php>
http://sl.ugr.es/obsnev_enfermedades
<http://grupoinvestigacionrm118.org>
<http://sarcoptes-wmn.org>

Capítulo 8

La fenología de llegada y de partida de las aves migradoras, como los abejarucos, es un buen indicador de cambio en el ambiente.

Repercusiones sobre la biodiversidad: fenología, tendencias poblacionales y cambios en la abundancia y distribución de especies y comunidades



El cambio global constituye un problema emergente que amenaza la viabilidad de los ecosistemas. Uno de los aspectos en donde se ha demostrado que los impactos de este fenómeno son de mayor envergadura es sobre la biodiversidad. En Sierra Nevada los impactos previstos sobre la biodiversidad son similares a los esperados para otras regiones montañosas con la particularidad de tratarse de un macizo montañoso aislado, que alcanza altitudes muy elevadas y que se sitúa al sur de Europa, cerca de una zona de conexión entre regiones biogeográficas contiguas. A priori podemos considerar que los principales impactos del cambio climático en la biodiversidad podrían incidir en los siguientes aspectos funcionales y estructurales de los ecosistemas:

a. Cambios en la fenología: en diferentes lugares del planeta se ha visto que las plantas fructifican

y florecen más temprano o que se adelantan las fenofases de animales invertebrados, anfibios o aves. Las previsiones son que estos cambios provoquen también otros problemas ecológicos de mayor calado. La alteración de las relaciones ecológicas y de la capacidad competitiva entre especies en los nuevos escenarios fruto del cambio climático afectará de forma importante al funcionamiento de los ecosistemas.

b. Cambios altitudinales en la distribución y abundancia de las especies: las laderas y valles de las montañas son laboratorios excepcionales para el estudio del cambio global. Se prevé que las especies de zonas bajas y medias vayan progresivamente colonizando cotas altitudinales más elevadas, y que los organismos exclusivos de los pisos superiores puedan extinguirse de forma local o incluso a nivel global, como ocurriría en el caso de los endemismos exclusivos.

c. Cambios latitudinales en la distribución y abundancia de las especies: la literatura científica reúne una gran cantidad de ejemplos de cómo las especies modifican sus áreas de distribución en función de los cambios climáticos. El patrón más habitual es aquél en el que expanden esos límites de distribución hacia el norte y los contraen por el sur, aunque se han descrito ejemplos en diferentes sentidos y de magnitudes muy variables. Sierra Nevada constituye el límite inferior de la distribución de un buen número de organismos y por tanto se puede pronosticar que muchas de estas especies desaparecerán al contraer su límite de distribución meridional. Mientras tanto otras especies propias de latitudes más cálidas podrían ir haciendo acto de presencia. Esto último ya se ha datado claramente en el sur de la Península Ibérica en general y en Sierra Nevada en particular.

El águila-azor perdicera es uno de los grandes predadores de los ecosistemas mediterráneos. Su posición en la cúspide de la pirámide ecológica hace de éste y otros depredadores elementos sensibles a las alteraciones en las comunidades de especies-presa.



d. Cambios en interacciones ecológicas: los cambios en la fenología y en la distribución de las especies conducen a modificaciones en la composición de las comunidades, incluyendo

la ruptura de determinadas interacciones y la creación de nuevas. Dentro de nuestro área de trabajo, uno de los ejemplos más claros en este sentido es la expansión, gracias a un incremen-

to de la temperatura en determinadas cotas, de insectos defoliadores como la procesionaria del pino en masas forestales de carácter autóctono y relicto de pino silvestre.

Los anfibios, al igual que los reptiles, son vertebrados ectotérmicos, lo cual los hace especialmente dependientes de las características ambientales de su entorno.



Las mariposas son uno de los grupos de organismos en los que los efectos del cambio climático han sido estudiados con mayor profundidad.



> Bibliografía

Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37: 637-669.
Moreno, J.M. (coord.). 2005. *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. 822 pp.



> 8.1 Fenología de la floración

Las leguminosas arbustivas, como *Adenocarpus decorticans*, desarrollan una floración masiva que facilita la identificación de las diferentes fases durante el proceso de seguimiento.



> Objetivos

Seguimientos de los cambios en la fenología de un grupo de especies vegetales en un gradiente altitudinal.

> Método y esfuerzo

Se realizan seguimientos de la evolución temporal de floración de *Anthyllis cytisoides*, *Retama sphaerocarpa*, *Prunus dulcis*, *P. avium*, *Crataegus monogyna*, *Adenocarpus decorticans*, *Genista versicolor* y *Cytisus galianoi*. Se selecciona una

localidad donde la especie es frecuente en el paisaje y está presente a lo largo de un gradiente altitudinal suficiente (se recomienda superior a 100 m.) como para permitir diferencias detectables con la metodología desarrollada. En cada altitud se identifican dos puntos diferentes. En cada punto se seleccionan 20 ejemplares reproductores.

En cada evento de seguimiento se registra la fase fenológica en la que se encuentra la planta en función de una escala:

Fase 0: aquellos que estén desarrollando las estructuras florales pero aún no han iniciado la antesis.

Fase 1: se observan entre 1 y 5 flores abiertas en el ejemplar.

Fase 2: tienen abiertas más de 5 flores y aún no han alcanzado el máximo de floración.

Fase 3: han alcanzado el máximo de floración.

Fase 4: se observan frutos.

Fase 5: todo lo observable son frutos y solamente aparecen flores secas.



Floración de un ejemplar de piorno *Cytisus galianoi*.

Para el caso concreto del roble (*Quercus pyrenaica*) se han seleccionado tres localidades diferentes en las tres principales vertientes de Sierra Nevada (sur, noroeste y norte). En cada localidad se han ubicado dos pares de parcelas en dos altitudes diferentes. En cada parcela se identifican 10 ejemplares. En cada uno se hace un seguimiento del desarrollo de las estructuras reproductoras (masculinas y femeninas). Se hace especial hincapié en el desarrollo de las flores femeninas y los frutos.

> Periodicidad

Este seguimiento se realiza anualmente durante el periodo de floración de cada especie.

VARIABLES

Variable	Unidad
Fase de floración	escala propia

Las especies de floración temprana, como el cerezo (*Prunus avium*) destacan sobre el resto de especies arbóreas que forman el robleal.Ejemplar del endemismo ibero-magrebí *Adenocarpus decorticans* finalizando la floración e iniciando la fructificación.La aparición de incipientes capítulos indican el inicio de la fase reproductora de la bolina *Genista umbellata*.Durante la primavera, en las altas cumbres, grandes extensiones de piorno inician a la vez la floración. El endemismo nevadense, *Genista versicolor* es el piorno más extendido por Sierra Nevada.Floración masiva del majuelo (*Crataegus monogyna*). Un arbusto muy característico en las orlas de bosque mediterráneo.Incluso dentro de un mismo ejemplar la floración es un proceso progresivo en función de la orientación de cada rama como se puede observar en este ejemplar de *C. galianoi*.

> Bibliografía

Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F.M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Åslög, D., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatczak, K., Måge, F., Mestre, A., Nordli, Ø., Peñuelas, J., Pirinen, P., Remišová, V., Scheffinger, H., Striz, M., Susnik, A., Van Vliet, A.J.H., Wielgolaski, F.E., Zach, S. y Züst, A. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob. Change Biol.*, 12: 1969-1976.

Springer, C.J. y Ward, J.K. 2007. Flowering time and elevated atmospheric CO₂. *New Phytol.*, 12: 1969-1976.

Meier, U. (ed.). 2001. *Estadios de las plantas mono y dicotiledoneas*. BBCH Monografía. 2ª Edición. Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura. Alemania. 149 pp.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_fenologia_floracion



> 8.2 Tendencias poblacionales de flora

Gentiana lutea subsp. *lutea*



> Objetivos

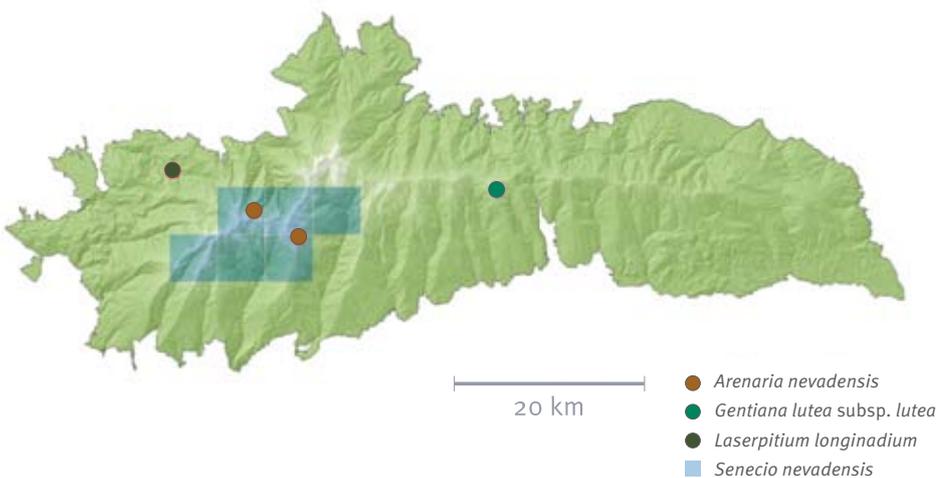
El objetivo de este protocolo de seguimiento es detectar variaciones en los parámetros vitales y estructuras demográficas de ciertas poblaciones vegetales sensibles a cambios ambientales.

También se evalúan las posibles retracciones o expansiones del área de ocupación de los núcleos poblacionales.

> Método y esfuerzo

Las especies objeto de estudio en esta metodología son: *Arenaria nevadensis*, *Laserpitium longiradium*, *Gentiana lutea* subsp. *lutea* y *Senecio nevadensis*.

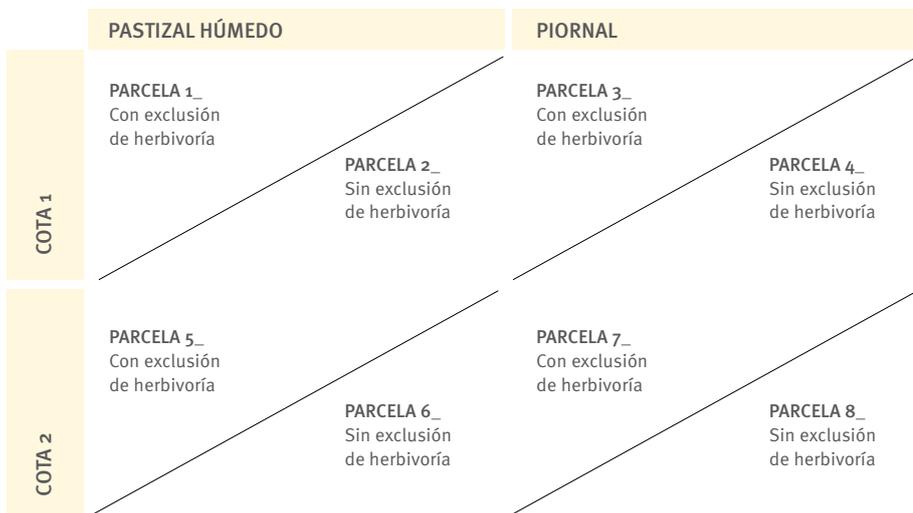
Se distinguen dos niveles de estudio con dos metodologías diferentes: Para *Senecio nevadensis* se usa un simple modelo de presencia/ausencia y abundancia con el fin de contrastar cambios en la distribución del taxón en el espacio y en el tiempo. El seguimiento se realiza en una serie de parcelas seleccionadas en función del rango altitudinal del taxón. Así, se establecen tres tipos de parcelas: fuera del rango altitudinal (se espera detectar ausencia y futura colonización), dentro del rango (se espera encontrar individuos) y en límite altitudinal (se espera detectar variaciones). Por otro lado, para *Arenaria nevadensis*, *Laserpitium longiradium* y *Gentiana lutea* subsp. *lutea* se requiere un muestreo más profundo, ya que se pretenden evaluar tendencias poblacionales. Para ello se han establecido parcelas fijas de muestreo; para los hemieptófitos *Gentiana lutea* y *Laserpitium longiradium* se han incluido en ellas alrededor de 750 individuos. En el



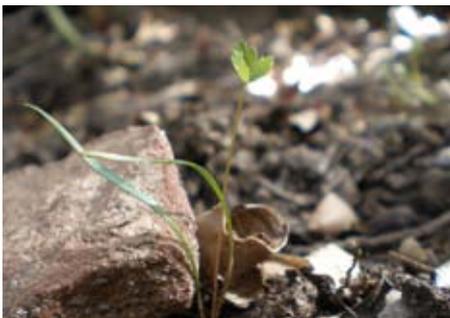
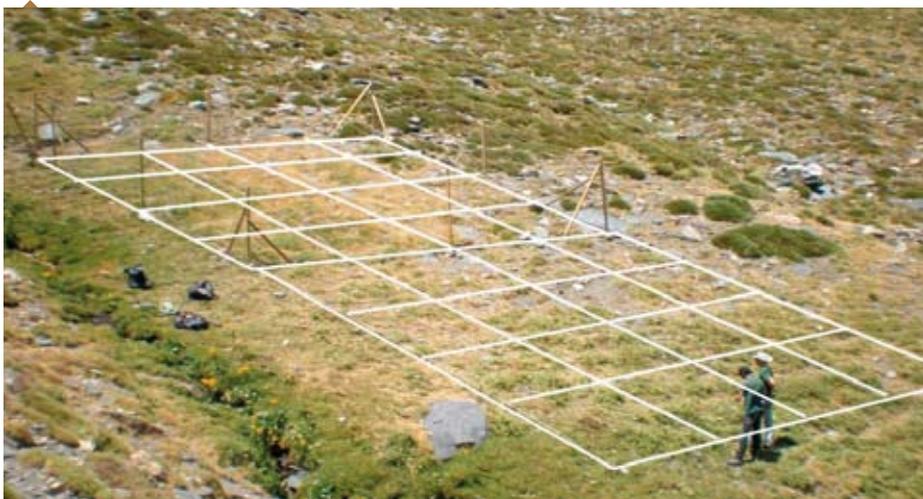
caso del terófito *Arenaria nevadensis*, se han establecido líneas fijas de muestreo a lo largo de cada núcleo.

En cada muestreo se determinan parámetros demográficos, como tasa de germinación, reclutamiento, crecimiento, supervivencia, mortan-

dad y fecundidad. Para ello se miden variables referentes a la estructura en clases y transición de los individuos entre ellas, porcentaje y causa de daños, número de flores y cuántas de éstas producen fruto, número de semillas por fruto, número de semillas que germina y datos morfométricos.



Parcelas de seguimiento y mapeo de individuos de *Gentiana lutea* subsp. *lutea*



Plántula de *Laserpitium longiradiatum*.

➤ Periodicidad

Estos seguimientos se realizan con una periodicidad anual.

VARIABLES

Variable	Unidad
Tamaño de la población	nº individuos
Estructura de la población por clases	nº individuos/clase
Estructura de la población reproductores/vegetativos	nº reproductores/nº vegetativos
Tamaño de individuos: superficie	cm ²
Tamaño de individuos: altura	cm.
Crecimiento: superficie	superficie año t+1/ superficie año t
Crecimiento: altura	altura año t+1/altura año t
Estimación de daños: ramoneo	% parte ramoneada/ total
Estimación de daños: pisoteo	% parte pisoteada/ total
Estimación de daños: predación invertebrados	% parte predada/ total
Estimación de daños: sequía	% parte seca/total
Productividad: semillas	nº semillas/fruto
Productividad: frutos	nº frutos/individuo
Fecundidad: tasa germinación	% de semillas que germinan en una siembra
Área de ocupación	has.
Variación del área de ocupación	ha año t+1/ha año t
Densidad: valor distancia al individuo más próximo	cm
Densidad: valor individuos/unidad superficie	nº individuos/m ²
Presencia/ausencia	si/no

➤ Bibliografía

Iriondo, J.M., Albert, M.J., Giménez Benavides, L., Domínguez Lozano, F. y Escudero, A. (eds.) 2009. *Poblaciones en Peligro: Viabilidad Demográfica de la Flora Vasculosa Amenazada de España*. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino). Madrid, 242 pp.

Morris, W.F., Doak, D.F., Groom, M., Kareiva, P., Fieberg, J., Gerber, L., Murphy, P. y Thomson, D. 1999. *A Practical Handbook for Population Viability Analysis*. The Nature Conservancy. New York. 80 pp.

➤ Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_tendencias



> 8.3 Comunidades vegetales de alta montaña: proyecto GLORIA

Cima de muestreo:
Cúpula. 2.968 metros



> Objetivos

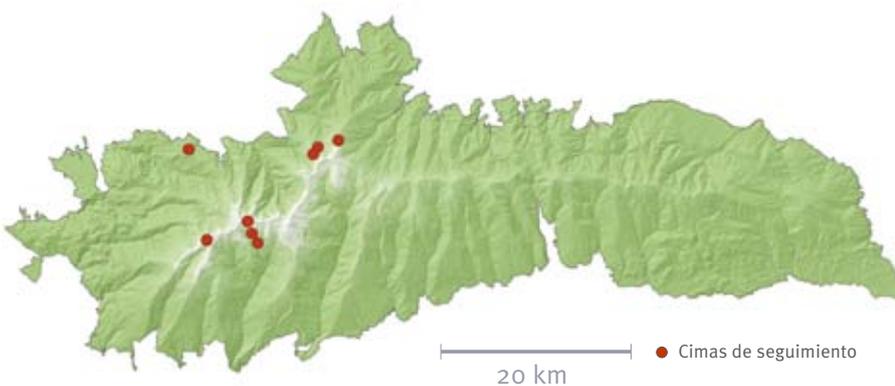
El objetivo básico de este protocolo es evaluar las posibles pérdidas de biodiversidad, así como la vulnerabilidad de los ecosistemas de alta montaña frente al cambio climático. Este protocolo se basa en el proyecto GLORIA-EUROPE (*Global Observation Research Initiative in Alpine Environments*), iniciado en 2001. Se trata de la primera red europea de seguimiento de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad. Con este propósito se llevan a cabo obser-

vaciones *in situ* orientadas a detectar cambios en la composición específica y en la cobertura vegetal, mediante la estimación de coberturas y frecuencias de cada taxón y de los distintos tipos de superficie (roca, superficie pedregosa, suelo desnudo, etc). Paralelamente, se lleva a cabo un registro continuo de la temperatura que permitirá comparar los regímenes térmicos y de innivación entre las cimas y en función de un gradiente altitudinal.

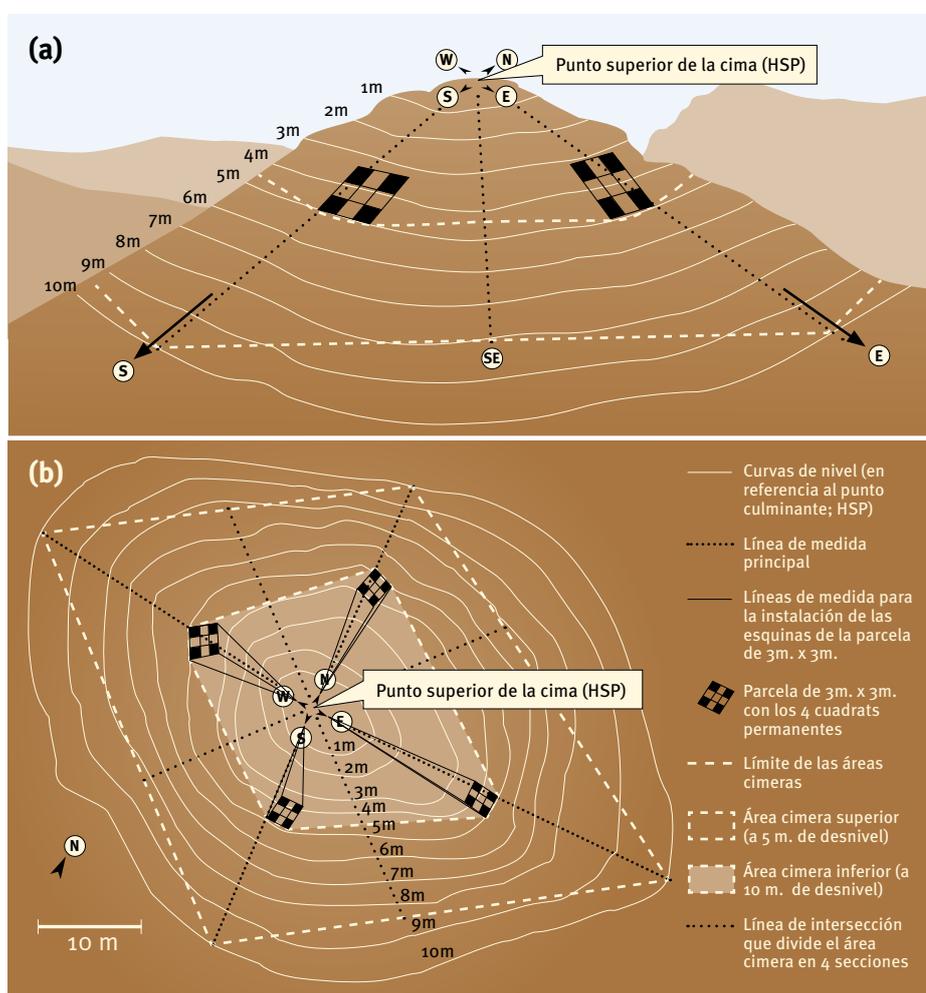
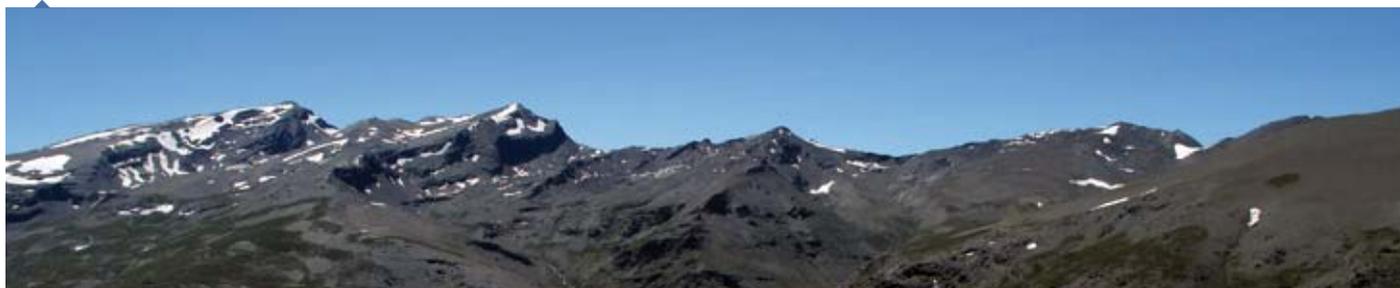
> Método y esfuerzo

Se han seleccionado 4 cimas que responden a un gradiente altitudinal comprendido entre los 2.700 y 3.300 metros de altitud. En cada cima el muestreo de la vegetación se ha estructurado en dos partes:

1. Muestreo detallado en 16 cuadrados permanentes de 1x1 m, delimitados éstos por parcelas de 3x3 m emplazadas en las direcciones de los cuatro puntos cardinales. En ellos se registran por un lado la composición específica y la cobertura de cada componente (planta, suelo desnudo, roca, etc.) expresada en porcentaje, y por otro la frecuencia de aparición, de cada componente biótico o abiótico considerado.
2. Muestreo en ocho secciones del área cimera. Las secciones quedan delimitadas por las direcciones principales y sendas líneas a 5 y 10 metros de desnivel desde el punto central de la cima, situado en su zona más alta. Para cada sección se estima la composición de taxones y su cobertura correspondiente según una escala de abundancia cualitativa en función de la representatividad (dominante, común, extendido, raro, muy raro o de presencia puntual). Se estima asimismo la representatividad, expresada en porcentajes de los diferentes tipos de superficie.



Las cimas de Sierra Nevada son un ambiente idóneo para registrar los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad vegetal.



Adaptado de Pauli et al. (2003)

> Periodicidad

La periodicidad inicialmente establecida ha sido de 7 años, se estudia la posibilidad de modificar la frecuencia del seguimiento para las futuras revisiones.

VARIABLES

Variable	Unidad
Riqueza	nº de especies
Frecuencia del taxón	%
Frecuencia del tipo de sustrato	%
Cobertura del taxón por parcela y área cimera	%
Cobertura del tipo de superficie por parcela y área cimera	%
Temperatura del suelo a 10 cm de profundidad, cada hora	ºC

Diseño esquemático del muestreo en una cima:

(a) Vista lateral con las curvas de nivel esquemáticas.

(b) vista superior. Las parcelas de 3 x 3 m y las esquinas de las áreas cimera se disponen en la dirección de los cuatro puntos cardinales.

> Bibliografía

Pauli, H., Gottfried, M., Hohenwallner, D., Reiter K. y Grabherr, G. 2003. *Manual para el trabajo de campo del proyecto GLORIA. Aproximación al estudio de las cimas*. Iniciativa para la Investigación y el Seguimiento Global de los Ambientes Alpinos, como contribución al Sistema Terrestre de Observación Global (GTOS). Versión traducida por Luís Villar. 67 pp.

Gottfried, M., Pauli, H., Futschik, A., Akhalkatsi, M., Barancok, P., Benito Alonso, J.L., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B., Fernández Calzado, M.R., Kazakis, G., Krajci, J., Larsson, P., Mallau, M., Michelsen, O., Moiseev, D., Moiseev, P., Molau, U., Merzouki, A., Nagy, L., Nakhutshvili, G., Pedersen, B., Pelino, G., Puscas, M., Rossi, G., Stanisci, A., Theurillat, J.P., Tomaselli, M., Villar, L., Vittoz, P., Vogiatzakis, I. y Grabherr, G. 2012. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change*. doi: 10.1038/NCLIMATE1329

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_gloria



> 8.4 Enebral-piornal a lo largo de gradientes de estrés

Seguimientos en la cabecera del Río San Juan.
2.300 metros



> Objetivos

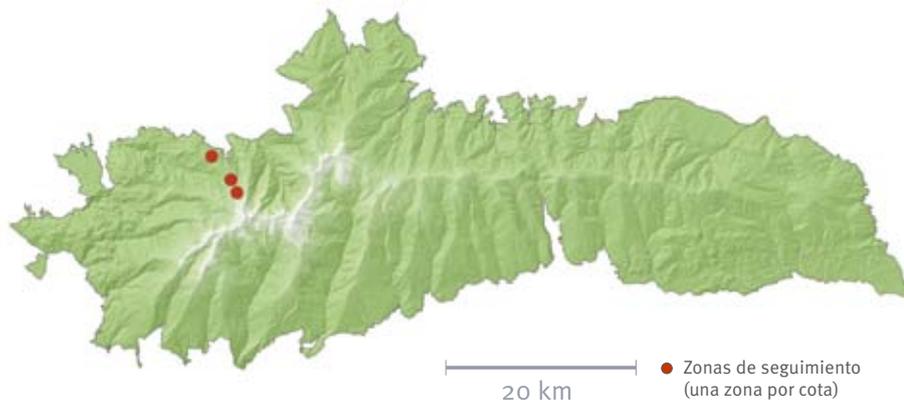
El objetivo básico de este protocolo de seguimiento es valorar los cambios en la incidencia y abundancia de los taxones así como el papel que tienen las interacciones positivas entre plantas en el mantenimiento de la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema en ambientes extremos y bajo un marco de cambio global. El desarrollo de la metodología planteada persigue tres objetivos específicos:

avanzar en el conocimiento de la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas a lo largo de gradientes de estrés; evaluar el papel de las interacciones positivas entre plantas vasculares en dicha estructura y funcionamiento y finalmente, la aplicación del conocimiento adquirido a la gestión y la conservación de la biodiversidad en ambientes de alta montaña.

> Método y esfuerzo

El seguimiento se plantea a lo largo de un gradiente altitudinal, combinando dos situaciones o fisionomías diferentes que coexisten a esta altitud: el pastizal psicroxerófilo y el enebral-piornal hasta su límite altitudinal de distribución. La diferencia radica, desde el punto de vista estructural, en la distinta densidad de especies dominantes de matorral, particularmente de piornos y enebros. Todo ello se desarrolla mediante tres métodos de seguimiento interrelacionados designados como: muestreo por interceptación de línea, muestreo de cobertura-diversidad y estudio de la facilitación.

Con estas premisas se han instalado, desde los 2.300 a 2.700 m, parcelas pareadas con dimensiones de 30x30 m, con 2 o 3 réplicas por cota. Dichas parcelas pareadas se sitúan adyacentes y representan situaciones con distinta densidad de matorral, con un mínimo de 45 % para las del tipo "matorralizado" y 25 % para las más desprovistas de matorral. Cada una se subdivide en transectos cada 8 metros, sobre los se efectúan dos métodos de seguimiento. Por un lado, el de interceptación de línea que examina los distintos tipos de parchado que de forma imbricada interceptan la línea marcada por la cinta métrica,



así como sus dimensiones (ancho y puntos de corte con la cinta métrica) y las especies asociadas (entendiendo como “parche” los agregados de matorral o pastizal o bien de roca, u otros tipos de superficie). Por otra parte, para conocer en detalle la cobertura y diversidad, se registran mediante *cuadrats* de 1.5 m. de lado, la abundancia porcentual de los taxones presentes así como de los distintos tipos de superficie (rocas o piedras fijas, piedra suelta, suelo desnudo, restos de materia vegetal o excrementos). Se consideran solo las especies perennes.

Con objeto de averiguar el funcionamiento del ecosistema en relación con los nutrientes y microorganismos del suelo, se analizan muestras

de suelo extraídas en el entorno de las especies dominantes para cada tipología de agregado (*Juniperus communis* subsp. *nana*, *Genista versicolor*, *Festuca indigesta*) así como de suelo desnudo.

El seguimiento específico para estudiar el fenómeno de la facilitación se realiza, para 20 individuos aislados, de contorno bien definido, de *Juniperus communis* y en su caso de *Genista versicolor*. Lo que permite comparar la incidencia y abundancia relativa de las especies, según la escala de Braun-Blanquet, tanto en el ejemplar escogido como en el pastizal adyacente.

> Periodicidad

Se establece inicialmente una periodicidad trianual, susceptible de modificarse en función de los resultados obtenidos en las sucesivas repeticiones.



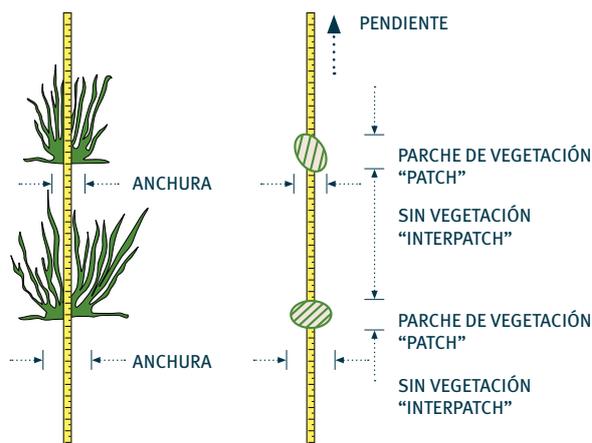
Seguimiento de cobertura-diversidad mediante cuadrats de 1,5 m².

Esquema general de los muestreos por interceptación de línea que ilustra la medición de la anchura y longitud de los parches a lo largo del transecto.

Adaptado de: Maestre, F. y col. Protocolo de muestreo de la vegetación y los suelos. Proyecto InterCamBio (2007-2010). http://www.esctet.urjc.es/biodiversos/espaa/investigacion/intercambio/protocolos_trabajo.html



Las piedras con tamaño superior a 20 cm también son consideradas.



VARIABLES

Variante	Unidad
Riqueza	nº de especies
Cobertura por taxón	%
Cobertura por tipo de superficie	%
Nº de parches de matorral interceptados por parcela	nº/superficie lineal muestreada
Nº de parches de pastizal interceptados por parcela	nº/superficie lineal muestreada
Riqueza de taxones asociada al ejemplar de <i>G. versicolor</i> o <i>J. communis</i> subsp. <i>nana</i>	nº especies
Abundancia de cada taxón asociado al ejemplar	según escala Braun-Blanquet
Actividad enzimática_fosfatasa ureasa y glucosidasa del suelo	µmoles de p-nitrofenol por gramo de suelo seco
Ph	
Conductividad eléctrica del suelo	µS/cm
Contenido en carbono del suelo	%
Contenido en nitrógeno del suelo	mg/gr
Contenido en fósforo del suelo	mg/gr
Contenido en potasio del suelo	mg/gr
Dimensión media de los parches de cada tipo	m ²
Riqueza de taxones asociada a cada tipo de parche	nº especies

> Bibliografía

- B.L.M. (Eds.) 1996. Sampling vegetation attributes. BLM Technical reference 1734-4. Bureau of Land Management's National Applied Resource Sciences Center. Denver, USA.
- Maestre, F. T., Callaway, R. M., Valladares, F. y Lortie, C. 2009. Refining the stress-gradient hypothesis for competition and facilitation in plant communities. *J. Ecol.*, 97: 199-205.
- Maestre, F. T. y Escudero, A. 2009. Is the patch-size distribution of vegetation a suitable indicator of desertification processes? *Ecology*, 90: 1729-1735.

> Vínculos

- http://sl.ugr.es/obsnev_interCambio
http://sl.ugr.es/obsnev_com_veg
http://sl.ugr.es/obsnev_enebrales

> 8.5 Bosques autóctonos y matorrales de media y alta montaña

Robledal denso



> Objetivos

El objetivo básico de este protocolo es el de detectar cambios en la riqueza de especies, en su nivel de cobertura y frecuencia. El objeto de estudio son los bosques autóctonos (encinares y robledales fundamentalmente) y los matorrales de media y alta montaña de Sierra Nevada.

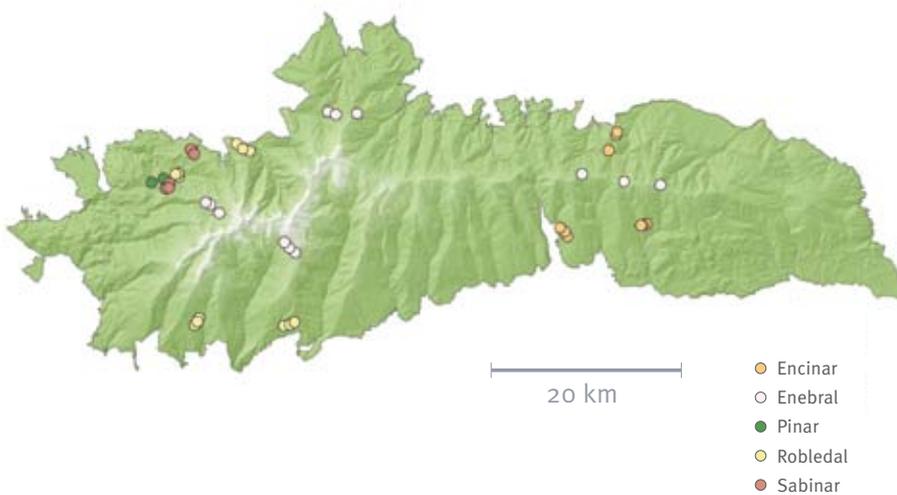
> Método y esfuerzo

Se han seleccionado puntos de muestreo en los distintos ecosistemas objetivo usando para ello la cartografía de vegetación disponible. Después, para cada comunidad seleccionada, el esfuerzo de seguimiento que se realiza es directamente proporcional a su presencia en el es-

pacio natural y a su singularidad. De este modo, se han seleccionado un número de localidades suficientes para abordar la máxima diversidad que ofrece Sierra Nevada e intentando mantener una distribución geográfica equilibrada. En cada localidad se han instalado 3 réplicas tratando de mantener, dentro de lo posible, las mismas condiciones de orientación, altitud y pendiente. Cada una de estas réplicas consiste en una parcela de 20 metros de lado que a su vez se subdivide en 16 cuadrículas con 5 metros de lado cada una. En cada cuadrícula se hace un inventario completo de los taxones presentes y se indica la cobertura relativa de cada taxón en la parcela.

Esta metodología general se particulariza en las diferentes formaciones vegetales seleccionadas siguiendo estos criterios:

Encinar acidófilo: Es una comunidad muy extendida por la media montaña del extremo oriental de Sierra Nevada. Se hace seguimiento de los encinares presentes en las tres vertientes en las que se presenta. Fiñana al norte, Laujar de Andarax al este y Bayárcal al sur.



Robledal: Esta comunidad está considerada relicta en Sierra Nevada y está presente en las partes más húmedas de las cuencas de los principales ríos. Se hace seguimiento de los robledales de la vertiente norte en San Juan y San Jerónimo. En la vertiente sur los de Cãñar y Pórtugos.

Pinar autóctono: Sólo presente en pequeños rodales en el núcleo calizo de Sierra Nevada. Se hace seguimiento de una parcela en el paraje de La Dehesilla.

Los enebrales han perdurado en unas pocas localidades o han quedado relegados a las cotas más altas de su distribución potencial en Sierra Nevada. Unos decenios atrás, eran rozados y quemados periódicamente para generar pastos.



En cada punto de seguimiento se pretenden detectar cambios en la diversidad biológica y en la presencia de los diferentes tipos biológicos (terófitos, hemicriptófitos, caméfitos y fanerófitos).



Enebral: Comunidad potencialmente abundante en las cumbres de Sierra Nevada pero en claro retroceso. Se hace seguimiento en los enebrales de Loma de Dílar, Dehesa del Camarate, Loma de Mulhacén y los presentes en las cumbres más meridionales.

Sabinar. Comunidad en claro proceso de regresión. Los rodales que aún perduran mantienen unas elevadas tasas de diversidad vegetal y endemismos.

Se considera que el principal *cuello de botella* que limita la continuidad de los robledales nevadenses es su escasa capacidad de regeneración por semilla.



La metodología seleccionada permite relacionar cualquier tipo de comunidad vegetal presente prácticamente en cualquier ambiente.



Tomillares dolomíticos: Comunidades con un alto nivel de endemismos presentes en sustratos muy estresantes para los vegetales. Se hace seguimiento en las cotas más altas de Los Alayos de Dílar.

Matorral semiárido: Comunidades muy deterioradas presentes en las cotas bajas de la parte más oriental de Sierra Nevada. Concretamente nos hemos centrado en los albaidales presentes en Rágol y Alboloduy.

> Periodicidad

Se realiza un seguimiento de cada punto cada tres años.

VARIABLES

Variable	Unidad
Cobertura	%
Riqueza	nº de especies

Los encinares son las comunidades arbóreas más extendidas en Sierra Nevada. Ocupan las laderas de la media montaña sobre cualquier tipo de sustrato.



> Bibliografía

Felicísimo, Á.M. (coord.) 2011. Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. *Oficina española de Cambio Climático*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, 552 pp.

Benito de Pando, B. 2008. *El Calentamiento Global en Sierra Nevada. Modelos de distribución potencial de formaciones vegetales sobre distintos escenarios de Cambio Global*. Proyecto DEA. Departamento de Botánica. Universidad de Granada. Granada.

Martínez Parras, J.M. y Molero Mesa, J. 1982. Ecología y fitosociología de *Quercus pyrenaica* Willd. en la provincia bética. Los melojares béticos y sus etapas de sustitución. *Lazaroa*, 4: 91-104.

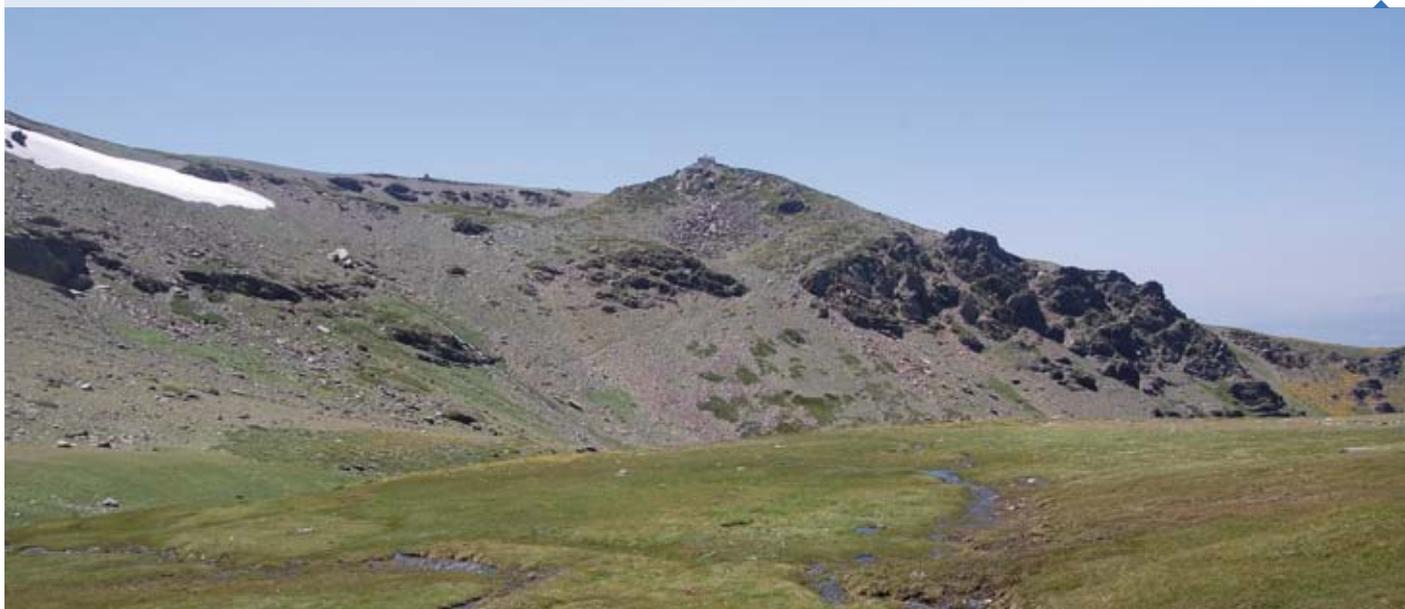
> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_encinares
http://sl.ugr.es/obsnev_robledales
http://sl.ugr.es/obsnev_mat_media_mont
http://sl.ugr.es/obsnev_com_veg



> 8.6 Pastos húmedos de alta montaña: borreguiles

Seguimientos en la cabecera del Río
San Juan. 2.700 metros



> Objetivos

Las comunidades edafohigrófilas de alta montaña, conocidas como borreguiles, son sistemas condicionados por la dinámica nival y previsiblemente sensibles a los cambios en la temperatura y la cuantía de precipitaciones. La observación sistemática de sus comunidades puede contribuir en un plazo presumiblemente más corto que otros ecosistemas a evidenciar y calibrar fenómenos de cambio relacionados con el cambio global. La importancia y relativa fragilidad de estos ecosistemas sumada a la existencia de datos previos registrados durante la década de los 80 con metodología semejante, ha derivado en la selección de este ecosistema como indicador de procesos de cambio.

Los objetivos principales del seguimiento consisten en: evaluar los cambios en la composición y abundancia de los taxones que componen los pastos húmedos de alta montaña, registrar cambios en su comportamiento fenológico y relacionar todos estos cambios con los parámetros climáticos disponibles.

> Periodicidad

Se establece una periodicidad anual para este seguimiento.

> Método y esfuerzo

El seguimiento desarrollado en las comunidades de borreguil se centra en registrar los cambios en la incidencia y abundancia de los taxones que la componen. Para la detección de alteraciones a más corto plazo se incluye el registro de las fases fenológicas principales de sus taxones.

El monitoreo se centra en las comunidades más extensas que habitan este entorno ripario formando pastizales con humedad más o menos constante. Por medio de parcelas fijas de 1 metro cuadrado, se registran los taxones existentes y su abundancia estimada en porcentaje de cobertura, así como el número de ejemplares en cada fase fenológica principal (pre floración, floración, fructificación).

Sobre un pequeño número de taxones, se realiza además un conteo específico de individuos una vez al año (ej. *Pinguicula nevadensis*). El esfuerzo dedicado al aspecto fenológico es quincenal, mientras que la estimación de la abundancia de los taxones se realiza dos veces durante el ciclo de seguimiento, entre los meses de mayo a octubre. Se realiza en 43 parcelas a lo largo de un gradiente altitudinal entre los 2.200 y los 2.700 metros. Entre ellas se incluyen vallados de exclusión ganadera como información de referencia con respecto al efecto del pastoreo en la zona.

> Bibliografía

Elzinga, A.L., Salzer, D.W. y Willoughby, J.W. 1998. *Measuring and Monitoring Plant Populations*. BLM Technical reference, no. 1730-1. Bureau of Land Management's National Applied Resource Sciences Center. Denver, USA.

Lorite, J., Salazar, C. y Valle, F. 2003. Síntesis de la vegetación edafohigrófila del Parque Natural y Nacional de Sierra Nevada. *Monogr. Fl. y Veg. Béticas*, 13: 47-110.

Losa Quintana, J.M., Molero Mesa, J., Casares, M. y Pérez Raya, F. 1986. *El paisaje vegetal de Sierra Nevada: la cuenca alta del Río Genil*. Serv. Publ. Univ. Granada. Granada. 285 pp..

> Vínculos

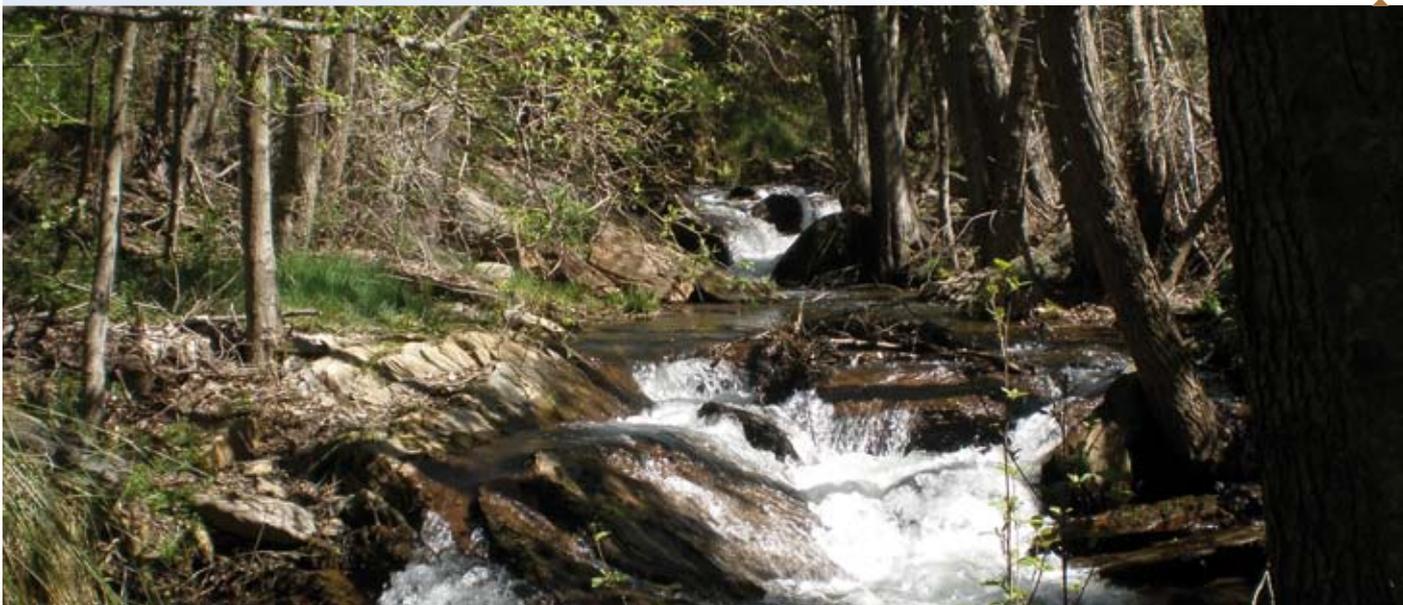
http://sl.ugr.es/obsnev_borreguiles

VARIABLES

Variable	Unidad
Riqueza	nº de especies
Abundancia de individuos por fase fenológica	nº de individuos/m ²
Carga ganadera	nº de cabezas/ha
Daños por ramoneo	%/parcela
Cobertura del taxón	%/parcela
Abundancia especies clave	nº de individuos/m ²

Cauce fluvial flanqueado por ejemplares de alisos jóvenes *Alnus glutinosa*

> 8.7 Vegetación de ribera



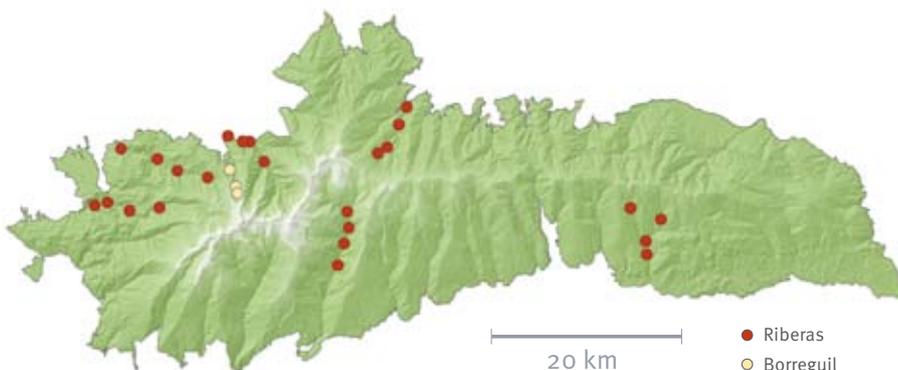
> Objetivos

Se pretende detectar posibles variaciones en la composición y estructura de las comunidades vegetales de ribera. Los datos obtenidos se podrán relacionar con los seguimientos de sistemas fluviales.

> Método y esfuerzo

Se han seleccionado los ríos con caudal permanente, con cobertura vegetal poco alterada y en los que se han establecido puntos de muestreo en el seguimiento de sistemas fluviales.

De esta forma se establecen 3 puntos de muestreo en 6 riberas diferentes. En una cota superior donde la densidad de la vegetación arbórea o arbustiva ribereña disminuye drásticamente o no aparece se establece un punto en el que se realiza el mismo proceso de seguimiento descrito para los puntos con vegetación ribereña.



Una vez seleccionado el punto de muestreo se establece una secuencia de 8 cuadrículas de 5 m. de lado en paralelo a la orilla del río. Se repite el proceso de forma simétrica para instalar otras 8 en la ribera opuesta. En cada cuadrícula se estima la cobertura total de vegetación. A continuación se enumeran las especies presentes y para cada una se indicará el nivel de abundancia-cobertura que aporta en cada cuadrícula (según valores r, +, 1, 2, 3, 4 y 5) y el número de pies para las especies de porte arbóreo o arbustivo (según valores 1, 2, 3, 4 ó ∞).

> Periodicidad

Se estima suficiente repetir el proceso completo cada tres años.

VARIABLES

Variable	Unidad
Cobertura	%
Riqueza	nº de especies

> Bibliografía

Mouillot, D., Spatharis, S., Reizopoulou, S., Laugier, T., Saetta, L., Basset, A. y Do Chi, T. 2006. Alternative to taxonomic-based approaches to assess changes in transitional water communities. *Aquat. conserv.*, 16(5): 469-482.
Confederación Hidrográfica del Ebro. 2005. *Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para Macrófitos*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 33 pp.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_riberas



➤ 8.8 Seguimiento de la población de jabalí

Ejemplar joven de jabalí



➤ Objetivos

Se trata de una especie de gran interés desde el punto de vista de las enfermedades infecciosas emergentes, por lo que es interesante realizar un monitoreo de su estatus poblacional y sanitario.

➤ Periodicidad

Los trabajos de seguimiento se realizan anualmente, coincidiendo con la temporada de caza (octubre-febrero).

VARIABLES

Variable	Unidad
Densidad relativa individuos abatidos	individuos/km ²
Densidad relativa individuos observado	individuos/km ²
Tamaño poblacional	nº individuos
Sex-ratio	hembras/Machos
Índice reproductor	crías/hembra
Tasa de fertilidad	nº fetos/hembra preñada
Estructura de edad	% de clase de edad

➤ Método y esfuerzo

El conocimiento del tamaño de las poblaciones de grandes mamíferos, es uno de los requisitos básicos para la gestión racional de dicho recurso. La utilidad de los métodos de censo varía en función de los objetivos así como de las características de los hábitats que ocupan las especies tratadas. Debido a las peculiaridades ecológicas del jabalí se considera que el método de las batidas de gestión resulta adecuado para obtener información y realizar un control efectivo de la población del jabalí en Sierra Nevada. La realización de batidas en las que se rastrea a los animales con la ayuda de perros facilita la detección de los individuos que se encuentran en una zona; por ello los datos registrados en las batidas, adecuadamente tratados, permiten realizar estimas u obtener indicadores de densidad y estructura de las poblaciones.

Durante la temporada cinegética se realizan del orden de 35 controles poblaciones, en los que suelen participar unas 50 personas y 75 perros. El horario oscila entre las 8 y las 15 horas. Con posterioridad los animales abatidos se someten a la toma de datos biométricos y se les extraen una serie de muestras biológicas (sangre para obtención de suero, órganos diana-ganglios submandibulares y pulmón principalmente) con el fin de determinar la prevalencia de varias enfermedades infectocontagiosas y la confirmación de presencia de tuberculosis.

A partir de la relación entre los animales observados y capturados en las batidas, podemos estimar el tamaño poblacional, basándonos en la ecuación $N = n/p$, donde n es el número de animales capturados y p es el porcentaje de los animales cobrados respecto a los observados.

➤ Bibliografía

- Rosell C., Fernández-Llario P. y Herrero H. 2001. El Jabalí (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758). *Galemys*, 13(2): 1-25.
- Tellería, J.L. y Sáez-Royuela, C. 1985. L'evolution démographique du sanglier (*Sus scrofa*) en Espagne. *Mammalia*, 49(2): 195-202.
- Abaigar, T. 1990. *Características biológicas y ecológicas de una población de jabalíes (Sus scrofa, L., 1758) en el SE ibérico*. Tesis doctoral. Universidad de Navarra.

➤ Vínculos

- <http://sefas.uab.cat/sefas/index.php>
<http://investigacionrnm118.org>

> 8.9 Seguimiento de la población de cabra montés

Joven macho enfermo de sarcoptidosis, marcado para su seguimiento.



> Objetivos

El objetivo es realizar un seguimiento de los parámetros poblacionales de la cabra montés. En Sierra Nevada la población de esta especie alcanza unas densidades de 9 individuos/Km², aunque en determinadas zonas y en épocas concretas la densidad alcanza los 20 individuos/Km², mientras que la densidad óptima se estima en unos 4 o 5 individuos /Km². Esto desencadena efectos adversos sobre endemismos vegetales y ecosistemas nevadenses que deben ser adecuadamente gestionados. Por tanto, el objetivo de este seguimiento es evaluar las tendencias poblacionales de la cabra montés en Sierra Nevada y poner en marcha medidas de gestión encaminadas a conservar a la especie y mantener sus poblaciones dentro de unos rangos sostenibles.

> Método y esfuerzo

Para alcanzar los objetivos establecidos se han puesto en marcha las siguientes metodologías:

1. Estimaciones poblacionales anuales, tanto en Sierra Nevada como en los sistemas montañosos periféricos.
2. Adecuación de la población a parámetros poblacionales teóricos (razón de sexos, pirámide poblacional, índice reproductor, potencial reproductor, etc...).
3. Captura de ejemplares en vivo, tanto con métodos físicos (capturaderos y cajas-trampa) como químicos (anestesia) y toma de muestras biométricas y biológicas.
4. Abatimiento de animales, a los que se les toma una serie de datos biométricos y biológicos.
5. Estudios del estado sanitario de la población: estudios parasitarios y de otras enfermedades infectocontagiosas, y caracterización genética de los hospedadores.
6. Investigación sobre la biología de reproducción y la fisiología.

> Periodicidad

Las estimas poblacionales se realizan anualmente durante el mes de octubre. El resto de los trabajos se ejecutan a diario.

VARIABLES

Variable	Unidad
Densidad	individuos/km ²
Sex-ratio	hembras/Machos
Índice reproductor	crías/hembra
Pirámide de edad en machos	% de clase de edad

> Bibliografía

Granados, J.E., Pérez, J.M., Márquez, F.J., Serrano, E., Soriguer, R.C. y Fandos, P. 2001. La cabra montés (*Capra pyrenaica*, Schinz 1838). *Galemys*, 13(1): 3-37.

Pérez, J.M., Granados, J.E., Soriguer, R.C., Fandos, P., Márquez, F.J. y Crampe, J.P. 2002. Distribution, status and conservation problems of the Spanish ibex, *Capra pyrenaica* (Mammalia: Artiodactyla). *Mam. Rev.*, 32(1): 26-39.

Pérez, J.M. (coord.). 2002. *Distribución, genética y estatus sanitario de las poblaciones andaluzas de cabra montés*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Jaén, Jaén, 267 pp.

> Vínculos

<http://pages.usherbrooke.ca/mfesta/iucnwork.htm>
<http://investigacionrnm118.org>



> 8.10 Micromamíferos

El topillo nival es un roedor adaptado a los roquedos.



> Objetivos

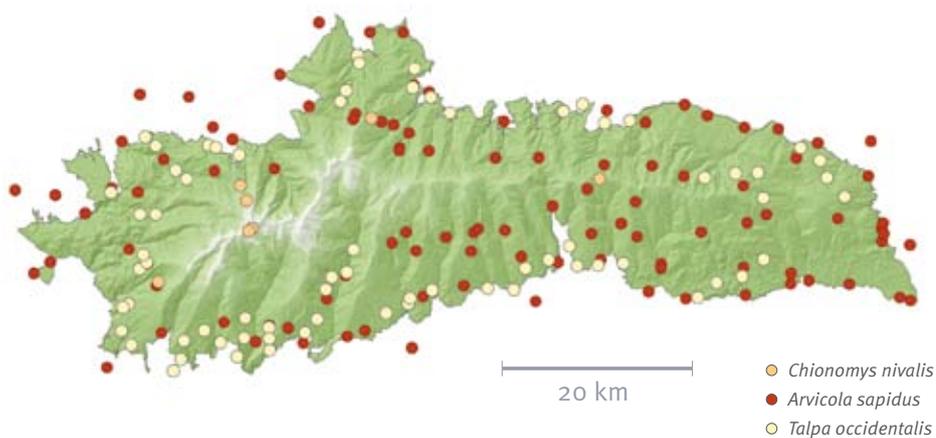
El objetivo de este seguimiento es evaluar las tendencias poblacionales de algunas especies de micromamíferos en Sierra Nevada.

> Método y esfuerzo

Las especies de micromamíferos incluidas en el programa de seguimiento son: topillo nival (*Chionomys nivalis*), rata de agua (*Arvicola sapidus*) y topo ibérico (*Talpa occidentalis*). Las tres especies tienen requerimientos ecológicos muy diferentes y eso permite que los datos derivados de su seguimiento permitan conocer aspectos

de la evolución de tres tipos de sistemas ecológicos bien diferenciados. A continuación se describen las tres metodologías utilizadas:

Topillo nival (*Chionomys nivalis*): entre los meses de junio a agosto se lleva a cabo el seguimiento intensivo en siete colonias. Estas colonias se encuentran en diferentes altitudes y orientaciones. El estudio se lleva a cabo mediante trapeo en vivo y para ello se emplean 30 trampas plegables tipo Sherman® con unas dimensiones de 8x9x23 cm. Cada una de estas trampas es cebada con fruta y pan impregnado de mantequilla de cacahuete. También se introduce un trozo de algodón. Las trampas permanecen activas durante cinco días y cuatro noches por localidad y son revisadas diariamente al amanecer y al atardecer. Cada ejemplar capturado es marcado con un microchip con el fin de reconocer su identidad en el caso de que vuelva a ser capturado. Se registra la biometría, carga parasítica y se determina el sexo de cada ejemplar capturado. Tras el manejo, cada ejemplar es liberado al medio en el mismo lugar en donde fue capturado.



Rata de agua (*Arvicola sapidus*): muestreos de media hora de duración en cada localidad con potencialidad para albergar a esta especie. Si el muestreo resulta positivo se da por concluido y se anota el tiempo transcurrido hasta localizar este primer indicio. Los indicios indirectos que se emplean para validar la presencia de esta especie son: letrinas, restos de alimentación y galerías. Paralelamente se aprovecha para registrar algunas características físicas de cada localidad que nos permitirán realizar aproximaciones al tipo de respuesta frente a los cambios en el medio que presenta la rata de agua. Se han prospectado todas las cuadrículas UTM de 5 km de lado de Sierra Nevada.

Preparativo de trampas tipo shermann® para el estudio de una colonia de topillo nival.



Salida de galerías excavadas por topo ibérico.



Topo ibérico (*Talpa occidentalis*): dado que la abundancia de toperas puede considerarse como un índice de actividad para la especie, tanto la distribución como la abundancia se han inferido a partir de la ocurrencia de dichos indicios indirectos en campo. En total se han trazado 18 transectos de 7.5 km, a lo largo de los cuales se completan un total de cuatro estaciones de muestreo, aproximadamente una cada 2.5 km. En total se realizan 72 estaciones o parcelas. Cada parcela tiene unas dimensiones de 50 m de ancho y 100 m de largo y en ellas la identificación de toperas se realiza simultáneamente por dos personas. Cada uno de los observadores contabiliza el número de toperas

Manejo de un ejemplar de topillo nival.



Galerías entre la vegetación generadas por ratas de agua.



en una banda de aproximadamente 12.5 m por lo que será necesario completar los 100 m en dos turnos a fin de cubrir adecuadamente el ancho de 50 m de la parcela. La parcela de 100 m de longitud se divide en cinco segmentos de 20 m donde se registrará la presencia/ausencia de toperas. De este modo, la proporción de segmentos positivos puede ser interpretada como un índice de abundancia relativa. En cada una de estas subparcelas de 20 x 50 m se registra, además del número de toperas, una serie de variables que posteriormente serán interpretadas como predictores ambientales. Estas variables están relacionadas con la estructura del hábitat y con los usos ganaderos a escala de detalle.

> Periodicidad

La misma metodología se implementa una vez al año en el caso del topillo nival (desde 2008) y se repite cada dos años en los casos de la rata de agua (desde 2011) y del topo ibérico (años 2008 y 2010).

VARIABLES

Variable	Unidad
TOPILLO NIVAL	
Proporción de sexos	% de machos y % de hembras
Proporción de edades	% de adultos y % de juveniles
Densidad absoluta	nº de individuos
Densidad relativa	nº de individuos/trampa y noche
Biometría	mm y gr
TOPO IBÉRICO	
Densidad relativa	% subestaciones positivas
RATA DE AGUA	
Distribución	presencia/ausencia

> Bibliografía

- Funmilayo, O. 1977. Distribution and abundance of moles (*Talpa europea* L.) in relation to physical habitat and food supply. *Oecologia*, 30: 277-283.
- Pérez-Aranda, D. 2009. *Biología, ecología, genética y conservación del topillo nival (Chionomys nivalis) en Peñalara y en Sierra Nevada*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- Román, J. 2010. *Manual de campo para un sondeo de rata de agua (Arvicola sapidus)*. Manuales de mastozoología. Sociedad Española para el Estudio y Conservación de los Mamíferos. Málaga, 34 pp.
- Wilson, D.E., Cole, R.F., Nichols, J.D. Rudran R. y Foster, M.S. (eds.) 1996. *Measuring and Monitoring Biological Diversity, Standard Methods for Mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington DC. 409 pp.

> Vínculos

- http://sl.ugr.es/obsnev_topillo
- http://sl.ugr.es/obsnev_topo
- http://sl.ugr.es/obsnev_rata
- <http://elrateador.blogspot.com/>



> 8.11 Mamíferos carnívoros

El zorro es el mamífero carnívoro más común en Sierra Nevada y su papel como dispersante de semillas es muy importante.



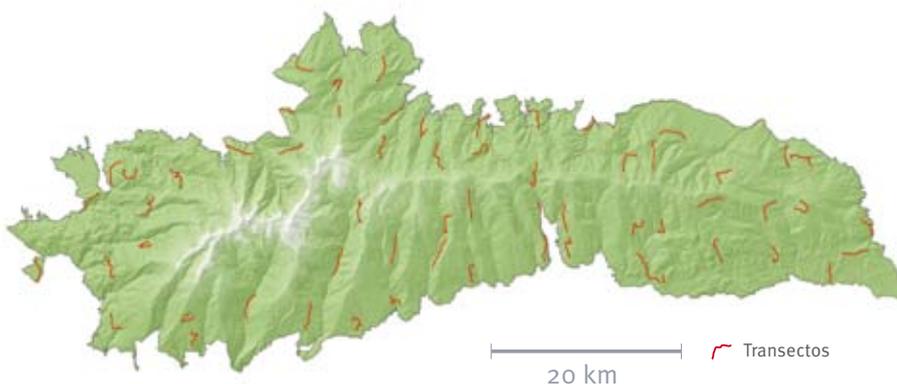
> Objetivos

Los objetivos del seguimiento de algunas especies de mamíferos carnívoros en el ámbito de este proyecto de seguimiento son: identificar los patrones de distribución, abundancia y selección de hábitat de las especies seleccionadas.

> Método y esfuerzo

Las especies de las cuales se realiza un seguimiento son: zorro (*Vulpes vulpes*), garduña (*Martes foina*), tejón (*Meles meles*), gato montés (*Felis silvestris*) y jineta (*Genetta genetta*). Para el cartografiado de la distribución y abundancia de la comunidad de mesocarnívoros en Sierra Nevada se ha escogido como unidad de estudio la cuadrícula UTM de 5 km de lado. En total se

han muestreado todas las cuadrículas UTM de 5 km de lado que contienen al menos un 50% de suelo incluido en el Espacio Protegido, a excepción de 6 cuadrículas donde predominan las cotas superiores a los 2.500 m. En cada cuadrícula se ha realizado un recorrido a pie con una longitud fija de 3 km. En total, se ha recorrido 198 km. En cada recorrido de muestreo se han delimitado una serie de unidades de muestreo o estratos más homogéneos en su distribución de densidades. De este modo, a lo largo de los 3 km de longitud de cada transecto se han tratado de recorrer todas las unidades de interés o estratos presentes en la cuadrícula, conservando la misma proporción dentro del recorrido en que estos estratos están representados en el medio, o al menos tratando de estratificar conjuntos de recorridos sobre unidades paisajísticas a gran escala. El diseño metodológico consistió en la división de cada recorrido en 12 estaciones de igual longitud (250 m cada una), y en la búsqueda de indicios de la presencia de mamíferos carnívoros a lo largo de dicho recorrido. Se consideró la presencia de una especie en una cuadrícula sí a lo largo de un recorrido se localiza al menos



un indicio asignable a esa especie. El estudio de la abundancia relativa para cada recorrido y en consecuencia para cada cuadrícula se ha inferido a partir del número de estaciones de 250 m donde se han encontrado excrementos (o deposiciones de secreciones glandulares) de dicha especie. El hecho de que para los cálculos de la abundancia relativa tan solo se hayan empleado los excrementos y marcas glandulares es debido a que la ocurrencia de huellas está supeditada al tipo de sustrato muestreado, lo cual introduciría sesgos en el estudio de la abundancia.

Paralelamente, se está trabajando a nivel local en el estudio de la fauna de carnívoros mediante trampeo fotográfico, con el objetivo de

detectar especies cuyos indicios pueden pasar desapercibidos durante los transectos (p.e. jineta), especies en baja densidad pero de alto interés para nuestro trabajo (p.e. gato montés) y en general con el objetivo de registrar la densidad absoluta de las especies que componen la comunidad de mesocarnívoros a nivel local como complemento al seguimiento a mayor escala expuesto más arriba.

El esfuerzo de fototrampeo se centra en robledales, encinares y pinares de repoblación de la cara norte y de la cara sur. En cada localidad se sitúan doce cámaras cubriendo una superficie de 12 km² y espaciadas al menos un km unas de otras, con un esfuerzo cercano a 700 cámaras/noche.

Los tejones depositan sus excremento en letrinas. A ellas también se asocian gran cantidad de secreciones glandulares con un importante significado social.



Los tejones depositan sus excremento en letrinas. A ellas también se asocian gran cantidad de secreciones glandulares con un importante significado social.

Tejonera mostrando las hojas de esparto que sus inquilinos han empleado para acondicionar el interior de las cámaras.



Tejonera mostrando las hojas de esparto que sus inquilinos han empleado para acondicionar el interior de las cámaras.

> Periodicidad

El seguimiento en recorridos se lleva a cabo una vez cada cuatro años, se realizó en 2007 y se ha repetido en 2011. El trampeo fotográfico se ha comenzado en el año 2011, tras pasar una fase experimental en 2010.

VARIABLES

Variable	Unidad
Densidad relativa	estación positiva/total
Densidad absoluta	individuos/ha (fototrampeo)
Distribución	presencia/ausencia

Huellas de tejón.



Huellas de tejón.



Gato montés hembra capturada durante una sesión de trampeo fotográfico en el valle del río Chico.



Huellas de Gato montés.



Proceso de configuración de un sistema de fototrampeo.

> Bibliografía

Barea-Azcón, J. M., Virgós, E., Ballesteros-Duperón, E., Moleón, M. y Chiroso, M. 2007. Surveying carnivores at large spatial scales: a comparison of four broad-applied methods. *Biodivers. Conserv.*, 16: 1213-1230.
 Boitani, L. y Fuller, T.K. (eds.). 2000. *Research Techniques in Animal Ecology*. Columbia University Press. New York, 435 pp.
 O'Connell, A.F., Nichols, J.D. y Karanth, K.U. 2011. *Camera Traps in Animal Ecology. Methods and Analyses*. Springer. New York, 271 pp.

> Vínculos

<http://www.carnivoreconservation.org/portal/index.php>
http://sl.ugr.es/obsnev_carnivoros

> 8.12 Aves rapaces

Águila real adulta sobrevolando alguno de los espectaculares valles glaciares que jalonan las caras norte del macizo de Sierra Nevada.



> Objetivos

Los principales objetivos del seguimiento de aves rapaces en Sierra Nevada son: conocer la tendencia de sus poblaciones a lo largo del tiempo en términos de número de parejas reproductoras, registrar variaciones en los diferentes parámetros reproductores relacionados con la dinámica de la población y establecer una relación entre la distribución y evolución de las poblaciones y de sus parámetros reproductores a lo largo del tiempo.



Observador registrando parámetros de nidificación en un territorio de águila real.

> Método y esfuerzo

El seguimiento se centra en la identificación de unidades reproductoras. Una vez delimitado el número de parejas se procede al seguimiento del proceso de reproducción. Se dedica mayor esfuerzo al seguimiento de las especies principalmente rupícolas (águila real, águila perdicera y halcón peregrino), aunque este seguimiento también se centra en las especies forestales (azor, gavián, aguililla calzada, culebrera europea y busardo ratonero). La única rapaz diurna reproductora en el área de trabajo no incluida en los seguimientos aquí expuestos es el cernícalo vulgar. El seguimiento en el caso de las tres especies de rapaces rupícolas consiste en la realización diferentes visitas a cada territorio, a lo largo de las cuales se verifica la incubación, se comprueba el número de pollos nacidos y, por último se registra el número de pollos que vuelan. También se constata la edad de los reproductores. En el caso de las rapaces asociadas a ambientes forestales el seguimiento es menos intensivo, de manera que solamente se registra el emplazamiento exacto del nido en donde se lleva a cabo el evento de reproducción y el resultado de dicho evento en términos de número de pollos nacidos. Para el control de los nidos se



El aguililla calzada es una rapaz migradora que se reproduce en buen número en Sierra Nevada.

La culebrera europea es una especie migradora que en el contexto de Sierra Nevada puede considerarse como escasa.



El busardo ratonero es una rapaz forestal nidificante en Sierra Nevada.



El águila-azor perdicera cuenta con un total de 15 parejas en Sierra Nevada.

emplean prismáticos de diez aumentos (10x40) y telescopios con lentes desde 20 a 60 aumentos. El seguimiento en cada pareja es intensivo y no se descarta la reproducción hasta completar el número de visitas oportuno al territorio.

Asociado a cada evento reproductor se registran las características del emplazamiento del nido y las posibles amenazas que pudieran afectar al normal desarrollo del proceso de cría.

> Periodicidad

El seguimiento de aves rapaces en Sierra Nevada se lleva a cabo todos los años, coincidiendo con las diferentes fechas en que se produce la reproducción. El seguimiento se centra por tanto desde el final del invierno (comienzo de la incubación de águila real) hasta el comienzo del verano (salida del nido de los pollos de algunas especies con un periodo de cría más prolongado, o con una fenología reproductiva más tardía).

VARIABLES

Variable	Unidad
Abundancia	nºterritorios
Densidad	nºterritorios/ha
Tasa de ocupación	%territorios ocupados
Tasa de incubación	%territorios incuban
Éxito reproductor	%territorios con pollos
Productividad	nºpollos/territorio ocupado
Tasa de vuelo	nºpollos que vuelan/territorio con pollo
Tasa de parejas adultas	% de parejas adultas
Tasa de adultos	% de reproductores adultos
Tasa de mortalidad	% de adultos que mueren

El águila real con 21 parejas, puede considerarse como una especie abundante en Sierra Nevada.



> Bibliografía

- Newton, I. 1979. *Population ecology of raptors*. T. & A.D. Poyser. Berkhamsted, UK, 399 pp.
- Alkama, J., Korpimäki, E., Arroyo, B., Beja, P., Bretagnolle, V., Bro, E., Kenward, R., Mañosa, S., Redpath, S. M., Thirgood, S. y Viñuela, J. 2005. Birds of prey as limiting factors of gamebird populations in Europe: a review. *Biol. Rev.*, 80: 171–203.
- Hardey, J., Crick, H., Wernham, C. Riley, H. Etheridge, B. y Thompson, D. 2009. *Raptors: A Field Guide for Surveys and Monitoring*. Stationery Office (TSO). Scotland, 370 pp.

> Vínculos

- http://sl.ugr.es/obsnev_rapacesRupicolas
http://sl.ugr.es/obsnev_rapacesForestales

> 8.13 Passeriformes y otras aves

El acentor alpino es el más claro ejemplo de Passeriforme de alta montaña de Sierra Nevada.



> Objetivos

Los principales objetivos del seguimiento de aves en Sierra Nevada son: conocer la tendencia de sus poblaciones a lo largo del tiempo, conocer la evolución de la composición de la comunidad, registrar posibles cambios en la fenología de llegada y salida de especies migradoras y, por último, conocer el estado de los ecosistemas que habitan, detectando posibles problemas con antelación.

> Método y esfuerzo

Podríamos diferenciar tres tipos de metodologías diferentes:

Transectos de censo: dirigidos especialmente a aves Passeriformes, aunque también se incluyen integrantes de otros órdenes. En total se completan 16 transectos, cada uno de ellos con una longitud aproximada de 2.5 km y a lo largo del

cual se registran todos los avistamientos, en una banda de 50 m a cada lado del observador, que a su vez se divide en 5 bandas de 10 m. El observador completa el recorrido a una velocidad constante de 2 a 4 km/h durante el primer tramo de la mañana. Estos recorridos de censo se distribuyen en tres ecosistemas concretos: de carácter forestal (bosques de roble), arbustivo (matorral espinoso de orla y formaciones de sabelina y enebro) y de ambientes de cumbres. Esta selección de ecosistemas a estudiar se ha efectuado en base a criterios de singularidad y funcionalidad ecológica en el contexto de Sierra Nevada.

Paralelamente se lleva a cabo un seguimiento de la cosecha otoñal de frutos en las especies *Crataegus monogyna*, *Prunus spinosa*, *Berberis hispanica*, *Lonicera arborea*, *Juniperus oxycedrus*, *Quercus pyrenaica*, *Rosa* spp. y *Sorbus* spp. con el objetivo de relacionar la tendencia y fenología de las aves frugívoras con el estado de dicha cosecha.



Estaciones de escucha: destinado exclusivamente al seguimiento de cárabo común (*Strix aluco*). Se completan 80 estaciones distribuidas cada 1.500 m en 10 transectos de 12 km de longitud cada uno. En ellas se emite durante 15 minutos una grabación con cantos de esta especie. En cada estación se registran diversos parámetros ambientales, el número de ejemplares de cárabo que responden al reclamo y su sexo. El tiempo que transcurre hasta que contesta el primer ejemplar también es registrado.

En Sierra Nevada muy pocas parejas de roquero rojo se ubican sobre terrenos calizos.



El carbonero común depreda activamente pequeños artrópodos y con ello contribuye a mantener el equilibrio ecológico en los entornos forestales en donde habita.



Búsqueda directa: dirigida a parejas reproductoras de roquero rojo (*Monticola saxatilis*) y a parejas reproductoras, zonas de alimentación y dormideros de chova piquirroja (*Pyrrhocorax pyrrhocorax* subsp. *erythrorhamphus*). En ambos casos se recorren a pie ambientes propicios para cada especie y se muestrea empleando material óptico (prismáticos de 10x40 y telescopios de 20-60x100).

El petirrojo es un activo consumidor de pequeños frutos y por tanto un importante vector de semillas.



➤ Periodicidad

El seguimiento mediante transectos se realiza durante todo el año con una periodicidad mensual a excepción de los recorridos de la zona de cumbres que son completados únicamente durante el periodo estival debido a que es la época en que están accesibles los biotopos a muestrear. Estos transectos se están realizando desde el mes de octubre de 2007. El seguimiento de roquero rojo, chova piquirroja y cárabo común se lleva a cabo anualmente durante la época apropiada para cada especie.

VARIABLES

Variable	Unidad
PASEIFORMES	
Índice kilométrico de abundancia	nº individuos/km
Densidad	nº individuos/10 ha
% de frutos maduros	frutos maduros/total de frutos
Cosecha de frutos	escala propia
Riqueza específica	nº de especies
CÁRABO	
Abundancia	nº mínimo de territorios
Densidad relativa	% estaciones positivas
ROQUERO ROJO	
Distribución	presencia/ausencia
Abundancia	nº mínimo de territorios
Densidad	nº territorios/ha
CHOVA PIQUIRROJA	
Abundancia parejas reproductoras	nº mínimo de parejas
Distribución	presencia/ausencia
Abundancia individuos invernantes	nº mínimo de individuos

➤ Bibliografía

Moller, A.P., Fiedler, W. y Berthold, P. (eds.) 2010. *Effects of climate change on birds*. Oxford University Press. Oxford, UK, 320 pp.
Laiolo, P., Dondero, F., Ciliento, E. y Rolando, E. 2004. Consequences of pastoral abandonment for the structure and diversity of the alpine avifauna. *J. Appl. Ecol.*, 41: 294-304.
Gordo, O. y Sanz, J.J. 2006. Climate change and bird phenology: a long term study in the Iberian Peninsula. *Glob. Change Biol.*, 12: 1993-2004.
Zamora, R. 1987. *Dinámica temporal y selección de hábitat de los paseriformes de la alta montaña de Sierra Nevada (SE España)*. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Granada.

➤ Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_paseriformes
<http://www.seo.org/>

➤ 8.14 Anfibios

El sapo partero bético es un endemismo del sudeste ibérico cuyas poblaciones pueden ascender en Sierra Nevada hasta los 2.500 m, límite altitudinal mundial de la especie.



➤ Objetivos

Los principales objetivos del seguimiento de las siete especies de anfibios en Sierra Nevada hasta la fecha han sido el inventario de especies, el análisis de sus distribuciones, la aproximación a los efectos del cambio global sobre sus poblaciones y el análisis del conjunto de amenazas que sobre ellos se ciernen. La gestión adaptativa también ha supuesto una prioridad y se han precisado acciones de conservación orientadas a mitigar el impacto de los efectos del cambio global sobre sus poblaciones.

➤ Periodicidad

Un estudio intensivo sobre los anfibios de Sierra Nevada se realizó durante los años 2009 y 2010. En lo sucesivo se continuará con esfuerzos puntuales aplicados estratégicamente en zonas, periodos y especies.

➤ Método y esfuerzo

Los muestreos se han basado principalmente en el conteo de larvas o adultos en los puntos de reproducción, por lo que el esfuerzo inicial ha sido la búsqueda de estos lugares. Independientemente de la presencia o no de anfibios en el momento de los muestreos, se han buscado y caracterizado enclaves con posibilidades potenciales para la reproducción de estas especies. Con posterioridad a la localización de estos puntos se trazaron itinerarios y se realizaron recorridos nocturnos estratégicamente diseñados. Para la medición del esfuerzo de muestreo se anotó la hora de comienzo y finalización del mismo.

Teniendo en cuenta que la dinámica de reproducción de los anfibios depende de las variables meteorológicas, en primavera se intensificaron los muestreos, ya que todas las especies se reproducen tras las primeras lluvias. Sin embargo, con las lluvias de otoño, y antes de que comience el frío o las primeras nieves, se reúnen también condiciones para la reproducción de sapo común (*Bufo bufo*), sapillo pintojo meridional (*Disco-*

glossus jeanneae) y sapillo moteado ibérico (*Pelodytes ibericus*). Si este periodo de tiempo es muy corto no se reproducen pero se pueden observar algunos adultos en noches húmedas. En los meses de verano se muestrearon las zonas altas, donde la primavera es tardía. Las especies con desarrollo larvario largo, como por ejemplo sapo partero bético (*Alytes dickhilleni*), necesitan puntos de agua permanentes. La caracterización de puntos de agua potenciales se realizó en muestreos diurnos, recogiendo datos sobre la tipología (natural o artificial) del microhábitat, dimensiones, presencia de vegetación y de macroinvertebrados, temperatura, pH y conductividad del agua. Los lugares donde se constató actividad de anfibios (puestas, larvas en primeras fases de desarrollo o presencia de adultos no habituales) se incluyeron en los recorridos nocturnos. Los muestreos se programaron evitando los días de viento o nieve y los momentos del día con excesivo calor o frío.

➤ Bibliografía anfibios y reptiles

- Araújo, M.B., Thuiller, W. y Pearson, R.G. 2006. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, 33: 1712–1728.
- Caro, J., Fernández, J.R., Benítez, M., Chiroso, M., Zamora, F.J., Seguera, S., Moreno, G. y Pleguezuelos, J.M. 2010. *Estudio de anfibios y reptiles en el Espacio Natural de Sierra Nevada en el marco del cambio global*. Universidad de Granada/Consejería de Medio Ambiente. Informe inédito. 409 pp.
- Heyer, W.R., Donnelly, M.A., McDiarmid, R. W., Hayek, L.A.C., y Foster, M.S. (eds.) 1994. *Measuring and Monitoring Biological Diversity, Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington DC. 364 pp.
- Pleguezuelos, J.M.; Márquez, R y Lizana, M. (eds.) 2002. *Atlas y libro rojo de los Anfibios y Reptiles de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetológica Española (2ª impresión). Madrid. 578 pp.

➤ Vínculos anfibios y reptiles

- <http://www.herpetologica.es/>
<http://www.sosanfibios.org>
<http://armi.usgs.gov/>

➤ 8.15 Reptiles

Las poblaciones de culebra lisa europea de Sierra Nevada aparecen entre los 2.100 y los 2.700 metros y representan uno de los límites meridionales de la distribución de esta especie.



➤ Objetivos

Los principales objetivos del seguimiento de reptiles en Sierra Nevada han sido: 1) análisis de las distribuciones de las veinte especies presentes; 2) evaluación preliminar de los efectos del cambio global sobre sus poblaciones; 3) análisis del conjunto de amenazas. La gestión adaptativa también ha supuesto una prioridad y se proponen medidas de gestión que contribuyan a mitigar el impacto de los efectos del cambio global sobre sus poblaciones.

➤ Periodicidad

El trabajo de campo se realizó durante los años 2009 y 2010. En lo sucesivo se continuará con esfuerzos puntuales aplicados estratégicamente en zonas, periodos y especies.

VARIABLES ANFIBIOS Y REPTILES

Variable	Unidad
Riqueza	nº de spp./por cuadrícula
Densidad	nº de individuos/unidad de esfuerzo
Distribución	presencia/ausencia

➤ Método y esfuerzo

Los muestreos de campo han tenido en cuenta la riqueza de especies y el número de individuos. Se basaron en la realización de tres censos de 45 minutos y dos observadores (o 90 minutos, un observador) por cuadrícula UTM de 5x5 km. Solo fueron consideradas cuadrículas con al menos un 50% de superficie incluida en el Espacio Protegido (n=71). Para el resto de cuadrículas se realizaron uno o dos muestreos, en función de la variedad de hábitats presentes (n=27). Así, se realizaron 251 muestreos distribuidos por todo el Parque Nacional y Natural, que se utilizaron para conocer la distribución corológica actual de la herpetofauna de Sierra Nevada.

Los censos consistieron en buscar reptiles activamente en zonas adecuadas. Se levantaron cuidadosamente los refugios y posteriormente fueron colocados en su posición original para minimizar las posibles alteraciones a estos microhábitats. Esta técnica resulta muy apropiada para conocer la presencia y abundancia de las diferentes especies de reptiles.

Por su condición de ectotermos y termófilos, los reptiles muestran una marcada estacionalidad en la región Mediterránea, con mayor actividad bajo unas determinadas condiciones ambientales. Se consideraron estos factores ambientales

para el planteamiento del calendario de muestreos, seleccionando únicamente los periodos del año en que los reptiles presentan una mayor actividad (meses de primavera, verano y principios de otoño). Se prospectó con condiciones atmosféricas adecuadas, evitando días de niebla, lluvia, viento excesivo, etc.

Otro aspecto en consideración fue el hábitat. Aunque cualquier biotopo del macizo montañoso es susceptible de albergar alguna especie, determinados medios son especialmente propicios para encontrar especies raras o de distribución más restringida. Por tanto, previamente a las salidas de campo y mediante el uso de cartografía se localizaron los distintos hábitats que preferiblemente se muestrearían.

Se prestó especial atención a los biotopos propicios para los taxones de distribución localizada como: pastizales húmedos (eslizón tridáctilo ibérico, *Chalcides striatus*), piornales próximos a arroyos y pastizales de alta montaña (culebra lisa europea, *Coronella austriaca*), arroyos y acequias (culebra de collar, *Natrix natrix*), canchales y roquedos (víbora hocicuda, *Vipera lastati*), etc.



> 8.16 Mariposas diurnas

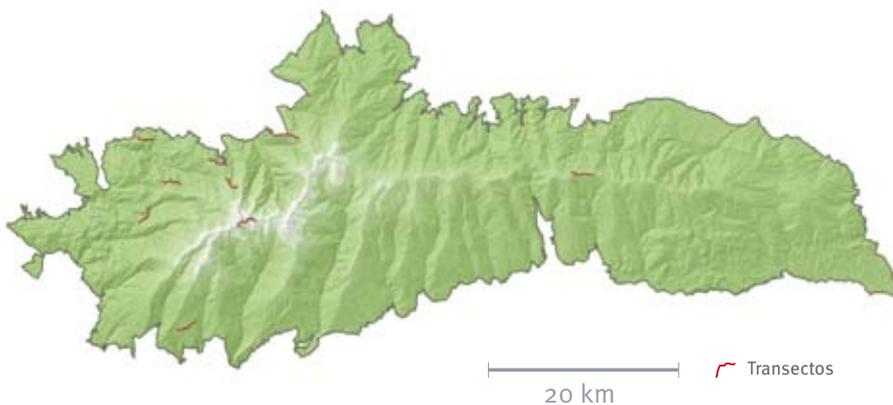
Parnassius apollo nevadensis, vive por encima de los 1.700 asociada a la crasulácea *Sedum tenuifolium*, que es su planta hospedadora.



> Objetivos

Los principales objetivos del seguimiento de mariposas diurnas en Sierra Nevada (BMSSN: *Butterfly Monitoring Scheme de Sierra Nevada*) son: registrar la tendencia poblacional de las especies objeto del seguimiento, registrar los patrones fenológicos de cada especie y los posibles cambios que éstos puedan sufrir con motivo de las modificaciones en la climatología,

identificar variables ambientales relacionadas con la distribución y abundancia de estas especies y, finalmente, establecer un sistema de alertas temprano que permita a los gestores del Parque Natural y del Parque Nacional de Sierra Nevada implementar medidas de gestión adaptativa sobre estas especies y sus ecosistemas.



Polyommatus golgus, es un licénido asociado a las zonas de cumbres: una especie absolutamente clave para el estudio de los efectos del cambio climático.

Coenonympha dorus es una especie propia de los pisos inferiores de Sierra Nevada. Ocasionalmente puede alcanzar incluso los 2.200 m.s.n.m. en donde revolotea en las cuerdas sobre los enebros.



> Método y esfuerzo

Se realizan censos de todas las especies de mariposas diurnas (a excepción de las pertenecientes a la Familia Hesperiiidae) a lo largo de transectos distribuidos estratégicamente por el área de trabajo: robledales, enebrales, áreas de

matorral espinoso y zonas de cumbres. La metodología consiste en la realización de 10 recorridos de aproximadamente 2,5 km cada uno entre los meses de mayo y septiembre en los que se contabilizan todos imagos de las especies objeto de estudio (Familias Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae y Lycaenidae). Estos recorridos se procuran realizar una vez por semana y tan sólo se contabilizan los ejemplares que se sitúan a una distancia de 5 m por delante y en una banda de 2.5 m a los lados del observador. Se capturan los ejemplares de difícil identificación, liberándolos posteriormente o postergando su identificación al estudio más detallado de caracteres morfológicos en los casos que así lo requieran. Solo se tendrán en cuenta los recorridos realizados bajo unas condiciones climáticas apropiadas: temperatura superior a 14°C, cobertura de nubes inferior al 60% y fuerza del viento menor a 5 en la escala de Beaufort.

Las colonias de especies con poblaciones escasas y aisladas requieren un esfuerzo específico de seguimiento. Éste es el caso de elementos

de gran interés para el seguimiento del cambio global que raramente son detectados en los transectos de censo prefijados. En estos casos se dedica un esfuerzo especial al cartografiado de colonias y al desarrollo de modelos de nicho ecológico (ver ficha 8.19) que nos permitan orientar mejor la búsqueda de nuevas localidades, la identificación de sus limitantes ecológicos a escala de paisaje y el pronóstico de la evolución de su distribución en un contexto de cambio global según los escenarios previstos para Sierra Nevada.



La mariposa *Agriades zullichi* es uno de los endemismos de Sierra Nevada más emblemáticos. Sus orugas se alimentan exclusivamente de otro endemismo, la primulácea *Androsace vitaliana* subsp. *nevadensis*.

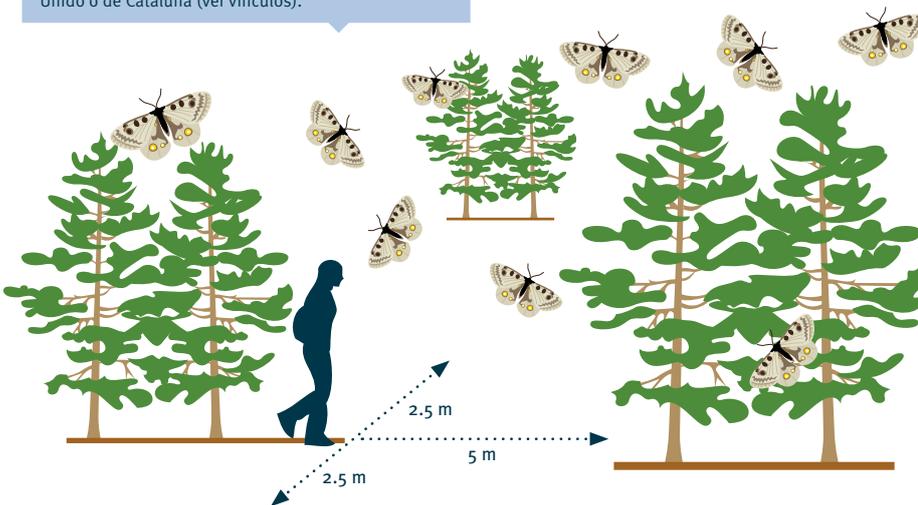
> Periodicidad

Este seguimiento se lleva a cabo anualmente. Comenzó en 2008 con el seguimiento de algunas especies concretas y en 2009 se llevó a cabo la misma metodología. En 2010 se incorporaron el resto de las especies que actualmente constituyen el BMS de Sierra Nevada.

VARIABLES

Variable	Unidad
Abundancia	nº individuos
Densidad	nº individuos/ha
Densidad relativa	% tramos positivos

El método empleado para el censo de mariposas en transectos es el mismo que se utiliza en otros programas de seguimiento de mariposas que gozan de larga tradición como es el caso de los BMS del Reino Unido o de Cataluña (ver vínculos).



> Bibliografía

Settele, J., Shreeve, T., Konvicka, M. y van Dyck, H. *Ecology of Butterflies in Europe*. Cambridge University Press. 526 pp.
 Stefanescu, C., Peñuelas, J., Filella, L. 2003. Effects of climate change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Glob. Change Biol.*, 9: 1494-1506.
 Wilson, R.J., Gutiérrez, D., Gutiérrez, J., Martínez, D., Agudo, R. y Montserrat, V.J. 2005. Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecol. Lett.*, 8 (11): 1138-1146.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_mariposas
<http://www.ukbms.org/>
<http://www.catalanbms.org/>

> 8.17 Artrópodos terrestres de alta montaña

Baetica ustulata es uno de los elementos más singulares de las cumbres de Sierra Nevada. En la fotografía aparece una hembra.



> Objetivos

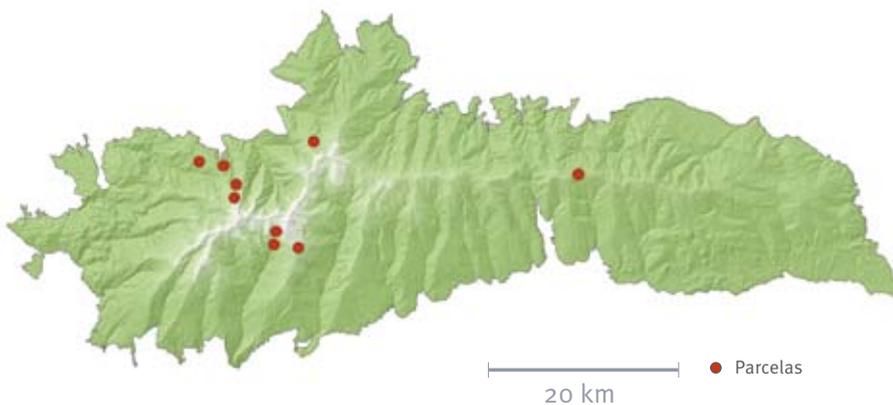
El principal objetivo del seguimiento de artrópodos en Sierra Nevada es identificar variaciones en la abundancia relativa de las poblaciones de determinadas especies en ambientes oromediterráneos y crioromediterráneos, por encima de los 2.200 m.

> Método y esfuerzo

Las especies seleccionadas para este seguimiento son:

Roeweritta carpentieri:
Arachnida, Palpatores, Phalangiidae.
Baetica ustulata:
Insecta, Orthoptera, Tettigonidae.

Pygnogaster inermis:
Insecta, Orthoptera, Tettigonidae.
Eumigus rubioi:
Insecta, Orthoptera, Pamphagidae.
Eumigus monticola:
Insecta, Orthoptera, Pamphagidae.
Timarcha marginicollis:
Insecta, Coleoptera, Chrysomelidae.
Timarcha insparsa:
Insecta, Coleoptera, Chrysomelidae.
Timarcha lugens:
Insecta, Coleoptera, Chrysomelidae.
Iberodorcadion lorquini:
Insecta, Coleoptera, Cerambycidae.
Dinodes (Iberodinodes) baeticus:
Insecta, Coleoptera, Carabidae.
Eulithinus analis:
Insecta, Dermaptera, Forficulidae.



Esta selección se ha realizado en base a su carácter orófilo y estenotérmico, lo cual nos hace predecir que para muchas de estas especies el cambio climático en sus ambientes puede acarrear consecuencias apreciables.

Para el seguimiento de artrópodos terrestres se han establecido parcelas de censo donde se registra la presencia/ausencia y abundancia de los taxones de artrópodos de las especies objeto de seguimiento. En concreto se ha establecido el seguimiento en 18 parcelas distribuidas por diferentes enclaves de la zona de cumbres del macizo montañoso. Las parcelas están estraté-

gicamente situadas en cuanto a su distribución altitudinal y orientación (cara norte y cara sur). Cada parcela es visitada dos veces desde la segunda quincena de julio hasta final de agosto. En estas parcelas se efectúa una estimación de la abundancia en términos absolutos mediante conteo directo, incluyendo el escrutinio de la vegetación y la búsqueda de ejemplares ocultos

bajo piedras. Las dimensiones de estas parcelas son variables, suelen tener entre 3 y 6 m de anchura y entre 50 y 100 m de longitud, dependiendo de las características de la localidad y de la composición en términos de tipos de especies y abundancia de la comunidad de artrópodos incluidos en el listado de especies objeto.

El opilión *Roeweritta carpentieri* es endémico de Sierra Nevada.



Pycnogaster inermis aparece en las Sierras de Baza y Filabres y en Sierra Nevada.



> Periodicidad

Este seguimiento de artrópodos de alta montaña se lleva a cabo anualmente.

VARIABLES

Variable	Unidad
Densidad	nº individuos/has
Distribución	presencia/ausencia

Hembra de *Eumigus monticola*.



En las cumbres de Sierra Nevada aparecen tres especies de coleópteros del género *Timarcha*: *lugens*, *insparsa* y *marginicollis*.



Dinodes (Iberodinodes) baeticus, un carábido exclusivo de las cumbres de Sierra Nevada.



Iberodorcadion lorquini es un escarabajo longicorne (Fam. Cerambycidae) frecuente en determinados puntos de Sierra Nevada.



Macho de *Eulithinus analis*.



Puesta de *Eulithinus analis*.



> Bibliografía

New, T. R. 1998. *Invertebrate surveys for conservation*. Oxford University Press. 240 pp.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_artropodos

> 8.18 Procesionaria del pino

Agrupación de orugas de procesionaria en una masa forestal afectada.



> Objetivos

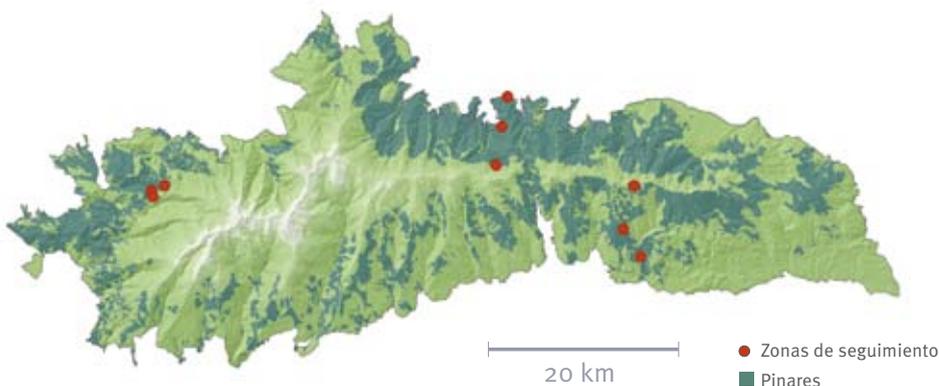
El principal objetivo del seguimiento de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) es observar posibles variaciones en su ciclo biológico, en concreto en relación a su fenología y a su dinámica poblacional. Este lepidóptero es considerado como el mayor defoliador forestal del bosque mediterráneo, y tiene unas exigencias microclimáticas muy concretas para su desarrollo.

> Método y esfuerzo

Se ha establecido un dispositivo de seguimiento de los momentos clave del ciclo biológico de la procesionaria, como son el nacimiento de las orugas, la procesión y el enterramiento de las mismas y la emergencia de los adultos, procesos ligados a condiciones concretas de temperatura y humedad y por tanto muy sensibles a variaciones climáticas.

La estructura forestal juega una importancia determinante en la dinámica de poblaciones de este insecto social. Así, se han elegido tres

regiones de muestreo dentro del Parque que son representativas en cuanto a sensibilidad a la procesionaria, orientación, altitud y especie forestal dominante. En cada una de estas regiones se establecen tres zonas de muestreo diferentes, buscando cubrir todo el rango altitudinal en el que se distribuye el pinar y estableciéndose una diferencia mínima de 200 m entre cotas. El seguimiento de verano comprende desde la aparición del adulto hasta la eclosión de las puestas (julio-septiembre) y consiste en la colocación de una trampa de feromonas por cota



Puestas de procesionaria en acículas de pino etiquetadas para el seguimiento de verano.

y en el seguimiento de 30 puestas en las acículas en cada una de las zonas de estudio. En cada muestreo se toman datos del número de imagos encontrados en cada trampa, y al mismo tiempo se acota al máximo la fecha de eclosión de cada puesta (intervalos de 3-4 días). El seguimiento de invierno comprende desde la salida de las orugas del bolsón (noviembre-diciembre) hasta el final de los enterramientos (marzo-abril) y consiste en la realización de un trapeo pie

a pie en 30 árboles por zona, colocándose en cada pie una trampa donde se recoge el número de individuos encontrados en cada muestreo. Asimismo, se establecen transectos de 1 km de longitud y de anchura variable, uno en cada zona de muestreo. En ellos se registra el número de enterramientos encontrados en cada visita. El seguimiento finaliza cuando no se detecta ninguna procesión durante más de dos semanas.

Masa Forestal afectada por procesionaria, con alto grado de defoliación.



Formación en procesión de las orugas en el quinto estadio.

> Periodicidad

El seguimiento se realiza anualmente, diferenciándose un periodo de invierno (desde noviembre/enero hasta marzo/abril, según los años) y otro de verano (de julio a septiembre). En ambos periodos la frecuencia de muestreo es de 2-3 veces en semana.

VARIABLES

Variable	Unidad
Periodo eclosión huevos	Día inicio - Día fin
Periodo enterramientos	Día inicio - Día fin
Periodo trapeos	Día inicio - Día fin
Incidencia plaga/rango altitudinal	% relativo individuos muestreados/rango altitudinal
Intensidad plaga: trapeos	Nº de individuos capturados/parcela
Intensidad plaga: enterramientos	Nº de enterramientos/km



Trampa utilizada para el conteo de orugas en el seguimiento de invierno.

> Bibliografía

Démolin, G. 1969. Bioecología de la procesionaria del pino *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Incidencia de los factores climáticos. *Boletín del servicio de Plagas forestales*, 12:9-24.

Hódar, J.A., Zamora, R., Castro, J. y Baraza, E., 2003. Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine under climatic warming. *Biol. Conserv.*, 110: 123-129.

Hódar, J.A. y Zamora, R. 2004. Herbivory and climatic warming: a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species. *Biodivers. Conserv.*, 13: 493-500.

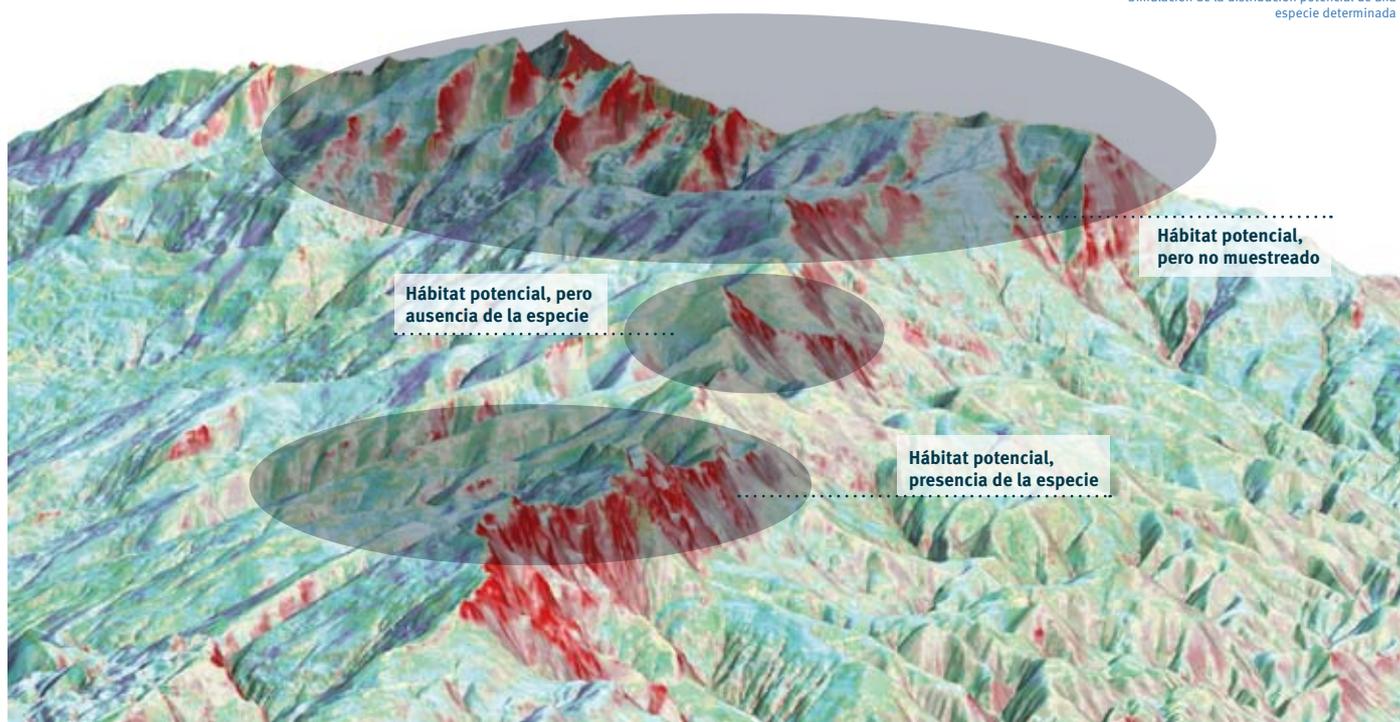
Sánchez Peña, E., González Rosa, E. y Martínez de Saavedra, J. 2006. La procesionaria del pino: Análisis de su posible uso como bioindicador del cambio climático. Puesta en marcha de un mecanismo de seguimiento de las expansiones en la distribución geográfica de este lepidóptero defoliador. Pp.: 79-92.. En: *VII Jornadas sobre Recerca al Parc Nacional d'Aiguestortes i Estany de Sant Maurici Boí (Alta Ribagorda)*.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_procesionaria

➤ 8.19 Modelos de distribución potencial de especies y proyecciones futuras

Simulación de la distribución potencial de una especie determinada



➤ Objetivos

El objetivo de esta metodología es simular cambios en la distribución geográfica de especies de flora y fauna en Sierra Nevada según distintos escenarios de cambio climático, para obtener datos con los que mejorar los planes de gestión adaptativa del espacio natural protegido.

➤ Periodicidad

Esta metodología no requiere una periodicidad concreta. Puede repetirse de forma semiautomática ante cualquier actualización de los medios técnicos o disponibilidad de nueva información sobre distribución de las especies.

➤ Método y esfuerzo

Con el cambio del clima los límites de distribución de las especies de montaña se trasladan en altitud, ascendiendo o descendiendo con la temperatura. Este proceso ya ha sido observado en altas montañas. Para las especies de altitudes bajas y medias esta situación supone una oportunidad de colonizar nuevos hábitats, mientras que para las especies de altas cumbres implica una condena a la desaparición.

Las simulaciones de cambio climático combinadas con las técnicas de modelado de distribución de especies permiten simular los cambios en la distribución espacial de las especies ante distintos escenarios de cambio climático. Los resultados de estas simulaciones facilitan el diseño de estrategias de gestión y conservación de la biodiversidad.

La metodología de trabajo requiere:

1. Registros de presencia de las especies, obtenidos mediante los distintos protocolos de toma de datos contemplados en el programa de seguimiento y otros planes de conservación.

2. Mapas de clima simulado futuro, según distintos escenarios de cambio climático. Actualmente disponemos de mapas de 100 metros de resolución espacial y 10 años de resolución temporal según los escenarios IPCC A2 y B2 según el modelo de circulación global CGCM2 obtenidos a partir de los datos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología y la Fundación para la Investigación del Clima.

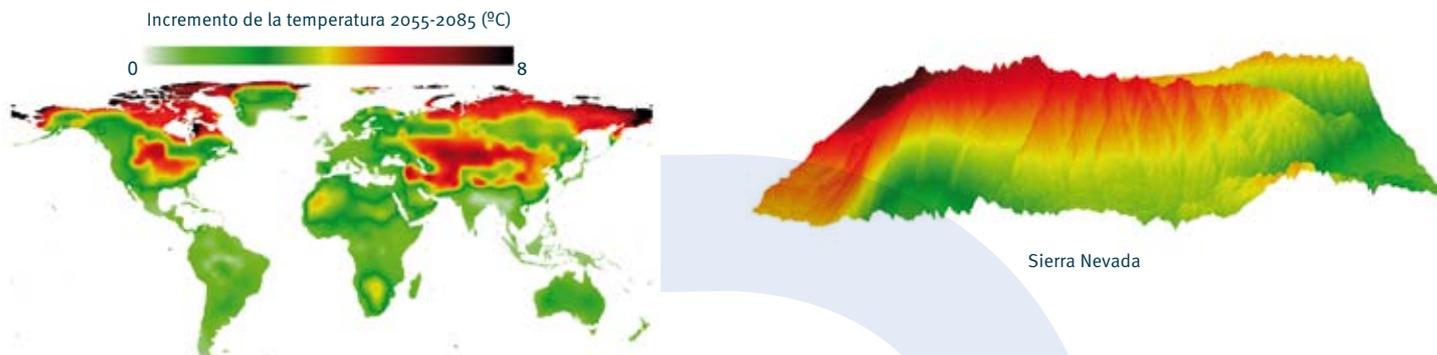
3. Un flujo de trabajo automatizado denominado MODPLAN que coordina la ejecución de los distintos paquetes de software requeridos para generar las simulaciones. MODPLAN es un flujo de trabajo diseñado con el software Kepler que utiliza distintos programas para ejecutar los modelos: MaxEnt, OpenModeller, GRASS GIS y R. Los resultados consisten en ficheros vectoriales (shapefile) de polígonos con los contornos pronosticados de las poblaciones de las especies de trabajo, a intervalos de 10 años, para cada uno de los escenarios climáticos considerados.

VARIABLES

Variable	Unidad
Riqueza Potencial de Especies	nº de especies para las que una celda presenta condiciones idóneas
Probabilidad de presencia	probabilidad
Distribución	presencia/ausencia

Esquema metodológico de la simulación de cambio en la distribución de especies.

Partimos por un lado de las predicciones de cambio climático realizadas por la comunidad científica y por otro de la distribución espacial actual de las especies objeto del trabajo. En primer lugar se realiza una regionalización de las predicciones globales, para obtener mapas de previsiones de cambio climático a escala más reducida. A continuación se generan los modelos de distribución potencial usando las predicciones climáticas locales. Estos modelos muestran las zonas potencialmente utilizables por las especies en cuestión teniendo en cuenta las condiciones climáticas previstas.

Regionalización de predicciones climáticas**Creación de modelos de distribución potencial teniendo en cuenta las predicciones climáticas**

Especies de fauna y flora con distribución actual conocida

> Bibliografía

- Araújo, M.B. y New, M. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends Ecol. Evol.*, 22(1): 42-47.
- Benito, B., Lorite, J. y Peñas, J. 2011. Simulating potential effects of climatic warming on altitudinal patterns of key species in Mediterranean-alpine ecosystems. *Climatic Change*, 108 (3): 471-483.
- Guisan, A. y Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecol. Letts.*, 8(9): 993-1009.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_dist_pot



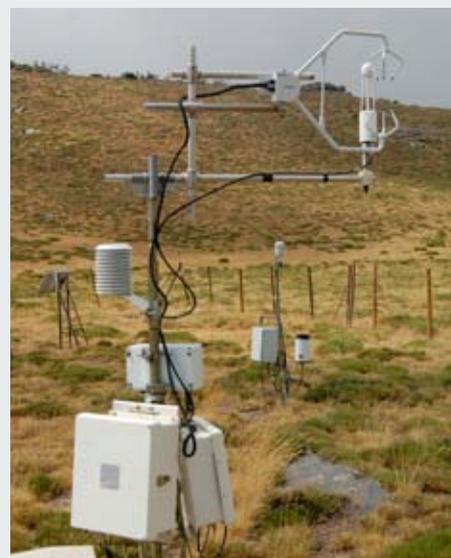
Productividad primaria y flujos de carbono



En los últimos años, gran número de científicos se han dedicado a la caracterización del ciclo global del carbono. Este interés nace como consecuencia del descubrimiento de un aumento en la concentración del CO₂ atmosférico por la quema de combustible fósil iniciada en la revolución industrial, así como los cambios de uso de suelo y otras perturbaciones. Este aumento en la concentración de CO₂ atmosférico conlleva un calentamiento global terrestre asociado al consiguiente aumento del efecto invernadero. Por otro lado, la fotosíntesis de las plantas verdes es uno de los procesos clave que explica la concentración y abundancia del CO₂ en la atmósfera. La **caracterización detallada de las fuentes y sumideros de carbono**, así como la dinámica interna de cada una de ellas es muy importante en el contexto de los programas de seguimiento del cambio global. En este documento se muestran dos metodologías de

seguimiento relacionadas con esta cuestión. Ambas son complementarias aunque inciden sobre el ciclo de carbono a distintas escalas y resoluciones espaciales.

La primera metodología que describiremos permite **conocer la producción biológica** a través de la fotosíntesis mediante sensores remotos. La descarga y procesamiento de las imágenes de índices de vegetación (NDVI y EVI) del sensor MODIS de la NASA arroja información relevante sobre la distribución espacio-temporal de la actividad fotosintética. Gracias a esta metodología se puede caracterizar el funcionamiento de los ecosistemas forestales de Sierra Nevada, pudiéndose obtener índices de gran interés como la producción, el periodo de actividad, etc. En resumen esta metodología arroja información interesante sobre el estado de la vegetación como sumidero y repositorio de carbono.



Torre eddy covariance en Laguna Seca

Las imágenes de satélite tienen una gran extensión espacial, pero adolecen de detalle. Por ello también contamos con una metodología que permite **evaluar de manera muy detallada los flujos de carbono y vapor de agua** en un punto

determinado. Se trata de la técnica micrometeorológica *eddy covariance*, que es la única capaz de medir directamente y sin modificar el entorno, el intercambio de CO₂ y vapor de agua a escala de ecosistema. Dicha técnica es la

empleada por la red internacional FLUXNET a la que están adheridos numerosos investigadores de todo el mundo y que actualmente cuenta con más de 500 estaciones de medida en distintos ecosistemas.

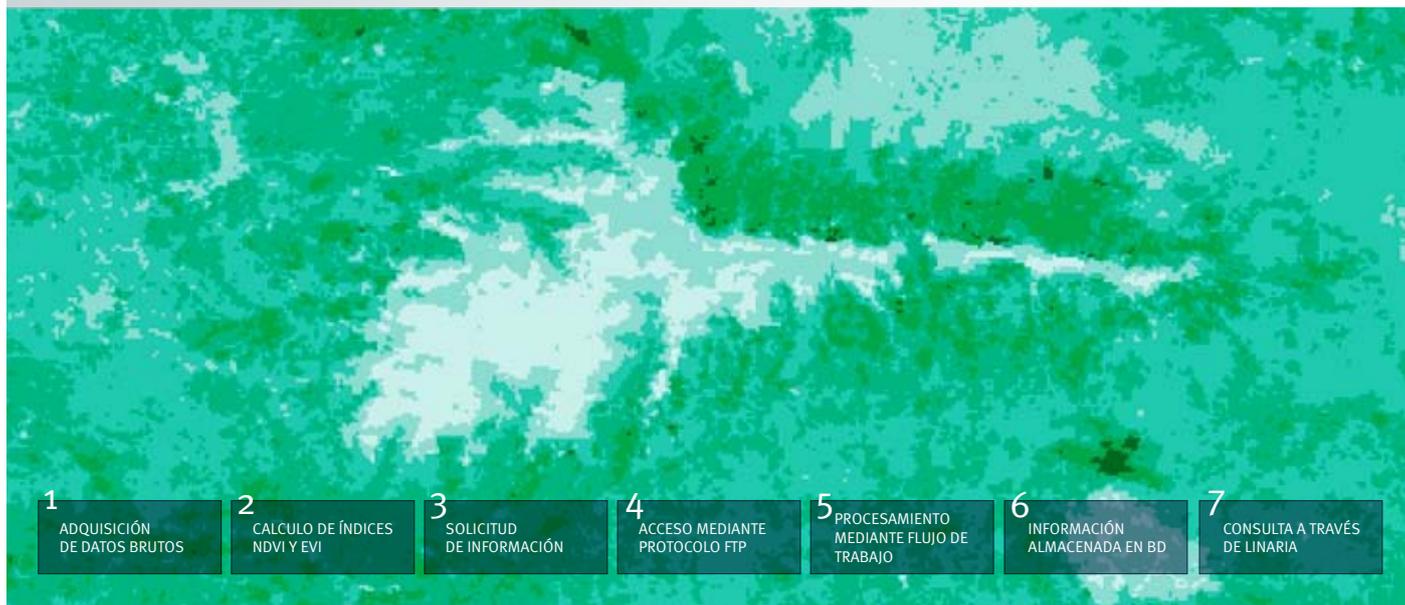
Instalación de estación de seguimiento de flujos de carbono en la zona afectada por el incendio de Lanjarón



> Bibliografía

- Baldocchi, D.D. 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rate of ecosystem: past, present and future. *Glob. Change Biol.*, 9: 479–792.
- Kawabata, A., Ichii, K. y Yamaguchi, Y. 2001. Global monitoring of interannual changes in vegetation activities using NDVI and its relationships to temperature and precipitation. *Int. J. Remote Sens.*, 22 (7): 1377–1382.

> 9.1 Evaluación de la productividad de la vegetación mediante teledetección



> Objetivos

El suministro automático de imágenes de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) y EVI (*Enhanced Vegetation Index*) nos aportará información sobre la cubierta vegetal de la superficie y nos permitirá monitorizar la evolución del estado de los ecosistemas en Sierra Nevada para una serie temporal que empieza en el año 2000.

> Periodicidad

Las imágenes de NDVI y EVI se crean a través de MODIS con una periodicidad de 16 días. El sistema para procesar las imágenes permite introducir las imágenes en el sistema de información de manera automática y periódica cada vez que se crea una nueva imagen.

VARIABLES

Variable	Unidad
NDVI	adimensional
EVI	adimensional

> Método y esfuerzo

El NDVI y el EVI se calculan como el cociente entre la parte de radiación incidente absorbida por la vegetación (en el espectro visible del rojo) respecto a la cantidad de radiación reflejada por la superficie (en el espectro del infrarrojo cercano). El EVI mejora la sensibilidad respecto al NDVI para detectar la vegetación bajo condiciones dispersas o densas. Las imágenes de NDVI y EVI se generan mediante el sensor MODIS, albergado en los satélites Terra y Aqua de la NASA. Ambos índices de vegetación dan idea de la capacidad de las plantas verdes de realizar la fotosíntesis. Son, por tanto, subrogados de la producción primaria de los ecosistemas. La metodología que aplicamos en el programa de seguimiento para recopilar esta información parte de las herramientas que la NASA ha puesto a disposición de la comunidad para descargar y procesar sus imágenes. Las imágenes se descargan mediante una plataforma de suministro de datos de la NASA en formato HDF. Cada archivo contiene distintas bandas de información: índice NDVI, índice EVI, calidad de los datos, ángulo de observación, fecha, etc. y un archivo xml de metadatos asociado. Nuestra metodología de recopilación se inicia

Esquema que muestra los pasos dados hasta incorporar las imágenes NDVI en el Sistema de Información del Programa de Seguimiento.

(1) Los datos brutos de radiación se captan a través del sensor MODIS (satélites Terra y Aqua). (2) Los datos se transfieren a tierra donde se procesan para calcular los índices NDVI y EVI. (3) Esta información se distribuye públicamente a través de una plataforma de consultas (WIST). (4) La descarga de datos se realiza mediante protocolo ftp. (5) Un flujo de trabajo selecciona los datos y metadatos asociados para el área de Sierra Nevada, los transforma a formato vectorial y los (6) guarda en una base de datos del sistema de información. (7) La información puede ser consultada via web en la interfaz del sistema de información (<http://linaria.obsnev.es>)

con un flujo de trabajo programado con Kepler que extrae la información raster de los índices de vegetación para el área de Sierra Nevada, la transforma a formato vectorial, y la inserta en la base de datos. La información se puede visualizar sucesivamente a lo largo de toda la serie temporal mediante una interfaz gráfica en el sistema de Información del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada (<http://linaria.obsnev.es>) que hace uso de un sistema de información geográfica para la representación espacial.

> Bibliografía

Huete, A.R., Justice C. y van Leeuwen, W. 1999. *MODIS Vegetation Index (MOD 13), EOS MODIS Algorithm-Theoretical Basis Document, Version 3*. NASA Goddard Space Flight Center. 120 pp.
Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodríguez, E.P., Gao, X. y Ferreira, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.*, 83: 195-213

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_ndvi
<https://wist.echo.nasa.gov/api/>

➤ 9.2 Seguimiento de intercambios de CO₂ y vapor de agua a escala de ecosistema

Vista de una estación con torre *eddy* en un piñal de alta montaña (Laguna Seca)



➤ Objetivos

El principal objetivo de medir los intercambios de CO₂ en distintos ecosistemas de Sierra Nevada es cuantificar la cantidad de CO₂ que asimilan. Además, medidas complementarias del estado de la vegetación, el suelo y la atmósfera, nos permitirán estudiar los principales factores de los que depende que el ecosistema actúe como fuente o sumidero de CO₂. Finalmente, tras cuantificar la capacidad del ecosistema para asimilar CO₂ y conocer los factores de los que depende, se podrá actuar en consecuencia potenciando los principales sumideros.

➤ Bibliografía

Reverter, B.R., Sanchez-Cañete, E.P., Resco, V., Serrano-Ortiz, P., Oyonarte, C. y Kowalski, A.S. 2010. Analyzing the major drivers of NEE in a Mediterranean alpine shrubland. *Biogeosciences*, 7: 2601-2611.

Serrano-Ortiz, P., Marañón-Jiménez, S., Reverter, B.R., Sánchez-Cañete, E.P., Castro, J., Zamora, R. y Kowalski, A.S. 2011. Post-fire salvage logging reduces carbon sequestration in Mediterranean coniferous forest. *Forest Ecol. Manag.*, 262: 2287-2296.

➤ Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_eddy
http://sl.ugr.es/obsnev_flujosC
<http://www.fluxnet.ornl.gov/>

➤ Método y esfuerzo

Mediante la técnica micrometeorológica *eddy covariance* se miden en continuo los intercambios de CO₂ entre la superficie y la atmósfera. Esta técnica se basa en la toma de medidas desde el aire no generando una perturbación en el ecosistema. Para ello requiere instrumentación capaz de trabajar con una respuesta rápida y una alta frecuencia de muestreo (i.e. 10 Hz) proporcionando información acerca de los intercambios en escalas de una hora o incluso menos. A pesar de las dificultades a la hora de la toma y almacenamiento de medidas en continuo, se ha demostrado que la integración a escala anual del intercambio de CO₂ a nivel de ecosistema es posible pudiendo así cuantificar la cantidad de carbono asimilado por un ecosistema a lo largo de un periodo de tiempo (estaciones, años, décadas, etc.). La técnica *eddy covariance* se emplea por la red internacional FLUXNET, en la que están adheridos numerosos investigadores de todo el mundo.

Dentro del observatorio de cambio global en Sierra Nevada, contamos con dos torres (una en piñal y otra en un pinar tras un incendio) compuestas por un anemómetro sónico (medición de la velocidad del viento en respuesta rápida), un analizador de gases en el infrarrojo (medición de la densidad de CO₂ y vapor de agua en respuesta rápida) e instrumentación complementaria para caracterizar la vegetación, el suelo y la atmósfera.

➤ Periodicidad

Los datos de intercambio de CO₂ y vapor de agua así como la información complementaria se registran cada treinta minutos. Las instalaciones se visitan mensualmente para calibrar los instrumentos, supervisar el funcionamiento y descargar los datos almacenados.

VARIABLES

Variable	Unidad
Flujo de CO ₂	μ mol m ⁻² s ⁻¹
Flujo de vapor de agua	mm
Flujo de calor sensible	W m ⁻²
Flujo de calor al suelo	W m ⁻²
Radiación neta	W m ⁻²
Temperatura del aire	°C
Humedad del aire	%
Temperatura del suelo	°C
Humedad del suelo	%
Flujo de fotones fotosintéticamente activos	μ mol m ⁻² s ⁻¹
Velocidad de viento	m s ⁻¹
Dirección de viento	°
Presión atmosférica	hPa

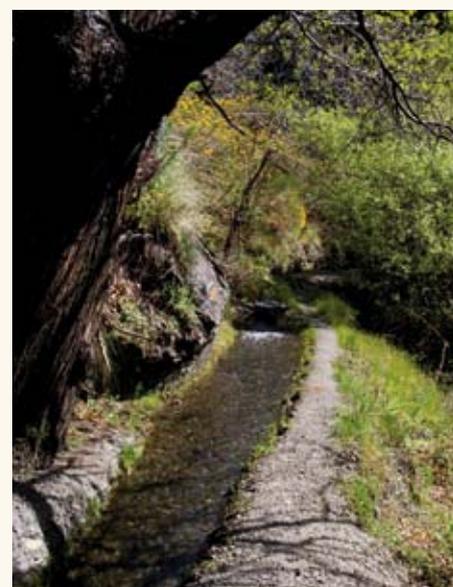


Caracterización de servicios ecosistémicos y socioeconomía

Las iniciativas internacionales y nacionales más relevantes para el seguimiento del cambio global (GLOCHAMORE¹, GLOCHAMOST², LTSER³, Millenium Ecosystem Assessment⁴, SISESCG⁵) incluyen el medio socioeconómico como un elemento clave. Todos estos proyectos destacan la importancia de contar con información socioeconómica con objeto de caracterizar los posibles impactos de la actividad humana sobre los sistemas naturales, y por otro identificar los posibles efectos del cambio global sobre la sociedad. Hemos distinguido dos **metodologías diferentes para obtener esta información socioeconómica**. Por un lado describimos las principales fuentes de información sobre aspectos económicos, demográficos, turísticos, etc., que son de interés para el programa de seguimiento. Estas fuentes de información suministran los parámetros necesarios para caracterizar la actividad socioeconómica. Otros aspectos más concretos (percepción de ciertos

problemas, actividad económica local, etc.) han de ser recopilados mediante **encuestas**.

La información socioeconómica permite **caracterizar las necesidades y demandas** de recursos naturales que tienen los distintos núcleos urbanos situados en Sierra Nevada. De forma paralela es necesario conocer en qué medida los sistemas naturales son capaces o no de satisfacer dichas necesidades. Esto último se consigue mediante la **caracterización y cuantificación de los servicios ecosistémicos** que los sistemas naturales son capaces de suministrar. En este documento mostramos dos ejemplos de caracterización y cuantificación de servicios ecosistémicos de regulación (hídrica y de control de la erosión). Por último describimos una metodología que puede mostrar de manera sintética el efecto de la actividad humana sobre los ecosistemas: la **caracterización de la huella humana**.



Las acequias son claves en la gestión del agua en Sierra Nevada

La información socioeconómica capturada en virtud de las distintas metodologías de seguimiento responde al diseño de un sistema de indicadores de estado, presión y respuesta para Sierra Nevada. Para generar un indicador a partir de la información en bruto es necesario contextualizar los datos originales. En primer lugar es fundamental definir el ámbito espacial

para el cual son válidos los datos. En el caso de la información socioeconómica este ámbito suele corresponderse con el municipio. Asimismo, los parámetros o variables capturados por las metodologías de seguimiento se refieren a diversos ámbitos temáticos. En el caso de los métodos socioeconómicos, estos ámbitos tienen que ver con distintos aspectos del

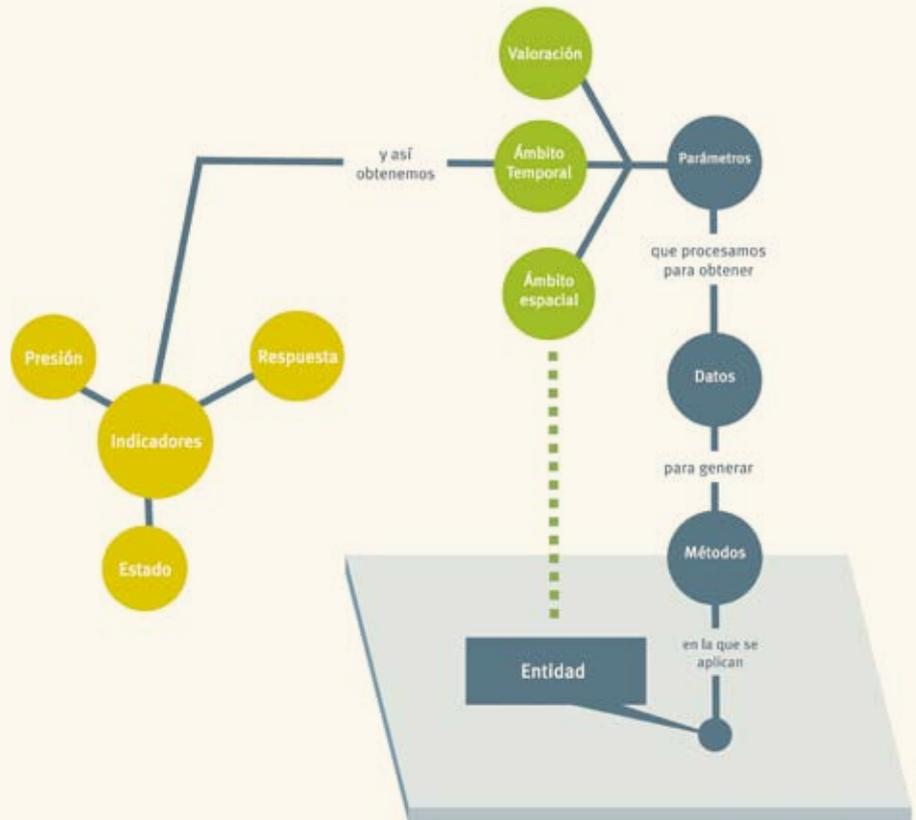
sistema productivo y de la organización social. Por último, los parámetros han de ser contextualizados temporalmente, indicando el rango temporal en el cual es aplicable el indicador. De esta forma generamos indicadores a partir de los datos en bruto.



Aprovechamientos micológicos



Aprovechamientos madereros



> Bibliografía

- Bjørnsen, A. (Ed.) 2005. *The GLOCHAMORE (Global Change and Mountain Regions) Research Strategy*. Berne, Switzerland, and Vienna, Austria. Mountain Research Initiative Office and University of Vienna. 47 pp.
- Haberl, H., Winiwarter, V., Andersson, K., Ayres, R.U., Boone, C., Castillo, A., 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. y Zechmeister, H. 2006. From LTER to LTSER: Conceptualizing the socioeconomic dimension of Long-term Socioecological Research. *Ecol. Soc.*, 11 (2):13 [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art13/>

¹ Global Change in Mountain Regions. Mas información en <http://mri.scnatweb.ch/glochamore/>

² Global and Climate Change in Mountain Sites. Mas información en http://sl.ugr.es/unesco_glochamost

³ Long Term SocioEcological Research. Mas información en http://sl.ugr.es/LTSER_Europe

⁴ Más información en <http://www.maweb.org/en/index.aspx>

⁵ Sistema de Evaluación y Seguimiento del Impacto del Cambio Global. Más información en <http://reddeparquesnacionales.mma.es/parques/rcg/index.htm>

> 10.1 Recopilación de información socioeconómica existente

Fuentes y escalas de la información socioeconómica



> Objetivos

El objetivo de esta metodología es recabar datos de tipo socioeconómico. Algunos de ellos se recopilan a través de servicios web que publican diversos organismos oficiales y entidades privadas. Otros no están accesibles de manera rutinaria y es necesario hacer una búsqueda activa.

> Periodicidad

La periodicidad de los datos es variable, según el tipo de índice y su antigüedad. Existen datos con frecuencia decenal (los más antiguos) y anual (datos más recientes), siendo escasos los datos que se publican con una frecuencia inferior a la anual.

> Método y esfuerzo

Servicios web

La información según la fuente se presenta en una serie temporal e intervalos diferentes. Aunque podemos obtener datos desde 1900 hasta la actualidad, la gran mayoría de datos se presentan para un horizonte de una década de antigüedad. Del mismo modo, el formato de salida es diferente: desde la descargable en hojas de cálculo hasta la visualización en pantalla, requiriéndose en estos casos procedimientos de captura manual y transformación para su introducción en la base de datos.

Hay datos de ámbito socioeconómico publicados en servicios web por organismos oficiales y entidades privadas. En el enlace (http://sl.ugr.es/obsnev_inf_socioeconomica) se detallan las fuentes de datos socioeconómicos utilizadas dentro del programa de seguimiento de cambio global en Sierra Nevada.

Búsqueda activa

Existe información que no es directamente accesible o utilizable por diferentes razones (ej.: no está puesta en valor, nivel de agregación no apto, información sensible). Por ello hay que llevar a cabo una búsqueda y solicitud activa de la misma a diferentes niveles administrativos: municipales, comarcales, autonómicos y nacionales. En el enlace anterior se ofrece una lista con los atributos socioeconómicos y características de escala y agregación deseables.

VARIABLES

Variable	Unidad
Población de derecho	habitantes
Índice de vejez	(población ≥ 65 años/total población)*100
Ratio inmigrantes/emigrantes	%
Tasa de empleo	%
Balance de nuevas empresas	nº
Gasto medio por turista rural	€/día
Explotaciones con agricultura ecológica	nº
Cabezas de ganado bovino	Unidades de Ganado Mayor (UGM)

> Bibliografía

Instituto de Estadística de Andalucía 2010. *Municipios andaluces: datos básicos 2010*. Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. Sevilla, 91 pp.
 Vicens, J. 2011. *Anuario Económico de España 2011: Selección de Indicadores*. Área de Estudios y Análisis Económico de "la Caixa". Barcelona. 40 pp.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_inf_socioeconomica

➤ 10.2 Levantamiento de información socioeconómica

Ejemplares de ganado bovino



➤ Objetivos

El objetivo de esta metodología es generar datos de tipo socioeconómico.

➤ Periodicidad

La periodicidad dependerá del tipo de estudio, variando entre un levantamiento continuo de información (ej.: uso público), anual (ej.: participación social) o puntual sin periodicidad definida (ej.: análisis de caracterización ganadera).

VARIABLES

Variable	Unidad
Empresas que asocian sus ventas a la existencia del EN Sierra Nevada por sectores	%
Abandono de prácticas agrícolas tradicionales	has
Inversión realizada en propuestas hechas por colectivos que participen de la gestión del ENSN	€
Valoración de los espacios recreativos	€
Visitantes en el ENSN	nº
Calidad de los servicios de uso público	adimensional. Escala 1-7

➤ Método y esfuerzo

Aunque gran parte de la información socioeconómica la adquieren las administraciones o entidades privadas, ésta generalmente suele ser muy genérica sobre aspectos demográficos o económicos. Para llevar a cabo una caracterización socioeconómica detallada en el Espacio Natural de Sierra Nevada, es necesario acometer metodologías específicas, para lo cual, en el ámbito socioeconómico se llevan a cabo estudios in situ utilizando como herramienta de captura de información la encuesta.

Mediante encuestas realizaremos el levantamiento de información de diferentes aspectos: satisfacción, opinión, caracterización, valoración contingente, etc. Utilizaremos cuestionarios estructurados y semiestructurados, con respuestas abiertas o cerradas. Para respuestas cerradas de opción múltiple se utilizarán escalas nominales, de intervalo y de tipo Likert.

La estructura general del cuestionario será:

1. Introducción y justificación del estudio al entrevistado.
2. Preguntas de introducción.
3. Preguntas clave respecto a los objetivos de la investigación.
4. Preguntas más complicadas.
5. Preguntas delicadas.
6. Datos personales y agradecimiento.

La modalidad de realización, dependiendo del objeto de la encuesta, es presencial o telefónica.

En este enlace (http://sl.ugr.es/obsnev_inf_socioeconomica) se muestra un análisis de los estudios a realizar atendiendo a diferentes ámbitos socioeconómicos.

➤ Bibliografía

Fernández, M., Cuenca, E., Salinas, J.A., Campos, J., Aragón, J.A., García, V.J., Martín, J.M., Aranda, J. y Vallberg, V. 2007. *Impacto socioeconómico del espacio natural protegido Sierra Nevada: 1989-2005*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla. 145 pp.
Guyatt, G. H., Townsend, M., Berman, L. B. y Keller, J.N. 1987. A comparison of Likert and visual analogue scales for measuring change in function. *J. Chron. Dis.*, 40 (12): 1129-1133.

➤ Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_inf_socioeconomica



> 10.3 Evaluación del servicio de regulación de la erosión en Sierra Nevada

Fenómenos erosivos
en el Trevenque



> Objetivos

El objetivo de esta metodología es determinar la capacidad de regulación de la erosión del suelo en función de los cambios de su uso, en el marco del cambio global. Este cálculo alcanza más significado cuando se comparan los valores en un mismo territorio para dos hitos temporales diferentes, lo que nos permite analizar la tendencia en la provisión de este servicio.

> Periodicidad

La periodicidad de estos estudios está sujeta a la disponibilidad de información acerca de los usos del suelo y de las prácticas de manejo, dado que el resto de parámetros a la escala de trabajo se consideran invariables.

VARIABLES

Variable	Unidad
Erosión potencial del suelo	t/ha/año

> Método y esfuerzo

Para evaluar la capacidad del ecosistema de regular la erosión del suelo, utilizamos un indicador indirecto. No podemos evaluar a escala de Sierra Nevada la magnitud de la erosión, pero sí podemos estimar la erosión potencial de un área determinada y compararla con la que habría en otros escenarios diferentes de usos del suelo y prácticas agrícolas. De esta manera podemos saber la cantidad de erosión potencial que se está evitando o que se está provocando, como un subrogado de la capacidad de regulación.

Para el cálculo de la erosión potencial utilizamos la metodología conocida como R.U.S.L.E., una versión revisada de la U.S.L.E. (Universal Soil Loss Equation), publicada en 1962 y ampliamente utilizada en la bibliografía científica. La ecuación que define la erosión potencial es:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \text{ (t/ha/año)}$$

donde:

A= es la pérdida de suelo por unidad de superficie y tiempo.

R= la erosividad de la lluvia.
K= la erodibilidad del suelo.
L= longitud de la pendiente.
S= gradiente de la pendiente.
C= uso del suelo.
P= prácticas de manejo.

La RUSLE se calcula de la misma manera, aunque introduce modificaciones y mejoras en la forma de calcular las diferentes variables. Así para el factor R se han calculado nuevos mapas de isovalores; K tiene en cuenta la posibilidad de heladas; L y S se estiman conjuntamente con herramientas SIG; C incluye nuevas clasificaciones y para P se han incorporado nuevas tipologías de prácticas agrícolas.

En http://sl.ugr.es/obsnev_regErosion se puede ver con más detalle la fuente de datos y forma de calcular cada uno de los factores de la ecuación. También se puede consultar un estudio de caso dentro y fuera del Espacio Natural de Sierra Nevada (Moreno Llorca et al., 2011).

> Bibliografía

- Martín-Fernández, L., y Martínez-Núñez, M. 2011. An empirical approach to estimate soil erosion risk in Spain. *Sci. Total Environ.*, 409(17): 3114-23.
- Moreno Llorca, R., Navarro González, I. y Bonet García, F.J. 2011. Evolution of ecosystem services in intensive and extensive Agricultural Systems. En: *12th European Ecological Federation Congress. Responding to rapid environmental change*. Ávila, Sep 2011.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1962. Soil loss estimation as a tool in soil and water management planning. Pp. 148-159. En: *Symposium of Bari, Oct. 1962. Commission on Land Erosion*. IAHS Publ. nº 59.

> 10.4 Evaluación del servicio de regulación hídrica en Sierra Nevada



Deshielo en la zona conocida como "Lavaderos de la Reina"

> Objetivos

El servicio de regulación hídrica es de los más importantes suministrados por los ecosistemas de montaña a la sociedad. Las actuaciones sobre el territorio, produciendo cambios en los usos del suelo, conllevan variaciones en la capacidad del territorio para regular el agua que proviene de la precipitación. El objetivo de esta metodología es evaluar esta capacidad de regulación por parte de los ecosistemas de Sierra Nevada.

> Periodicidad

La periodicidad de esta metodología está condicionada por el fuerte componente dinámico que presenta la capacidad de regulación de agua por parte del territorio.

VARIABLES

Variable	Unidad
Caudal de avenida	m ³ /s

> Método y esfuerzo

Al igual que en el caso de la erosión potencial, es más difícil medir el agua que los ecosistemas de Sierra Nevada regulan a través de percolación, acuíferos, deshielo, etc., que calcular los caudales máximos esperables a modo de indicador contrapuesto. De esta manera, cuanto mayor sean estos caudales, menor será la capacidad de regulación de este recurso.

Para evaluar la forma en la que este servicio varía a lo largo del territorio y del tiempo, se utiliza el método racional, que determina el caudal (Q) instantáneo máximo de descarga. Este caudal depende de tres grandes factores: la intensidad de precipitación (It); el área de la cuenca (A) y el coeficiente de escorrentía (C).

$$Q = It \times A \times C$$

Sobre los dos primeros, en principio, no hay capacidad de modificación por parte del hombre. Sin embargo, la escorrentía depende de los usos del suelo y de las coberturas vegetales. De esta manera, medimos la capacidad de los distintos usos del suelo para disminuir los caudales máximos como subrogado del servicio ecosistémico de regulación de los recursos hídricos, según los pasos descritos en la figura.



> Bibliografía

Chow, V., Maidment, D. R., y Mays, L. W. 1994. *Hidrología aplicada*. Mc Graw Hill. 580 pp.
 Moreno Llorca, R., Navarro González, I. y Bonet García, F.J. 2011. Evolution of ecosystem services in intensive and extensive Agricultural Systems. En: *12th European Ecological Federation Congress. Responding to rapid environmental change*. Ávila, Sep 2011.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_regHidrica

> 10.5 Evaluación de la huella humana en Sierra Nevada

La minería es uno de los factores más importantes de huella humana.



> Objetivos

La huella humana nos permite evaluar de manera integrada, el grado de presión que los ecosistemas están sufriendo como consecuencia de la actividad humana. Esta metodología permite mostrar de manera cuantitativa el impacto sobre los ecosistemas.

> Periodicidad

El mapa de huella humana tiene una fuerte componente dinámica. La recopilación de las actividades humanas se realiza a lo largo de un gradiente temporal para evaluar la variación del impacto desde el pasado hasta la actualidad, así que no tiene sentido definir una periodicidad concreta.

VARIABLES

Variable	Unidad
Huella humana	adimensional. Escala 0-100

> Método y esfuerzo

La metodología seguida para el análisis de la huella humana en Sierra Nevada se basa en los estudios más relevantes hasta ahora desarrollados, que se resume en los siguientes pasos:

1. Se recopila y genera la información sobre las variables que definen la actividad humana en Sierra Nevada y que condicionan la estructura y la función de los ecosistemas respecto a población (densidad de población y de viviendas), accesibilidad (caminos, carreteras, vías pecuarias, cortafuegos), infraestructuras (helipuertos, balsas, canales, canteras, parques eólicos y tendidos eléctricos), usos del suelo (ganadería, incendios, actuaciones forestales), uso público (instalaciones), estaciones de esquí (alpino y de travesía), fragmentación, etc. Esta información se recaba desde 1950 hasta la actualidad para poder realizar el estudio de manera dinámica en el tiempo.
2. Se analiza la escala espacial de cada capa de información (ecológica y de actividad humana) para decidir la escala idónea de trabajo.
3. Se asigna a cada una de las variables un valor de influencia en todo el territorio de estudio entre

0 y 10 en función del conocimiento existente en la literatura científica. Para ello se establecen diferentes áreas tampón de cada factor, que presentan un rango de valores descendentes de influencia conforme nos alejamos de la alteración.

4. Se agregan los valores de influencia humana del total de variables para concluir en un valor del índice de influencia humana en cada píxel del territorio. De esta manera obtenemos un rango de sus valores en el territorio.

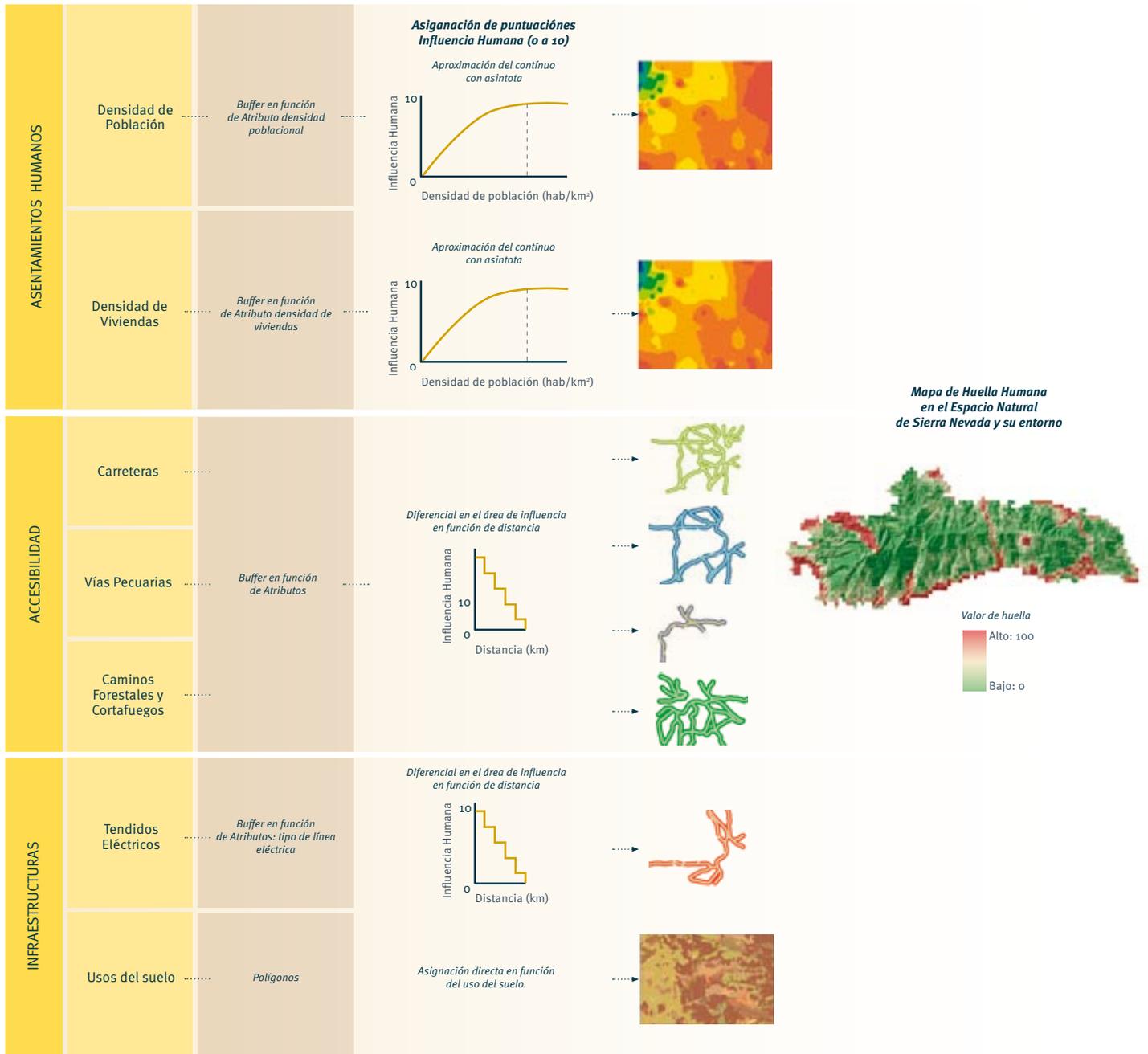
5. Se normaliza la información para transponer el mapa de huella en un rango de valores de 0 a 100 a través de la siguiente fórmula:

$$Hhi = \frac{(Ihi - Iihmin) \times 100}{Iihmax - Iihmin}$$

donde:

Hhi= huella humana en el píxel "i"
Ihi= Índice de influencia humana en el píxel "i"
Iihmin= Valor mínimo de influencia humana en el área de estudio
Iihmax= Valor máximo de influencia humana en el área de estudio

ESQUEMA METODOLÓGICO DEL CÁLCULO DE LA HUELLA HUMANA



> Bibliografía

- Sanderson, E., Jaiteh, M., Levy, M., Redford, K., Wannebo, A. y Woolmer, G. 2002. The Human Footprint and the Last of the Wild. *BioScience*, 52 (10): 891-904.
- Woolmer, G., Trombulak, S.C., Ray, J.C., Doran, P.J., Anderson, M.G., Baldwin, R.F., Morgan, A. y Sanderson, E.W. 2008. Rescaling the Human Footprint: A tool for conservation planning at an ecoregional scale. *Landscape Urban Plan.*, 87 (1): 42-53.

> Vínculos

http://sl.ugr.es/obsnev_huella

➤ Estructura del Observatorio de Cambio Global Sierra Nevada

Director del Parque Nacional y Natural Sierra Nevada:

Francisco Javier Sánchez Gutiérrez¹

Conservador del Parque Nacional y Natural Sierra Nevada:

Ignacio Luis Henares Civantos¹

Dirección facultativa del Programa de Seguimiento:

F. Javier Cano-Manuel León¹
Blanca Ramos Losada¹

Coordinador científico del Observatorio:

Regino Jesús Zamora Rodríguez²

Responsable del programa de seguimiento en la Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía:

Ignacio Maldonado Lozano³

Equipo de coordinación en la Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía:

Rut Aspizua Cantón³ y José Miguel Barea Azcón.³

Seguimiento de cambios en la criosfera:

José Antonio Algarra Ávila³, Javier Herrero Lantarón⁴, Francisco Javier Bonet García², Juan de Dios Rodríguez Caceres³, Ernesto Sofós Naveros³, Gonzalo Muñoz Pedraza³ y Enrique Ávila López³.

Sistema de información:

Francisco Javier Bonet García², Ramón Pérez Pérez², Antonio Jesús Pérez Luque² y María Jesús del Saz Salas³.

Modelización de la distribución de especies:

Blas Benito de Pando²

Caracterización histórica de la vegetación:

Irene Navarro González²

Cuantificación de servicios ecosistémicos e indicadores socioeconómicos:

Ricardo Moreno Llorca²

Climatología:

José Miguel Muñoz Díaz³ y Pablo Reyes Muñoz².

Seguimiento de fauna:

José Miguel Barea Azcón³, Javier Martín Jaramillo³, Rogelio López Sanjuan³, Helena Ruiz Carbayo³, José Enrique Granados Torres³ y F. Javier Cano-Manuel León¹.

Seguimiento de enfermedades infecciosas en fauna silvestre:

José Enrique Granados Torres³, F. Javier Cano-

Manuel León¹, Paulino Fandos París³, Apolo Sánchez Lao³, Isidro Puga González³, José López Pérez³, Elías Martínez Ortíz³, Manuela Cárdenas Fernández³, Francisco Casado Felipe³ y Antonio Rodríguez Dueñas³.

Evaluación de la gestión forestal:

Rut Aspizua Cantón³, Cristina Bollullos Sánchez³, María Rosa López Onieva³, Francisco Javier Bonet García², José Miguel Muñoz Díaz³, Cristina Patricia Sánchez Rojas³, Fernando Pavón³, Javier Alcalá Mejías³, Miguel Ángel Arrufat Jiménez³, Oliver Izquierdo Amaruch³, Juan Carlos Maldonado Sánchez³, Mónica Martínez Villalta³, Francisco Robles Sánchez³ y Antonio Veredas Navarro³.

Seguimiento de flora y comunidades vegetales:

José Miguel Muñoz Díaz³, Cristina Patricia Sánchez Rojas³, María Rosa López Onieva³, Mónica Martínez Villalta³, Antonio Veredas Navarro³, Juan Carlos Maldonado Sánchez³, Juan de Dios Rodríguez Caceres³, Ernesto Sofós Naveros³ y Gonzalo Muñoz Pedraza³.

Seguimiento de sistemas acuáticos:

Javier Galindo Parrilla³, María del Carmen Fajardo Merlo³, Silvia Rubio Rubio³, Miguel Galiana García³, Francisco Megías Puerta³, Rodrigo Peguezuelos Gómez³, Julián Manuel Fuentes Carretero³ y Ana Belén Lucha³.

Seguimiento de atmósfera y flujos de carbono:

José Miguel Muñoz Díaz³, Andrew S. Kowalsky⁴ y Penélope Serrano Ortiz⁴.

Agentes de Medio Ambiente:

- **Coordinador:** Antonio Gómez Hervás.
- **Coordinadores adjuntos:** José Ignacio Ortega Pérez y Jesús Vallejo Salvador.
- **Seguimiento de Fauna:** Andrés López Martínez, Carlos Gómez Rivero, Carmen Pulido Poyal, Cristina Debén Duarte, Cristina Martos García, Fanny Archila Gallegos, Francisco J. Contreras Parodi, Isacio Hernández Soto, Pablo Galdo y de Fuentes y Verónica Bueno de la Rosa.
- **Seguimiento de flora y vegetación:** Asunción Arias Navarro, Ibán Caparrós Gómez, Gonzalo Lastra Ruiz, Ángel J. Lozano Rubio, Daniel Morillas Fernández, Antonia Muela Romero, Juan Reyes Moreno, Manuel Román Sánchez, Pedro Sánchez Martínez y Beatriz Villagómez Antequera.
- **Seguimiento de ecosistemas hídricos:** Damián Bernabé Ruiz, Cristina Debén Duarte, Felipe Cejudo Peregrina, Benito Martínez Corral, Almudena Molina Fernández, José Luís Pimentel Sánchez, Ángeles Rubio Rubio,

Agustín Salaberri Rodríguez, Javier Carretero Rodríguez y Cesar García Carmona.

- **Seguimiento de contaminación atmosférica:** Fanny Archila Gallegos, Asunción Arias Navarro, Felipe Cejudo Peregrina, Conrado Moratalla Vélchez, Daniel Morillas Fernández, José Luís Pimentel Sánchez, Carmen Pulido Poyal, Ángeles Rubio Rubio, Agustín Salaberri Rodríguez, Pedro Sánchez Martínez y Ángel Vélez Vélez.

Grupos de investigación y empresas con participación:

- **Hydraena S.L.L.:** Julio Luzón Ortega, Pablo Jaimez Cuéllar, José Antonio Palomino Morales y José Manuel Tierno de Figueroa.
- **Grupo de Dinámica de Flujos Biogeoquímicos (I.P. Miguel Losada Rodríguez) y Grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología (M³ José Polo Gómez, Javier Herrero Lantarón y Agustín Millares Valenzuela),** Universidades de Granada y Córdoba.
- **Proyecto GLORIA:** grupo de investigación “Flora, vegetación y etnobotánica” (RNM-170, Junta de Andalucía) Departamento de Botánica. Universidad de Granada: Joaquín Molero Mesa y Rosa Fernández Calzado.
- **Seguimiento de anfibios y reptiles:** grupo de investigación “biología y conservación de vertebrados mediterráneos” (RNM-351, Junta de Andalucía) Departamento de biología animal. Universidad de Granada: Juan M. Pleguezuelos, Maribel Benítez Lechuga, Juan Ramón Fernández Cardenete, Jesús Caro Hidalgo, Manuel Chirosa Ríos y Gregorio Moreno Rueda.
- **Fundación Centro Estudios Ambientales del Mediterráneo.**
- **CIMERA Estudios Aplicados.**

¹ Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía

² Laboratorio de Ecología del CEAMA (Universidad de Granada)

³ Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía

⁴ Universidad de Granada



Fundación Biodiversidad

