

Indicadores de cambio global en la Reserva de la Biosfera del Montseny, España

MARTÍ BOADA, SÒNIA SÀNCHEZ,
JOSEP PUJANTELL Y DIEGO VARGA

1. La Reserva de la Biosfera del Montseny (RBM)

La Reserva de la Biosfera del Montseny está situada en el NE de la península Ibérica, siendo el macizo más elevado de la cordillera Prelitoral Catalana (Figura 1). Sus picos más altos son el Turó de l'Home (1.707 m), y les Agudes (1.706 m). La gran mayoría de los materiales litológicos del Montseny son de carácter silíceo y puntualmente aparecen materiales calcáreos. El nombre del macizo proviene del latín Mont Signis, montaña de las señales, denominada así por su importancia como referente para la orientación.

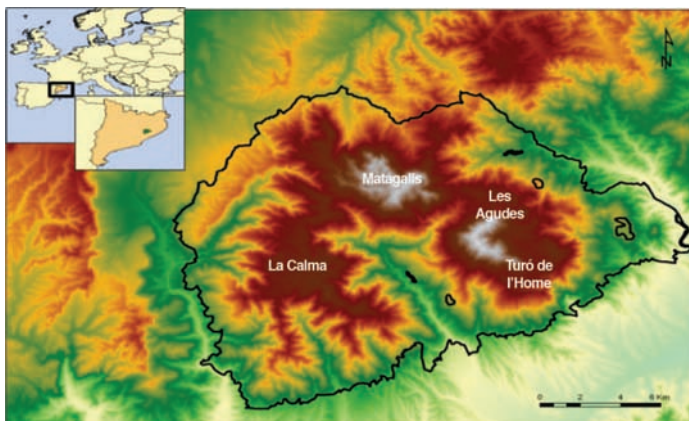


Figura 1. Localización de la RBM - Fuente: Elaboración propia

La protección del macizo arranca históricamente en 1928 con la firma de un Decreto Real y la creación del Patronato de la Montaña del Montseny, reconociendo su valor natural y su importancia como “pulmón verde” próximo al área metropolitana de la ciudad de Barcelona.

Aunque ya desde finales del siglo XIX se venía reclamando esta protección desde ámbitos académicos y naturalistas, no es hasta 1978 que se aprueba el Plan especial de protección del Parque Natural del Montseny. En el mismo año se aprueba la declaración del Montseny como Reserva de la Biosfera, propuesta desde la Diputación de Barcelona. El 1987 se aprueba por el parlamento del gobierno autonómico de Cataluña el decreto de declaración del Parque Natural del Montseny. En el año

diego.varga@uab.cat; sonia.sanchez.mateo@uab.cat;
josepAntoni.pujantell@uab.cat; marti.boada@uab.cat
Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA). Universitat Autònoma de
Barcelona. 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). Barcelona.

2007 se aprobó inicialmente una modificación del Plan especial, aún pendiente de su aprobación definitiva, con un ámbito de 31.063,90 ha.

Una característica muy destacable de la RBM es la diversidad de paisajes que acoge dentro de sus límites, ya que incluye muestras de las tres regiones biogeográficas configuradoras de los principales biomas de Europa Occidental: la Mediterránea, la Eurosiberiana y la Borealpina. Se pueden encontrar encinares y pinares mediterráneos en sus cotas más bajas, así como hayedos centroeuropeos, abetales y landas propias de latitudes del norte de Europa a medida que se asciende altitudinalmente. La particular ubicación geográfica del Montseny representa el límite septentrional y meridional de distintos organismos y sistemas, en el primer caso respecto la corología mediterránea y, en el segundo caso, a la eurosiberiana. Dicha singularidad biogeográfica expresa una alta sensibilidad frente el cambio global.

2. Historia socioecológica de la RBM

El Montseny está conformado por un mosaico de paisajes mediterráneos y centroeuropeos que combina valores ecológicos y culturales caracterizados por la diversidad y la cantidad. La actividad humana ha interactuado durante siglos con los procesos naturales para configurar el paisaje actual, siendo éste una expresión de la historia natural y la historia social de la región.

La presencia humana en el macizo se remonta al Neolítico (3000 a.C.) incrementándose durante los períodos ibérico y romano con asentamientos permanentes. Durante la época medieval se inicia el período más intenso de ocupación del macizo, particularmente en las zonas medias y altas. Paralelo al incremento poblacional se producirá un incremento de la demanda de suelo agrícola y de pastos; para ello se realizarán desmontes de bosque. Desde el inicio del proceso de feudalización hasta la revolución industrial la actividad primaria desarrollada en el macizo se basará en un sistema económico de subsistencia, propio de áreas de montaña, que combina básicamente las actividades forestal, agrícola y ganadera. La actividad ganadera, de carácter extensivo, incluye básicamente ganado lanar trashumante, y tiene un peso relativamente importante en el Montseny. Pero la actividad predominante en la zona es la forestal, para la obtención de dendrocombustibles en forma de leña y carbón vegetal, o bien madera para la construcción de casas o embarcaciones, entre otros usos. En general este predominio de las actividades forestales explica el sistema de propiedad tradicional en la zona, organizadas entorno al mas y con grandes propiedades, debido a la necesidad de disponer una gran superficie para hacer efectiva la explotación forestal.

Este sistema de subsistencia permanece con pocos cambios hasta finales del siglo XIX. A partir de entonces, pero especialmente desde mediados del siglo XX, se han producido importantes cambios a nivel demográfico y social que han desencadenado un cambio en la economía local, que ha sufrido un proceso de terciarización de los sectores primarios. La pérdida de la rentabilidad de los trabajos que históricamente se han desarrollado en zonas de campo y de montaña (cultivos agrícolas, ganadería extensiva, silvicultura o aprovechamientos forestales) unido al mayor crecimiento industrial y económico de las zonas de llano y las zonas urbanas, ha causado un

despoblamiento y un envejecimiento progresivo de las zonas de montaña como el Montseny. Esta dinámica solo se ha frenado tímidamente en los últimos años, gracias a un incipiente desarrollo turístico.

En general se observa la conversión de una montaña de carácter agrario con dominio de pastos, cultivos y explotación silvícola, hacia una montaña de ocio con numerosos servicios de restauración, alojamiento y segundas residencias. Esta situación conlleva el cambio en los servicios ambientales prestados, donde los servicios de provisión de productos y recursos naturales han perdido su papel predominante en favor de servicios culturales y recreativos.

3. El cambio global

A lo largo de la historia la influencia humana sobre los ecosistemas y los recursos naturales se traducen en una serie de cambios en la biosfera a todas las escalas, con manifestaciones e intensidades diferentes. Sin embargo, ha sido en las últimas décadas cuando se han concentrado los cambios más importantes y sin precedentes, caracterizados por el alcance y rapidez en que se han producido. El cambio global comprende diversos factores, siendo los más importantes el cambio climático, los usos y cambio de cubiertas del suelo y los procesos de bioinvasión.

Actualmente la ciencia del cambio global constituye un referente en el estudio de las interacciones constantes entre las fuerzas inductoras de carácter biofísico y las fuerzas inductoras de carácter socioeconómico. Se puede afirmar que las transformaciones ambientales son simultáneamente transformaciones sociales y viceversa (Harvey, 1996). El nuevo concepto de resiliencia considera que el cese de las presiones sobre los ecosistemas tiene repercusiones no solo a escala biológica, sino también a escala cultural, ya que se produce el cambio desde la apropiación de recursos a la creación de espacios protegidos.

Así, el cambio global es un proceso multidimensional y por tanto se puede estudiar desde diferentes perspectivas que dan lugar a diferentes interpretaciones y valoraciones, pero para una comprensión más profunda del proceso se hace necesario un marco de análisis que integre los diferentes conocimientos y por tanto que trabaje desde la interdisciplinariedad.

En este sentido, el Programa Internacional en las Dimensiones Humanas (IHDP) y el Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP) impulsó el proyecto Land Use and Land Cover Change (LUCC) en 1993, que propuso un enfoque integrador de la dimensión humana con la biofísica, representando los proyectos de investigación más destacables en cuanto al análisis del cambio global. Bajo el mismo contexto institucional, en el año 2005 el LUCC cedió su relevo al Global Land Project (GLP), con la misión de dar continuidad al LUCC estudiando los cambios entre los sistemas humano y biofísico desde la escala local a la regional.

Desde este programa se aporta una visión integradora de las ciencias experimentales y las ciencias sociales a través de un análisis basado en un contexto tanto geográfico como histórico. Por tanto, el análisis de este cambio tiene que tener presente la cuestión de la escala, pero también requiere una dimensión histórica, tanto en su vertiente humana como natural (Turner et al., 1995).

El Montseny, por su especial sensibilidad frente al cambio global, constituye un área de investigación preferente de diferentes autores que han desarrollado estudios avanzados sobre este proceso en vectores muy diversos: desde el campo de la ecofisiología, a los efectos de la ganadería en los ecosistemas de montaña o el monitoreo de lepidópteros diurnos, entre muchos otros. A continuación, se aborda a modo de síntesis, los principales y más recientes trabajos de investigación llevados a cabo en la RBM y con relación al cambio global.

3.1 Evolución de los paisajes mediterráneos

El paisaje representa una herencia rica en valores naturales y culturales, a menudo está amenazado por las fuerzas de cambio, que lo presionan. El paisaje es cambiante en tanto que es la expresión de las dinámicas e interacciones entre las fuerzas naturales y culturales del territorio. El paisaje tradicional es el resultado de reorganizaciones consecutivas del territorio para adaptarse mejor a sus nuevos usos, a los cambios de la demanda social y a la nueva estructura espacial. En el caso de la RSM el paisaje no únicamente destaca por su elevado grado de biodiversidad, sino también por un destacado patrimonio histórico y artístico. Modernamente, en el contexto de la actual crisis ambiental, entendida como crisis civilizatoria, los valores culturales de los paisajes han adquirido el reconocimiento social de su función lúdica, evasiva, educativa, científica y de control de los incendios. Son muchos los autores que consideran que el fuego forma parte del metabolismo global de los ecosistemas forestales mediterráneos, coincidiendo en que una gestión correcta y sostenible reduce su combustibilidad.

Esta multifuncionalidad de los paisajes ha estado relacionada con las economías autosuficientes de los paisajes agrarios mediterráneos, especialmente en las áreas de montaña. La utilización de prácticas tradicionales de baja intensidad, como consecuencia de esta economía familiar y rural ha dado lugar a una gran proporción de hábitats y paisajes valiosos.

No obstante, a principios del siglo XX, la relación agricultura y naturaleza se vio transformada debido a la intensificación de los sistemas de producción y abandono de las zonas rurales. Este abandono de la actividad tradicional ha desencadenado transformaciones problemáticas sobre el paisaje, como el progresivo incremento del bosque y los matorrales en detrimento de la superficie agrícola.

Las dinámicas paisajísticas y sus posibles efectos sobre el territorio constituyen un importante campo de investigación en las últimas décadas. El conocimiento y el estudio espacial y temporal de los patrones paisajísticos permiten identificar estas dinámicas igual que las consecuencias ambientales ligadas a la aparición de procesos de erosión, infiltración y escorrentía, cambio en el comportamiento de los procesos hidrológicos y geomorfológicos, aumento del riesgo de incendios y la pérdida de biodiversidad y patrimonio cultural. Los resultados de la aplicación de métodos cuantitativos se agrupan en los denominados índices de paisaje. Estos índices aportan datos numéricos interesantes sobre la composición y la configuración de los paisajes, la proporción de cada cubierta o uso del suelo, y la superficie y la forma de los elementos de estos. Además, permiten una comparación útil e interesante entre diferentes configuraciones paisajísticas del mismo territorio en momentos temporales diferentes y la definición de escenarios futuros.

3.1.1 Cambios en los usos y cubiertas del suelo: implicaciones del cambio socioecológico

Las cubiertas del suelo (land cover) representan el conjunto de condiciones biofísicas de la superficie terrestre en términos de características del medio edáfico, hídrico y biótico que dan lugar a unidades específicas como por ejemplo, los bosques. Los usos del suelo (land use) implican tanto la manera con la que los humanos intervienen sobre los atributos biofísicos de la superficie terrestre, como los objetivos de esta intervención (Turner et al., 1995). Así, los usos del suelo afectan las cubiertas del suelo y representan sus principales determinantes mediante procesos de transformación y modificación (Lambin et al., 1999). Entre las consecuencias del cambio de usos y cubiertas del suelo se incluye la pérdida de biodiversidad o las alteraciones de los ciclos biogeoquímicos, si bien los efectos pueden ser diversos y heterogéneos en el tiempo y el espacio. Estos cambios constituyen un ejemplo de acumulación de pequeños cambios producidos a escala local en todo el planeta (Fisher, 1998).

Los efectos del cambio de las cubiertas del suelo pueden verse reflejados en la composición de la vegetación y en la estructura de los suelos, cambios que se manifiestan en la superficie terrestre y que, por tanto, se hacen visibles; pero también se reflejan en el funcionamiento y en la estructura física, química y biológica de los suelos. Estos efectos “invisibles” que suelen pasar desapercibidos, en el caso del macizo del Montseny, podrían ayudar a explicar por ejemplo, el descenso de la disponibilidad hídrica en algunas cuencas fluviales, así como un incremento de la carga de combustibilidad de algunos sistemas forestales y su posible impacto atmosférico (Boada y Saurí, 2002).

Un ejemplo de cambio global: el caso del valle de Santa Fe

En el valle de Santa Fe, uno de los lugares más emblemáticos de la RBM, se ha producido desde los últimos 50 años (1956-2006) un marcado proceso de terciarización de los sectores productivos que ha desembocado en un cambio de paisaje y de formas de vida mostrando repercusiones en los sistemas ecológicos y socioeconómicos del valle.

El fenómeno del abandono del sector primario se hace patente en el proceso de reducción de las cubiertas del suelo relacionadas con los usos de este sector, en concreto de la reducción de superficie agrícola y de pastos, el incremento de la cubierta forestal por la regresión de las actividades extractivas tradicionales y la desaparición de granjas agroganaderas o bien su reconversión hacia el sector de los servicios.

A nivel metodológico, el análisis cuantitativo del cambio de cubiertas de los últimos 50 años se ha realizado a partir del análisis cartográfico y estadístico partiendo de las fotografías aéreas del vuelo americano de 1956 y los ortofotomapas del Institut Cartogràfic de Catalunya de 2006. A grandes rasgos, la evolución de las cubiertas en este valle muestra una tendencia al incremento de superficie forestal que ocupa antiguos cultivos y zonas abiertas como matorrales, landas o pastizales que, a su vez muestran una reducción en su superficie (Sánchez, 2008).

Los resultados muestran que en 1956 los cultivos ocupaban una mayor superficie

respecto la actualidad; sin embargo, a lo largo del tiempo han sufrido procesos de abandono siendo colonizados por diversas comunidades vegetales o bien han sido sustituidos por plantaciones. El hayedo ocupaba una menor superficie a la vez que mostraba una densidad laxa a causa de los procesos tradicionales de apropiación a los cuales estaba sometido, principalmente para la obtención de madera, leña y carbón. El incremento de la superficie forestal en el período comprendido responde al 11,3%, en detrimento de las zonas abiertas correspondientes a cultivos, pastizales, landas y matorrales, que se han reducido en más del 10%. Desde la perspectiva de las ciencias ambientales, el aumento de la masa forestal, tanto en el sentido horizontal como vertical, ha producido una uniformización del paisaje con el consiguiente descenso de biodiversidad (Figura 2).

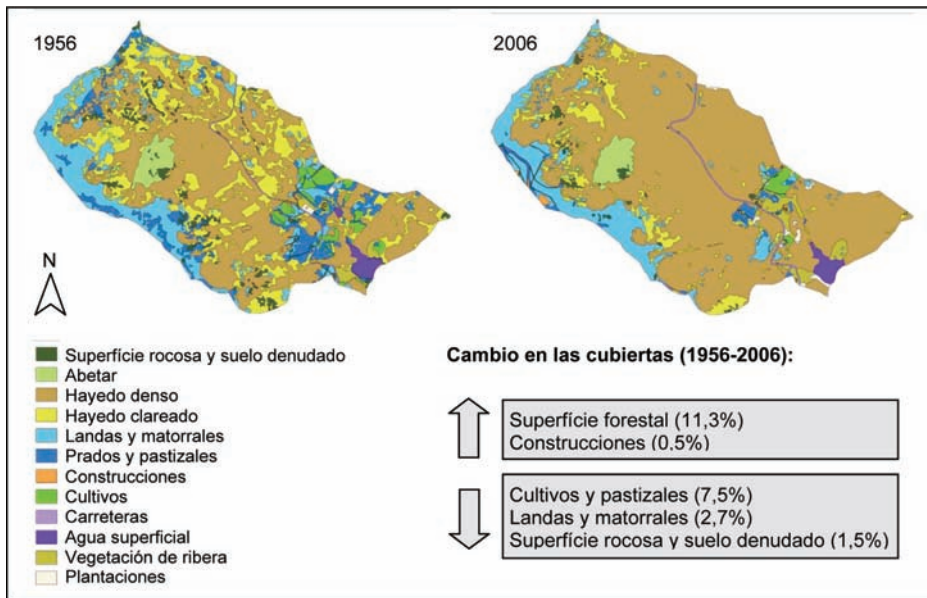


Figura 2. Evolución de los usos y cubiertas del suelo (1956-2006) en el valle de Santa Fe (RBM)
Fuente: Elaboración propia

El cambio en los pastos

Según la Directiva Hábitat 92/43/CEE sobre la conservación de los hábitats naturales y la fauna y la flora silvestre, se incluyen como hábitats seminaturales los creados o mantenidos por la actividad humana, como pueden ser los cultivos o pastos. En muchos casos las características de estos sistemas seminaturales desaparecerían si el trabajo agrícola dejara de existir.

La diversidad biológica ligada a estos ambientes de montaña mediterránea depende en cierto modo de la heterogeneidad espacial creada por las fuerzas naturales y de la acción humana. A menudo esta biodiversidad es superior a la que encontramos en paisajes naturales donde no ha intervenido la acción humana.

En Europa existen 203 tipos de hábitats que se encuentran amenazados, de los cuales 132 están potencialmente influenciados por un proceso de intensificación y

32, por uno de abandono de la actividad humana. En este último grupo 31 hábitats son representados por los pastos y uno por tierras de cultivo (EEA, 2005).

Según estudios realizados en la RSM (Bartolomé et al. 2000 y 2005) se ha observado que la ausencia de gestión efectiva sobre los espacios agrarios facilita que estos sean colonizados por especies arbustivas. Es probable que en un primer estadio la diversidad florística aumente, pero la biodiversidad tiende a bajar a lo largo del proceso de sucesión a causa de la invasión de especies pioneras. Además, durante la sucesión secundaria las especies especialistas desaparecen y dan lugar a otras más competitivas, pero menos valiosas.

El abandono de los pastos extensivos a menudo provoca una pérdida irreversible del conocimiento tradicional estrechamente conectado al patrimonio socioambiental y provoca, en estos casos, el olvido del conocimiento secular acumulado, generador de formas de producción y de apropiación sostenibles “avant la lettre”.

Además, el abandono de estas prácticas tradicionales comporta una serie de impactos como el incremento de los riesgos naturales, pérdida de la productividad de las tierras, pérdida del valor del suelo, pérdida del capital natural y de la calidad ambiental, escasez de los servicios ambientales, pérdida de espacios abiertos que son útiles para potenciar la actividad turística y los deportes de montaña, pérdida de la variedad de productos y razas tradicionales, pérdida de diversidad de ambientes/hábitats, reducción de las formas de vida y del conocimiento tradicional, pérdida permanente del paisaje cultural y disminución de la presencia humana con el consiguiente descuido territorial de la montaña.

La mayoría de estos impactos determinan la pérdida de ingresos potenciales en estas zonas, y otros forman parte de una esfera de valores éticos y morales difícilmente cuantificables. Por otro lado, no siempre es posible determinar si los impactos comentados anteriormente tienen un carácter positivo o negativo en términos absolutos, ya que diversos grupos sociales pueden interpretar los impactos de manera diferente.

Las plantaciones de coníferas y los procesos bioinvasores

Un claro ejemplo de que los cambios socioeconómicos se expresan en los usos y cubiertas del suelo es el caso de gran parte de las plantaciones de coníferas existentes en la RBM. El cambio social, económico y cultural acontecido a partir de la segunda mitad del siglo XX será decisivo en la historia ambiental del macizo, marcada por el proceso de éxodo rural. La crisis del sector primario tradicional conllevó un cambio en las tierras de cultivo que fueron abandonadas o bien, sustituidas por plantaciones de coníferas alóctonas de crecimiento rápido, con una mayor rentabilidad para la explotación de su madera (Figura 3).

La implantación de coníferas ya contaba con cierta tradición silvícola en el Montseny a partir de la llegada de la filoxera, a finales del siglo XIX, si bien se utilizaron especies autóctonas como el pino carrasco (*Pinus halepensis*), el pino piñonero (*Pinus pinea*) o el pino resinero (*Pinus pinaster*).

Así pues, las especies forestales alóctonas empezarán a ser introducidas a partir de la década de 1950, siendo la más significativa el abeto de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), entre otras muchas coníferas exóticas como el cedro (*Cedrus atlantica*), la

píceas (*Picea abies*) o el pino de Monterey (*Pinus radiata*), esta última más abundante en altitudes inferiores. También fueron introducidas coníferas autóctonas para el país, aunque no presentes en el Montseny, como el pino albar (*Pinus sylvestris*) o el pino negro (*Pinus mugo*).

Cabe mencionar que los criterios de selección de la especie a plantar únicamente se regían en función del precio, la demanda y las existencias en el mercado.

Actualmente, se ha observado una consecuencia muy significativa de este proceso de introducción de coníferas exóticas. Los estudios sobre cambio global en el Montseny llevaron a detectar un nuevo fenómeno consistente en los procesos bioinvasores hacia las zonas supraforestales protagonizados por algunas de las especies introducidas, en especial por el pino albar y el abeto de Douglas (Boada, 2002; Broncano, Vilà y Boada, 2005).

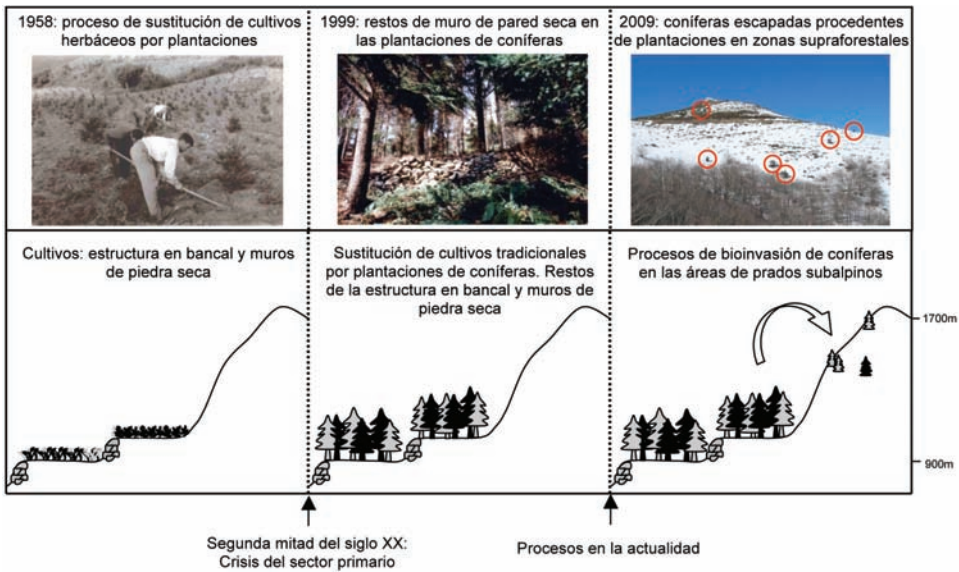


Figura 3. Esquematación del proceso de sustitución de cultivos por plantaciones de coníferas y la posterior colonización hacia cotas más elevadas, correspondientes a zonas supraforestales. Se trata de un claro ejemplo de la repercusión de los cambios socioeconómicos en el paisaje y los ecosistemas.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Boada, 2002; Broncano, Vilà y Boada, 2005)

3.1.2 Mediterraneización de las cubiertas

Se ha observado un proceso de mediterraneización de las cubiertas que se manifiesta sobretodo en las zonas ecotónicas. Las franjas de ecotono son zonas de transición con capacidad indicadora ante los cambios de las comunidades vegetales como consecuencia de variaciones socioecológicas. Así, estos procesos son atribuibles al cambio de usos, que se suma al incremento de temperaturas detectado en el área de estudio (Peñuelas y Boada, 2003).

Teoría de la insularización y el incremento altitudinal del bosque de Haya

A altitudes medianas (800-1200 m) y, especialmente en las vertientes orientadas al sur con una mayor exposición solar, el encinar produce un efecto de insularización sobre el haya. El proceso de insularización ocurre mediante una formación de “penínsulas” a partir del hayedo que constituye el “continente”, y que progresivamente derivan hacia un aislamiento de un grupo reducido de las hayas con mayor carácter ecotónico en “ínsulas” (Figura 4).



Figura 4. Dos ejemplos del proceso de la insularización del haya en el Montseny.

Continente (c), península (p) e ínsulas (i)

Fuente: Peñuelas y Boada, 2003

Estas hayas aisladas muestran una baja regeneración y, finalmente son sustituidas por el encinar. A partir de la comparativa de la cartografía de Llobet de 1945 y el mapa de vegetación del Montseny de 1994 (Departament d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya) se ha observado la desaparición de diversos grupos de hayas aislados en bajas altitudes y de igual orientación. Además de esta información cartográfica, se han analizado otros parámetros a partir del análisis experimental con tal de evidenciar los procesos de insularización y posterior sustitución, según la comparativa del reclutamiento y del estado de salud —evaluada según el grado de defoliación (Montoya y López Arias, 1997)— entre un hayedo del “continente” y los grupos aislados. De manera significativa ($P < 0.05$) se ha observado que en las “ínsulas” la encina triplica su grado de reclutamiento, mientras que el haya muestra un reclutamiento menor (40%) y un grado de defoliación superior (30%) respecto al “continente” (Figura 5).

La confluencia del cambio en las condiciones climáticas, concretamente ante un incremento de la temperatura, junto con el cambio de uso de las cubiertas del suelo, ha comportado, a su vez, un incremento altitudinal del hayedo hacia las zonas culminales del macizo (1600-1700 m), ocupando matorrales y prados subalpinos. Se trata de otro caso paradigmático del cambio global que afecta la distribución de las especies vegetales y los biomas (Peñuelas y Boada, 2003). Este proceso se ha observado que ha tenido lugar a lo largo de los últimos 55 años y se ha podido documentar a través de la metodología de la fotografía diacrónica (Figura 6).

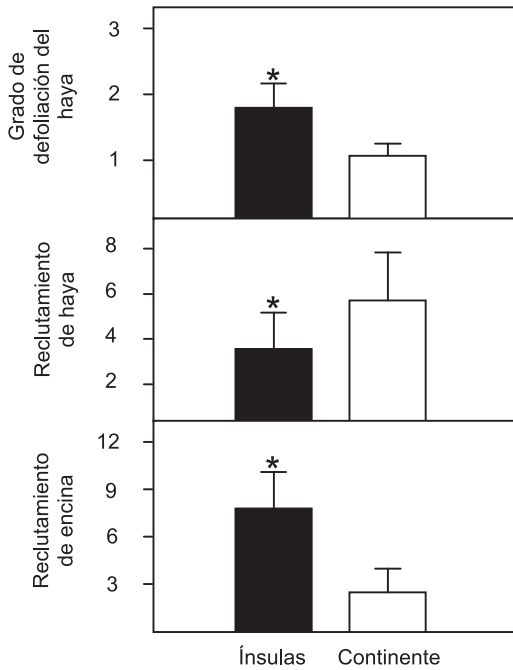


Figura 5. Análisis comparativo del estado de salud —de 0 (sin defoliación) a 4 (100% de defoliación)— y el reclutamiento —número de individuos jóvenes (con un diámetro basal inferior a 3 cm) por parcela— de haya y encina en las ínsulas y el continente. * $P < 0.05$, ANOVA. **Fuente:** Peñuelas y Boada, 2003

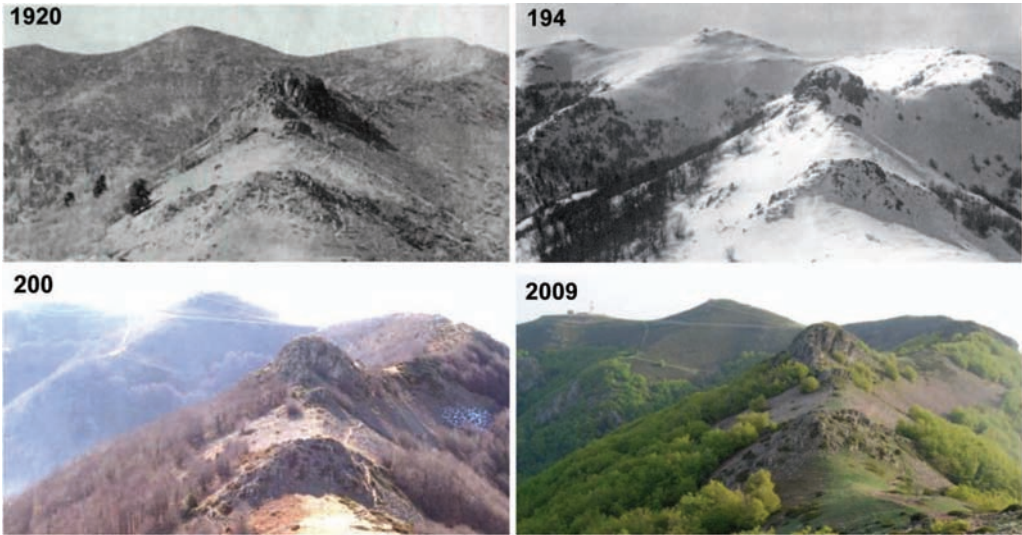


Figura 6. Los procesos de cambio global se manifiestan en las zonas culminales del turó de l'Home-Les Agudes, en la RBM, a través del incremento del hayedo hacia altitudes más elevadas **Fuente:** Peñuelas y Boada, 2003

El bosque atlántico de roble albar

El bosque atlántico de roble albar (*Quercus petraea*) de Ridaura, situado entre 800 y 1000 m, en la zona de transición del encinar al hayedo, constituye un claro ejemplo de las consecuencias del cambio de usos en una zona ecotónica con una elevada sensibilidad (Gómez, Boada y Sánchez, 2008).

A nivel metodológico, se analiza el papel de los factores biofísicos y socioeconómicos en los procesos de cambio de uso y cubiertas del suelo en este robleal. Se ha realizado un análisis diacrónico de las cubiertas de vegetación (1956-2003) que pone de manifiesto un notable aumento de la superficie forestal, así como la reducción y la conversión de la cubierta agropastoral.

Por otro lado se establecieron parcelas de muestreo de 10x10 m² en el perfil altitudinal del robleal para efectuar un recuento de plántulas y la medición del perímetro de los individuos adultos y valorar el proceso de regeneración en el robleal, para todas las especies presentes. Los datos demográficos obtenidos en el muestreo han sido analizados mediante herramientas estadísticas.

En los resultados se observa que el roble albar muestra un diámetro medio superior a la encina; sin embargo, esta última especie presenta una mayor densidad y supervivencia de plántulas respecto al roble. Asimismo, se ha observado un cambio en la composición florística del robleal, incrementándose ligeramente la composición de especies de corología mediterránea o de carácter pluriregional (Gómez, Boada y Sánchez, 2008) (Figura 7).

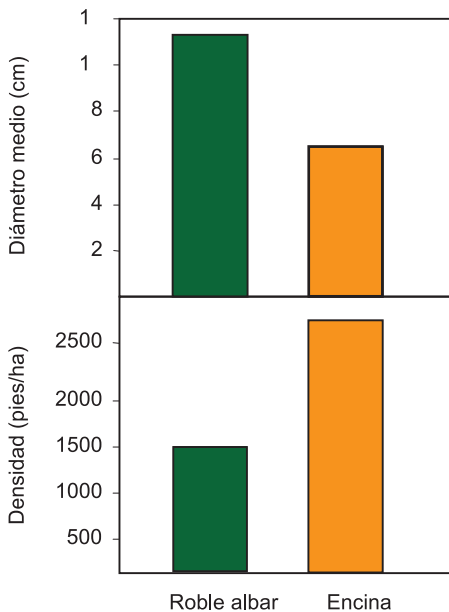


Figura 7. Densidad y diámetro medio calculados para el roble albar y la encina en las parcelas de muestreo dispuestas en el área de estudio.

Fuente: Gómez, Boada y Sánchez, 2008

3.2 La biodiversidad como indicador de cambio global

La conservación de la biodiversidad se ha convertido en uno de los temas prioritarios para muchos investigadores a escala internacional debido a las evidencias constantes de la amenaza que la condición transformadora del ser humano comporta sobre el medio natural y sobre la biodiversidad de nuestro planeta. También cabe remarcar la existencia de un compromiso de conservación por parte de la sociedad que ha estado marcado por la aprobación del Convenio de la Diversidad Biológica (Río de Janeiro, 1992). Evitar el deterioro a medio y corto plazo se ha convertido en una pieza clave para el desarrollo de nuevas políticas que tienen el territorio como marco de referencia.

3.2.1 Plan de seguimiento y control de parámetros ecológicos y socioculturales del Parque Natural del Montseny

Con la finalidad de conocer de forma continua el estado del medio socioecológico del macizo, se creó en 1991 el Plan de seguimiento y control de parámetros ecológicos y socioculturales del Parque Natural del Montseny. Se plantea como un instrumento fundamental para poder detectar cambios y diagnosticar sus tendencias y efectos futuros, aspecto clave en la gestión de la reserva. Existen cuatro grandes líneas de seguimiento:

- Seguimiento de variables fisicoquímicas: meteorología, hidrología, contaminación atmosférica.

- Seguimiento de parámetros biológicos, vegetación: comunidades vegetales, especies singulares, protegidas o aisladas.

- Seguimiento de parámetros biológicos, fauna: grupos faunísticos; especies singulares, protegidas o aisladas; especies cinegéticas, datos fenológicos.

- Procesos e interacciones: expansión de especies alóctonas, electrocución de aves en líneas eléctricas.

El plan de seguimiento tiene un potencial importante para contribuir a la monitorización de manifestaciones locales de fenómenos de cambio global. Como se ha dicho antes, existen distintas especies (tanto vegetales como animales) en el límite de su distribución geográfica, altamente sensibles a cambios de tipo climático (Campeny et al., 2004). Entre las más importantes, podríamos citar la rana bermeja (*Rana temporaria*), estudiada dentro del subprograma de monitoreo de anfibios y réptiles, o el tritón del Montseny (*Calotriton arnoldi*), especie endémica que incluso cuenta con un proyecto propio de investigación y seguimiento. Desde 1994 existe un plan de monitorización de los ropalóceros, cuya importancia para el estudio de los fenómenos de cambio global se explica detalladamente en otro apartado de este capítulo.

3.2.2 El Observatorio de la cuenca del río Tordera: un ejemplo interdisciplinario en los entornos de la RBM

El proyecto de L'Observatori de la Tordera tiene sus orígenes en el año 1995 y nace de una iniciativa impulsada por el gobierno autonómico, la administración local y la Universidad Autónoma de Barcelona para definir y realizar el seguimiento de indicadores del estado de los ecosistemas y del nivel de sostenibilidad de la cuenca (Boada, 2008).

La investigación en la actualidad se centra en la recogida periódica de información sobre diferentes aspectos florísticos, faunísticos y hidrológicos para conocer el patrimonio natural del río Tordera, poder identificar las tendencias y la dinámica de los ecosistemas fluviales y evaluar sistemáticamente el estado de conservación. La singularidad del Observatorio se debe a la interdisciplinariedad de sus líneas de investigación sobre las cuales se hacen seguimientos específicos con la participación de una gran diversidad de actores y entidades, pero también por su función dinamizadora y comunicadora de las problemáticas asociadas a los recursos hídricos dentro de la región.

El grupo de trabajo ha seguido de muy cerca el desarrollo metodológico que de

forma coherente a la implementación de la Directiva Marco del Agua, la Agencia Catalana del Agua (entidad con competencias de planificación, gestión y seguimiento de masas de agua a Cataluña) ha ido desarrollando durante los últimos años. A partir del trabajo iniciado a partir del 1995 la cuenca del río Tordera se convierte en cuenca piloto para testar los diferentes protocolos que la Agencia Catalana del Agua dispone como parte del Plan de Seguimiento y Control.

Los resultados de esta investigación aportan un conjunto de indicadores de calidad que, mediante un sistema integrado de seguimiento del estado socioecológico, permite disponer de valoraciones estrictas acerca de las tendencias y las manifestaciones del denominado cambio global (Boada, 2008) (Figura 8).

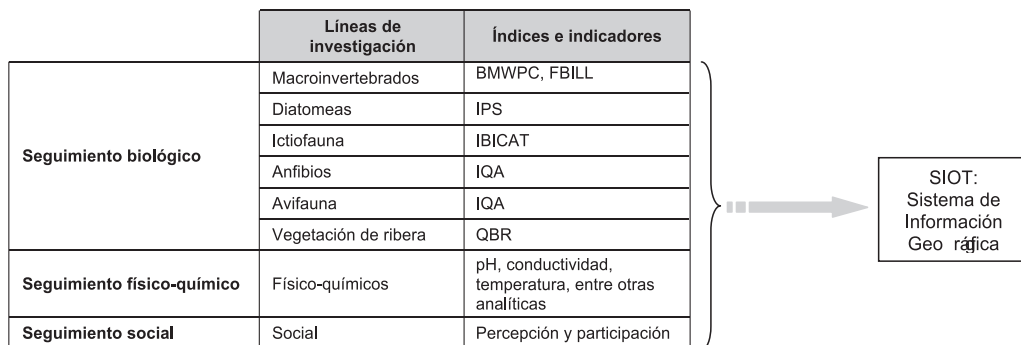


Figura 8. Líneas de seguimiento, índices e indicadores objeto de monitoreo en el Observatorio del río Tordera

Fuente: Elaboración propia

- Macroinvertebrados: se utilizan dos índices el BMWPC que se basa en dar una puntuación a cada taxón o familia de macroinvertebrados en función del grado de tolerancia a las alteraciones del medio de todas las especies del grupo, la puntuación va de 1 a 10. El valor más elevado corresponde a aquellas familias en que todas las especies son muy sensibles a las perturbaciones mientras que el valor más bajo le corresponde a aquellas especies tolerantes. Por otro lado se utiliza el FBILL que da un valor de calidad de las aguas según las familias que se encuentran combinado con la diversidad de la comunidad.

- Diatomeas: se ha utilizado el índice IPS que se basa en la puntuación que tiene cada taxón a nivel de especie respecto a diferentes categorías de calidad del agua (temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, DBO, DQO, nitrógeno total, amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y cloruros). El rango de los valores en que el índice expresa los resultados va de 0 a 20, siendo 0 la peor calidad y 20 la puntuación que expresa la mejor calidad.

- Ictiofauna: se utiliza el índice IBICAT (ver bibliografía in Boada, Mayo y Maneja, 2008).

- Anfibios: se han diseñado dos metodologías para la recogida de datos, el censo de cantos y el muestreo exhaustivo. En esta línea los datos se obtienen a partir del cálculo del índice IQA (Índice Quilométrico de Abundancia), frecuencia de abundancias máximas del índice de canto, porcentaje de puntos de escucha con presencia

y riqueza de anfibios en los puntos de alta diversidad.

- Avifauna: se utiliza el índice quilométrico de abundancia (IQA) para cada especie detectada. El IQA se define por el número de individuos de una especie / kilómetros del transecto censado. Las especies presentes se han clasificado en cinco grupos: estrictamente fluviales, relacionadas con el bosque de ribera, forestales, antropófilas y de espacios abiertos. Se ha elaborado un índice de abundancia (IA) que se obtiene sumando el IQA de todas las especies que se encuentran en un mismo grupo.

- Vegetación de ribera: realiza dos tipos de investigación, por un lado el cálculo del índice QBR que permite determinar el nivel de calidad del bosque de ribera partiendo del análisis de cuatro parámetros: el grado de cobertura de la zona de ribera, la estructura de la cobertura, la calidad de la cobertura y el grado e naturalidad del canal fluvial. El estado del bosque de ribera se clasifica en función de cinco rangos que comprenden los valores de 0 (calidad mala) a 100 (calidad muy buena). Por otro lado también se realizan muestreos florísticos exhaustivos y seguimiento de especies invasoras.

- Físico-químicos: realiza in-situ un conjunto de medidas relacionadas con el pH, conductividad y temperatura. Posteriormente se llevan a cabo las analíticas para detectar metales pesados, inorgánicos, entre otros.

- Sistema de Información Geográfica (SIOT): ha actualizado la base de datos desde el 1996 hasta el 2009. El SIOT es la herramienta clave para poder establecer flujos de datos entre investigadores y posibilitar la integración de datos para describir los efectos del cambio global en los sistemas fluviales.

- Programa de Educación Ambiental, Formación y Comunicación (PROECA): creado en el año 2004, pretende promover el aprendizaje a partir de las experiencias y conocimientos de los agentes de la cuenca y particularmente difundir los resultados obtenidos fruto de la evaluación ambiental integrada (Figura 9).



Figura 9. Programa de Educación Ambiental, Formación y Comunicación (PROECA) del Observatorio del río Tordera

Fuente: Roser Maneja, 2009

Todas las líneas de investigación durante los primeros años de monitoreo 1998-2001 confirman que el río se encontraba muy alterado aunque no de manera uniforme. También se observó hasta que punto las condiciones hidrológicas anuales podían modificar la dinámica de los ecosistemas fluviales. El año 2001 representa un punto de inflexión en la evolución de la calidad del medio fluvial con la puesta en funcionamiento de las plantas de tratamiento biológico de aguas residuales y por los valores de precipitación acumulados que se encontraban por encima de la mediana. No obstante el estado del río (exceptuando las cabeceras) continúa siendo poco satisfactorio y los últimos años, secos y calurosos, han contribuido a detectar la debilidad del sistema ya que el régimen de caudales y la capacidad de carga de los acuíferos dependen en cierto grado de las actividades humanas. Los indicadores fisicoquímicos se encuentran entre las categorías mediocre y aceptable, el índice IPS de diatomeas con fluctuaciones localizadas en el tramo medio no se observa una tendencia clara a la mejora. El índice IBICAT de peces es bajo debido a la presencia y distribución cada vez más amplia de peces alóctonos. Las aves de carácter antrófilo son cada vez más frecuentes en detrimento de las estrictamente fluviales que sufren regresiones y oscilaciones importantes. La calidad de la vegetación de ribera es insatisfactoria en la mayor parte de la cuenca y finalmente, el indicador más optimista sobre la calidad biológica es el de la comunidad de macroinvertebrados, que año tras año desde el 2001 ha mostrado una tendencia hacia la mejora.

3.2.3 Seguimiento de mariposas diurnas

El estudio de los cambios en la fenología animal parece uno de los indicadores más claros de los procesos de cambio global, concretamente del actual aumento de las temperaturas. En este sentido, el grupo de los ropalóceros destaca como uno de los más populares, porque son animales ectotérmicos, es decir, que adaptan su temperatura y su metabolismo al del medio (lo que popularmente se conoce como animales de sangre fría), de forma que su ciclo de vida está altamente influenciado por este factor ambiental. Además, han sido objeto de estudio y monitoreo en varios países durante décadas (Stefanescu et al., 2003).

La metodología del Butterfly Monitoring Scheme (BMS) aplicada en la RBM ha sido introducida exitosamente por Constantí Stefanescu y se utiliza como modelo estandarizado para la recogida de datos sobre ropalóceros (Stefanescu et al., 2003), ha mostrado la elevada significación de este modelo para la detección en sus estados más incipientes de algunas manifestaciones de cambio global. El BMS permite recoger datos de forma estandarizada, utilizando transectos fijos para cuantificar el número de individuos de cada especie durante un período determinado de semanas cada año.

Con este modelo se muestran evidencias significativas de cambios fenológicos en ropalóceros, como consecuencia del calentamiento climático en el NE de Cataluña. Entre el año 1988 y el 2002 se observó una tendencia al adelanto en las fechas de la primera aparición para las 17 especies monitorizadas, así como avances significativos en el periodo medio de vuelo en 8 de 19 especies. Estos cambios fueron acompañados por un incremento de 1-1,5°C en las temperaturas medias de los meses de febrero, marzo y junio. El análisis estadístico indicó el fuerte efecto negativo de la temperatura primaveral sobre los parámetros fenológicos ya que, por ejemplo, un

incremento en la temperatura tiende a causar adelantos en la fenología. De todas formas, los resultados parecen indicar también una cierta variabilidad según el grupo taxonómico estudiado. La conclusión más importante del estudio es la demostración que los cambios causados por un proceso de incremento de las temperaturas no están limitados a latitudes septentrionales, sino que tienen lugar también en la cuenca mediterránea (Stefanescu et al., 2003).

Utilizando la misma metodología, otro estudio sobre los ropalóceros en el ámbito de todo Cataluña indica que la riqueza de especies está principalmente correlacionada con factores climáticos y topográficos, y que esta disminuye a medida que aumenta la temperatura. De acuerdo con las actuales previsiones de cambio climático, estos resultados indican que en los próximos años se producirá una pérdida de diversidad en el área. Esto supone una seria amenaza para una de las áreas con mayor biodiversidad de toda Europa, especialmente en el caso de los ropalóceros (Stefanescu, Herrando y Páramo, 2004).

Finalmente, otro estudio realizado a nivel europeo (Parmesan, Stefanescu et al., 1998) indica que durante el siglo XX la distribución del 63% de las especies monitorizadas se había desplazado hacia el norte entre 35 y 240 km, coincidiendo con las isothermas. Por ejemplo, la especie *Heodes tityrus* ha desaparecido del Montseny, mientras que se ha hecho abundante en Estonia en el límite norte de su distribución.

3.3 Efectos del cambio climático en la fenología

Las series continuas de registros de parámetros físicos y meteorológicos aportan una evidencia muy clara del cambio climático. A partir de los datos aportados por el observatorio meteorológico del Montseny, situado a 1712 m, se ha observado un incremento de 1,2 a 1,4°C de temperatura en los últimos 50 años (Peñuelas y Boada, 2003).

Paralelamente se han documentado cambios en los registros fenológicos en zonas basales de la montaña. Estos registros consisten en realizar el seguimiento a lo largo de un transecto de manera periódica y seriada en el tiempo, y anotar anualmente los datos relativos al ciclo vital de una especie indicadora, que se encuentran vinculados a los fenómenos climatológicos (Figura 10).

A partir de estos registros se ha observado un avance de 20 días en la salida de las hojas de los árboles respecto hace 50 años. Este mismo estudio también revela que las plantas florecen y fructifican aproximadamente 10 días antes que hace 30 años (Peñuelas y Comas, 2005).

Registros fenológicos: uso de organismos indicadores	Principales parámetros a determinar
Especies vegetales: selección de 10-15 árboles y arbustos indicadores	Primera floración Primera aparición de los brotes Primera fructificación
Especies animales	Primera observación de la llegada de aves migratorias (Ej. Hirundinidos y Apódidos) Manifestaciones sonoras claras (Ej. cuco)

Figura 10. La tabla muestra algunos de los parámetros indicadores más importantes en relación a la fenología de los organismos

Fuente: Peñuelas y Boada, 2003

La metodología consistente en efectuar encuestas y entrevistar a los habitantes con conocimiento empírico popular, proporcionan una fuente oral para el análisis de la historia ambiental.

En el caso de la RBM, se ha recogido el testimonio de habitantes del valle de Santa Fe (1.100 m) que han proporcionado información sobre cambios en las formas de producción agrícola. Se han observado cambios fenológicos en las variedades agrícolas en los últimos 10-12 años. En este sentido, se documentó que la cosecha de algunas leguminosas actualmente se ha avanzado un mes respecto los años 1990, y la siembra de tubérculos se ha avanzado de finales de mayo a finales de abril. Otra constatación es el cambio en las formas de producción agrícola, así se han podido introducir frutas y hortalizas propios de otros biomas más cálidos.

4. Conclusiones

Los procesos no se rigen por un solo factor sino que son el resultado de la interacción compleja entre diferentes factores tanto biofísicos como socioeconómicos. Por lo tanto, en el estudio de los procesos que intervienen en el cambio global se observa un patrón de relaciones continuas y cambiantes entre las fuerzas inductoras de carácter biofísico y las de carácter social. Ambas fuerzas requieren de una atención similar para avanzar en la línea de una mayor sostenibilidad. El conocimiento de los procesos complejos del cambio global deben permitir anticipar sus efectos para mitigarlos o establecer estrategias de adaptación eficaces.

La multifuncionalidad de las actividades agrosilvopastorales favorece la potenciación de actividades que pueden contribuir a la cohesión y viabilidad de las zonas rurales y de puesta en valor de los servicios ambientales que ofrece la RBM. La existencia de mosaicos configurados por la actividad agropecuaria y forestal contribuye a la conservación de la diversidad natural y cultural y atenua el riesgo de incendios, manteniendo los servicios ambientales que presta la RBM. La fijación de población en el territorio constituye un requisito indispensable para mantener la calidad paisajística y ambiental.

El turismo debe contribuir al desarrollo local por su capacidad de reactivar la economía local aprovechando los recursos endógenos de la zona y al mismo tiempo, de contribuir a dinamizar la sociedad local. Otras iniciativas, como la custodia del territorio, fomentan la iniciativas voluntarias de conservación de la naturaleza, el paisaje y el patrimonio cultural en fincas privadas y municipales. Otra vía destacable es la producción de productos locales con denominación de origen de la RBM como contribución al desarrollo local y el mantenimiento de la calidad paisajística.

Se considera clave, la propuesta de metodologías comunes de evaluación de las manifestaciones del cambio global en las reservas de la biosfera, impulsando el desarrollo de indicadores comunes a nivel global para la realización de planes de diagnóstico, acción y manejo.

5. Bibliografía

Bartolomé, J.; Franch, J.; Plaixats, J.; Seligman, N.G. (2000): Grazing alone is not enough to maintain landscape diversity in the Montseny Biosphere Reserve, en *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 77:267-273.

Bartolomé, J.; Plaixats, J.; Fanlo, R.; Boada, M. (2005): Conservation of isolated Atlantic heathlands in the Mediterranean region: effects of land use changes in the Montseny biosphere reserve (Spain), en *Biological Conservation*, 122:81-88.

Boada, M.; Ullastres, H. (1998): *El massís del Montseny. Guia per a visitar-lo*. Figueres: Editorial Brau.

Boada, M. (2001): *Manifestacions del canvi ambiental global al Montseny*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. Tesis Doctoral.

Boada, M.; Saurí, D. (2002): *El canvi global*. Barcelona: Editorial Rubes.

Boada, M. (2002): *El Montseny. Cinquanta anys d'evolució dels paisatges*. Barcelona: Publicacions de l'Abadia de Montserrat.

Boada, M.; Mayo, S.; Maneja, R. (2008): *Els Sistemes socioecològics de la conca de la Tordera*. Barcelona: Institució Catalana d'Història Natural.

Broncano, M.J.; Vilà, M.; Boada, M. (2005): Evidence of *Pseudotsuga menziesii* naturalization in montane Mediterranean forests, en *Forest Ecology and Management*, 211:257-263.

Campeny, R.; et al. (2004): *Avaluació de l'estat de desenvolupament del Pla de seguiment i control de paràmetres ecològics i socioculturals del Parc Natural del Montseny i proposta de paràmetres a prioritzar o incloure*. Fauna. Sant Celoni: Minuartia estudis ambientals. Documento inédito.

Fisher, A.; et al. (1998): "Satellite data for monitoring, understanding and modelling of ecosystem functioning", en *Global change and terrestrial ecosystems*, B. Walker and W. Steffen (eds.). Cambridge: Cambridge University Press.

Gómez, F.J.; Boada, M.; Sánchez, S. (2008): Análisis de los procesos de cambio global: el caso del robledal de Ridaura (Parque Natural del Montseny. Barcelona), en *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 47:125-141.

Lambin, E.F.; Baulies, X.; Bockstael, N.; Fischer, G.; Krug, T.; Leemans, R.; Moran, E.F.; Rindfuss, R.R.; Sato, Y.; Skole, D.; Turner II, B.L. i Vogel C.; Nunes, C.; Augé, I. (Eds.) (1999): *Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) Implementation Strategy. A core project of the International Geosphere-Biosphere Programme and the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change*. Estocolmo-Bonn: IGBP-IHDP.

Harvey, D. (1996): *Justice, nature and the geography of difference*. Oxford: Blackwell.

Montoya, R., López Arias, M. (1997) *La Red Europea de Seguimiento de Daños en los Bosques (Nivel I). España, 1987-1996*. Madrid: Publicaciones del O.A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente.

Parmesan, C.; Stefanescu, C.; et al. (1999): Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming, en *Nature*, 399:579-583.

Peñuelas, J.; Boada, M. (2003): A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain), en *Global Change Biology*, 9:131-140.

Roser Maneja Zaragoza (en curso): *Tesis Doctoral. Interpretación de las percepciones socioambientales infantiles y adolescente. Propuestas de implementación*. Universidad Autónoma de Barcelona. Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales.

Sánchez, S; Boada, M. (2008): *Anàlisi dels efectes del canvi d'usos i cobertes del sòl sobre els cabals superficials a la vall de Santa Fe (1959-2001)*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. Informe inédito.

Stefanescu, C.; Peñuelas, J.; Filella, I. (2003): Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin, en *Global Change Biology*, 9:1494-1506.

Stefanescu, C.; Herrando, S.; Páramo, F. (2004): Butterfly species richness in the north-west Mediterranean Basin: the role of natural and human-induced factors, en *Journal of biogeography*, 31:905-915.

Turner, B.L.; et al. (1995): *Global land use change. A perspective from the Columbian Encounter*. Madrid: CSIC.