

EL MONTSENY COMO PAISAJE CENTINELA DEL CAMBIO GLOBAL: EL CASO DE ESTUDIO DE VALLFORNERS

Josep Pujantell Albós¹, Adrià Barbeta Margarit^{2,3}, Martí Boada Juncá¹, Josep Peñuelas i Reixach^{2,3} y Carles Barriocanal Lozano¹

¹*Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA). Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)*

²*Unitat d'Ecologia Global – CREAM-CSIC*

³*CREAF-CSIC*

josep.pujantell@uab.cat, adria.barbeta.margarit@gmail.com, marti.boada@uab.cat

josep.penuelas@uab.cat, carlosalfredo.barriocanal@uab.cat

RESUMEN:

El cambio global es una de las manifestaciones más importantes de la crisis ambiental. El incremento de temperatura de las últimas décadas, junto al cambio de usos y cubiertas del suelo afecta la distribución de los biomas. El ámbito de estudio es un paisaje centinela por su gran sensibilidad al cambio global por motivos biogeográficos, al incluir la localización más meridional de abeto (*Abies alba*) de la península Ibérica y una localización meridional de hayedo (*Fagus sylvatica*). La coexistencia de estas dos especies con la encina (*Quercus ilex*) a una misma altura sobre el nivel del mar, representando tres regiones biogeográficas distintas, es singular. El objetivo final del proyecto es establecer un sistema de monitorización de los efectos del cambio global sobre los biomas en el ámbito de estudio.

Palabras clave: Cambio global, paisaje centinela, cambio de usos y cubiertas del suelo, senescencia, reclutamiento

ABSTRACT (Montseny as a sentinel landscape of global change: the study case of Vallforners):

Global change is one of the most important manifestations of the environmental crisis. The temperature increase of the last decades, along with land use and cover change affects the distribution of the biomes. The study area is a sentinel landscape because of its great sensitivity to global change for biogeographic reasons, as it

includes the southernmost location of silver fir (*Abies alba*) of the Iberian peninsula and a southern location of beech (*Fagus sylvatica*). The coexistence of these two species with holm oak (*Quercus ilex*) at the same height above sea level, representing three distinct biogeographical regions, is biogeographically remarkable. The final objective of the project is to establish a monitoring system for the effects of global change on biomes in the study area.

Keywords: Global change, sentinel landscape, land use and cover change, senescence, recruitment

1. INTRODUCCIÓN

Los datos de temperatura media global en la Tierra entre 1880 y 2012 muestran un calentamiento de 0,85 °C, relacionado con el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (IPCC, 2013). Se trata de un calentamiento de una velocidad con pocos precedentes en la historia de la tierra, al menos en los últimos 500 millones de años (Peñuelas *et al.*, 2013), con los cambios más rápidos y pronunciados en zonas a gran latitud y altitud (Solomon *et al.*, 2007).

Los organismos vivos responden al cambio climático a diferentes escalas, desde el molecular y genético hasta nivel de comunidades, ecosistemas y el conjunto de la biosfera (Peñuelas *et al.*, 2013). Los cambios en la fenología son una de las respuestas más visibles de los organismos al actual proceso de cambio climático (Peñuelas & Filella, 2001). Los límites en la distribución de diferentes especies forestales son zonas de gran sensibilidad respecto a los cambios en factores ambientales. Los regímenes climáticos determinan la distribución de especies a través de umbrales fisiológicos específicos de cada especie en cuanto a temperatura y disponibilidad de agua (Woodward, 1987). Se considera que la temperatura es el principal factor explicativo en la formación y mantenimiento de los límites entre diferentes biomas y comunidades forestales (Körner, 2007). Existen evidencias de correlaciones a escala global entre estos límites y las isotermas de temperatura (Harsch *et al.*, 2009).

Los cambios de distribución se producen por la combinación de la expansión de poblaciones que encuentran condiciones más favorables -a través de un incremento en su reproducción (reclutamiento) y su establecimiento-, con la regresión de las poblaciones en un límite desfavorable, a través de un incremento en la mortalidad y descensos en el crecimiento y la reproducción (Peñuelas & Boada, 2003). En este sentido, el reclutamiento y la supervivencia son factores altamente sensibles a cortos periodos marcadamente más fríos o más cálidos que la tendencia general (Gray *et al.*, 2006).

Actualmente, se considera demostrado que durante el siglo XX se han producido desplazamientos latitudinales y altitudinales en los límites de distribución de un gran número de biomas y especies y en un amplio abanico de localidades geográficas, como respuesta al actual proceso de calentamiento climático global (IPCC, 2001; Walther *et al.*, 2002; Peñuelas & Boada, 2003). La distancia física necesaria para que se detecten gradientes significativos donde observar estos fenómenos se mide

en kilómetros en cuanto a la latitud, mientras que en altitud se mide en metros (Körner, 2007). Por este motivo, las zonas montañosas con biomas de diferentes regiones biogeográficas son lugares especialmente sensibles a estos cambios en altitud, permitiendo su medida y detección de una forma más fácil.

La hipótesis de trabajo es que el incremento de temperatura de las últimas décadas, junto con el cambio en los usos y cubiertas del suelo, ha afectado la distribución de los biomas en el área de estudio, provocando la regresión de los biomas centroeuropeos (hayedo y abetos, principalmente) en el límite de su distribución, en favor de los biomas mediterráneos (encinar). El objetivo principal del presente trabajo es demostrar y cuantificar el proceso de mediterraneización de los biomas del área de estudio. Para ello se cuantificará el cambio de usos y cubiertas del suelo en el período desde 1946 hasta 2015, así como se evaluará el estado actual de la vegetación centroeuropea y boreoalpina, cuantificando su senescencia y reclutamiento.

2. METODOLOGÍA

Para el presente estudio se han elaborado cuatro mapas de usos y cubiertas del suelo, correspondientes a los años 1946, 1956, 1996 y 2015, a fin de comparar su evolución temporal. Se ha partido de los ortofotomapas de los vuelos estadounidenses de 1946 y 1956, así como de los ortofotomapas de 1996 y 2015 (escala 1: 5000) disponibles a través del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC). A partir del reconocimiento de campo se definieron los rasgos más importantes a ser interpretados en las imágenes. Para el proceso de fotointerpretación se utilizó una técnica de procesamiento de imágenes denominada segmentación, disponible en el software Envi. Esta agrupa rasgos distintivos en patrones de forma y de textura presentes dentro de un conjunto de píxeles con valores similares, esto permitió aislar las coberturas con más detalle y precisión. Posteriormente estos mapas fueron terminados de ajustar manualmente con el software ArcMap 10.3.1, a partir de los ortofotomapas, del trabajo de campo realizado y de fuentes cartográficas antiguas (mapas de vegetación de Salvador Llobet, 1947 y de Oriol de Bolós, 1983). El sistema de coordenadas que se ha utilizado para elaborar los mapas es UTM Zone 31 N. El resultado final ha sido una base cartográfica en formato vectorial (shape, .shp) correspondiente a los mapas de usos y cubiertas del suelo de los años 1946, 1956, 1996 y 2015, agrupados en 7 categorías diferentes.

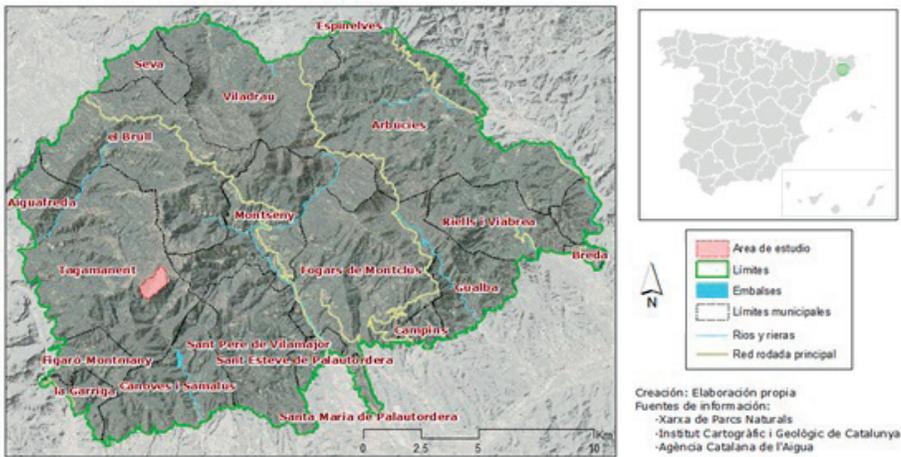
El estado de salud actual de los árboles se ha estudiado a través de la senescencia y el reclutamiento. Se ha trabajado en 11 parcelas de 20x20 m (400 m²) que han permitido comparar zonas continentales (zonas con gran superficie continua de hayedo) y zonas aisladas de hayedo (zonas de hayedo rodeadas por encinar) (Peñuelas y Boada, 2003). En cada una de las parcelas se ha medido el perímetro a la altura del pecho (1,30 m) de todos los pies arbóreos, permitiendo el posterior cálculo del área basal por especie. Para el estudio de la senescencia se ha aplicado la metodología de la Red para la Vigilancia Forestal de la Unión Europea (De Vries et al., 1999), que propone 5 niveles de daño a partir de un examen visual: 0 (sin daños o menos del 10%), 1 (11-25% ligero decoloración o defoliación), 2 (26-60%

decoloración o defoliación moderada), 3 (60% decoloración o defoliación severa y 4 (árbol completamente descolorido o defoliado). La senescencia se ha calculado para todos los pies arbóreos dentro de cada parcela, permitiendo la obtención de valores medios por especie y parcela, así como para su comparación entre parcelas de zonas continentales y parcelas de zonas aisladas de hayedo (Peñuelas & Boada, 2003). Para el estudio del reclutamiento se ha hecho un recuento de plántulas por especie y parcela, considerando un umbral de <5 cm de perímetro (Peñuelas & Boada, 2003).

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

Desde el punto de vista biogeográfico, el Montseny constituye un territorio muy apropiado para el estudio de las manifestaciones regionales y locales del cambio global, al incluir muestras de las tres regiones biogeográficas que configuran los principales biomas de Europa Occidental: la mediterránea, la eurosiberiana y la borealpina. Esta diversidad paisajística se concentra en espacio relativamente pequeño: entre las áreas basales del macizo (200 msnm) y su zona culminante a 1713 msnm (Turó de l'Home) hay unos 10 kilómetros lineales. Además, la particular ubicación biogeográfica del Montseny representa el límite septentrional o meridional de diversos organismos y sistemas. Por este motivo, el macizo es un paisaje centinela que expresa una alta sensibilidad ante el cambio global, donde la distribución de los biomas actúa como bioindicador.

Mapa 1. Localización del área de estudio.

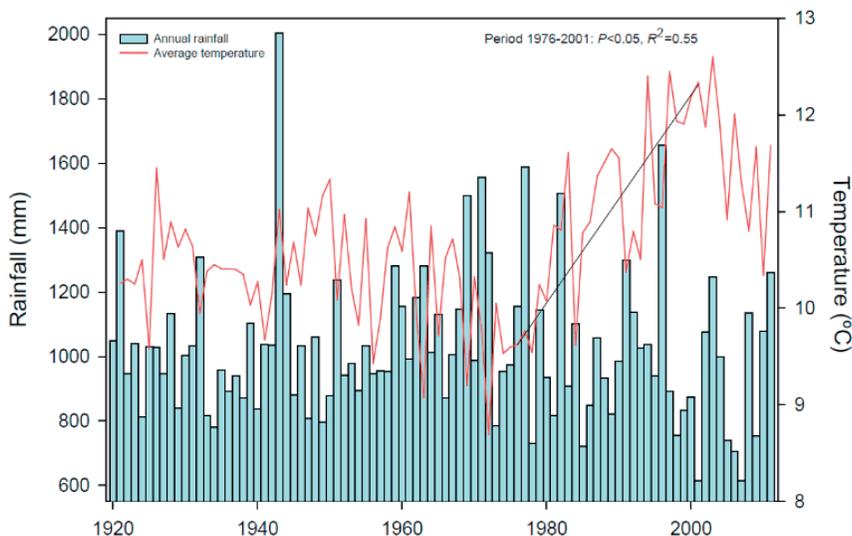


El valle de Vallforners se localiza en la parte meridional del sector de la Calma, dentro del macizo del Montseny (Mapa 1). Administrativamente forma parte del municipio de Tagamanent (Barcelona). El área de estudio tiene una superficie de 89,29 ha e incluye el sector NE de la cabecera del arroyo de Vallforners, con alturas entre los 900 metros y los 1250 metros sobre el nivel del mar. Se trata de una zona con una pendiente considerable y con predominio de la orientación norte, lo que le permite mantener unas condiciones de humedad y temperatura específicas. En

cuanto a la vegetación, predomina la encina (*Quercus ilex*) en las laderas soleadas y con orientación sur, mientras que los sectores más umbríos acogen bosques propios de la región eurosiberiana, concretamente bosques de hayedo acompañados puntualmente por individuos de abeto (*Abies alba*) de carácter relictivo, así como especies propias de los robledales subhúmedas de roble pubescente (*Quercus humilis*), incluyendo esta especie, el arce de Montpellier (*Acer monspessulanum*), el orón (*Acer opalus*), el mostajo (*Sorbus aria*), el avellano (*Corylus avellana*) y el álamo temblón (*Populus tremula*), así como el roble albar (*Quercus petraea*). Cabe destacar la presencia en la zona de individuos notables de tejo (*Taxus baccata*) y de acebo (*Ilex aquifolium*), especies protegidas en Cataluña. La zona de estudio tiene un elevado interés biogeográfico, en acoger la localización más meridional de abeto (*Abies alba*) de la Península Ibérica y de Europa occidental, así como una localización meridional de hayedo (*Fagus sylvatica*). Esta presencia es un relictivo de períodos glaciares pasados, que se explica por la morfología y las condiciones climáticas del área de estudio, relacionada con la orientación norte de la pendiente de la montaña, permitiendo un efecto refugio axilar (Boada, 1997).

El resultado de correlacionar las temperaturas del observatorio de Tagamanent con los datos históricos del observatorio del Turó de l'Home, en la parte culminal del Montseny (Figura 1) permite observar un incremento de temperatura de 2°C para el período 1976- 2001, significativo estadísticamente. En cuanto a la precipitación, la tendencia no es clara, pero muestra una mayor irregularidad interanual en las últimas décadas.

Figura 1. Evolución de la precipitación anual y la temperatura media anual en Tagamanent (1030 msnm) a partir de su correlación con datos del observatorio del Turó de l'Home. 1996-2015.



3. RESULTADOS

3.1. CAMBIO DE USOS Y CUBIERTAS DEL SUELO (1945-2015)

Los resultados muestran como el encinar es la categoría dominante del paisaje en el área de estudio, al ocupar el mayor porcentaje de superficie en los cuatro años estudiados (Tabla 2, Tabla 3, Figura 3). Cabe destacar que desde 1956 hasta la actualidad la tendencia ha sido el crecimiento de esta cubierta, llegando a ocupar prácticamente el 70 % de la superficie en 2015. Su tasa de crecimiento se ha acelerado entre 1997 y 2015, periodo en que llega a una tasa de crecimiento del 1,10 % anual. El encinar ha incrementado un 26 % su superficie en el período 1945 a 2015, mostrando además una capacidad de resiliencia importante tras las talas de principios de la década de 1950, documentadas a partir de autorizaciones de tala y de fuentes orales locales.

Tabla 1. Usos y cubiertas del suelo 1945-2015. Hectáreas y porcentaje sobre el área total.

CATEGORÍA	1945		1956		1996		2015	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Construcciones	0,022	0,03	0,04	0,04	0,029	0,03	0,04	0,04
Desmote	2,072	2,32	9,827	11,01	1,105	1,24	0	0
Suelo desnudo	4,127	4,62	3,525	3,95	1,249	1,4	0,543	0,61
Hayedo	4,384	4,91	16,322	18,28	19,886	22,27	13,961	15,64
Landas y matorrales	29,391	32,92	25,466	28,52	23,051	25,82	13,022	14,58
Caminos	1,049	1,17	0,651	0,73	1,026	1,15	1,028	1,15
Encinar	48,241	54,03	33,456	37,47	42,941	48,09	60,694	67,98
Total	89,287	100	89,287	100	89,287	100	89,287	100

Elaboración propia.

Landas y matorrales era la segunda categoría más importante en 1945 (32,92 %), disminuyendo un 56 % en el periodo 1945-2015, con una tasa de cambio anual especialmente destacable para el período 1997 a 2015. Este proceso está relacionado con la disminución de la actividad ganadera y la regulación de la realización de quemas prescritas para obtener pasto desde la declaración del parque natural en 1977. Este cambio ha supuesto un incremento importante de la superficie forestal, que ha sustituido esta categoría,. La presencia de enebros muertos por la ausencia de luz dentro de estas nuevas zonas forestales, especialmente en zonas de hayedo es una evidencia de este proceso.

Por su parte, la categoría hayedo ocupaba un porcentaje discreto en el año 1945, pero su superficie ha crecido un 218 % para el conjunto del periodo 1945 a 2015. Este crecimiento está relacionado con la desaparición de las actividades de apropiación forestal y la reducción de las actividades ganaderas, y concuerda con los

planteamientos de Llobet (1947) y Bolòs (1983), que consideraban que la superficie de hayedo en esta zona se veía limitada por el efecto de las actividades humanas. En cualquier caso, la reducción del 30 % de la superficie de hayedo en el período 1996 a 2015 sugiere que el incremento de temperatura ha podido afectar a esta cubierta, a través de procesos de fragmentación asociados a una competencia con el encinar, ya que en este periodo no ha habido cambios apreciables en las actividades humanas, aunque la mejora en la resolución del ortofotomapa utilizado en 2015 también habría influido en este resultado.

Tabla 2. Usos y cubiertas del suelo 1945-2015. Tasa de cambio anual del porcentaje ocupado por cada categoría sobre el área total por períodos

CATEGORÍA	1945-1956	1957-1996	1997-2015	1945-2015
Construcciones	0,00	0,00	0,00	0,00
Desmonte	0,79	-0,25	-0,07	-0,03
Suelo desnudo	-0,06	-0,07	-0,04	-0,06
Hayedo	1,22	0,10	-0,37	0,16
Landas y matorrales	-0,40	-0,07	-0,62	-0,27
Camino	-0,04	0,01	0,00	0,00
Encinar	-1,51	0,27	1,10	0,21
Total	0,00	0,00	0,00	0,00

Elaboración propia.

La categoría desmonte es muy dinámica. En 1945 ocupaba un porcentaje reducido, pero en 1956 llega a ocupar el 11,01% del área de estudio, con una tasa de crecimiento anual del 0,79 %. Este proceso debe relacionarse con el contexto de la posguerra y con la escasez de recursos alimenticios. Este hecho llevó a la población local a cultivar antiguas zonas forestales a través del desmonte (*artigueig*). Los cultivos se centraban en las patatas y las judías, especies adaptadas a la altura y en las condiciones ambientales de la zona (Llobet, 1947; Boada, 2001). Más adelante, en 1996, se observa un bosque en regeneración (localmente denominado *aulet*) resultado del desmonte producido en este periodo de posguerra, aunque la mayor parte ya se ha convertido en bosque por sucesión secundaria. En 2015 esta categoría desaparece, ya que el bosque se ha regenerado plenamente.

La categoría suelo desnudo ocupa un porcentaje relativamente importante en 1945, que se ve reducido con el paso del tiempo. Este cambio es atribuible al incremento tanto en superficie como en densidad de las cubiertas forestales (encinar, hayedo) que progresivamente ocultan esta categoría. La categoría caminos ocupa un porcentaje pequeño del área de estudio y se mantiene bastante constante a lo largo del tiempo. En 1945 y 1956 los caminos que se observan corresponden a caminos utilizados para el desmonte y el transporte de los productos forestales (leña, carbón) y también para la ganadería, especialmente en la zona de landas y matorrales. En 1956 ya se aprecia la construcción de una parte de la pista forestal que une la casa de Vallforners con la Calma. Finalmente la categoría edificaciones es la que ocupa

un menor porcentaje de la superficie del área de estudio, correspondiente a una edificación (la Casanova de Vallforner) y su área se ha mantenido estable a lo largo del tiempo.

En conjunto, estos resultados muestran un proceso de forestación y de regresión de los espacios abiertos durante el periodo 1945-2015, que se explica principalmente por la regresión de las actividades forestales (tala y carboneo) y ganaderas en el ámbito de estudio y que se inscribe en una tendencia más general en el Montseny.

3.2. ESTRUCTURA FORESTAL Y ESTADO DE LA VEGETACIÓN

En cuanto a la estructura forestal, el análisis de las parcelas muestra como el haya es, en la práctica, la única especie arbórea presente en las zonas continentales, mientras que en las zonas aisladas hay una mayor diversidad de especies, que entran en competencia con ésta. La encina es abundante en algunas de estas zonas, donde disputa el papel de especie dominante al haya. En el caso de las zonas de continente, la práctica totalidad del área basal corresponde al haya (52,18 m²/ha, 99,9 % del total), siendo testimonial la presencia del avellano (0,03 m²/ha). Por el contrario, en las zonas aisladas el haya sigue siendo dominante (24,14 m²/ha, cerca del 53 % del total), seguido de la encina (10,76 m²/ha, un poco más del 23 % del total) y el abeto (5,19 m²/ha, 11 % del total). El roble albar tiene un área basal de 3,13 m²/ha, casi el 7 % del total. El área basal del resto de especies es más reducida: serbal (1,88 m²/ha), avellano (0,39 m²/ha), orón (0,11 m²/ha) y álamo temblón (0,02 m²/ha).

Figura 2. Proceso de insularización en el área de estudio.

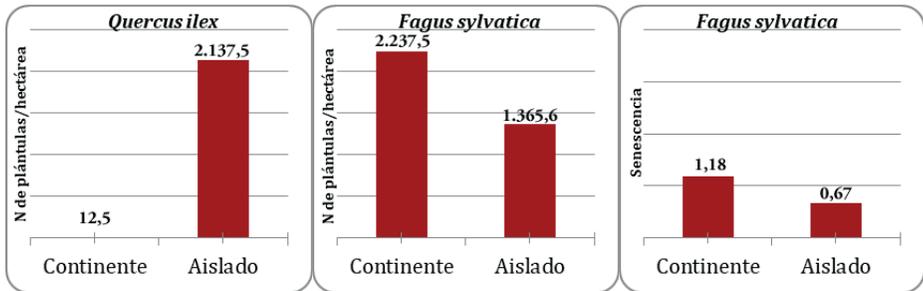


Qi *Quercus ilex*; Fs *Fagus sylvatica*; Aa *Abies alba*; C Continente; P Península

En la Figura 2 se muestra un sector de orientación norte de la zona de estudio que permite observar el proceso de insularización del hayedo. Se distingue una zona de continente de hayedo, en la parte superior izquierda de la imagen. Se puede apreciar también la existencia de diferentes zonas de península de hayedo en la parte derecha de la imagen, en una zona donde entra en competencia con el encinar, con una orientación algo menos umbría. Se observa también la existencia de ínsulas de hayedo rodeadas de encinar en esta misma zona. Otras ínsulas se observan en la parte inferior de la imagen, rodeadas nuevamente de encinar. Cabe destacar también la presencia de ínsulas de encinar dentro hayedo, a media altura, alguna de ellas con un tamaño significativo. A su vez, se observa también la presencia de ínsulas de abeto.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el cálculo de senescencia y reclutamiento en las parcelas estudiadas, distinguiendo entre zonas de continente y zonas aisladas (Figura 3). En el caso del reclutamiento de la encina se observa como es mucho mayor en las zonas aisladas (89,5 plántulas por parcela) que en las zonas continentales (0,5 plántulas por parcela), donde se obtiene un valor muy bajo. En cualquier caso, la presencia de reclutamiento de encina en zonas continentales, donde no se han inventariado ejemplares adultos, indicaría una incipiente tendencia a la colonización por parte de la encina.

Figura 3. Reclutamiento de encina y haya en zona de continente y en zona aislada (plántulas por parcela) y senescencia de haya en zona de continente y en zona aislada (valor medio).



En el caso del haya, el reclutamiento es un 36% menor en zonas aisladas (1365,6 plántulas por hectárea) que en zonas continentales (2237,5 plántulas por hectárea). En estas zonas la dominancia del haya es menor, como se ha observado en el análisis de estructura forestal. Si se compara el reclutamiento en zonas aisladas de encina y de haya, se observa como la segunda tiene un 39% menos de reclutamiento. Este hecho sería indicador de la competencia entre el hayedo y el encinar en estas zonas aisladas, y que la encina consigue un mayor éxito a la hora de generar plántulas.

Respecto a la senescencia (Figura 3), la comparativa entre los valores de haya nos muestra como en zonas de continente los valores medios (1,18) son prácticamente el doble que en zonas aisladas (0,67). Este resultado contradice la hipótesis inicial, que la senescencia sería mayor en zonas aisladas como efecto del incremento de temperatura. El resultado sugiere que el principal factor explicativo en este caso sería el cambio de usos del suelo, resultado de una disminución de las actividades

agrosilvopastorales en la zona de estudio, siendo los hayedos localizadas en zonas aisladas formadas por individuos más jóvenes y, por tanto, menos afectados por procesos de senescencia. Al analizar estos resultados, hay que tener en cuenta que generalmente el reclutamiento es más sensible a los cambios en el clima que la senescencia y la mortalidad (Jump et al., 2007). Otro factor a tener en cuenta es que el haya tiene raíces más superficiales que la encina, y podría ser que la competencia por el agua sea menor en zonas de ínsulas que en zonas continentales de haya.

La población de abeto (*Abies alba*) en el área de estudio está formada por tan solo 77 individuos adultos localizados de forma dispersa, con buenos resultados a nivel de senescencia (0,85) y reclutamiento (2616,7 plántulas por hectárea) en las tres parcelas donde se ha detectado la especie. Los resultados de su estudio dendroecológico (Barbeta et al., en prensa) muestran que se trata de una población joven pero que tiene individuos que alcanzan el siglo de edad. Su crecimiento, medido a través del área basal, presenta correlación positiva con el clima, disminuyendo en veranos cálidos y secos. El análisis ha detectado un incremento temporal significativo de la sensibilidad climática del abeto en las últimas décadas (Barbeta et al., en prensa).

4. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra cómo el cambio de usos y cubiertas del suelo es el principal proceso que afecta a los biomas en el área de estudio, modulado por los efectos relacionados con el incremento de temperatura. Por lo tanto se verifica parcialmente la hipótesis de trabajo. Los resultados obtenidos sugieren que en el caso de la encina y el haya se está iniciando un proceso de insularización del haya y de sustitución por encina en zonas que se estarían convirtiendo en más favorables para la segunda especie.

Se considera necesario realizar un seguimiento periódico a largo plazo de las manifestaciones del cambio global en el Montseny, para poder analizar si las tendencias detectadas tienen una continuidad en el tiempo, así como su evolución. Se plantea también la necesidad de ampliar el seguimiento a otras zonas del macizo con alta sensibilidad, para obtener una base de datos más amplia y representativa. Los efectos del cambio global sobre los biomas son procesos complejos que requieren aproximaciones a diferentes escalas. El presente trabajo, pues, se plantea como un punto de partida para el seguimiento del cambio global en el macizo del Montseny, en un paisaje centinela de alta capacidad bioindicadora.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido apoyada por el Consejo Científico del Comité Español del Programa MaB y ha sido financiado por el Organismo Autónomo Parques Nacionales del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, por la Diputación de Barcelona y por la Diputación de Girona. Queremos agradecer el apoyo recibido desde el Parque Natural y Reserva de la Biosfera del Montseny, así como la información oral aportada por Miquel Cuch (can Cuch de Cànoves).

5. REFERENCIAS

- BARBETA, A.; PUJANTELL, J. A.; BARRIOCANAL, C.; BOADA, M.; FUENTES, J. E.; PEÑUELAS, J. N.D.: “Estudi dendroecològic dels avets (*Abies alba* L.) i els faigs (*Fagus sylvatica* Mill.) del sot dels Avets a Vallforners”. En: *IX Trobada d'Estudiosos del Montseny*. Diputació de Barcelona, Barcelona.
- BOADA, M. 2001: *Manifestacions del Canvi Ambiental Global al Montseny*. Tesis doctoral. Bellaterra, Departament de Geografia (Universitat Autònoma de Barcelona), 430 p.
- BOADA, M. 1997: “La descoberta del periglacialisme al Montseny. Una aportació “viva” de Salvador Llobet al coneixement de la geografia ambiental del massís”. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 30:139-148.
- DE BOLÒS, O. (1983): *La vegetació del Montseny*. Barcelona, Diputació de Barcelona, 170 p.
- DE VRIES, W. REINDS, G. J. DEELSTRA H. D. *et al.* 1999: *Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Technical Report 1999*. EC, UN/ECE 1999, Brussels, Geneva, 176 p.
- GRAY, S. T.; BETANCOURT, J. L., JACKSON, S. T. & EDDY, R. G. 2006: “Role of multidecadal climate variability in a range extension of Pinyon pine”. *Ecology*, 87:1124–1130.
- HARSCH, M. A., HULME, P. E., MCGLONE, M. S. & DUNCAN, R. P. 2009: “Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming”. *Ecology Letters*, 12:1040–1049.
- INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA (ICGC): <<http://www.icgc.cat/>>. Consulta: 10 de mayo de 2016.
- IPCC. (2001): *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability*. In: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds. McCarthy, J. J.; Canziani, O. F.; Laery, N. A.; et al.). Cambridge University Press, Cambridge.
- JUMP, A. S., HUNT, J. M. & PEÑUELAS, J. 2007: “Climate relationships of growth and establishment across the altitudinal range of *Fagus sylvatica* in the Montseny Mountains, northeast Spain”. *Ecoscience*, 14: 507–518.
- KÖRNER, C. (2007): “The use of “altitude” in ecological research”. *Trends in Ecology and Evolution*, 22:569–574.
- LLOBET, S. 1947: *El medi i la vida al Montseny*. (Reedició 1990). Barcelona, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 486 p.
- PEÑUELAS, J. & BOADA, M. 2003: “A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain)”. *Global Change Biology*, 9:131–140.
- PEÑUELAS, J. & FILELLA, I. (2001): “Responses to a warming world”. *Science*, 294:793–794.
- PEÑUELAS, J. *et al.* 2013: “Evidence of current impact of climate change on life: a walk from genes to the biosphere”. *Global Change Biology*, 19:2303–2338.
- SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K. B., TIGNOR, M. & MILLER, H. L. (eds.) (2007): *Climate change 2007: The physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- WALTHER, G. R., POST, E. P., CONVEY P. *et al.* 2002: “Ecological responses to recent climate change”. *Nature*, 416: 389-395.
- WOODWARD, F. I. (1987): *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press, Cambridge.