



Universitat de Lleida

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària

Departament d'Enginyeria Agroforestal

**FACTORES DETERMINANTES DE LA RIQUEZA,
DISTRIBUCIÓN Y DINÁMICA DE LAS AVES
FORESTALES A ESCALA DE PAISAJE EN
CATALUÑA: IMPLICACIONES PARA LA GESTIÓN
FORESTAL SOSTENIBLE**

TESIS DOCTORAL

Asunción Gil Tena

Lleida, abril de 2009

Universitat de Lleida
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària
Departament d'Enginyeria Agroforestal

FACTORES DETERMINANTES DE LA RIQUEZA,
DISTRIBUCIÓN Y DINÁMICA DE LAS AVES
FORESTALES A ESCALA DE PAISAJE EN
CATALUÑA: IMPLICACIONES PARA LA GESTIÓN
FORESTAL SOSTENIBLE

Memoria presentada por

Asunción Gil Tena

Para optar al grado de Doctor

Directores:

Santiago Saura Martínez de Toda

Departament d'Enginyeria Agroforestal
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària
Universitat de Lleida

Lluís Brotons Alabau

Grup d'Ecologia del Paisatge
Àrea de Biodiversitat
Centre Tecnològic Forestal de Catalunya

A la meua neboda Pau

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis se inició en octubre de 2005 con una beca de tres meses del *Departament d'Enginyeria Agroforestal de la Universitat de Lleida* y se ha desarrollado en el mismo departamento desde enero de 2006 y hasta la actualidad gracias a una beca predoctoral FI con el apoyo del *Departament d'Innovació, Universitats i Empresa* de la *Generalitat de Catalunya* y del Fondo Social Europeo (2009FIC-00135). La presente tesis se ha enmarcado principalmente dentro del proyecto IBEPFOR (CGL2006-00312/BOS) y en coordinación con los objetivos de los proyectos DINDIS (CGL2005-00031/BOS), MONTES-CONSOLIDER (CSD2008-00040) y Restauración y Gestión Forestal (PS-310000-2008-1).

Muchísimas gracias a mis dos directores de tesis, Santiago Saura y Lluís Brotons, por haberme dado la oportunidad de realizar esta tesis junto a ellos, por su esfuerzo y dedicación, por lo mucho que he aprendido de ellos y por su inestimable calidad humana.

Agradecer a la *Universitat de Lleida* por su acogida durante el desarrollo de esta tesis, a los compañeros del *Departament d'Enginyeria Agroforestal* y del laboratorio, Carmen, Cristina, Emi, Evelina, Jabi, Laura, Lidón, Lucía, Marc, Olga.... un placer disfrutar con vosotros del día a día.

Gracias a los compañeros del *Àrea de Biodiversitat* y del CTFC y a la gente que conocí en Solsona...a Juan y Trufa, a Iolanda, Isa, Jordi Romà, Mònica, Pau...gracias Momo por tus consejos pajareros. Muchísimas gracias Sara por los grandes momentos vividos y por la gran amistad fruto de nuestras tesis, y a Xavi también por vuestra hospitalidad durante las visitas a Solsona.

Agradecer el apoyo del *Comissionat per a Universitats i Recerca del Departament d'Innovació, Universitats i Empresa* mediante la concesión de una beca BE (2008 BE1 00395) para estancias de investigación fuera de Cataluña que me permitió visitar de septiembre a diciembre de 2008 el *Landscape Ecology Laboratory* de la *University of Toronto*. Gracias a Marie-Josée Fortin por su especial dedicación y acogida, a todos los miembros del *LELab* de la *UofT* y a María y Yessica, por tratarme tan bien y por lo mucho que he aprendido de ellos en mi breve estancia allí.

Gracias a todos los amigos que he conocido durante estos años de doctorado en la UdL por los buenos momentos vividos y sobre todo por lo mucho que nos hemos reído, gracias Andrea, Anna Biau, Anna Pedró, Bernarda, Deli, Fanny, Giuseppe, Gregori, Isa, Julia, Laura, María Ángeles, Miguel, Món, Montse Safont, Natalia, Ricardo, Rodolf... a los compañeros de piso de Maragall, a Laura y Mireia, y Ronda y a Albert, Bárbara, Cleo, Javi y Victor.

A la gente de Castellón y en especial a mis queridísimas Argiñe, Eider, Laura, María y Vero (y respectivos).

A Xavi, gracias por estar siempre a mi lado no importa dónde estemos, a su familia y amigos, gracias Santi por estar aquí en la recta final!

A mis padres, a mi hermana Sonia y a Nico por vuestro apoyo incondicional y por animarme siempre a seguir hacia adelante, esta tesis es de todos un poco.

RESUMEN

Las aves forestales ejercen un papel funcional clave en los ecosistemas forestales y se relacionan con las características del bosque, sus dinámicas y gestión a diferentes escalas espaciales. Por lo tanto, la determinación de las respuestas cuantitativas de las aves forestales a los factores ambientales de los sistemas forestales y a sus patrones de cambio puede contribuir a entender cómo la gestión forestal puede mitigar los impactos del cambio global en la biodiversidad forestal en el Mediterráneo.

Esta tesis pretende valorar los factores determinantes de la riqueza, distribución y dinámicas de las aves forestales a diferentes escalas espaciales en Cataluña (NE de España) con el objeto de proporcionar recomendaciones de gestión forestal sostenible. Para ello se han analizado diversas bases de datos sobre biodiversidad y caracterización ambiental y forestal disponibles en la región de estudio, tales como el Segundo y Tercer Inventario Forestal Nacional y el Primer y Segundo Atlas de las Aves Nidificantes de Cataluña.

Los resultados mostraron que la riqueza de especies de aves forestales, particularmente la de las aves especialistas, estuvo principalmente favorecida por la disponibilidad de teselas de bosque presentando diferentes grados de apertura del dosel arbóreo (evitando la dominancia de fracciones de cubierta muy elevadas), y por bosques con estados de desarrollo avanzados y una elevada diversidad de especies arbóreas (principalmente en el noroeste y sur, respectivamente). Comparativamente, la riqueza de especies de aves forestales estuvo menos asociada a la configuración del paisaje forestal, aunque la irregularidad de formas tuvo un efecto más destacado que el patrón de fragmentación. Los incendios tuvieron un efecto relativamente débil pero negativo en la riqueza de aves forestales, particularmente para las especialistas.

Las dinámicas del bosque ocurridas a escala regional (maduración y expansión del bosque), principalmente relacionadas con el abandono rural, se mostraron como favorables para la expansión espacial de las aves forestales en las dos últimas décadas del siglo XX y parecen haber contrarrestado los impactos potencialmente negativos de los incendios forestales en la distribución de las especies. La colonización de las aves forestales especialistas en expansión se relacionó indirectamente con las dinámicas del bosque ocurridas en localidades vecinas y no tanto con los propios cambios en las zonas colonizadas, probablemente como resultado de dinámicas fuente-sumidero y patrones de conectividad de los paisajes analizados.

La gestión forestal no parece haber afectado negativamente a los patrones de cambio de la distribución de las aves forestales especialistas en expansión, sugiriéndose su papel clave para mitigar los esperados grandes impactos del cambio global en los patrones de biodiversidad forestal. Para fomentar la diversidad ornítica forestal, la gestión forestal a escala de paisaje debería promover la disponibilidad de hábitat más que una determinada configuración espacial y evitar la homogenización y densificación de los rodales que puede impedir la transición a estados de desarrollo del bosque más avanzados y el establecimiento de una mayor variedad de especies arbóreas. La gestión forestal requiere un enfoque a escala de paisaje para desarrollar estrategias efectivas que promuevan la biodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas forestales y mitigar los efectos del cambio climático y socioeconómico, y debería integrarse con otros tipos de planificación territorial y planes de conservación de la biodiversidad.

Los resultados obtenidos son valiosos para entender las relaciones entre la composición y estructura del bosque y las comunidades de aves forestales y cómo las interacciones entre la gestión y las dinámicas del paisaje forestal pueden influir en la distribución y dinámicas futuras de las aves forestales. También es necesario realizar futuros estudios para ampliar la metodología y generalidad de los resultados obtenidos, extendiendo los análisis a otros grupos taxonómicos y escalas espaciales, así como para contribuir a predecir los patrones de biodiversidad forestal en futuros escenarios de paisaje forestal y cambio global.

Palabras clave: aves forestales especialistas y generalistas, cambio global, composición y configuración del paisaje, expansión del bosque, estructura del bosque, incendios forestales, maduración del bosque, patrones espaciales, región Mediterránea.

RESUM

Els ocells forestals exerceixen un paper funcional clau en els ecosistemes forestals i es relacionen amb les característiques del bosc, les seves dinàmiques i la gestió a diferents escales espacials. Per tant, la determinació de les respostes quantitatives dels ocells forestals als factors ambientals dels sistemes forestals i als seus patrons de canvi pot contribuir a entendre com la gestió forestal pot mitigar els impactes del canvi global en la biodiversitat forestal a la Mediterrània.

Aquesta tesi pretén valorar els factors determinants de la riquesa, distribució i dinàmiques dels ocells forestals a diferents escales espacials en Catalunya (NE d'Espanya) amb l'objecte de proporcionar recomanacions de gestió forestal sostenible. Per tal d'això s'han analitzat diverses bases de dades sobre biodiversitat i caracterització ambiental i forestal disponibles en la regió d'estudi, com el Segon i Tercer Inventari Forestal Nacional i el Primer i Segon Atlas dels Ocells Nidificants de Catalunya.

Els resultats van mostrar que la riquesa d'espècies d'ocells forestals, particularment la dels ocells especialistes, està principalment afavorida per la disponibilitat de tessel·les de bosc presentant diferents graus d'obertura de l'estrat arbori (evitant el predomini de fraccions de cabuda coberta molt elevades), i per boscos amb estats de desenvolupament avançats i una elevada diversitat d'espècies arbòries (principalment al nord-oest i sud, respectivament). Comparativament, la riquesa d'espècies d'ocells forestals es va associar menys a la configuració del paisatge forestal, tot i que la irregularitat de formes va tenir un efecte més destacat que el patró de fragmentació. Els incendis van tenir un efecte relativament dèbil però negatiu en la riquesa dels ocells forestals, particularment per als ocells especialistes.

Les dinàmiques del bosc ocorregudes a escala regional (maduració i expansió del bosc), principalment relacionades amb l'abandonament rural, es van mostrar com a favorables per a l'expansió espacial dels ocells forestal en les dues últimes dècades del segle XX i semblen haver contrarestat els impactes potencialment negatius dels incendis forestals en la distribució de les espècies. La colonització dels ocells forestals especialistes en expansió es va relacionar indirectament amb les dinàmiques del bosc ocorregudes en localitats veïnes i no tant amb els propis canvis en les zones colonitzades, probablement com a resultat de dinàmiques font-embornal i patrons de connectivitat dels paisatges analitzats.

La gestió forestal no sembla haver afectat negativament als patrons de canvi de la distribució dels ocells forestals especialistes en expansió, suggerint-se el seu paper clau per a mitigar els esperats grans impactes del canvi global en els patrons de biodiversitat forestal. Per a fomentar la diversitat ornítica forestal, la gestió forestal a escala de paisatge deuria promoure la disponibilitat de hàbitat més que una determinada configuració espacial i evitar l'homogeneïtzació i densificació dels rodals que poden impedir la transició a estats de desenvolupament més avançats i l'establiment d'una major varietat d'espècies arbòries. La gestió forestal requereix d'un enfocament a escala de paisatge per a desenvolupar estratègies efectives que promoguin la biodiversitat i la sostenibilitat dels ecosistemes forestals i mitigar els efectes del canvi climàtic i socioeconòmic, i també deuria integrar-se amb altres tipus de planificació territorial i plans de conservació de la biodiversitat.

Els resultats obtinguts són valuosos per a entendre les relacions entre la composició i estructura del bosc i les comunitats d'ocells forestals i com les interaccions entre la gestió i les dinàmiques del paisatge forestal poden influir en la distribució i dinàmiques futures dels ocells forestals. També és necessari realitzar futurs estudis per a ampliar la metodologia i generalitat dels resultats obtinguts, estenent les anàlisis a altres grups taxonòmics i escales espacials, així com per a contribuir a predir els patrons de biodiversitat forestal en futurs escenaris de paisatge forestal i canvi global.

Paraules clau: canvi global, composició i configuració del paisatge, expansió del bosc, estructura del bosc, incendis forestals, maduració del bosc, ocells forestals especialistes i generalistes, patrons espacials, regió Mediterrània.

SUMMARY

Forest birds play a functional key functional role in forest ecosystems and have been shown to be related with forest features, management and their associated dynamics at different spatial scales. Thus, determining quantitative responses of forest birds to environmental factors occurring in forest systems and their patterns of change may help to understand how forest management can contribute to the mitigation of global change impacts on forest biodiversity in the Mediterranean.

This thesis aims at assessing the determinants of forest bird species richness, distribution and dynamics at different spatial scales in Catalonia (NE Spain) in order to provide adequate sustainable forest management guidelines. For this purposes, large biodiversity and forest databases available in the region, such as the Second and Third Spanish National Forest Inventory and the First and Second Catalan Breeding Bird Atlas, were analysed.

Results showed that forest bird species richness, particularly for specialist species, was mainly favoured by the availability of forest patches presenting different degrees of forest canopy cover (avoiding the dominance of closed or nearly closed tree canopies), and with forests with advanced development stages and a mixture of tree species (mainly in the north-western and southern areas, respectively). Comparatively, forest bird species richness was less related to forest landscape configuration, but shape irregularity appeared to have a more prominent effect than pattern fragmentation. Forest fires had a relatively weak but negative effect on species richness, particularly for specialists.

Forest dynamics occurring at the regional scale (forest maturation and expansion), mainly related to rural land abandonment, appeared to favour the spatial expansion of bird species in the two last decades of the 20th century and to have largely overridden the potential negative effects of forest fires on forest bird species' distribution. Colonization events of expanding specialist forest birds appeared to be indirectly related to forest dynamics occurring in neighbouring localities rather than on colonized ones, probably as a result of source-sink dynamics and connectivity constraints at the landscape scale.

Forest management did not appear to negatively affect the patterns of distribution change of expanding specialist forest birds and is suggested to be a major opportunity to mitigate the expected large impacts of global change on forest biodiversity patterns. Forest landscape management can enhance the forest avian diversity by focusing on forest habitat availability rather than on a particular spatial configuration and avoiding landscape homogenization and stand densification that may impede the transition to more developed stages and the establishment of a variety of forest species. Forest management requires from a landscape perspective to develop effective strategies aimed at promoting biodiversity and ensure the sustainability of forest ecosystem services and to mitigate the effects of climate and socioeconomic changes, and should be integrated as well with other kinds of landscape management and conservation biodiversity plans.

The results obtained are valuable for understanding the relationships between forest composition and structure and avian communities and how interactions between management and ongoing landscape dynamics can shape future forest bird distribution and dynamics. Further research efforts are needed to broaden the methodological approach and generality of the results by extending the analyses to a broader set of taxonomical groups and spatial scales, as well as to contribute to forecast future biodiversity dynamics under different forest and global change scenarios.

Keywords: forest expansion, forest fires, forest landscape composition and configuration, forest maturation, forest structure, global change, Mediterranean region, spatial patterns, specialist and generalist forest bird species.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
Los ecosistemas forestales mediterráneos y sus dinámicas.....	1
Indicadores de biodiversidad forestal.....	2
El paisaje como unidad de estudio.....	2
Las aves forestales como grupo taxonómico de estudio.....	3
Cataluña como área de estudio.....	5
2. OBJETIVOS DE LA TESIS.....	7
3. PUBLICACIONES.....	8
4. DISCUSIÓN GENERAL.....	9
Influencia de las características del bosque en la riqueza de especies de aves forestales a escala de paisaje.....	9
Variabilidad espacial de las relaciones entre factores ambientales y la riqueza de especies de aves forestales a escala de paisaje.....	11
Influencia de la expansión y maduración del bosque en los cambios en la distribución de las aves forestales en los últimos 20 años del siglo XX.....	12
Influencia de los incendios forestales y de la gestión forestal en los cambios en la distribución de las aves forestales en los últimos 20 años de siglo XX.....	13
Respuesta comparada de las aves forestales especialistas y generalistas a las características y dinámicas del bosque a escala de paisaje.....	14
Recomendaciones de gestión forestal sostenible en un contexto de cambio global en el Mediterráneo.....	15
5. CONCLUSIONES.....	17
6. BIBLIOGRAFÍA.....	19

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales mediterráneos y sus dinámicas

La cuenca Mediterránea, considerada un *hotspot* de biodiversidad (Myers et al. 2000), ha estado sometida desde tiempos ancestrales a una intensa actividad humana y al impacto asociado de los incendios forestales que han conformado buena parte de la distribución y fisonomía actual del paisaje forestal (Blondel & Aronson 1999). Sin embargo, todavía se desconoce en buena medida cuál es la influencia de la gestión forestal en la diversidad que albergan estos ecosistemas (Scarascia-Mugnozza et al. 2000). Estas carencias se ven agravadas ante las necesidades actuales de aplicar una gestión forestal sostenible, considerando no únicamente los aspectos productivos, sino también la integridad de los ecosistemas forestales y otros valores no madereros (Lindenmayer et al. 2000).

En contraposición a la íntima y secular relación entre el hombre y el medio forestal característica de la región mediterránea, en las últimas décadas ha habido una progresiva reducción de las actividades tradicionales en el medio forestal como consecuencia del abandono rural y del cambio en la dependencia del hombre hacia los productos forestales (Fabbio et al. 2003), lo que ha favorecido la maduración y desarrollo estructural de los bosques y una creciente acumulación de biomasa forestal (Poyatos et al. 2003; Roura-Pascual et al. 2005). El abandono rural también ha favorecido la expansión de la cubierta forestal en antiguas zonas cultivadas (p.ej. Debussche et al. 1999; Poyatos et al. 2003; Roura-Pascual et al. 2005), aunque esta tendencia podría estar siendo contrarrestada en mayor o menor medida por un aumento en la ocurrencia y extensión de los incendios forestales en grandes áreas del Mediterráneo (Mouillot & Field 2005). Además, en las próximas décadas los bosques mediterráneos podrían también verse especialmente afectados por procesos a gran escala como el calentamiento climático y las interacciones entre éste y otros componentes de cambio (p.ej. abandono rural) o perturbaciones a gran escala, surgiendo la necesidad de aplicar una gestión forestal activa y adaptativa para poder mitigar los efectos negativos que puedan resultar de esos procesos (De Dios et al. 2007).

Los diferentes procesos que, dentro de un contexto de cambio global, actúan a diferentes escalas espaciales y temporales (IGBP 2001) pueden tener efectos contrapuestos en la estructura y extensión del bosque y su impacto resultante en la biodiversidad dependerá de la importancia relativa de cada proceso a escala de paisaje y de las interacciones establecidas entre los mismos (Moreira & Russo 2007). En este sentido, la expansión del bosque puede resultar fundamental para amortiguar los impactos negativos del calentamiento climático ya que estos nuevos hábitats podrían actuar como hábitats sumidero (*sink*) o suplementarios y permitir una respuesta más rápida y el restablecimiento de la fauna forestal debido a una mejora efectiva de la conectividad

de los bosques (Bowen et al. 2007). Sin embargo, en determinadas zonas de la región mediterránea la homogenización del paisaje puede conllevar graves consecuencias para la biodiversidad debido al mayor riesgo de grandes incendios (Moreira & Russo 2007), y al declive del mosaico agroforestal (p.ej. Sirami et al. 2007b) y de grandes extensiones de espacios abiertos (Vallecillo et al. 2008). Asimismo, los impactos del cambio climático pueden variar a lo largo de la cuenca Mediterránea y, por ejemplo, los ecosistemas más xéricos y meridionales podrían expandirse notablemente hacia el norte, mientras que las formaciones mediterráneas de montaña podrían ver reducida considerablemente su área de distribución (Metzger et al. 2008).

Indicadores de biodiversidad forestal

Debido a la imposibilidad de valorar todos los aspectos englobados dentro del concepto de biodiversidad (referente a todas las formas de vida y su variabilidad a nivel genético, específico y de ecosistemas), es fundamental el desarrollo de indicadores de biodiversidad para poder valorar las tendencias generales de los diferentes componentes de los ecosistemas forestales y favorecer su mejor conservación (Noss 1999). En concreto, los indicadores de biodiversidad forestal basados en las características estructurales del bosque, tanto a escala de rodal como de paisaje, pueden llegar a ser especialmente idóneos para aplicar una gestión forestal sostenible dirigida a conservar la biodiversidad (Lindenmayer et al. 2000). Hasta hace relativamente poco tiempo la investigación sobre los efectos de la gestión forestal en la biodiversidad se había centrado básicamente en la escala de rodal y en áreas de estudio relativamente pequeñas, siendo desconocidos en buena medida los efectos a grandes escalas (Wigley & Roberts 1997). En los últimos años se han ido generando numerosas bases de datos sobre biodiversidad que pueden contribuir a la valoración, gestión y conservación de nuestros bosques a escalas más amplias y a nivel regional (Fearer et al. 2007).

El paisaje como unidad de estudio

La ecología del paisaje es la ciencia que se ocupa del estudio de las interacciones recíprocas entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos (Turner 2005), entendiéndose estos últimos como factores activos causantes y/o resultantes de la funcionalidad y dinámica del paisaje (Pascual-Hortal 2008). En este ámbito, el paisaje ha sido definido como una porción heterogénea del territorio compuesta por un mosaico de cubiertas y usos del suelo (teselas) que interactúan entre sí (Forman & Godron 1986). Desde un punto de vista más estructural, el paisaje queda caracterizado por tres aspectos diferentes: configuración (distribución, posición, orientación o complejidad de la forma de las teselas en el paisaje), composición (número de

tipos de teselas y la abundancia de cada uno de ellos) y conectividad (facilidad de movimiento entre las teselas existentes) (Taylor et al. 1993).

El reconocimiento del paisaje como unidad de estudio en ecología se ha basado en diferentes teorías como la de metapoblaciones o las dinámicas poblacionales de tipo fuente-sumidero (*source-sink*) (Farina 2006). El término metapoblación fue introducido por primera vez por Levins (1969) y se refiere a un grupo de poblaciones de una misma especie espacialmente separadas en el que las relaciones de extinción y recolonización entre las distintas teselas crean un flujo de individuos que asegura la conectividad genética entre las poblaciones. Estrechamente relacionado con el concepto de metapoblación, los sistemas fuente-sumidero (*source-sink*) son muy útiles para explicar los diferentes gradientes poblacionales de una determinada especie dentro de un mosaico de paisaje debido a la heterogeneidad de hábitats y a su disponibilidad de recursos. De esta forma, se considera un hábitat fuente (*source*) aquel que alberga una población abundante y productiva en la que la natalidad excede la mortalidad y la emigración excede a la inmigración, mientras que un hábitat sumidero (*sink*) alberga una población con un balance negativo entre la natalidad y la mortalidad (la producción de nuevos individuos no es suficiente para compensar la mortalidad adulta), estando avocada esta última a la extinción en ausencia de inmigración (Pulliam 1988). En este sentido, en términos de conservación de la biodiversidad, el mantenimiento de la conectividad del paisaje es fundamental ya que permite o facilita el intercambio de flujos ecológicos a través del territorio (Taylor et al. 1993).

Por lo tanto, el enorme crecimiento y desarrollo experimentado por la disciplina de la ecología del paisaje en las últimas dos décadas (Turner 2005) puede ser fundamental para el desarrollo de indicadores de biodiversidad forestal basados en características estructurales del bosque, así como para comprender las relaciones entre las comunidades faunísticas, el bosque y sus dinámicas, con vistas a una mejor caracterización, gestión y conservación de los recursos forestales y la biodiversidad que éstos albergan.

Las aves forestales como grupo taxonómico de estudio

Las aves se encuentran entre los organismos vivos mejor estudiados y, por ejemplo, los datos de atlas ornitológicos pueden ser de gran utilidad para valorar cómo las características del hábitat y sus dinámicas se asocian a su distribución a escala de paisaje y sobre grandes áreas de estudio (Donald & Fuller 1998). En los ecosistemas forestales las aves ejercen un papel funcional esencial (Sekercioglu 2006), de manera que características y procesos que determinan su distribución pueden estar también influenciando de forma más o menos directa otros taxones (Donald & Fuller 1998). En el actual contexto de cambio global, y considerando que en la

región Mediterránea muchas de las aves parecen haberse adaptado a la heterogeneidad del paisaje agroforestal derivada de la secular acción antrópica (Tellería & Santos 1999) y de los incendios forestales (Herrando & Brotons 2002; Brotons et al. 2004), se hace necesario el análisis de la influencia de la disponibilidad de hábitat de bosque (composición), su distribución espacial (configuración) y las dinámicas y perturbaciones asociadas para realizar una gestión forestal adecuada y conservar la diversidad de las aves forestales.

Estudios previos han mostrado que las características de los hábitats forestales están relacionadas con la distribución de las aves a diferentes escalas espaciales (Mitchell et al. 2001, 2006; Loehle et al. 2005; Warren et al. 2005; Yamaura et al. 2005) y no únicamente a escala de rodal, que es a la que normalmente se plantean muchas de las prácticas forestales. No obstante, todavía hay un gran desconocimiento acerca del efecto en la distribución de las aves forestales de los cambios en el bosque a escala de paisaje producidos por la gestión forestal y otras perturbaciones (Mitchell et al. 2008). Comparativamente, los efectos de la composición del paisaje forestal en la avifauna en regiones dominadas por bosques han sido menos estudiados que los efectos de la configuración en zonas mosaico y más fragmentadas (Rodewald & Yahner 2001). No obstante, no está completamente clara la importancia de la configuración del paisaje en las aves forestales y la necesidad de tenerla en cuenta como un criterio prioritario en el planteamiento de la gestión forestal. Así, mientras algunos estudios han mostrado su importancia (Villard et al. 1999; Westphal et al. 2003; Brennan & Schnell 2005; Betts et al. 2006), otros han encontrado una asociación débil y un efecto considerablemente menor al de la propia composición del paisaje (McGarigal & McComb 1995; Trzcinski et al. 1999; Radford et al. 2005).

Por otro lado, si bien el calentamiento climático podría llegar a tener diversos efectos negativos sobre las aves forestales (Leech & Crick 2007), la reciente expansión del bosque asociada al abandono rural parece haber evitado el declive de las poblaciones de aves forestales en diversas regiones de Europa (Gregory et al. 2007). En concreto, en la región Mediterránea se ha apuntado que los cambios de usos del suelo son la principal causa de los cambios recientes en la avifauna forestal a nivel poblacional (Sirami et al. 2007a; Seoane & Carrascal 2008). En Europa se ha observado que un gran número de especies parece haberse beneficiado del restablecimiento de la cubierta boscosa a escalas locales (Preiss et al. 1997; Moreira et al. 2001; Suárez-Seoane et al. 2002; Laiolo 2005; Sirami et al. 2007b) y regionales (Reif et al. 2007; Estrada et al. 2004). Además, también se ha sugerido que el efecto de la maduración estructural del bosque producida por el abandono de las prácticas tradicionales puede ser potencialmente beneficioso para las aves forestales (Reif et al. 2007), aunque dichos efectos no han sido explícitamente estudiados hasta la fecha a una escala regional en el Mediterráneo.

La expansión de la superficie de bosque y el menor grado de fragmentación de la misma a escala de paisaje podrían estar asociados al restablecimiento de algunas especies de aves forestales que la ausencia de grandes extensiones de bosque había mantenido ausentes de muchas zonas no montañosas del Mediterráneo (Preiss et al. 1997). Sin embargo, se desconoce con exactitud a qué obedecen las recientes colonizaciones de numerosas especies de aves forestales que se están produciendo a escalas regionales en el Mediterráneo. Por un lado, podrían deberse al efecto directo de los cambios en la estructura y cubierta del bosque debido a una mejora efectiva de la calidad del hábitat en las localidades colonizadas, de manera similar a como sucede para las aves de espacios abiertos (Brotons et al. 2008; Vallecillo et al. 2008). Por otro lado, los cambios en la estructura y cubierta del bosque podrían tener un efecto indirecto en las colonizaciones ya que el aumento de las poblaciones que habitan las zonas centrales de estos hábitats forestales podrían dar lugar a un superávit de individuos que se dispersen hacia otras áreas boscosas vecinas a las de población excedente (Estrada et al. 2004), probablemente obedeciendo a dinámicas del tipo fuente-sumidero (“*source-sink*”).

Cataluña como área de estudio

Cataluña, con una superficie aproximada de 32.107 km², es una región con una gran heterogeneidad de hábitats, abarcando grandes áreas montañosas en los Pirineos (hasta 3.143 m) y numerosas cadenas interiores, extensas llanuras interiores y predominantemente agrícolas como la *Plana* de Lleida, y una extensa costa bañada por el mar Mediterráneo (con una longitud de aproximadamente 300 km). En buena parte del territorio catalán el clima dominante es el mediterráneo templado, aunque con una influencia marítima en la costa y una tendencia más fría en los Pirineos.

En Cataluña los bosques representan alrededor de un 38% de la superficie de la región y aproximadamente el 80% son de propiedad privada (Terradas et al. 2004). En los bosques catalanes se pueden llegar a encontrar alrededor de unas cien especies arbóreas diferentes, aunque las más comunes y abundantes son unas 14 (principalmente de los géneros *Pinus* y *Quercus*), representando el 90 % del número total de pies (Gracia et al. 2004). La gestión que se practica en los bosques catalanes suele ser de intensidad moderada y en algunos casos se ha visto que puede llegar a favorecer algunos componentes de la biodiversidad del dosel arbóreo y del sotobosque, de acuerdo con la hipótesis de la perturbación media (Torras & Saura 2008). No obstante, una práctica bastante arraigada en las propiedades privadas de la región son las cortas de selección negativas (cortas por huroneo), especialmente en masas irregulares, extrayendo únicamente los mejores y más grandes ejemplares y produciendo una depreciación de la masa en términos tanto económicos como biológicos (Camprodon 2001). Fruto de la gestión y la

ocurrencia de incendios forestales que ha venido afectando tradicionalmente a los bosques catalanes, la mayoría de los tipologías de bosque presentan rodales con una edad promedio inferior a 50 años (Gracia et al. 2004).

Del mismo modo que en otras zonas del Mediterráneo, en Cataluña el prominente abandono rural ha favorecido en las últimas décadas la expansión del bosque (p.ej. Poyatos et al. 2003). No obstante, los incendios forestales han quemado aproximadamente 240.000 ha entre 1975 y 1998 (Díaz-Delgado et al. 2004). Como resultado de estos dos procesos antagónicos no parece que la superficie de los bosques catalanes haya variado en demasía, aunque con un efecto global de aumento de su extensión, tal y como se desprende por ejemplo de una comparativa del Mapa de Usos del Suelo de Cataluña entre 1987 y 1997 (Viñas & Baulies 1995). Según el Inventario Forestal Nacional (Ministerio de Medio Ambiente 2006), los bosques catalanes también han incrementado su desarrollo estructural significativamente durante los últimos diez años del siglo XX, hecho que puede estar relacionado no sólo con el abandono rural y el consiguiente descenso de las actividades tradicionales, sino también con el mayor peso de las políticas conservacionistas a partir de los años setenta que se ha traducido en la progresiva naturalización, densificación y restablecimiento de la vegetación (Casals et al. 2005). Aparte del abandono de las prácticas selvícolas tradicionales debido principalmente a una sustitución de los productos forestales por otras fuentes de energía y materiales de construcción (ver Poyatos et al. 2003), la disminución de los aprovechamientos forestales también se debe al bajo rendimiento de los productos forestales, al descenso del precio real de la madera y al encarecimiento de la mano de obra necesaria para los mismos (Terradas et al. 2004).

Por lo que respecta a las aves forestales en Cataluña, éstas suelen estar asociadas a bosques con estados de desarrollo avanzados (Blondel & Farré 1988; Suárez-Seoane et al. 2002) ya que la composición ornítica forestal no difiere excesivamente de la del resto de Europa, encontrándose pocas especies típicas de ambientes boscosos que sean endémicas de la región Mediterránea (Carrascal y Díaz 2003). En el actual contexto de cambio global, y de acuerdo con el Atlas de Aves Nidificantes de Cataluña (Estrada et al. 2004), aproximadamente un 41% de las aves forestales han expandido su área de distribución en las últimas dos décadas del siglo XX, mientras que la misma proporción de especies ha permanecido estable y tan sólo un 18% ha disminuido su área de distribución. Aunque se ha apuntado que la expansión y maduración del bosque relacionadas principalmente con el abandono rural pueden ser algunas de las causas vinculadas con estas tendencias de cambios en la distribución de las aves forestales en los últimos 20 años del siglo XX (Estrada et al. 2004), todavía son necesarios estudios específicos que puedan contribuir a esclarecer estas cuestiones mediante el análisis de datos empíricos sobre las dinámicas de los bosques y aves forestales en el Mediterráneo.

OBJETIVOS DE LA TESIS

2. OBJETIVOS DE LA TESIS

El objetivo general de esta tesis es estudiar los factores determinantes de la riqueza, distribución y dinámica de las aves forestales a escala de paisaje en Cataluña para proporcionar recomendaciones de gestión forestal sostenible. Este objetivo general se desglosa en los siguientes objetivos más específicos:

1. Estudiar la influencia de las características del bosque (composición, estructura y configuración espacial) en la riqueza de especies de aves forestales a escala de paisaje.
2. Determinar la variabilidad espacial de las relaciones entre los factores ambientales (composición y estructura del bosque, superficie incendiada y clima) en la riqueza de especies de aves forestales a escala de paisaje.
3. Estudiar la influencia de las dinámicas del bosque (expansión y maduración), los incendios y la gestión forestal a escala de paisaje en los cambios en la distribución de las aves forestales en los últimos 20 años del siglo XX.
4. Comparar la respuesta relativa de las aves forestales especialistas y generalistas a las características y dinámicas del bosque a escala de paisaje.
5. Proporcionar recomendaciones de gestión forestal sostenible que puedan contribuir a fomentar la diversidad de aves forestales en nuestros bosques y adaptarse al actual y futuro contexto de cambio global en el Mediterráneo.

PUBLICACIONES

3. PUBLICACIONES

Publicaciones de carácter científico

PUBLICACIÓN 1. Gil-Tena, A.; Saura, S.; Brotons, L. 2007. Effects of forest composition and structure on bird species richness in a Mediterranean context: implications for forest ecosystem management. *Forest Ecology and Management* 242(2-3): 470-476.

PUBLICACIÓN 2. Gil-Tena, A.; Torras, O.; Saura, S. 2008. Relationships between forest landscape structure and avian species richness in NE Spain. *Ardeola* 55(1): 27-40.

PUBLICACIÓN 3. Gil-Tena, A.; Fortin, M.J.; Brotons, L.; Saura, S. 2009c. Forest avian species richness distribution and management guidelines under global change in Mediterranean landscapes. En: Li, C.; Laforteza, R.; Chen, J. (eds). 2009. *Landscape Ecology and Forest Management: Challenges and Solutions in a Changing Globe*. Springer (enviada).

PUBLICACIÓN 4. Gil-Tena, A.; Brotons, L.; Saura, S. 2009a. Mediterranean forest dynamics and forest bird distribution changes in the late 20th century. *Global Change Biology* 15: 474-485.

PUBLICACIÓN 5. Gil-Tena, A.; Brotons, L.; Saura, S. 2009b. Effects of forest landscape changes in the distribution dynamics of expanding specialist forest birds in the Mediterranean region: testing for the role of forest management. *Forest Ecology and Management* (enviada).

Publicaciones de carácter divulgativo

PUBLICACIÓN 6. Gil-Tena, A.; Brotons, L.; Saura, S. 2009d. Efecto de la composición y la estructura del bosque en la riqueza de especies de aves forestales: implicaciones para la gestión forestal sostenible. *Montes, Revista de Ámbito Forestal* (en prensa).

PUBLICACIÓN 7. Gil-Tena, A.; Saura, S.; Alberdi, I.; Villanueva, J.A. 2008. Cambios en la estructura y diversidad de los bosques catalanes entre 1989 y 2001 evaluados a partir del Inventario Forestal Nacional. *Rural & Forest* 9: 10-17.

PUBLICACIÓN 1

Effects of forest composition and structure on bird species richness in a Mediterranean context: implications for forest ecosystem management

Assu Gil-Tena, Santiago Saura y Lluís Brotons

Publicación: *Forest Ecology and Management* (2007) – 242(2-3): 470-476

DOI: 10.1016/j.foreco.2007.01.080

Factor de impacto de la revista: 1,579

OBJETIVOS ESPECÍFICOS ABORDADOS	OBJETIVO 1	X
	OBJETIVO 2	
	OBJETIVO 3	
	OBJETIVO 4	X
	OBJETIVO 5	X

DATOS AVES FORESTALES

Fuente de datos	Atlas de las Aves Nidificantes de Cataluña 1999-2002 [‡]
Escala y <i>n</i>	2.923 cuadrículas UTM 1x1 km

DATOS BOSQUE

Fuente de datos	Mapa Forestal de España*
-----------------	--------------------------

ANÁLISIS DE DATOS

Variables dependientes	Riqueza de especies de aves forestales especialistas, generalistas y total
Variables independientes	Área de bosque según distintos umbrales de fracción de cubierta (FCC), estado de desarrollo medio, diversidad de estados de desarrollo, diversidad de especies arbóreas, diversidad de FCC, % de masas monoespecíficas y % de especies de coníferas
Análisis desarrollados	<ul style="list-style-type: none">• Correlaciones entre la riqueza de especies de aves y el área de bosque según distintos umbrales de FCC, aplicando correcciones de Bonferroni para pruebas de hipótesis múltiples• Modelos lineales generales <i>stepwise forward-backward</i> (p-entrada=0,05, p-salida=0,10)

[‡] Datos proporcionados por el *Institut Català d'Ornitologia*

* Datos proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

PUBLICACIÓN 2

Relationships between forest landscape structure and avian species richness in NE Spain

Assu Gil-Tena, Olga Torras y Santiago Saura

Publicación: Ardeola (2008) - 55 (1): 27-40

Factor de impacto de la revista: 0,659

OBJETIVOS ESPECÍFICOS ABORDADOS	OBJETIVO 1	X
	OBJETIVO 2	
	OBJETIVO 3	
	OBJETIVO 4	X
	OBJETIVO 5	X

DATOS AVES FORESTALES

Fuente de datos	Atlas de las Aves Reproductoras de España* †
Escala y <i>n</i>	283 cuadrículas UTM 10x10 km

DATOS BOSQUE

Fuente de datos	Mapa Forestal de España*
-----------------	--------------------------

ANÁLISIS DE DATOS

Variables dependientes	Riqueza de especies de aves forestales especialistas, generalistas y total
Variables independientes	<ul style="list-style-type: none">• Composición y estructura del bosque: área de bosque según distintos umbrales de fracción de cabida cubierta (FCC), estado de desarrollo medio, diversidad de estados de desarrollo, diversidad de especies arbóreas, diversidad de FCC, % de masas monoespecíficas y % de especies de coníferas• Configuración del bosque: número de teselas, índice de forma medio, índice de forma medio ponderado por el área de bosque, número de puntos característicos de forma, densidad de puntos característicos de forma e índice del mínimo círculo circunscrito

* Datos proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

† Los datos para Cataluña del Atlas de las Aves Reproductoras de España son los correspondientes a los censos a escala 10x10 km realizados en el marco del Atlas de las Aves Nidificantes de Cataluña 1999-2002

PUBLICACIÓN 2 (continuación)

ANÁLISIS DE DATOS

Análisis desarrollados

- Correlaciones entre la riqueza de especies de aves y el área de bosque según distintos umbrales de FCC
- Modelos lineales generales (MLG) *stepwise forward-backward* (p -entrada=0,05, p -salida=0,10):
 - MLG considerando la composición y estructura del bosque
 - MLG considerando la configuración del bosque
 - MLG considerando la composición, estructura y configuración del bosque

Control de la autocorrelación espacial mediante un paso final en la regresión incluyendo los nueve términos de un *Trend Surface Analysis**

- Estudio de la autocorrelación espacial de los residuos mediante correlogramas *I* de Moran globales y tests de Durbin-Watson

* *Trend Surface Analysis*: polinomio de tercer grado de las coordenadas geográficas:

$$f(x, y) = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 + b_6x^3 + b_7x^2y + b_8xy^2 + b_9y^3$$

PUBLICACIÓN 3

Forest avian species richness distribution and management guidelines under global change in Mediterranean landscapes

Assu Gil-Tena, Marie-Josée Fortin, Lluís Brotons y Santiago Saura

Publicación: Li, C.; Laforteza, R.; Chen, J. (eds). 2009. *Landscape Ecology and Forest Management: Challenges and Solutions in a Changing Globe*. Springer-HEP

OBJETIVOS ESPECÍFICOS ABORDADOS	OBJETIVO 1	X
	OBJETIVO 2	X
	OBJETIVO 3	
	OBJETIVO 4	X
	OBJETIVO 5	X

DATOS AVES FORESTALES

Fuente de datos	Atlas de las Aves Nidificantes de Cataluña 1999-2002 [‡]
Escala y <i>n</i>	3.038 cuadrículas UTM 1x1 km

DATOS AMBIENTALES

Fuente de datos	Mapa Forestal de España*, Perímetros de incendios forestales ocurridos durante 1980-2000 ⁺ y Atlas Climático Digital de la Península Ibérica**
-----------------	---

ANÁLISIS DE DATOS

Variables dependientes	Riqueza de especies de aves forestales especialistas y generalistas
Variables independientes	<ul style="list-style-type: none">• Composición y estructura del bosque: área de bosque según distintos umbrales de fracción de cabida cubierta (FCC: de 5 a 30%, de 30 a 70% y >70%), estado de desarrollo medio, diversidad de especies arbóreas• Incendios: superficie incendiada• Clima: temperatura media de enero y precipitación media anual. Las variables climáticas se escogieron mediante un análisis de componentes principales (del tipo <i>varimax normalized rotation</i>) entre la temperatura media anual, de febrero y julio y la precipitación media anual y estival

[‡] Datos proporcionados por el *Institut Català d'Ornitologia*

* Datos proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

⁺ Datos obtenidos del *Departament de Medi Ambient i Habitatge (Generalitat de Catalunya)*

** Ninyerola, M.; Pons, X.; Roure, J.M. 2005. Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica. UAB, Bellaterra.

ANÁLISIS DE DATOS

Análisis desarrollados

- Modelos lineales generales (MLG) y *Geographically Weighted Regression* (GWR*). En el análisis GWR el radio de búsqueda alrededor de cada observación (*bandwidth*) se determinó según el rango espacial de las variables dependientes (obtenido mediante índices *I* de Moran globales). Modelos desarrollados:
 - MLG y GWR considerando la composición y estructura del bosque ($n=2.497$ cuadrículas UTM)
 - MLG y GWR considerando las variables climáticas ($n=2.497$ cuadrículas UTM)
 - MLG y GWR considerando la superficie incendiada ($n=509$ cuadrículas UTM)
- Estudio de la autocorrelación espacial de los residuos mediante índices *I* de Moran globales y locales

* GWR es una extensión de la regresión estándar que permite modelizar procesos que varían en el espacio (no estacionarios), resultando en una serie de modelos de regresión locales que permiten valorar la influencia de las variables independientes en función de su localización

PUBLICACIÓN 4

Mediterranean forest dynamics and forest bird distribution changes in the late 20th century

Assu Gil-Tena, Lluís Brotons y Santiago Saura

Publicación: *Global Change Biology* (2009) - 15: 474–485

DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01730.x

Factor de impacto de la revista: 4,786

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	OBJETIVO 1
	OBJETIVO 2
ABORDADOS	OBJETIVO 3 X
	OBJETIVO 4 X
	OBJETIVO 5 X

DATOS AVES FORESTALES

Fuente de datos	Primera y segunda edición del Atlas de Aves Nidificantes de Cataluña (elaborados en el periodo 1975-1983 y 1999-2002, respectivamente) [‡]
Escala y <i>n</i>	309 cuadrículas UTM 10x10 km
Variables obtenidas	<ul style="list-style-type: none">• Variación de la riqueza de especies de aves forestales una vez considerado el esfuerzo de muestreo entre atlas• Estructura espacial de la variación de la riqueza de especies de aves forestales mediante variables de contagio calculadas a diferentes escalas (10, 20, 30 y 40 km)

DATOS BOSQUE

Fuente de datos	Segundo y Tercer Inventario Forestal Nacional* (muestreo de campo realizado en 1989-1991 y 2000-2001, respectivamente), Perímetros de incendios forestales ocurridos durante 1980-2000 en Cataluña y Mapa de Usos del Suelo (edición 1987 y 1997) ⁺
Tipo variables obtenidas	Condiciones iniciales, expansión y maduración del bosque y superficie de bosque incendiada durante 1980-2000, así como sus respectivas variables de contagio a diferentes escalas (10, 20, 30 y 40 km)

[‡] Datos proporcionados por el *Institut Català d'Ornitologia*

* Datos proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

⁺ Datos obtenidos del *Departament de Medi Ambient i Habitatge (Generalitat de Catalunya)*

PUBLICACIÓN 4 (continuación)

ANÁLISIS DE DATOS

VARIABLES DEPENDIENTES

Variación de la riqueza de especies de aves forestales

VARIABLES INDEPENDIENTES

- Expansión y maduración del bosque: variación absoluta de la superficie de bosque y del área basimétrica
- Incendios: superficie de bosque incendiada durante 1980-2000
- Condiciones iniciales: superficie y área basimétrica del bosque

ANÁLISIS DESARROLLADOS

- Estructura espacial de la variación de la riqueza de especies de aves y de las condiciones iniciales y dinámicas del bosque
- Modelos lineales generales (MLG) valorando a qué escala* se produce la variación de la riqueza de especies de aves forestales y las dinámicas del bosque
- Modelos lineales generales mixtos (MMLG). El tipo de especies (generalistas o especialistas), los contagios de la variación de la riqueza de especies de aves forestales y los descriptores de las dinámicas forestales se introdujeron como factores fijos y la unidad de muestreo (cuadrícula UTM 10x10 km) como factor aleatorio

- o MMLG jerárquico basado en las hipótesis planteadas:

PASO 1: Considerando la estructura espacial de los cambios en la distribución de las aves forestales (contagios)

PASO 2: Considerando las variables relacionadas con la disponibilidad de bosque, es decir, expansión del bosque (condiciones iniciales y variación) e incendios

PASO 3: Considerando las variables relacionadas con la estructura del bosque, es decir, maduración (condiciones iniciales y variación)

- o MMLG anterior excluyendo el PASO 1

- o MMLG considerando las dinámicas del bosque y los incendios

Las variables se seleccionaron según el Criterio de Información de Akaike (AIC)

* Considerándose la cuadrícula UTM 10x10 km como escala local, los contagios a 10 y 20 km como escala de paisaje y los contagios a 30 y 40 km como escala regional

PUBLICACIÓN 5

Effects of forest landscape changes in the distribution dynamics of expanding specialist forest birds in the Mediterranean region: testing for the role of forest management

Assu Gil-Tena, Lluís Brotons y Santiago Saura

Enviada a *Forest Ecology and Management*

Factor de impacto de la revista: 1,579

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	OBJETIVO 1	
	OBJETIVO 2	
ABORDADOS	OBJETIVO 3	X
	OBJETIVO 4	
	OBJETIVO 5	X

DATOS AVES FORESTALES

Fuente de datos	Primera y segunda edición del Atlas de las Aves Nidificantes de Cataluña (elaborados en el periodo 1975-1983 y 1999-2002, respectivamente) [‡]
Escala y <i>n</i>	309 cuadrículas UTM 10x10 km
Variables obtenidas	<ul style="list-style-type: none">• Dinámicas de distribución de 9 especies de aves forestales especialistas en expansión durante el periodo entre atlas• Estructura espacial de la distribución en el primer Atlas de las especies consideradas mediante variables de contagio calculadas a diferentes escalas (10 y 20 km)

DATOS BOSQUE

Fuente de datos	Segundo y Tercer Inventario Forestal Nacional* (muestreo de campo realizado en Cataluña en 1989-1991 y 2000-2001, respectivamente), Perímetros de incendios forestales ocurridos durante 1980-2000 en Cataluña y Mapa de Usos del Suelo (edición 1987 y 1997) ⁺
Tipo variables obtenidas	Condiciones iniciales, expansión y cambios estructurales del bosque y superficie de bosque incendiada durante 1980 y 2000. Los cambios estructurales del bosque se han considerado según si ha habido o no gestión entre inventarios (diferenciando entre cortas de regeneración y mejora). Para escoger los mejores descriptores de los cambios estructurales se realizaron análisis de componentes principales (del tipo <i>varimax Normalized rotation</i>)

[‡] Datos proporcionados por el *Institut Català d'Ornitologia*

* Datos proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

⁺ Datos obtenidos del *Departament de Medi Ambient i Habitatge (Generalitat de Catalunya)*

PUBLICACIÓN 5 (continuación)

ANÁLISIS DE DATOS

Variables dependientes

Dinámicas de distribución de las especies de aves forestales entre atlas (ausencia, mantenimiento y colonización)

Variables independientes

- Variación del esfuerzo de muestreo entre Atlas
- Estructura espacial de la variación de la riqueza de especies de aves y de las condiciones iniciales (contagios)
- Expansión del bosque: variación absoluta de la superficie de bosque
- Incendios: superficie de bosque incendiada durante 1980-2000
- Cambios estructurales:
 - Localidades no gestionadas: variación absoluta de: área basimétrica, número de pies con un diámetro normal igual o mayor a 50 cm, diámetro normal y fracción de cabida cubierta
 - Localidades gestionadas: variación absoluta de los pies con un diámetro normal entre 7,5 y 12,5 cm en las parcelas del IFN en las que se han realizado cortas de mejora, área basimétrica extraída debido a las cortas de regeneración y número de parcelas del IFN por cuadrícula UTM gestionadas con cortas de mejora o de regeneración
- Condiciones iniciales del bosque: superficie inicial de bosque y área basimétrica (independientemente de si hubo gestión o no)

Análisis desarrollados

- Modelos lineales generalizados con una distribución de error multinomial para cada una de las especies de aves forestales consideradas

- Modelo jerárquico según las hipótesis planteadas:

PASO 1: Considerando el esfuerzo de muestreo

PASO 2: Considerando la estructura espacial de la distribución de las aves forestales en el primer Atlas (contagios)

PASO 3: Considerando las condiciones iniciales del bosque

PASO 4: Considerando los cambios en la estructura y la extensión del bosque

En cada paso las variables se seleccionaron según un procedimiento *stepwise forward-backward* (p -entrada=0,05, p -salida=0,10)

- Cálculo del área bajo la curva (AUC) de un ROC (*Receiver operating characteristic plot*)
-

PUBLICACIÓN 6

Efecto de la composición y la estructura del bosque en la riqueza de aves forestales: implicaciones para la gestión forestal sostenible

Assu Gil-Tena, Lluís Brotons y Santiago Saura

Publicación: Montes, revista de ámbito forestal (2009)

OBJETIVOS ESPECÍFICOS ABORDADOS	OBJETIVO 1	X
	OBJETIVO 2	
	OBJETIVO 3	
	OBJETIVO 4	X
	OBJETIVO 5	X

DATOS AVES FORESTALES

Fuente de datos	Atlas de las Aves Nidificantes de Cataluña 1999-2002 [‡]
Escala y <i>n</i>	3.038 cuadrículas UTM 1x1 km

DATOS BOSQUE

Fuente de datos	Mapa Forestal de España* y Perímetros de incendios forestales ocurridos durante 1980-2000 ⁺
-----------------	--

ANÁLISIS DE DATOS

Variables dependientes	Riqueza de especies de aves forestales especialistas y generalistas
Variables independientes	Área de bosque según distintos umbrales de fracción de cubierta (FCC), FCC, estado de desarrollo, diversidad de especies arbóreas, % de especies de coníferas y superficie de bosque incendiada durante 1980-2000
Análisis desarrollados	Curvas de respuesta de la riqueza de especies de aves forestales frente a las variables independientes mediante Modelos Generalizados Aditivos univariantes El efecto de la composición y estructura del bosque a escala de paisaje se estudió en 2.923 cuadrículas UTM, mientras que el efecto de los incendios forestales en 509 cuadrículas UTM

[‡] Datos proporcionados por el *Institut Català d'Ornitologia*

* Datos proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

⁺ Datos obtenidos del *Departament de Medi Ambient i Habitatge (Generalitat de Catalunya)*

PUBLICACIÓN 7

Cambios en la estructura y diversidad de los bosques catalanes entre 1989 y 2001 evaluados a partir del inventario forestal nacional

Assu Gil-Tena, Santiago Saura, Iciar Alberdi y José Antonio Villanueva

Publicación: Rural & Forest (2008) - 9: 10-17

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	OBJETIVO 1
	OBJETIVO 2
ABORDADOS	OBJETIVO 3 X
	OBJETIVO 4
	OBJETIVO 5 X

DATOS BOSQUE

Fuente de datos	Segundo y Tercer Inventario Forestal Nacional* (muestreo de campo realizado en Cataluña en 1989-1991 y 2000-2001, respectivamente)
Escala	Cuadrículas UTM 10x10 km y a nivel de toda Cataluña
Tipo variables obtenidas	Variables descriptivas de la estructura y la diversidad de los bosques en el Segundo y Tercer Inventario Forestal Nacional, así como su variación entre inventarios

ANÁLISIS DE DATOS

Variables consideradas	<ul style="list-style-type: none">• Área basimétrica• Número de pies mayores por hectárea (diámetro normal superior o igual a 7,5 cm) y según diferentes clases diamétricas• Fracción de cabida cubierta arbolada• Altura dominante (altura media de los 100 pies más gruesos)• Diámetro normal medio y su desviación estándar• Porcentaje de frondosas• Diversidad y riqueza de especies arbóreas• Riqueza de taxones arbustivos y abundancia de arbustos• Densidad de regeneración• Espesor de la capa muerta• Porcentaje de parcelas con tratamientos de mejora del vuelo y con cortas de regeneración
Análisis realizados	Pruebas de comparación de medias (<i>t</i> -Test)

* Datos proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

DISCUSIÓN GENERAL

5. DISCUSIÓN GENERAL

Influencia de las características del bosque en la riqueza de especies de aves forestales a escala de paisaje

En general las características del bosque explicaron en buen grado la riqueza de especies de aves forestales a escala de paisaje: entre un 34% y un 53% de la varianza total explicada a escala 1x1 km (PUBLICACIÓN 1) y un 39% y un 62% a escala 10x10 km (PUBLICACIÓN 2). La disponibilidad de hábitat forestal fue el factor que se mostró como más determinante (PUBLICACIÓN 1, 2 y 3), tal y como ya se había observado en otros paisajes forestales, escalas y áreas de estudio (McGarigal & McComb 1995; Trzcinski et al. 1999; Villard et al. 1999; Westphal et al. 2003; Radford et al. 2005). En el presente trabajo se tuvo en cuenta de forma conjunta la disponibilidad de hábitat y las características estructurales del mismo mediante la consideración de la superficie de bosque según distintos umbrales de fracción de cabida cubierta (FCC). En este sentido, una dominancia de teselas forestales con una FCC excesiva (FCC superior al 70-80%) estuvo menos asociada con la riqueza de aves forestales y, por lo tanto, paisajes dominados únicamente por bosques muy cerrados albergarían un menor número de especies de aves forestales (PUBLICACIÓN 1 y 2). No obstante, se observó que a escala de paisaje sería fundamental una combinación de teselas de bosque en forma de un mosaico con diferentes FCC (pero por encima del 30%) para favorecer la diversidad de la avifauna forestal (PUBLICACIÓN 3). En este sentido, la existencia de heterogeneidad estructural en el dosel arbóreo (diferentes grados de apertura) es fundamental para el desarrollo de estratos inferiores como el arbustivo, estando éste asociado a muchas fases del ciclo vital de las aves forestales.

Adicionalmente a la disponibilidad de bosque y al grado de apertura del dosel arbóreo y su variabilidad a escala de paisaje, otras características de composición y estructura del bosque también influyeron significativamente en la riqueza de aves forestales. La importancia de un estado de desarrollo más avanzado dependió de la escala de estudio considerada; no se mostró determinante a escala 10x10 km (PUBLICACIÓN 2), pero a escala 1x1 km sí estuvo asociado positivamente con la riqueza de aves forestales (PUBLICACIÓN 1 y 3). Generalmente bosques con estados de desarrollo avanzados y estructuras más maduras suelen albergar un mayor número de especies de aves forestales (Hobson & Bayne 2000b; Jansson & Andrén 2003; Barbaro et al. 2005; Díaz 2006) y, en concreto, en la región estudiada la mayoría de las especies están asociadas a estados de desarrollo avanzados debido a su origen biogeográfico no mediterráneo (Blondel & Farré 1988; Suárez-Seoane et al. 2002). Sin embargo, esto no ocurre en todos los casos (Sallabanks et al. 2002; Archaux & Bakkaus 2007) y puede explicar en parte la falta de influencia del estado de desarrollo sobre la riqueza de aves forestales a escala 10x10

km. No obstante, puede que la variabilidad del factor estado de desarrollo esté altamente influenciada por la magnitud de la escala de estudio.

De acuerdo con la bibliografía consultada (Carrascal y Tellería 1990; Berg 1997; López & Moro 1997; Díaz et al. 1998; Hobson & Bayne 2000a; Santos et al. 2002; Díaz 2006), una mayor diversidad de especies arbóreas también se mostró como favorable para albergar un mayor número de especies de aves forestales (PUBLICACIÓN 1, 2 y 3) ya que son pocas las especies que ven reunidos todos sus requerimientos en masas boscosas conformadas por una única especie arbórea. No obstante, los resultados que se obtuvieron en el presente trabajo en referencia a la influencia del tipo de especies arbóreas en las aves forestales contribuyeron a aumentar la controversia observada en la bibliografía y no fueron concluyentes acerca del hipotético papel positivo de los bosques de frondosas (ver PUBLICACIÓN 1 y 2). Si bien a la escala más detallada (1x1 km) la abundancia de especies de coníferas en términos de cabida de bosque se relacionó negativamente a la riqueza de aves forestales especialistas (PUBLICACIÓN 1), a 10x10 km la asociación fue positiva tanto para especialistas como para generalistas (PUBLICACIÓN 2). Aparte del efecto del cambio de escala, la disparidad de resultados puede verse reflejada por la propia naturaleza de las variables dependientes (considerando especies de aves forestales especialistas o generalistas pero de requerimientos muy distintos) y también porque la curva de respuesta de la riqueza de aves forestales a la abundancia relativa de frondosas y coníferas fue no monótona y unimodal y alcanzó un máximo para una proporción próxima al 50% para los dos tipos de especies arbóreas, y tanto para las aves especialistas como para las generalistas (PUBLICACIÓN 6).

La escasa relación de las características de configuración del bosque con la riqueza de aves forestales a escala 10x10 km (PUBLICACIÓN 2) concuerda con estudios previos en los que también se observó una mayor relevancia de la composición del paisaje en comparación con la configuración del mismo (McGarigal & McComb 1995; Trzcinski et al. 1999; Radford et al. 2005; Betts et al. 2006). A pesar de esta débil influencia de la configuración del paisaje en términos generales, los paisajes con teselas de formas más irregulares estuvieron asociados a una mayor riqueza de aves forestales, tal y como ya se ha indicado en otros estudios que relacionaron índices de forma del paisaje y diferentes componentes de biodiversidad (p.ej. Moser et al. 2002; Saura et al. 2008), pudiéndose asociar esta irregularidad de formas del paisaje con un menor grado de influencia humana (Saura & Carballal 2004). Considerando la expansión del bosque y la homogeneización del paisaje forestal que se está produciendo en las últimas décadas debido principalmente al abandono rural, para albergar un mayor número de especies de aves forestales sería menos relevante una determinada configuración del bosque a escala de paisaje que una mayor disponibilidad de hábitat con unas determinadas características de composición y estructura. Sin embargo, no se puede descartar una mayor influencia de la

configuración del bosque en las aves forestales a otras escalas espaciales, especialmente en paisajes con un elevado nivel de fragmentación y una proporción de bosque baja (Andrén 1994; Radford et al. 2005; Betts et al. 2006).

Algunas de las principales características de composición y estructura del bosque que se asociaron a la riqueza de aves forestales (área de bosque según distintos umbrales de FCC o la diversidad de especies arbóreas forestales) se reafirmaron como importantes a ambas escalas (1x1 km y 10x10 km). No obstante, la influencia de algunos factores fue variable según la escala (estado de desarrollo y proporción de especies de coníferas) y el poder explicativo de los modelos fue mucho mayor para la escala 10x10 km, hecho que puede deberse a la mayor heterogeneidad y variabilidad en los datos a escala 1x1 km que a 10x10 km. Por lo tanto, ambas escalas, aunque no representan un continuo, son importantes para explicar la riqueza de aves forestales, sugiriendo que la selección de hábitat puede verse afectada por factores y procesos actuando a múltiples escalas, tal y como ya han indicado otros estudios sobre aves (Mitchell et al. 2001, 2006; Hagan & Meehan 2002; MacFaden & Capen 2002; Brennan & Schnell 2005).

Variabilidad espacial de las relaciones entre factores ambientales y la riqueza de especies de aves forestales a escala de paisaje

Al considerar la variabilidad espacial de la influencia de los factores ambientales en la riqueza de especies de aves forestales a escala de paisaje, los resultados muestran que los modelos que consideran procesos no estacionarios, como los del tipo *Geographically Weighted Regression* (GWR), mejoran los resultados obtenidos con métodos de regresión estándar (PUBLICACIÓN 3), tal y como ya se había observado previamente en otros estudios que analizaron factores determinantes de la distribución de aves (Foody 2004, 2005; Osborne et al. 2007).

Al considerar las relaciones entre las características del bosque y la riqueza de aves forestales mediante los modelos no estacionarios (GWR), los resultados obtenidos concuerdan en buen grado con los de la PUBLICACIÓN 1 en cuanto a las variables de composición y estructura del bosque más influyentes y, además, indican que los estados de desarrollo avanzados son particularmente determinantes en el noroeste de Cataluña, mientras que una elevada diversidad de especies arbóreas muestra su mayor influencia en el sur de la zona de estudio.

Aunque a la escala considerada (1x1 km) cabría esperar que el clima no tuviera un efecto tan directo o causal como las propias características de la vegetación en la distribución de las aves forestales (Seoane et al. 2004) y podría estar determinando la distribución de las especies a escalas biogeográficas mayores (González-Taboada et al. 2007), Ramírez y Tellería (2003)

observaron una tendencia negativa en la riqueza de aves forestales al aumentar la temperatura y xericidad dentro del sector Mediterráneo de la Península Ibérica. A su vez, en España los bosques más septentrionales, asociados a ambientes más húmedos y con una mayor cubierta boscosa, suelen ser los que presentan un mayor número de especies (Carrascal y Díaz 2003). Los resultados de la PUBLICACIÓN 3, al considerar la variabilidad espacial de las relaciones estudiadas, permitieron mostrar que la riqueza de especies estuvo positivamente relacionada con temperaturas de enero bajas y una elevada precipitación anual, especialmente en la zona sur de Cataluña donde estas asociaciones fueron más fuertes. Sería por tanto en esta zona donde el clima puede ser más limitante en un contexto de calentamiento climático y donde se pueden producir unos mayores impactos negativos del mismo sobre la diversidad de la avifauna forestal.

Asimismo, cabe destacar que en general los modelos que consideraron la variabilidad espacial (GWR) mostraron un mejor ajuste y una mayor asociación con determinadas variables en las zonas con un menor número de especies de aves forestales situadas en el sur de Cataluña (PUBLICACIÓN 3), indicando que los bosques más meridionales y con una menor diversidad de especies arbóreas y condiciones más xéricas presentan a su vez comunidades de avifauna forestal más empobrecidas. Además, el mejor ajuste de los modelos en las zonas con un menor número de especies de aves forestales quedó en parte reafirmado posteriormente al analizar el comportamiento de los errores residuales de los modelos y puso de manifiesto la necesidad de mejorar la aproximación analítica ya que hubo una fuerte dependencia espacial de la varianza residual (ver PUBLICACIÓN 3).

Influencia de la expansión y maduración del bosque en los cambios en la distribución de las aves forestales en los últimos 20 años del siglo XX

En un contexto de expansión o mantenimiento del área de distribución de la mayoría de las aves forestales en los últimos 20 años del siglo XX en Cataluña, los cambios en la distribución a escala 10x10 km estuvieron bastante influenciados por las propias dinámicas poblacionales de las especies a escalas mayores a la considerada, indicando procesos como la dispersión a escala regional (PUBLICACIÓN 4 y 5). Además, la colonización de algunas aves forestales especialistas estuvo en buena medida asociada a la distribución original (Atlas 1) de las mismas (PUBLICACIÓN 5).

No obstante, la expansión y maduración del bosque a nivel regional también influyeron en las dinámicas de distribución de las aves forestales (PUBLICACIÓN 4 y 5). Los cambios estructurales relacionados con la maduración del bosque a nivel regional fueron los más beneficiosos para la expansión o mantenimiento de las aves forestales, teniendo la expansión del

bosque a nivel regional una influencia también positiva pero secundaria en comparación con la maduración (PUBLICACIÓN 4). Ello se explicaría en buen grado por la mayor afinidad, anteriormente apuntada, de las aves forestales consideradas por los estados de desarrollo más avanzados debido a su origen biogeográfico no mediterráneo. La influencia de la maduración y expansión de los bosques en estas dinámicas de distribución de las aves forestales se presentó como mucho más determinante a escala regional (PUBLICACIÓN 4) y no tanto a una escala menor (10x10 km; PUBLICACIÓN 5). En este sentido, el presente trabajo establece un referente específico acerca de la escala a la que pueden influir la expansión y maduración del bosque debido al abandono rural en las dinámicas de distribución de las aves forestales.

Por otro lado, según los resultados obtenidos en la PUBLICACIÓN 5, la colonización de las aves forestales especialistas estaría indirectamente relacionada con el aumento y maduración de la superficie boscosa debido posiblemente a una mejora de la conectividad del bosque que facilitaría la dispersión de individuos desde las zonas de bosque con presencia de poblaciones abundantes y excedentes (*sources*) a otras cercanas que actuarían como sumidero (*sinks*).

Influencia de los incendios forestales y de la gestión forestal en los cambios en la distribución de las aves forestales en los últimos 20 años del siglo XX

Los incendios forestales ocurridos durante los últimos 20 años del siglo XX no tuvieron una influencia significativa en las dinámicas de distribución de las aves forestales a escala 10x10 km (PUBLICACIÓN 4 y 5) y únicamente se asociaron negativamente a la riqueza de aves forestales a una escala menor (1x1 km), particularmente para las aves forestales especialistas (PUBLICACIÓN 3 y 7). Estos resultados indican que es necesario considerar con cautela el posible efecto de los incendios sobre la distribución de las aves forestales dependiendo de la escala de estudio y del tipo de especies considerado. En este sentido, mientras que los incendios de baja intensidad y recurrencia pueden fomentar la heterogeneidad a escala de paisaje y favorecer a un mayor número de especies de aves forestales (Brotons et al. 2004), a escalas menores puede producirse una profunda alteración en las comunidades de aves forestales con un aumento de la proporción de especies menos asociadas a las características del bosque (Ukmar et al. 2007; Battisti et al. 2008). Por ello, el aumento de los incendios en los bosques Mediterráneos que se espera como resultado del cambio climático (Colombaroli et al. 2007; De Dios et al. 2007) puede llegar a alterar substancialmente las comunidades de avifauna forestal más allá de los impactos aquí detectados.

A la escala considerada (10x10 km) la gestión forestal no tuvo un efecto significativo en los cambios en la distribución de especies de aves forestales especialistas en expansión (PUBLICACIÓN 5). No obstante, no se puede descartar una influencia a escalas menores y

dependiendo de la intensidad de las prácticas selvícolas aplicadas y de los requerimientos ecológicos de las especies consideradas (Camprodon & Brotons 2006; De la Montaña et al. 2006). A este respecto se ha apuntado la necesidad de aplicar determinados tratamientos selvícolas con un intensidad moderada por sus beneficios para diferentes componentes de la biodiversidad forestal, especialmente en aquellas masas en las que su elevada densidad imposibilita la transición a estados más desarrollados y maduros e impide el establecimiento de una variedad de especies en los distintos estratos del bosque (Torras & Saura 2008).

Respuesta comparada de las aves forestales especialistas y generalistas a las características y dinámicas del bosque a escala de paisaje

En general las aves forestales especialistas se asociaron en mayor medida con la composición y estructura del paisaje forestal que las generalistas (PUBLICACIÓN 1, 2, 3 y 6), reflejando la mayor dependencia y sensibilidad de las primeras hacia las características del bosque (Mitchell et al. 2001; Caprio et al. 2009). Además, tal y como ya se ha apuntado anteriormente, los incendios forestales afectaron de forma más negativa a la riqueza de aves forestales especialistas (PUBLICACIÓN 3 y 6). No obstante, al considerar la variabilidad espacial de la influencia de los incendios, las aves forestales generalistas se asociaron negativamente a la superficie incendiada únicamente en la zona noreste de Cataluña (PUBLICACIÓN 3).

A pesar de que comparativamente las aves forestales especialistas estuvieron más fuertemente asociadas a las características de composición y estructura del bosque a escala 1x1 km y 10x10 km, no se encontraron diferencias significativas en la influencia de las dinámicas del bosque y los incendios en los cambios de distribución de las aves especialistas y generalistas a 10x10 km (PUBLICACIÓN 4). En este sentido, si bien se ha apuntado que las especies generalistas podrían sobrellevar mejor los efectos del cambio climático debido a que son más tolerantes a diferentes condiciones ambientales (Jiguet et al. 2007) y se verían menos afectadas por la fragmentación y la perturbación del hábitat (Devictor et al. 2008), en la región Mediterránea los impactos relativos de los procesos resultantes del cambio global según el grado de especialización se vieron atenuados por el bajo grado de especialización de las aves forestales comparado con otras regiones de Europa (ver PUBLICACIÓN 4). Además, cabe considerar que las dinámicas del bosque que se han producido en las últimas décadas del siglo XX (PUBLICACIÓN 4 y 7) serían favorables para la mayoría de las aves forestales consideradas independientemente de su grado de especialización.

Recomendaciones de gestión forestal sostenible en un contexto de cambio global en el Mediterráneo

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta tesis (PUBLICACIÓN 1, 2 y 3), para preservar una mayor riqueza de especies de aves forestales en Cataluña sería necesario aplicar una gestión forestal que promoviera a escala de paisaje teselas de bosque con diferentes grados de apertura del dosel arbóreo y sin una excesiva dominancia de bosques con una fracción de cabida cubierta muy elevada. La gestión forestal también debería favorecer una elevada diversidad de especies arbóreas forestales, con una presencia equilibrada de coníferas y frondosas, y estados de desarrollo avanzados, especialmente en el sur en el caso de la diversidad arbórea y en el noroeste en el caso del estado de desarrollo (PUBLICACIÓN 3).

De las recomendaciones anteriormente expuestas se desprende que la aplicación de una gestión forestal orientada únicamente a la producción intensiva de madera tendría efectos empobrecedores sobre la avifauna forestal, ya que en estos casos las masas suelen gestionarse como masas monoespecíficas con fracciones de cabida cubierta muy cerradas y turnos cortos. No obstante, la presencia de una pequeña proporción de masas de producción intensiva a escala de paisaje no sería incompatible con una suficiente diversidad de aves forestales, siempre que en el resto del paisaje estuvieran representadas otras tipologías y estructuras de masa con mayor capacidad de acogida intrínseca, y dentro del grado de heterogeneidad del paisaje que puede ser beneficioso para distintas especies. Por otro lado, la gestión forestal orientada a la obtención de otros productos no madereros del bosque podría ser más compatible con la riqueza de aves forestales, al propiciarse en mayor medida algunas de las características del bosque que se han mostrado favorables para dicha riqueza (ver p.ej. PUBLICACIÓN 1).

Para mejorar la diversidad de la avifauna forestal sería necesario aplicar una gestión forestal activa en muchas de las repoblaciones realizadas en España durante la segunda mitad del siglo XX, ya que éstas se caracterizan por ser masas con una única especie arbórea, con una excesiva fracción de cabida cubierta y con una elevada densidad de pies debido a la escasez de intervenciones desde el momento de su plantación o siembra. Asimismo, se deberían limitar las cortas por huroneo tan arraigadas en los bosques privados de la región ya que no favorecen la necesaria maduración del bosque y producen un empobrecimiento de las masas boscosas tanto desde el punto de vista económico como biológico. Además, teniendo en cuenta la mayor ocurrencia y extensión de los incendios forestales durante las últimas décadas del siglo XX en el Mediterráneo y la mayor incidencia prevista para las próximas décadas, en la zona de estudio se debería intentar conciliar las recomendaciones de gestión forestal anteriormente expuestas con las prácticas selvícolas orientadas a reducir el riesgo de incendio en las masas forestales, aplicando tratamientos de distinta intensidad y distribución espacial que a su vez fueran compatibles con una mayor diversidad de la avifauna forestal (Campronon & Brotons 2006).

Debido al diferente grado de respuesta de las aves forestales según su especialización a las características del bosque (PUBLICACIÓN 1, 2, 3 y 6), la gestión forestal debería integrarse con otros tipos de planificación del territorio para garantizar una adecuada conservación de la biodiversidad, particularmente en el caso de las aves forestales generalistas. Además, según la significación de los factores determinantes de la riqueza, distribución y dinámica de las aves forestales dependiendo de la escala espacial de estudio considerada (PUBLICACIÓN 1, 2, 3, 4, 5 y 6), y debido a que los procesos ecológicos no suceden a una única escala, sería necesario aplicar un enfoque multiescala en los planes de gestión ambiental y en el planeamiento forestal a escala regional.

Aunque la expansión y maduración del bosque asociados en buen grado al abandono rural se mostraron como favorables para el aumento o mantenimiento del área de distribución de la mayoría de las aves forestales en los últimos 20 años del siglo XX en Cataluña (PUBLICACIÓN 4 y 5), sería fundamental aplicar una gestión forestal activa para evitar una homogeneización excesiva del paisaje que pudiera comprometer la conservación de algunos componentes de la biodiversidad y al mismo tiempo contribuir a conseguir bosques y paisajes con estructuras más resistentes a los incendios forestales.

Frente a los esperados impactos negativos del cambio climático y según los resultados obtenidos en la PUBLICACIÓN 3, el calentamiento climático podría afectar negativamente la diversidad de aves forestales en Cataluña debido a la asociación positiva de dicha diversidad con elevadas precipitaciones y temperaturas bajas. No obstante, la importancia de la influencia de las características del paisaje forestal en la distribución de la riqueza de aves forestales sugiere que la gestión forestal podría ser efectiva para amortiguar los impactos negativos del cambio climático.

En este sentido, y a pesar de que los resultados obtenidos en la PUBLICACIÓN 2 indicaban que la gestión forestal a escala de paisaje debería centrarse en obtener una disponibilidad de hábitat y unas determinadas características de estructura de los bosques y en menor grado en la configuración del paisaje, sería también necesario una adecuada gestión de la conectividad del bosque dentro y entre los diferentes paisajes para favorecer la facilidad de respuesta de la biodiversidad forestal a las dinámicas del bosque resultantes del abandono rural y cambio climático. Para ello recientemente se han desarrollado metodologías y herramientas operativas orientadas a la gestión de la conectividad del bosque a escala de paisaje (Pascual-Hortal & Saura 2006; Saura & Torné 2009) que ya han sido aplicadas a algunas especies de aves forestales en la región de estudio (Saura & Pascual-Hortal 2007; Pascual-Hortal & Saura 2008a; Pascual-Hortal y Saura 2008b).

CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

1. A escala de paisaje la riqueza de especies de aves forestales en Cataluña se vio favorecida principalmente por la disponibilidad de teselas de bosque con diferentes grados de apertura del dosel arbóreo, evitando una excesiva dominancia de masas con fracción de cubierta muy elevada, y más débilmente por estados de desarrollo avanzados (particularmente en el noroeste) y una mezcla de especies arbóreas (sobre todo en el sur), mientras que la configuración del paisaje tuvo una influencia comparativamente menor. Por otro lado, los incendios forestales ocurridos durante el periodo 1980-2000 tuvieron un ligero impacto negativo sobre la riqueza de aves forestales.

2. En un contexto de expansión o mantenimiento del área de distribución de la mayoría de las aves forestales durante los últimos 20 años del siglo XX, la expansión y maduración del bosque a nivel regional asociadas principalmente al abandono rural parecen haber favorecido estas tendencias a escala de paisaje, contrarrestando los posibles efectos negativos de los incendios forestales.

3. La colonización de aves forestales especialistas en expansión durante los últimos 20 años del siglo XX no estuvo directamente asociada a la maduración y expansión del bosque que se produjo en las zonas colonizadas, sino de una forma más indirecta a los cambios en el hábitat producidos en localidades adyacentes a las mismas, respondiendo probablemente a dinámicas del tipo fuente-sumidero (*source-sink*) y a patrones de expansión de las especies relacionados con la conectividad de los paisajes analizados.

4. La riqueza de aves forestales especialistas estuvo más asociada a las características de composición y estructura del bosque que la de las aves generalistas y también se vio más afectada por la ocurrencia de incendios forestales. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre especialistas y generalistas en lo relativo a la influencia de las dinámicas del bosque y los incendios en los cambios de distribución.

5. En Cataluña la gestión forestal no mostró impactos negativos significativos ni parece estar relacionada con los cambios de distribución detectados en las aves forestales a escala de paisaje. Al contrario, la gestión forestal podría desempeñar un papel importante para conseguir las características del bosque que se mostraron como más propicias para fomentar una mayor diversidad de la avifauna forestal y contribuir de manera relevante a amortiguar los esperados impactos negativos del cambio global, evitando una excesiva homogeneización del paisaje que pudiera comprometer la conservación de algunos componentes de la biodiversidad.

6. Es necesaria una ampliación de las escalas tradicionalmente consideradas en la gestión forestal e incorporar criterios y herramientas propias de la ecología del paisaje, así como su

integración con otros tipos de planificación del territorio relacionados con la conservación de la biodiversidad a múltiples escalas.

7. El uso de bases de datos de biodiversidad y de caracterización ambiental que abarcan grandes áreas de estudio mostró su utilidad para obtener tendencias generales acerca de los efectos del estado y dinámicas de los bosques, para proporcionar recomendaciones de gestión forestal que preserven la avifauna forestal y para el futuro desarrollo de potenciales indicadores de biodiversidad forestal a escalas amplias.

8. Los factores determinantes de la riqueza, distribución y dinámica de las aves forestales deberían analizarse aplicando un enfoque multiescala y que considerara la variabilidad espacial de los procesos ecológicos para evitar inferencias erróneas o excesivamente generales que no fueran aplicables a toda la región de estudio.

9. Sería fundamental extender la metodología y análisis aquí realizados a otras zonas de estudio y grupos taxonómicos (p.ej. mamíferos forestales), así como ahondar en el estudio de las respuestas a nivel de especies individuales (considerando por ejemplo las especies más amenazadas o raras) o mediante otro tipo de clasificaciones ecológicas (a nivel de gremio). Del mismo modo, los resultados obtenidos apuntan el interés de incluir en futuros estudios variables independientes específicamente relacionadas con procesos ecológicos como la capacidad de dispersión y conectividad del hábitat de las especies u otros factores relacionados con la heterogeneidad, el mosaico agroforestal u otros estratos diferentes al arbóreo como el arbustivo.

10. Por último, se apunta la importancia de contemplar la influencia de las dinámicas y características del bosque sobre la biodiversidad forestal en futuros escenarios de cambio en relación con el abandono rural, los incendios y la gestión forestal, incluyendo el potencial gran impacto del cambio climático en los bosques de la cuenca Mediterránea.

BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA

Andrén, H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat - A review. *Oikos* 71: 355-366.

Archaux, F.; Bakkaus, N. 2007. Relative impact of stand structure, tree composition and climate on mountain bird communities. *Forest Ecology and Management* 247: 72-79.

Barbaro, L.; Pontcharraud, F.V.; Vetillard, F.; Guyon, D.; Jactel, H. 2005. Comparative responses of bird, carabid, and spider assemblages to stand and landscape diversity in maritime pine plantation forests. *Écoscience* 12: 110-121.

Battisti, C.; Ukmar, E.; Luiselli, L.; Bologna, M.A. 2008. Diversity/dominance diagrams show that fire disrupts the evenness in Mediterranean pinewood forest bird assemblages. *Community Ecology* 9: 107-113.

Berg, A. 1997. Diversity and abundance of birds in relation to forest fragmentation, habitat quality and heterogeneity. *Bird Study* 44: 355-366.

Betts, M.G.; Forbes, G.J.; Diamond, A.W.; Taylor, P.D. 2006. Independent effects of fragmentation on forest songbirds: An organism-based approach. *Ecological Applications* 16: 1076-1089.

Blondel, J.; Aronson, J. 1999. *Biology and wildlife of the Mediterranean region*. Oxford University Press, Oxford.

Blondel, J.; Farré, H. 1988. The convergent trajectories of bird communities along ecological successions in European forests. *Oecologia* 75: 83-93.

Bowen, M.E.; McAlpine, C.A.; House, A.P.N.; Smith, G.C. 2007. Regrowth forests on abandoned agricultural land: A review of their habitat values for recovering forest fauna. *Biological Conservation* 140: 273-296.

Brennan, S.P.; Schnell, G.D. 2005. Relationship between bird abundances and landscape characteristics: The influence of scale. *Environmental Monitoring and Assessment* 105: 209-228.

Brotons, L.; Herrando, S.; Martin, J.L. 2004. Bird assemblages in forest fragments within Mediterranean mosaics created by wild fires. *Landscape Ecology* 19: 663-675.

Brotons, L.; Herrando, S.; Pons, P. 2008. Wildfires and the expansion of threatened farmland birds: The ortolan bunting *Emberiza hortulana* in Mediterranean landscapes. *Journal of Applied Ecology* 45: 1059-1066.

Camprodon, J. 2001. Tratamientos forestales y conservación de la fauna vertebrada. En: Camprodon, J.; Plana, E. (eds), Conservación de la Biodiversidad y Gestión Forestal. Su Aplicación en la Fauna Vertebrada. Edicions Universitat de Barcelona, Barcelona, pp. 135-179.

Camprodon, J.; Brotons, L. 2006. Effects of undergrowth clearing on the bird communities of the Northwestern Mediterranean Coppice Holm oak forests. *Forest Ecology and Management* 221: 72-82.

Caprio, E.; Ellena, I.; Rolando, A. 2009. Assessing habitat/landscape predictors of bird diversity in managed deciduous forests: a seasonal and guild-based approach. *Biodiversity and Conservation*. doi: 10.1007/s10531-008-9478-1.

Carrascal, L.M.; Díaz L. 2003. Asociación entre distribución continental y regional. Análisis con la avifauna forestal y de medios arbolados de la península ibérica. *Graellsia* 59: 179-207.

Carrascal, L.M.; Tellería, J.L. 1990. Impacto de las repoblaciones de *Pinus radiata* sobre la avifauna forestal del Norte de España. *Ardeola* 37: 247-266.

Casals, V.; Pardo, F.; Xalabarder, M.; Postigo, J.M.; Gil, L. 2005. La transformación histórica del paisaje forestal en Cataluña. Tercer Inventario Forestal Nacional. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

Colombaroli, D.; Marchetto, A.; Tinner, W. 2007. Long-term interactions between Mediterranean climate, vegetation and fire regime at Lago di Massaciucoli (Tuscany, Italy). *Journal of Ecology* 95: 755-770.

Debussche, M.; Lepart, J.; Dervieux, A. 1999. Mediterranean landscape changes: evidence from old postcards. *Global Ecology and Biogeography* 8: 3-15.

De Dios, V.; Fischer, C.; Colinas, C. 2007. Climate change effects on mediterranean forests and preventive measures. *New Forests* 33: 29-40.

De la Montaña, E.; Rey-Benayas, J.M.; Carrascal, L.M. 2006. Response of bird communities to silvicultural thinning of Mediterranean maquis. *Journal of Applied Ecology* 43: 651-659.

Devictor, V.; Julliard, R.; Jiguet, F. 2008. Distribution of specialist and generalist species along spatial gradients of habitat disturbance and fragmentation. *Oikos* 117: 507-514.

Díaz, L. 2006. Influences of forest type and forest structure on bird communities in oak and pine woodlands in Spain. *Forest Ecology and Management* 223: 54-65.

Díaz, M.; Carbonell, R.; Santos, T.; Tellería, J.L. 1998. Breeding bird communities in pine plantations of the Spanish plateaux: biogeography, landscape and vegetation effects. *Journal of Applied Ecology* 35: 562-574.

Díaz-Delgado, R.; Lloret, F.; Pons, X. 2004. Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE, Spain. *Landscape Ecology* 19: 731-745.

Donald, P.F.; Fuller, R.J. 1998. Ornithological atlas data: a review of uses and limitations. *Bird Study* 45: 129-145.

Estrada, J.; Pedrocchi, V.; Brotons, L.; Herrando, S. (eds). 2004. *Atles dels Ocells Nidificants de Catalunya 1999-2002*. Institut Català d'Ornitologia (ICO)/Lynx Edicions, Barcelona.

Fabbio, G.; Merlo, M.; Tomic, V. 2003. Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe — the Mediterranean region. *Journal of Environmental Management* 67: 67-76.

Farina, A. 2006. *Principles and methods of landscape ecology: towards a science of the landscape*. Springer, The Netherlands.

Fearer, T.M.; Prisley, S.P.; Stauffer, D.F.; Keyser, P.D. 2007. A method for integrating the Breeding Bird Survey and Forest Inventory and Analysis databases to evaluate forest bird-habitat relationships at multiple spatial scales. *Forest Ecology and Management* 243: 128-143.

Foody, G.M. 2004. Spatial nonstationarity and scale-dependency in the relationship between species richness and environmental determinants for the sub-Saharan endemic avifauna. *Global Ecology and Biogeography* 13: 315-320.

Foody, G.M. 2005. Mapping the richness and composition of British breeding birds from coarse spatial resolution satellite sensor imagery. *International Journal of Remote Sensing* 26(18): 3943-3956.

Forman, R.T.T.; Godron, M. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley, New York.

González-Taboada, F.; Nores, C.; Álvarez, M.A. 2007. Breeding bird species richness in Spain: assessing diversity hypothesis at various scales. *Ecography* 30: 241-250.

Gracia, C.; Burriel, J.A.; Ibàñez, J.J.; Mata, T.; Vayreda, J. 2000-2004. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Obra completa*. CREAM, Bellaterra.

Gregory, R.D.; Vorisek, P.; Van Strien, A.; Gmelig Meyling, A.W.; Jiguet, F.; Fornasari, L.; Reif, J.; Chylarecki, P.; Burfield, I.J. 2007. Population trends of widespread woodland birds in Europe. *Ibis* 149: 78-97.

Hagan, J.M.; Meehan, A.L. 2002. The effectiveness of stand-level and landscape-level variables for explaining bird occurrence in an industrial forest. *Forest Science* 48: 231-242.

Herrando, S.; Brotons, L. 2002. Forest bird diversity in Mediterranean areas affected by wildfires: a multi-scale approach. *Ecography* 25: 161-172.

Hobson, K.A.; Bayne, E. 2000a. Breeding bird communities in boreal forest of western Canada: consequences of “unmixing” the mixedwoods. *Condor* 102: 759-769.

Hobson, K.A.; Bayne, E. 2000b. The effects of stand age on avian communities in aspen-dominated forests of central Saskatchewan, Canada. *Forest Ecology and Management* 136: 121-134.

IGBP. 2001. Global change and the Earth system: A planet under pressure. IGBP Science Series 4.

Jansson, G.; Andrén, H. 2003. Habitat composition and bird diversity in managed boreal forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 225-236.

Jiguet, F.; Gadot, A.S.; Julliard, R.; Newson, S.T.; Couvet, D. 2007. Climate envelope, life history traits and the resilience of birds facing global change. *Global Change Biology* 13: 1672-1684.

Laiolo, P. 2005. Spatial and seasonal patterns of bird communities in Italian agroecosystems. *Conservation Biology* 19: 1547-1556.

Leech, D.I.; Crick, H.Q.P. 2007. Influence of climate change on the abundance, distribution and phenology of woodland bird species in temperate regions. *Ibis* 149: 128-145.

Levins, R. 1969. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America* 15: 237-240.

Lindenmayer, D.B.; Margules, C.R.; Botkin, D.B. 2000. Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management. *Conservation Biology* 14: 941-950.

Loehle, C.; Wigley, T.B.; Rutzmoser, S.; Gerwin, J.A.; Keyser, P.D.; Lancia, R.A.; Reynolds, C.J.; Thill, R.E.; Weih, R.; White, D.; Wood, P.B. 2005. Managed forest landscape structure and avian species richness in the southeastern US. *Forest Ecology and Management* 214: 279-293.

López, G.; Moro, M.J. 1997. Birds of Aleppo pine plantations in south-east Spain in relation to vegetation composition and structure. *Journal of Applied Ecology* 34:1257-1272.

MacFaden, S.W.; Capen, D.E. 2002. Avian habitat relationships at multiple scales in a New England forest. *Forest Science* 48: 243-253.

Mcgarigal, K.; Mccomb, W.C. 1995. Relationships between landscape structure and breeding birds in the Oregon Coast Range. *Ecological Monographs* 65: 235-260.

Metzger, M.J.; Bunce, R.G.H.; Leemans, R.; Viner, D. 2008. Projected environmental shifts under climate change: European trends and regional impacts. *Environmental Conservation* 35: 64-75.

Ministerio de Medio de Medio Ambiente. 2006. Tercer Inventario Forestal Nacional. Lleida. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid.

Mitchell, M.S.; Lancia, R.A.; Gerwin, J.A. 2001. Using landscape-level data to predict the distribution of birds on a managed forest: effects of scale. *Ecological Applications* 11: 1692-1708.

Mitchell, M.S.; Reynolds-Hogland, M.J.; Smith, M.L.; Wood, P.B.; Beebe, J.A.; Keyser, P.D.; Loehle, C.; Reynolds, C.J.; Van Deusen, P.; White Jr, D. 2008. Projected long-term response of Southeastern birds to forest management. *Forest Ecology and Management* 256: 1884-1896.

Mitchell, M.S.; Rutzmoser, S.H.; Wigley, T.B.; Loehle, C.; Gerwin, J.A.; Keyser, P.D.; Lancia, R.A.; Perry, R.W.; Reynolds, C.J.; Thill, R.E.; Weih, R.; White, D.; Wood, P.B. 2006. Relationships between avian richness and landscape structure at multiple scales using multiple landscapes. *Forest Ecology and Management* 221: 155-169.

Moreira, F.; Ferreira, P.G.; Rego, F.C.; Bunting, S. 2001. Landscape changes and breeding bird assemblages in northwestern Portugal: the role of fire. *Landscape Ecology* 16: 175-187.

Moreira, F.; Russo, D. 2007. Modelling the impact of agricultural abandonment and wildfires on vertebrate diversity in Mediterranean Europe. *Landscape Ecology* 22: 1461-1476.

Moser, D.; Zechmeister, H.G.; Plutzer, C.; Sauberer, N.; Wrбка, T.; Grabherr, G. 2002. Landscape patch shape complexity as an effective measure for plant species richness in rural landscapes. *Landscape Ecology* 17: 657-669.

Mouillot, F.; Field, C.B. 2005. Fire history and the global carbon budget: A $1^\circ \times 1^\circ$ fire history reconstruction for the 20th century. *Global Change Biology* 11: 398-420.

Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Da Fonseca, G.A.B.; Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.

Noss, R.F. 1999. Assessing and monitoring forest biodiversity: A suggested framework and indicators. *Forest Ecology and Management* 115(2-3): 135-146.

Osborne, P.E.; Foody, G.M.; Suárez-Seoane, S. 2007. Non-stationarity and local approaches to modelling the distributions of wildlife. *Diversity and Distributions* 13: 313-323.

Pascual-Hortal, L. 2008. Metodología para la integración de la conectividad ecológica en la planificación del paisaje mediante estructuras de grafos e índices de disponibilidad de hábitat. Aplicación a la conservación de la fauna forestal. Santiago Saura. Tesis doctoral. Universitat de Lleida.

Pascual-Hortal, L.; Saura, S. 2006. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: Towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology* 21: 959-967.

Pascual-Hortal, L.; Saura, S. 2008a. Integrating landscape connectivity in broad-scale forest planning through a new graph-based habitat availability methodology: Application to capercaillie (*Tetrao urogallus*) in Catalonia (NE Spain). *European Journal of Forest Research* 127: 23-31.

Pascual-Hortal, L.; Saura, S. 2008b. Integración de la conectividad ecológica de los bosques en los instrumentos de planificación forestal a escala comarcal y regional: propuesta metodológica y nueva herramienta de decisión. *Montes, Revista de Ámbito Forestal* 94: 31-37.

Poyatos, R.; Latron, J.; Llorens, P. 2003. Land use and land cover change after agricultural abandonment: The case of a Mediterranean Mountain area (Catalan Pre-Pyrenees). *Mountain Research and Development* 23: 362-368.

Preiss, E.; Martin, J.L.; Debussche, M. 1997. Rural depopulation and recent landscape changes in a Mediterranean region: Consequences to the breeding avifauna. *Landscape Ecology* 12: 51-61.

Pulliam, H.R. 1988. Sources, sinks and population regulation. *American Naturalist* 132: 652-661.

Radford, J.Q.; Bennett, A.F.; Cheers, G.J. 2005. Landscape-level thresholds of habitat cover for woodland-dependent birds. *Biological Conservation* 124: 317-337.

Ramírez, A.; Tellería, J.L. 2003. Efectos geográficos y ambientales sobre la distribución de las aves forestales ibéricas. *Graellsia* 59(2-3): 219-231.

Reif, J.; Vorisek, P.; Stastny, K.; Bejcek, V.; Petr, J. 2007. Population increase of forest birds in the Czech Republic between 1982 and 2003. *Bird Study* 54: 248-255.

Rodewald, A.D.; Yahner, R.H. 2001. Influence of landscape composition on avian community structure and associated mechanisms. *Ecology* 82: 3493-3504.

Roura-Pascual, N.; Pons, P.; Etienne, M.; Lambert, B. 2005. Transformation of a rural landscape in the Eastern Pyrenees between 1953 and 2000. *Mountain Research and Development* 25: 252-261.

Sallabanks, R.; Riggs, R.A.; Cobb, L.E. 2002. Bird use of forest structural classes in grand fir forests of the Blue Mountains, Oregon. *Forest Science* 48: 311-321.

Santos, T.; Tellería, J.L.; Carbonell, R. 2002. Bird conservation in fragmented Mediterranean forests of Spain: effects of geographical location, habitat landscape degradation. *Biological Conservation* 105: 113-125.

Saura, S.; Carballal, P. 2004. Discrimination of native and exotic forest patterns through shape irregularity indices: An analysis in the landscapes of Galicia, Spain. *Landscape Ecology* 19: 647-662.

Saura, S.; Pascual-Hortal, L. 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* 83: 91-103.

Saura, S.; Torné, J. 2009. Conefor Sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling Software* 24: 135-139.

Saura, S.; Torras, O.; Gil-Tena, A.; Pascual-Hortal, L. 2008. Shape irregularity as indicator of forest biodiversity and guidelines for metric selection. En: Laforteza, R.; Chen, J.; Sanesi, G.; Crow, T.R. (eds), *Patterns and Processes in Forest Landscapes: Multiple Use and Sustainable Management*. Springer, pp. 167-190.

Scarascia-Mugnozza, G.; Oswald, H.; Piussi, P.; Radoglou, K. 2000. Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management* 132: 97-109.

Sekercioglu, C.H. 2006. Increasing awareness of avian ecological function. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 464-471.

Seoane, J.; Bustamante, J.; Díaz-Delgado, R. 2004. Competing roles for landscape, vegetation, topography and climate in predictive models of bird distribution. *Ecological Modelling* 171: 209-222.

Seoane, J.; Carrascal, L.M. 2008. Interspecific differences in population trends of Spanish birds are related to habitat and climatic preferences. *Global Ecology and Biogeography* 17: 111-121.

Sirami, C.; Brotons, L.; Burfield, I.; Fonderflick, J.; Martin, J.L. 2007a. Is land abandonment having an impact on biodiversity? A meta-analytical approach to bird distribution changes in the north-western Mediterranean. *Biological Conservation* 141: 450-459.

Sirami, C.; Brotons, L.; Martin, J.L. 2007b. Vegetation and songbird response to land abandonment: from landscape to census plot. *Diversity and Distributions* 13: 42-52.

Suárez-Seoane, S.; Osborne, P.E.; Baudry, J. 2002. Responses of birds of different biogeographic origins and habitat requirements to agricultural land abandonment in northern Spain. *Biological Conservation* 105: 333-344.

Taylor, P.D.; Fahrig, L.; Henein, K.; Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68(3): 571-573.

Tellería, J.L.; Santos, T. 1999. Distribution of birds in fragments of Mediterranean forests: the role of ecological densities. *Ecography* 22: 13-19.

Terradas, J.; Gracia, C.; Àvila, A.; Ibàñez, J.J.; Espelta, J.M.; Vayreda, J. 2004. Els boscos de Catalunya. Estructura, dinàmica i funcionament. Documents dels Quaderns de Medi Ambient, 11. Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya, Barcelona.

Torras, O.; Saura, S. 2008. Effects of silvicultural treatments on forest biodiversity indicators in the Mediterranean. *Forest Ecology and Management* 255: 3322-3330.

Trzcinski, M.K.; Fahrig, L.; Merriam, G. 1999. Independent effects of forest cover and fragmentation on the distribution of forest breeding birds. *Ecological Applications* 9: 586-593.

Turner, M.G. 2005. LANDSCAPE ECOLOGY: What is the state of the science? *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 36: 319-44.

Ukmar E.; Battisti, C.; Luiselli, L.; Bologna, M.A. 2007. The effects of fire on communities, guilds and species of breeding birds in burnt and control pinewoods in central Italy. *Biodiversity and Conservation* 16: 3287-3300.

Vallecillo, S.; Brotons, L.; Herrando, S. 2008. Assessing the response of open-habitat bird species to landscape changes in Mediterranean mosaics. *Biodiversity and Conservation* 17: 103-119.

Villard, M.A.; Trzcinski, M.K.; Merriam, G. 1999. Fragmentation effects on forest birds: Relative influence of woodland cover and configuration on landscape occupancy. *Conservation Biology* 13: 774-783.

Viñas, O.; Baulies, X. 1995. 1:250,000 land-use map of Catalonia (32,000 km²) using multi-temporal Landsat-TM data. *International Journal of Remote Sensing* 16: 129-146.

Warren, T.L.; Betts, M.G.; Diamond, A.W.; Forbes, G.J. 2005. The influence of local habitat and landscape composition on cavity-nesting birds in a forested mosaic. *Forest Ecology and Management* 214: 331-343.

Westphal, M.I.; Field, S.A.; Tyre, A.J.; Paton, D.; Possingham, H.P. 2003. Effects of landscape pattern on bird species distribution in the Mt. Lofty Ranges. South Australia. *Landscape Ecology* 18: 413-426.

Wigley, T.B.; Roberts, T.H. 1997. Landscape-level effects of forest management on faunal diversity in bottomland hardwoods. *Forest Ecology and Management* 90: 141-154.

Yamaura, Y.; Katoh, K.; Fujita, G.; Higuchi, H. 2005. The effect of landscape contexts on wintering bird communities in rural Japan. *Forest Ecology and Management* 216: 187-200.

