



Foto 1.- Barranco de Caranys (Trep, Lleida)

Integración de la conectividad ecológica de los bosques en los instrumentos de planificación forestal a escala comarcal y regional

Lucía Pascual Hortal¹ y Santiago Saura Martínez de Toda²

¹Ingeniera de Montes, Doctoranda.

lpascual@eagrof.udl.es

²Dr. Ingeniero de Montes, Profesor Titular de Inventario y Ordenación de Montes. Universidad de Lleida, ETSEA, Dpto. Ingeniería Agroforestal. *ssaura@eagrof.udl.es*

RESUMEN

La conectividad de los hábitats forestales es clave para la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de nuestros bosques, a pesar de lo cual hay todavía una notable carencia de métodos prácticos para incorporar estos criterios en la planificación forestal a escalas amplias. Aquí describimos una nueva metodología desarrollada en el marco del proyecto Conefor, que permite la integración efectiva de la conectividad ecológica en los nuevos instrumentos de ordenación forestal a escala comarcal. Basada en el uso combinado de SIG, grafos e índices de disponibilidad de hábitat, la metodología propuesta se ha implementado en el programa informático Conefor Sensinode 2.2, para facilitar y hacer operativa la toma de decisiones en este ámbito.

1.- INTRODUCCIÓN

La conectividad ecológica y los nuevos instrumentos de planificación forestal

El gran desarrollo de la ecología de paisaje en los últimos años proporciona nuevas perspectivas y herramientas para el análisis y la planificación territorial, que no han sido suficientemente exploradas ni aprovechadas hasta la fecha en el ámbito forestal. Progresivamente se va tomando conciencia de la necesidad de ampliar las escalas tradicionalmente consideradas en la ordenación forestal, así como de integrar en la misma consideraciones ecológicas y espaciales que no son abordables únicamente a escala de monte, por operar en ámbitos territoriales mucho más amplios y mostrar complejas interrelaciones espaciales que determinan muchas de las funciones ecológicas de nuestros bosques (ROCHELLE *et al.*, 1999).

En este contexto, uno de los aspectos clave que debe tenerse en cuenta en una planificación forestal multifuncional es la conectividad ecológica del paisaje forestal, que determina la facilidad o dificultad que tienen las especies forestales para moverse de unos puntos a otros del bosque presente en un determinado territorio. No en vano, en la resolución cuarta de la Cuarta Conferencia Ministerial de Viena sobre la Protección de los Bosques en Europa (2003), los Estados Miembros se comprometen a «prevenir y reducir las pérdidas de biodiversidad forestal debidas a la fragmentación y la conversión a otros usos y mantener y establecer la conectividad ecológica, donde resulte apropiado».

En este sentido, los planes o estrategias forestales a nivel autonómico o regional y, sobre todo, los recientes Planes de Ordenación de los Recursos Forestales (PORF), representan un excelente instrumento y oportunidad para integrar las consideraciones relativas a la conectividad del paisaje en la planificación y ordenación forestal.

El proyecto Conefor

Sin embargo, a pesar de las prioridades y demandas actuales, en la práctica se carece de procedimientos útiles que permitan incorporar criterios de conectividad de forma adecuada y operativa en la toma de decisiones relativa a la planificación forestal.

En este contexto, el proyecto de investigación Conefor (REN2003-01628, Plan Nacional I+D+I) ha desarrollado una metodología de análisis de la conectividad y ha proporcionado herramientas objetivas y cuantitativas de evaluación y decisión orientadas a identificar y priorizar las zonas de bosque más críticas para el mantenimiento de la conectividad. Ello presenta importantes implicaciones para la regulación de usos y la asignación de funciones en el territorio fo-

restal, al permitir evaluar y modular la aplicación de medidas concretas de gestión forestal en diferentes zonas en función de sus efectos sobre la conectividad del conjunto del paisaje forestal. La propuesta metodológica (Fig. 1), basada en el uso combinado de SIG y grafos, supera limitaciones de otros enfoques adoptados previamente en este ámbito, y está orientada a su utilización por parte de gestores y administraciones mediante el programa informático Conefor Sensinode 2.2, aplicación sencilla de usar en la que se han implementado los desarrollos del proyecto.

2. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA CONECTIVIDAD Y LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE BOSQUE CRÍTICAS PARA SU MANTENIMIENTO

Conectividad funcional: un análisis basado en la capacidad dispersiva de las especies

Las especies animales presentan distintas capacidades de dispersión o movimiento a través del territorio,

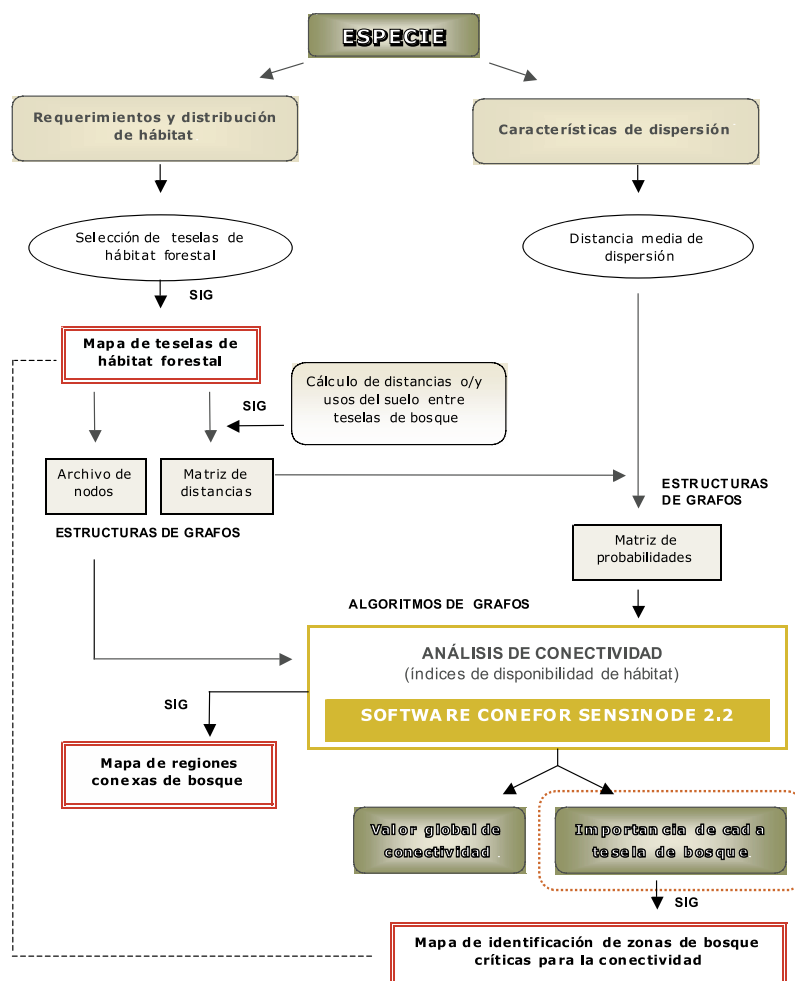


Figura 1.- Esquema de la metodología de análisis de conectividad propuesta y de los datos de entrada y resultados obtenidos. Las teselas (nodos) pueden ser también otras unidades de bosque tales como píxeles, rodales, tramos o montes completos, dependiendo del nivel de detalle y de los objetivos del análisis

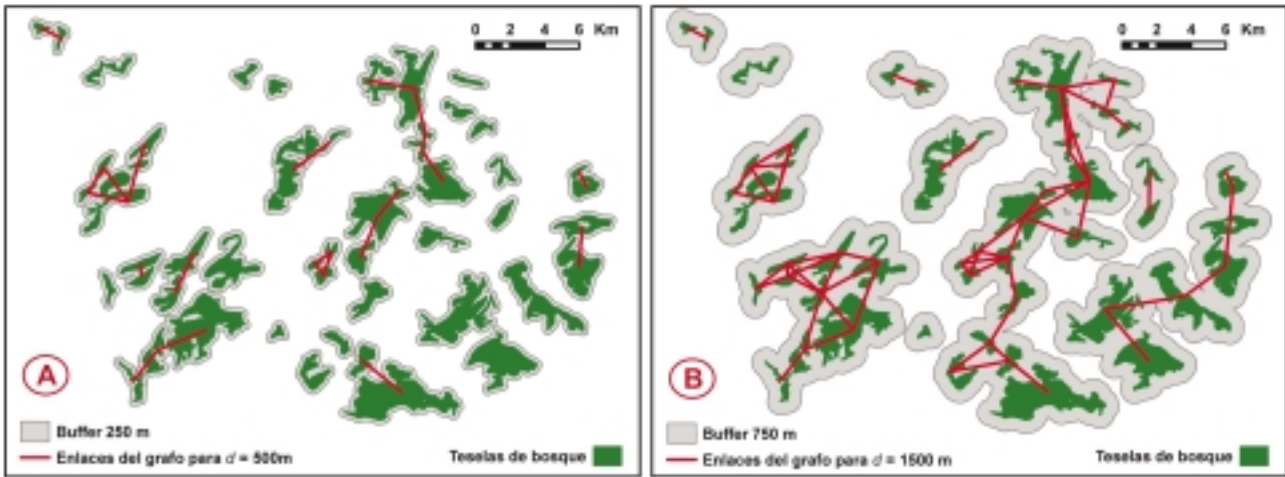


Figura 2.- Un mismo mosaico de teselas de bosque puede ser percibido como más o menos conexo según la distancia de dispersión (d) de cada especie. Para $d=500$ m (A) tenemos 23 enlaces (conexiones) y el paisaje funcionalmente fragmentado en 30 componentes (regiones conexas); mientras que para $d=1500$ m (B) el paisaje presenta más conexiones (62) y las teselas están ya agrupadas en solo 10 regiones conexas

que determinan que un mismo paisaje forestal pueda ser percibido como funcionalmente conexo para una especie con gran movilidad pero en cambio como altamente fragmentado para otra con capacidades de dispersión más limitadas (Fig. 2). Por ello, es necesario tener en cuenta que la conectividad de los bosques no es un aspecto únicamente estructural sino también funcional y dependiente de las especies consideradas y de las distancias de dispersión alcanzadas por las mismas.

Por tanto, un análisis de conectividad se centra habitualmente en una o pocas especies forestales (o grupos de especies funcionalmente similares), las más amenazadas, emblemáticas o bioindicadoras en la región forestal analizada, para las cuales es necesario contar con una estimación de sus distancias de dispersión habituales.

Los grafos como herramientas de análisis de la conectividad

Los grafos son estructuras matemáticas compuestas por un conjunto de nodos y enlaces que han sido ampliamente desarrolladas y utilizadas en otros ámbitos científico-técnicos (redes de información, transporte, química molecular, redes sociales, etc.), pero en menor grado y sólo más recientemente en el ámbito forestal y de la ecología del paisaje (URBAN y KEITT, 2001; PASCUAL-HORTAL y SAURA, 2006a, 2006b).

En el caso que nos ocupa, un grafo se utiliza para representar el conjunto del paisaje forestal y las relaciones topológicas que existen en el mismo, de manera que cada tesela o unidad diferenciada de bosque en el territorio queda representada por un nodo, mientras que dos nodos pueden estar o no conectados funcionalmente mediante un enlace (lo que implica la posibilidad de dispersión directa entre esas dos teselas). Tanto los nodos como los enlaces pueden contener atributos

descriptivos; en el caso de las teselas (nodos) habitualmente son el área de bosque, la calidad del hábitat o una combinación de ambas; y en el caso de los enlaces, la facilidad o probabilidad de dispersión entre dos teselas determinadas, generalmente estimada a partir de la distancia y/o usos del suelo existentes entre las mismas.

Esta representación del paisaje forestal y de sus vínculos funcionales mediante estructuras de grafos permite: considerar amplias extensiones de territorio y un gran número de nodos en el análisis (como es necesario dadas las escalas en las que operan estos procesos ecológicos); reflejar la compleja e intrincada red de conexiones que pueda existir entre ellos; y realizar potentes análisis de la conectividad, gracias a la eficiencia y depuración de los algoritmos desarrollados en el ámbito de la teoría de grafos, superando limitaciones de otros enfoques basados únicamente en las estructuras de datos típicas de los SIG.

Identificación de zonas de bosque críticas para la conectividad: la disponibilidad de hábitat y el índice PC

Son muchos los índices que se han propuesto y utilizado para caracterizar y analizar la conectividad del paisaje (CALABRESE y FAGAN, 2004). Sin embargo, sus propiedades y rendimiento no han sido suficientemente evaluados y contrastados hasta la fecha, en especial en lo referido a su adecuación para la toma de decisiones y la planificación forestal y territorial. De hecho, estudios específicos recientes han puesto de manifiesto que muchos de los índices disponibles presentan serias limitaciones a este respecto, y que son los nuevos índices desarrollados bajo el concepto de disponibilidad de hábitat los que permiten incorporar con éxito estas consideraciones en la toma de decisiones (PASCUAL-HORTAL y SAURA, 2006a).

Los índices de disponibilidad de hábitat en los que se basa la metodología propuesta (Fig. 1), integran las características intrínsecas de las teselas (e.g. superficie de bosque y relaciones topológicas entre ellas -conexiones-) en una sola medida. En concreto, el índice de la probabilidad de conectividad (PC) (SAURA y PASCUAL-HORTAL 2007), que parte de la caracterización de la probabilidad de dispersión directa entre cada par de teselas, mejora las características y rendimientos de otros índices disponibles anteriormente, al ser sensible de manera consistente a todos los tipos de cambios que pueden afectar a la conectividad y disponibilidad del hábitat forestal, y ser capaz de identificar adecuadamente los elementos del paisaje (teselas, corredores) más críticos para el mantenimiento de la conectividad global de los bosques. El índice PC tiene un rango de variación teórico de 0 a 1 y se define como la probabilidad de que dos organismos situados al azar en el paisaje queden situados en zonas de hábitat forestal que estén interconectadas, es decir, de que sean capaces de encontrarse dado el mosaico de teselas de bosque y las conexiones existentes entre ellas.

Cálculo de la importancia de cada tesela forestal para la conectividad global del paisaje

La toma de decisiones en este ámbito requiere contar con una evaluación de la importancia de cada tesela de bosque para el mantenimiento de la conectividad global, que es precisamente la principal aportación de la metodología y el programa informático desarrollado (Fig. 1).

Esta importancia se obtiene calculando el índice PC para todo el paisaje completo (valor global actual) y recalculándolo nuevamente para un paisaje en el que hubiera desaparecido una de las teselas de bosque (repetiendo esta operación para cada una de las teselas de bosque en el territorio analizado), de manera que la importancia de esa tesela se cuantifica como la disminución porcentual que se produciría en el índice PC, de no estar esa unidad de bosque presente en el territorio. Ello permite priorizar e identificar las teselas de bosque más críticas para el mantenimiento de la conectividad ecológica; es decir, aquéllas en las que la pérdida o deterioro del bosque se traduciría en mayor medida en un impacto negativo sobre la conectividad del conjunto.

De esta manera, se pueden integrar estas consideraciones en la regulación de usos y la asignación de funciones en la ordenación y planificación forestal, orientando las medidas de gestión forestal que se pueden o deben aplicar en cada unidad (especialmente en aquellas zonas más críticas).

3.- CONEFOR SENSINODE 2.2: PROGRAMA INFORMÁTICO PARA EL ANÁLISIS DE LA CONECTIVIDAD

La metodología descrita se ha implementado en el programa informático Conefor Sensinode 2.2 (Fig. 3), desarrollado por Josep Torné y Santiago Saura en la Uni-

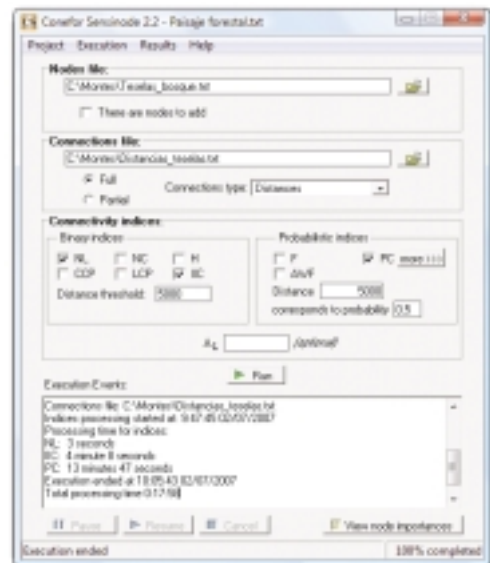


Figura 3.- Pantalla principal del programa informático Conefor Sensinode 2.2

versidad de Lleida, tras modificar, ampliar y mejorar considerablemente las prestaciones de la versión 1.0 del programa Sensinode desarrollada por Dean Urban (Universidad de Duke, EE.UU.).

El programa funciona bajo el sistema operativo Windows, es sencillo de usar y se distribuye gratuitamente para usos no comerciales, pudiendo descargarse junto con el manual de usuario directamente de: <http://www.udl.es/usuarios/saura/cs22.htm>.

Para su manejo únicamente es necesario tener unos conocimientos básicos de SIG que permitan generar los archivos de entrada que requiere el programa (archivos de nodos y distancias, Fig. 1 y 3), así como visualizar en el propio SIG los resultados que proporciona (importancia de cada una de las teselas para la conectividad del conjunto y otros resultados), y eventualmente combinar esos resultados con otras capas de información. Los formatos de entrada y salida del programa son estándar y en formatos abiertos, fáciles de generar, importar y modificar en otros programas informáticos.

4.- EJEMPLO DE APLICACIÓN: ENCLAVES DE CONSERVACIÓN PRIORITARIA PARA EL MANTENIMIENTO DE LA CONECTIVIDAD DEL BOSQUE PARA EL UROGALLO EN CATALUÑA

Para ilustrar la aplicación del método se analizó la conectividad del hábitat del urogallo (*Tetrao urogallus aquitanicus*) en Cataluña, especie bioindicadora y en peligro de extinción en esta región debido principalmente a la alteración de la estructura espacial de su hábitat (pérdida de superficie, fragmentación y aparición de núcleos poblacionales funcionalmente aislados), compuesto principalmente de bosques del piso altimontano y subalpino de *Pinus uncinata* y, en menor medida, de *Pinus sylvestris*, *Abies Alba* y *Fagus sylvatica*. Para mejorar el estado de conservación de la especie es ne-

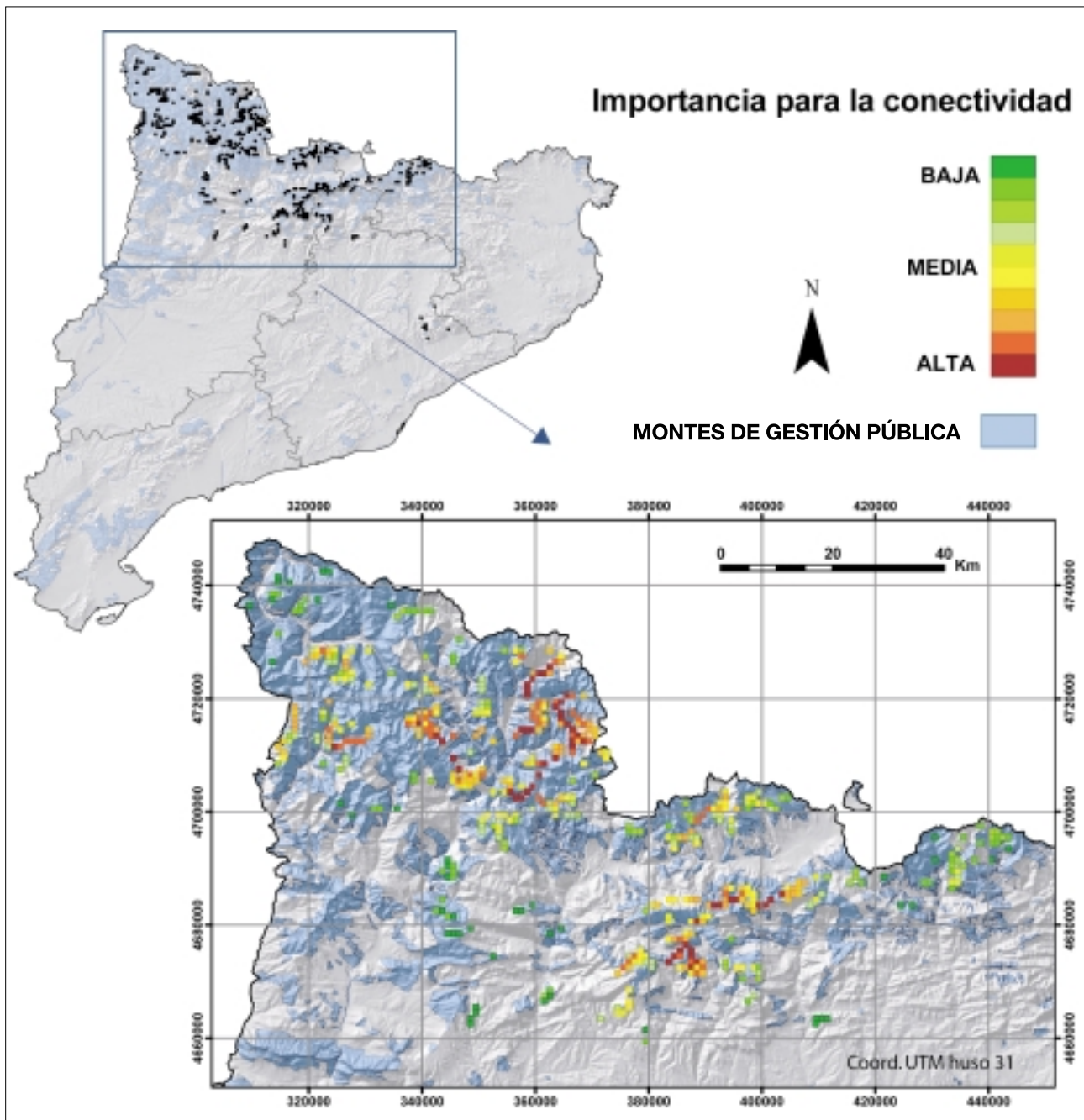


Figura 4.- Distribución del hábitat del urogallo en Cataluña (arriba) y resultados de la importancia de cada tesela de bosque (cuadrícula 1 x 1 km) para la conectividad global según el índice PC (abajo). Se muestran también de fondo los montes gestionados por el Dpto. de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña (Montes de Utilidad Pública y otros)

cesario mantener (y en algunos casos recuperar) la conexión entre las poblaciones, de manera que se minimice la mortalidad y se favorezca la dispersión de los individuos.

Para ello se identificaron las zonas de hábitat del urogallo a partir de los mapas de abundancia del Atlas de las Aves Nidificantes de Cataluña (ESTRADA et al., 2004), seleccionándose como hábitat aquellas zonas de bosque con una probabilidad de aparición de esta especie de al menos 0,2.

Dada la estructura de la información en este atlas (celdas UTM 1 x 1 km), los nodos o teselas a analizar fueron cada una de las 522 cuadrículas 1 x 1 km resultantes (Fig. 4), utilizándose como atributo de las mismas la probabilidad de aparición, considerada como una medida de la calidad del hábitat forestal. La distancia de dispersión media para esta especie, obtenida a partir de datos de radiomarcaje (HJELJORD et al., 2000), se fijó en 2,3 km.

Tras procesar esta información en el SIG y en el Conector Sensinode 2.2, se obtuvieron los resultados relati-



Expobioenergía.08

16.17.18/10/2008 Valladolid // Spain

Feria Internacional de Bioenergía

El mayor evento profesional del sector de la bioenergía en Europa.

ACTIVIDADES DESTACADAS

Feria

Visitas profesionales

II Workshop Bioenergía Activa

III Congreso Internacional de Bioenergía

➤ ACREDITACIÓN ONLINE GRATUITA

www.expobioenergia.com

ORGANIZADO POR



PATROCINADA POR



COLABORA



ASOCIADO A



vos a la contribución de cada una de las teselas a la conectividad del hábitat forestal de acuerdo al índice PC (Fig. 4), y se identificaron los montes públicos más importantes para el mantenimiento de la conectividad de los bosque para el urogallo, destacando el monte «Obaga i Solana» en Areu (Fig. 5).

En estas zonas de bosque y montes críticos debería aplicarse una gestión forestal adecuada para la conservación del hábitat del urogallo, por su alto impacto potencial en la conectividad global del paisaje. Ello consiste principalmente en aplicar tratamientos encaminados a conseguir una alta heterogeneidad espacial y masas irregulares en las que se facilite la regeneración natural, aplicando si es necesario cortas a hecho para crear ecotonos y pequeños claros (del orden de 0,5 ha). Asimismo, se debe evitar una fracción de cubierta excesiva (con un objetivo del orden del 50%) y favorecer la presencia de rodales y pies maduros y gruesos, así como un sotobosque herbáceo y arbustivo abundante (en especial el arándano), realizando los tratamientos forestales preferiblemente de septiembre a noviembre (CANUT, 2001).

5.- CONCLUSIONES

La metodología e índices de disponibilidad de hábitat desarrollados constituyen una aportación relevante para dar respuesta a las necesidades actuales de integrar la conectividad del paisaje en la planificación y ordenación forestal en escalas amplias. El programa informático Conefor Sensinode 2.2 se presenta como una herramienta cuantitativa orientada a la toma de decisiones al alcance del gestor, que facilita la incorporación de estas consideraciones en los Planes de Ordenación de los Recursos Forestales y otras figuras de planificación, así como en la delimitación e identificación de montes de especial interés para su potencial inclusión en las redes de espacios protegidos. A través de un ejemplo para el urogallo se ha mostrado el potencial y el tipo de aplicaciones en las que esta metodología puede ofrecer resultados prácticos y operativos. Todo ello se enmarca dentro de un contexto de nuevos planteamientos y demandas sobre los recursos forestales en el que es necesario ofrecer respuestas innovadoras por parte de científicos y gestores vinculados a la planificación y ordenación de nuestros bosques. 🌲



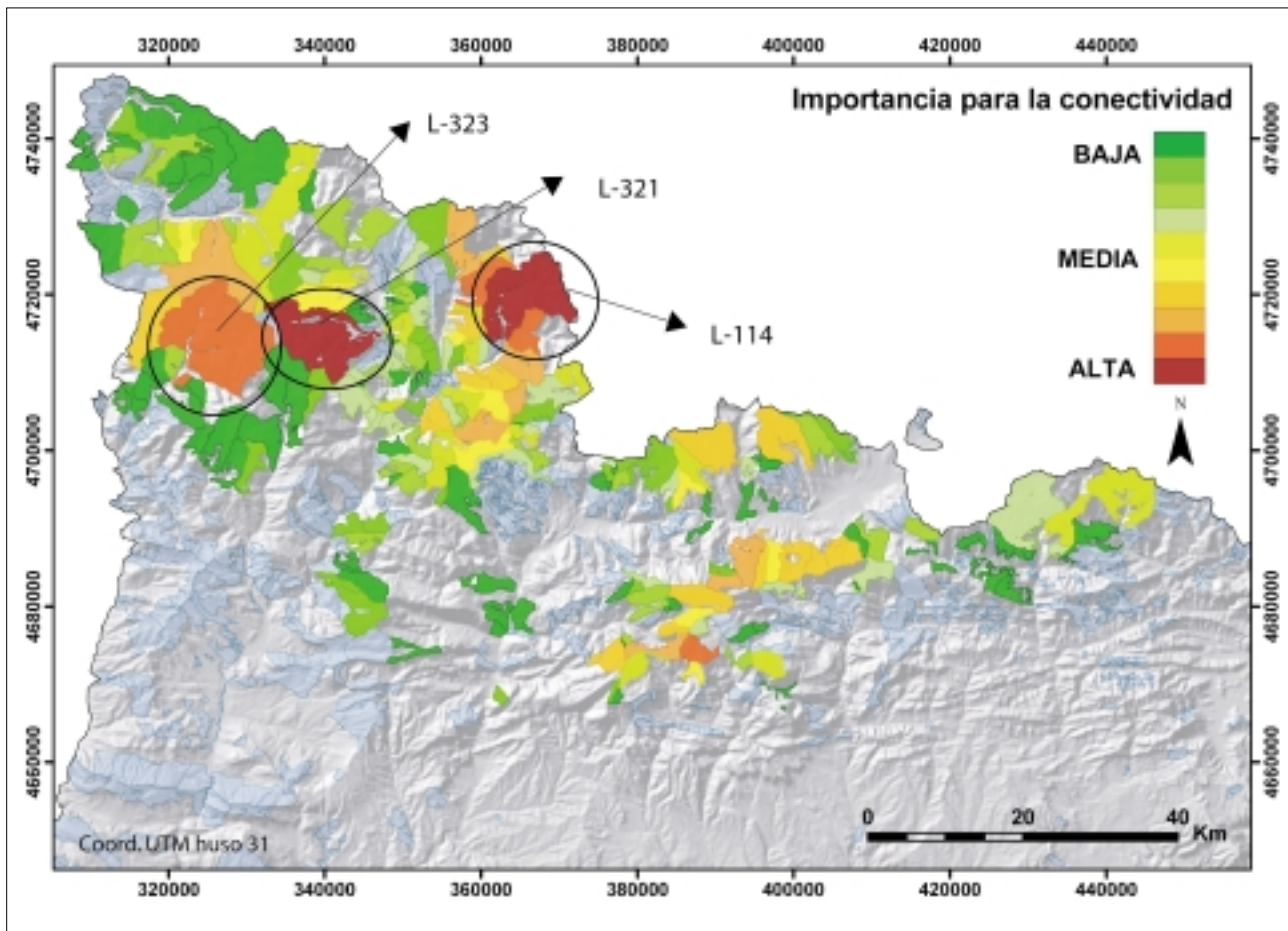


Figura 5.- Importancia de cada uno de los montes de gestión pública con presencia de hábitat de urogallo para la conectividad global del bosque para esta especie según el índice PC. Se destacan los tres montes con mayor contribución para el mantenimiento de la conectividad, indicándose su número del Catálogo de Montes de Utilidad Pública: Obaga i Solana (Areu, L-114), Muntanya (Espot, L-321), y Riberes de Sant Nicolau (La Vall de Boí, L-323), que albergan el 22,6%, 19,0% y 13,8% de la importancia para la conectividad global de los bosques respectivamente

BIBLIOGRAFÍA

CANUT, J.; 2001. *Gallináceas de montaña (perdiz pardilla, lagopodo alpino y urogallo) y gestión forestal*. En: CAMPRODON, J.; PLANA, E. Conservación de la biodiversidad y gestión forestal: su aplicación en la fauna vertebrada. Ediciones de la Universidad de Barcelona.

CALABRESE, J. M.; FAGAN, W. F.; 2004. A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2:529-536.

ESTRADA, J; PEDROCCHI, V.; BROTONS, L.; HERRANDO, S. (eds.); 2004. *Atlas dels Ocells Nidificants de Catalunya 1999-2002*. Lynx Edicions. Barcelona.

HJELJORD, O.; WEGGE, P.; ROLSTAD, J.; IVANOVA, M.; BESHKAREV, A.B.; 2000. Spring-summer movements of male capercaillie *Tetrao urogallus*: a test of the 'landscape mosaic' hypothesis. *Wildlife Biology*, 6: 251-256.

PASCUAL-HORTAL, L.; SAURA, S.; 2006a. 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.; 2006b. 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*, DOI 10.1007/s10342-006-0165-z.

ROCHELLE, J. A.; LEHMAN, L. A.; WISNIEWSKI, J.; 1999. *Forest fragmentation: wildlife and management implications*. Die Deutsche Bibliothek. CIP. Holanda.

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, DOI 10.1016/j.landurbplan.2007.03.005.

URBAN, D.; KEITT, T. H.; 2001. Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. *Ecology*, 82: 1205-1218.