Estudio para la identificación de redes de conectividad entre espacios forestales de la Red Natura 2000 en España

Autores: Santiago Saura Martínez de Toda, María Cruz Mateo Sánchez, Begoña de la Fuente Martín y Aitor Gastón González

Fundación Conde del Valle de Salazar

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes

Universidad Politécnica de Madrid

Estudio desarrollado para WWF-España

Abril de 2016

Índice

Contenido

Resumen 1
1. Introducción 3
2. Métodos 5
2.1. Hábitats forestales en los espacios Red Natura 2000: definición y cartografía utilizada .. 5
2.2. Espacios de la Red Natura 2000 considerados y su tratamiento espacial 8
2.2.1. Espacios a conectar para cada hábitat 8
2.2.2. Tratamiento de los solapes totales o parciales entre LICs y ZEPAs 9
2.2.3. Puntos centrales para cada uno de los espacios 10
2.3. Resistencia del territorio al movimiento de las especies forestales 11
2.4. Análisis de coste mínimo: caminos y franjas conectoras 14
2.5. Priorización de conectores en escenarios de conservación y restauración 16
2.5.1. Grafos espaciales e índices de disponibilidad de hábitat: la metodología Conefor . 16
2.5.2 Priorización de los conectores en escenarios de conservación y restauración 18
2.6. Identificación de cuellos de botella en los conectores prioritarios 20
2.7. Caracterización de las zonas transitadas por los conectores 20
3. Resultados 21
3.1. Caminos de coste mínimo 21
3.2. Franjas conectoras 23
3.3. Conectores prioritarios 25
3.4. Cuellos de botella en los conectores prioritarios 33
3.5. Caracterización de las zonas atravesadas por los conectores 38
3.6. Recomendaciones de gestión en la red de conectores 44
4. Conclusiones 46
Referencias 48
Anexos 54

Resumen

La consecución de los objetivos de conservación de la Red Natura 2000 depende fuertemente de la conectividad entre los espacios que la componen. España, como el resto de los Estados miembros de la Unión Europea, tiene la obligación de adoptar las medidas necesarias para la conservación y mejora de dicha conectividad, a pesar de lo cual existe una notable carencia de propuestas sólidas que permitan orientar, en el conjunto del territorio español, los esfuerzos necesarios para tal fin.

En este estudio se presenta la identificación, para toda la España peninsular, de una red de conectores y de las zonas en las que concentrar de manera prioritaria los esfuerzos de conservación o restauración de la conectividad entre los espacios de la Red Natura 2000 con presencia significativa de hábitats forestales. El estudio se centra en hábitats forestales por su elevada biodiversidad y valor de conservación, su amplia distribución y representatividad en el territorio español, su presencia en la gran mayoría de los espacios Red Natura 2000, y la disponibilidad para estos hábitats de información cartográfica y ecológica de suficiente calidad para abordar los análisis de conectividad y territoriales correspondientes.

Para tal fin, se ha aplicado de manera combinada un conjunto de métodos de análisis de la conectividad de amplia aceptación y repercusión internacional, consistentes principalmente en:

- La caracterización de la heterogeneidad y permeabilidad del territorio para el movimiento de las especies forestales mediante superficies de resistencia.
- La aplicación de análisis de coste mínimo generalizados para caracterizar las rutas preferentes para el movimiento entre los espacios Red Natura 2000, la anchura de las franjas territoriales con suficiente permeabilidad en torno a estos conectores, y los cuellos de botella que se pueden presentar a lo largo de los mismos.
- El uso de estructuras de grafos e índices de disponibilidad de hábitat basados en el análisis de redes ecológicas y modelos probabilísticos de conectividad para identificar los conectores, y los tramos dentro de estos conectores, en los que abordar de manera más prioritaria las medidas de conservación y restauración de la conectividad entre los espacios de la Red Natura 2000 en la España peninsular.

Estos métodos se aplicaron a tres tipologías diferentes de hábitat forestal (bosque denso maduro, bosque claro, y matorral), utilizando el Mapa Forestal de España a escala 1:50.000 para determinar la abundancia y distribución espacial de estos hábitats en los espacios de la Red Natura 2000. Las superficies de resistencia se parametrizaron utilizando la base cartográfica SIOSE (escala 1:25.000), considerando la resistencia al movimiento tanto en la matriz territorial que separa los espacios Red Natura 2000 como dentro de estos espacios, y se generaron y analizaron con una resolución espacial de 100 m. Se utilizaron otras cartografías en los países limítrofes para poder tener en cuenta los potenciales patrones de conectividad transnacional.

Los resultados del estudio proporcionan resultados con base cuantitativa, espacialmente explícitos y en formatos compatibles con sistemas de información geográfica acerca de:

- El entramado de conectores entre los puntos centrales de los espacios de la Red Natura 2000, incluyendo los patrones de conectividad dentro de esos espacios en función de sus condiciones de heterogeneidad interna.
- La anchura de las franjas conectoras que se extienden a ambos lados de los ejes conectores, lo que permite diferenciar conectores con entornos amplios favorables y con buena permeabilidad, y otros que transcurren encajonados y constreñidos a través

de entornos paisajísticos con condiciones mayoritariamente inhóspitas para el movimiento de las especies asociadas a los hábitats forestales.

- Los conectores prioritarios en tres escenarios: conservación (aquellos conectores cuya degradación o pérdida se traduciría en una mayor disminución de los niveles de conectividad que actualmente presenta la Red Natura 2000), de restauración (conectores cuya mejora a condiciones óptimas de permeabilidad revertiría en un incremento más notorio de la conectividad de la red), y restauración normalizada por el esfuerzo requerido (ratio entre el incremento de conectividad propiciado por la restauración de un determinado corredor y el coste estimado que se requeriría para ello).
- Cuellos de botella, definidos como los tramos en los que, debido a la menor anchura de las franjas conectoras con suficiente permeabilidad, y a su ubicación dentro de conectores prioritarios, la funcionalidad conectora está más comprometida y es más vulnerable frente a pequeñas modificaciones adicionales de las cubiertas y usos del suelo.

Del análisis de la localización de los conectores resultantes y la evaluación de las características del territorio por el que éstos transcurren, se obtienen varias conclusiones. En primer lugar, los conectores prioritarios para la conservación tienden a concentrarse en mayor medida a lo largo de los principales macizos montañosos de la España peninsular, mientras que los conectores prioritarios para la restauración, y especialmente los cuellos de botella a lo largo de los mismos, discurren mucho más frecuentemente a través de la matriz territorial que separa los espacios forestales de la Red Natura 2000, atravesando con cierta frecuencia paisajes con un intenso uso agrícola y baja cobertura forestal a través de las pequeñas franjas relativamente permeables que existen en los mismos.

En segundo lugar, los resultados obtenidos muestran que las zonas cubiertas por la Red Natura 2000 presentan en general condiciones notablemente mejores para la conectividad que las situadas fuera de esta red de espacios, pero que estos espacios Natura 2000 no se pueden considerar como áreas libres de limitaciones para la conectividad, lo que hace necesaria una gestión integral de todo el territorio de la España peninsular, tanto el ubicado dentro de la Red Natura 2000 como el situado fuera de la misma, para garantizar la deseada funcionalidad ecológica de esta red de espacios.

En tercer lugar, las riberas destacan como elementos clave para garantizar la conectividad entre los espacios de la Red Natura 2000, al estar presentes con una gran frecuencia en los conectores identificados. Ello indica que las riberas constituyen un refugio esencial para el tránsito de los corredores por zonas y paisajes que fuera de los márgenes de los ríos son mayoritariamente hostiles para el movimiento de las especies forestales, al estar dominadas por cubiertas con una elevada modificación antrópica. Sin embargo, se observa también una significativa concentración de cuellos de botella en estas zonas de ribera, lo que indica que en general las condiciones de la vegetación de ribera son propicias para la conectividad sólo en una franja estrecha en torno a los propios cauces. Ello apunta a la necesidad de concentrar considerables esfuerzos en la restauración de estas riberas como una apuesta para la mejora de la conectividad entre los espacios de la Red Natura 2000 en España.

Finalmente, se observa también que los conectores entre los espacios Red Natura 2000 de la España peninsular discurren en un número significativo de casos por fuera del territorio español, siendo más frecuentes y de mayor longitud los conectores que atraviesan Portugal, aunque también existe alguno en la vertiente norte (francesa) de los Pirineos. Estos resultados ilustran

la importancia y posibles beneficios de considerar y gestionar la conectividad bajo una perspectiva trasnacional, especialmente en el marco de la Península Ibérica.

Los resultados obtenidos proporcionan, en resumen, una base fundamental y una gran cantidad de información espacial valiosa para orientar los esfuerzos de conservación y restauración que permitan dotar de la necesaria funcionalidad a una red de conectores que vertebre ecológicamente la España peninsular y que garantice la necesaria conectividad entre los espacios de la Red Natura 2000 de nuestro país.

1. Introducción

La conectividad ecológica, también llamada conectividad del paisaje, se define como el grado en el que el territorio facilita el movimiento de las especies y otros flujos ecológicos entre las teselas de hábitat (Taylor et al. 2013, Saura 2013). La conectividad determina cuánta superficie de hábitat de la existente en el territorio es realmente accesible y alcanzable para un organismo situado en un punto concreto del mismo. Una mejora de la conectividad se traduce, entre otros efectos, en un incremento de las tasas de intercambio de individuos entre poblaciones, en un aumento de su estabilidad y capacidad de recuperación frente a perturbaciones y de recolonización tras posibles extinciones locales, y en una mejora en sus posibilidades de persistencia local y regional (Crooks y Sanjayan 2006).

Por todo ello, la conectividad se considera hoy en día parte central de las estrategias de conservación de la biodiversidad y una de las mejores respuestas para contribuir a mitigar los efectos negativos de la fragmentación de los hábitats y del cambio climático. Así, son múltiples las iniciativas, planes y legislaciones autonómicas, nacionales e internacionales donde se hace énfasis en la importancia de incorporar criterios de conectividad en la planificación y ordenación territorial y en la conservación de hábitats y especies. Por ejemplo, en la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad se pueden encontrar múltiples referencias a la conectividad, siendo particularmente explícito su artículo 20, en el que se afirma: “Las Administraciones Públicas preverán, en su planificación ambiental o en los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales, mecanismos para lograr la conectividad ecológica del territorio, estableciendo o restableciendo corredores, en particular entre los espacios protegidos Red Natura 2000 y entre aquellos espacios naturales de singular relevancia para la biodiversidad. Para ello se otorgará un papel prioritario a los cursos fluviales, las vías pecuarias, las áreas de montaña y otros elementos del territorio, lineales y continuos, o que actúan como puntos de enlace, con independencia de que tengan la condición de Espacios Naturales Protegidos”. De especial relevancia y obligada mención en este ámbito es también la Directiva 92/43/CEE, que tiene como objetivo contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres mediante una red ecológica europea coherente de zonas especiales de conservación (Red Natura 2000), y que establece en su artículo 10 que “cuando lo consideren necesario, los Estados miembros, en el marco de sus políticas nacionales de ordenación del territorio y de desarrollo y, especialmente, para mejorar la coherencia ecológica de la Red Natura 2000, se esforzarán por fomentar la gestión de los elementos del paisaje que revistan primordial importancia para la fauna y la flora silvestres“, contexto en el cual la conectividad está sin duda llamada a jugar un papel protagonista.

A pesar de esta demostrada importancia ecológica de la conectividad, y de la obligación legal de tenerla en cuenta y fomentarla en la gestión del territorio y de los espacios protegidos, existe una notable carencia de estudios que aporten una visión conjunta, para todo el territorio español, de las redes de conectividad existentes o a establecer, de los puntos débiles o cuellos

de botella que dificultan o bloquean los intercambios ecológicos, y de las prioridades de conservación y restauración para el mantenimiento o mejora de la conectividad en España. Los estudios existentes se han abordado fundamentalmente en el ámbito de algunas Comunidades Autónomas (EUROPARC-España 2009), con metodologías muy diferentes y muy difícilmente comparables entre sí. Por otro lado, estos estudios se han restringido a los límites de esas Comunidades Autónomas, sin haber abordado la necesaria ligazón con el resto del territorio español ni aportar soluciones conjuntas que vinculen y refuercen las redes de corredores en su plena expresión, eficiencia y funcionalidad ecológica para el conjunto de España. Otros estudios, de corte generalmente más científico, a pesar de su indudable valor en la demostración, testado y evaluación de diferentes aproximaciones metodológicas, no tienen potencial de aplicación amplia en el establecimiento de prioridades en la gestión del territorio en España (Del Barrio 2000, 2007; Gurrutxaga, Rubio y Saura 2011; Estreguil et al. 2012; Piquer-Rodríguez et al. 2012; Rubio et al. 2012; Mazaris et al. 2013; Gurrutxaga y Saura 2014) sea, según los casos, por centrarse en aspectos o zonas específicas (y no el conjunto de España), por no tener el suficiente detalle espacial y territorial, por carecer de la suficiente solidez metodológica y/o aceptación en el ámbito del análisis de la conectividad ecológica a nivel internacional (al tratarse de métodos con poca aceptación o validación por parte de otros grupos u organismos distintos de los que los propios que los plantearon en estudios más o menos concretos), o por no estar de hecho orientados a aportar prioridades espacialmente explícitas de actuación sobre el territorio.

Por ello, en este estudio se aborda y presenta la identificación de una red de conectores entre los espacios de la Red Natura 2000 de toda la España peninsular, de los cuellos de botella (puntos débiles) existentes a lo largo de dichos conectores, y de las zonas prioritarias de actuación de cara a la conservación y restauración de la conectividad ecológica en el territorio. El estudio se centra en tres hábitats forestales (bosque denso, bosque claro y matorral) y los espacios de la Red Natura 2000 con presencia de los mismos, dada la elevada biodiversidad que concentran estos hábitats en España, su reconocido valor de conservación, su amplia distribución y representatividad en el territorio de nuestro país, su presencia en la gran mayoría de los espacios Red Natura 2000, y la disponibilidad, para estos hábitats, de información cartográfica y ecológica de suficiente calidad para abordar los análisis de conectividad y territoriales correspondientes. En el análisis se considera un rango amplio de distancias medianas de dispersión (de 1 a 30 km) representativo de las capacidades de movimiento de la gran mayoría de las especies asociadas a los hábitats forestales, y se integran los resultados de estos análisis en una propuesta conjunta que permita vertebrar la conectividad del conjunto del territorio de la España peninsular.

Para este fin, se aplica un conjunto de métodos de análisis de la conectividad de amplia aceptación y uso internacional, avalados por estudios empíricos sobre procesos ecológicos relacionados con la conectividad y por su utilización por parte de grupos y organismos internacionales. Estos métodos consisten fundamentalmente en la combinación de estructuras de grafos, índices de disponibilidad de hábitat, superficies de resistencia al movimiento y análisis de coste mínimo generalizados para (1) identificar franjas conectoras de anchura variable y capacidad de actuar como conectores entre los espacios evaluados, (2) identificar los cuellos de botella existentes (tramos más frágiles en los que la funcionalidad conectora podría verse comprometida en mayor medida) y (3) priorizar las zonas de actuación para la conservación y restauración de las condiciones de estos conectores y del conjunto de la conectividad ecológica.

Mediante estos métodos se abordan análisis de conectividad funcional que tienen en cuenta la resistencia al movimiento y heterogeneidad del territorio tanto en los paisajes que separan los espacios Red Natura 2000 como dentro de estos espacios, para considerar así la variabilidad de

condiciones y posibles limitaciones a la conectividad que puedan existir también, aunque sea en menor medida, dentro de esta red de espacios protegidos. El análisis tiene en cuenta la diferente superficie de hábitat existente en cada uno de los espacios Natura 2000, ponderando la importancia de la fortaleza o debilidad de cada conector en función de la superficie de hábitat existente en los espacios que pudieran estar funcionalmente vinculados a través de dicho conector. Los análisis también tienen en cuenta la posible existencia de corredores transfronterizos que, conectando espacios de la Red Natura 2000 situados en territorio español, pudieran transcurrir por zonas de Francia o Portugal con suficiente permeabilidad y condiciones adecuadas para fomentar la conectividad entre los espacios y hábitats del territorio español. Finalmente, se evalúan las características de las zonas transitadas por los conectores en cuanto a los usos del suelo presentes en las mismas. Para todo ello se utiliza principalmente la información cartográfica aportada por el Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE), con escala 1:25.000, y por el Mapa Forestal de España, con escala 1:50.000.

Con ello, se proporciona la visión más completa y detallada disponible hasta la fecha sobre la red de conectores, existente o a establecer, entre los espacios de la Red Natura 2000 en España, que permita vertebrar la conectividad ecológica del conjunto del territorio de nuestro país.

2. Métodos

2.1. Hábitats forestales en los espacios Red Natura 2000: definición y cartografía utilizada

Se consideraron tres hábitats forestales, correspondientes a categorías diferenciadas de masas forestales dentro de los espacios de la Red Natura 2000, que pudieran recoger un espectro suficientemente amplio de requerimientos ecológicos y preferencias de hábitat de distintas tipologías de especies forestales, teniendo en cuenta el objetivo de analizar patrones globales de conectividad para todo el territorio de la España peninsular, y no de centrarse en las particularidades de especies concretas que pudieran tener, además, su distribución restringida a una determinada porción del territorio español. El estudio se centró en los hábitats forestales por su elevada biodiversidad y valor de conservación, su amplia distribución y representatividad en el territorio español, su presencia en la gran mayoría de los espacios Natura 2000 (véase apartado 2.2), y la disponibilidad para estos hábitats de información cartográfica y ecológica de suficiente calidad para abordar los análisis de conectividad y territoriales correspondientes, tanto en lo referente a la distribución de estos hábitats en los espacios Natura 2000 como a la caracterización de la resistencia al movimiento de la matriz territorial (tal como se describe en el apartado 2.3).

Los hábitats forestales considerados (dentro de los espacios de la Red Natura 2000) fueron los tres siguientes:

- Hábitat 1: bosque denso y maduro, definido como el bosque con una fracción de cabida cubierta arbolada[1] de al menos el 60% y un estado de desarrollo de latizal o fustal (excluidas masas jóvenes en estado de repoblado o monte bravo)[2].

[1] La fracción de cabida cubierta arbolada es el porcentaje del suelo cubierto por la proyección vertical de las copas de los árboles.

[2] En el ámbito forestal se diferencian cuatro estados de desarrollo o clases naturales de edad: (i) repoblado, que abarca desde el nacimiento de la masa arbolada (procedente de semilla o brote) hasta que se produce la tangencia de copas de los pies contiguos, (ii) monte bravo, desde la tangencia de copas hasta el comienzo de la poda natural, (iii) latizal, desde el comienzo de la poda natural hasta que los troncos alcanza un diámetro normal de 20 cm (habitualmente con alturas del arbolado del orden de los 8 o 10 metros), y (iv) fustal, del diámetro normal de 20 cm en adelante.

- Hábitat 2: bosque claro, definido como el bosque con una fracción de cabida cubierta arbolada de al menos el 10% pero inferior al 60% y un estado de desarrollo de monte bravo, latizal o fustal (excluidas masas de repoblado)[2].
- Hábitat 3: matorral, ya sea con ausencia de arbolado o incluyendo arbolado disperso con una fracción de cabida cubierta arbolada inferior al 10% (y sin excluir ningún estado de desarrollo del dosel arbóreo).

Para identificar la abundancia y distribución espacial de cada uno de estos tres hábitats en cada uno de los espacios de la Red Natura 2000 se utilizó el Mapa Forestal de España 1:50.000 desarrollado en el marco del Tercer Inventario Forestal Nacional, y distribuido por el Banco de Datos de la Naturaleza del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente[3]. Se seleccionó este mapa para el objeto de este estudio debido a que (i) proporciona una información armonizada y comparable para todas las provincias y regiones españolas, al haber sido realizado todo él por el Banco de Datos de la Naturaleza con las mismas especificaciones para toda España (no es un producto agregado de mapas realizados separadamente por diferentes organismos para cada una de las Comunidades Autónomas), (ii) proporciona información valiosa sobre la fracción de cabida cubierta arbolada[1] y el estado de desarrollo (repoblado, monte bravo, latizal y fustal)[2] en cada uno de los polígonos de bosque identificados, a diferencia de otras cartografías más genéricas de tipos de cubiertas o usos del suelo disponibles en España; ello permite diferenciar características de relevancia sobre las masas forestales relativas a su espesura y madurez, tal como se ha utilizado para la definición de los tres hábitats considerados en este estudio, (iii) presenta una unidad mínima cartografiada de 2,25 hectáreas para las masas arboladas (y de 6,25 ha para las no arboladas), que es un nivel de detalle espacial más que suficiente para un estudio a la escala de toda la Red Natura 2000 de la España peninsular como el aquí planteado. En el Anexo A se detallan los tipos estructurales diferenciados en el Mapa Forestal de España que se han considerado a la hora de identificar las teselas correspondientes a cada uno de los tres hábitats.

En la Figura 1 se muestra la distribución de estos tres hábitats en los espacios de la Red Natura 2000 en los que tienen una presencia significativa (tal y como se describe en el siguiente apartado).

[3] http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50.aspx

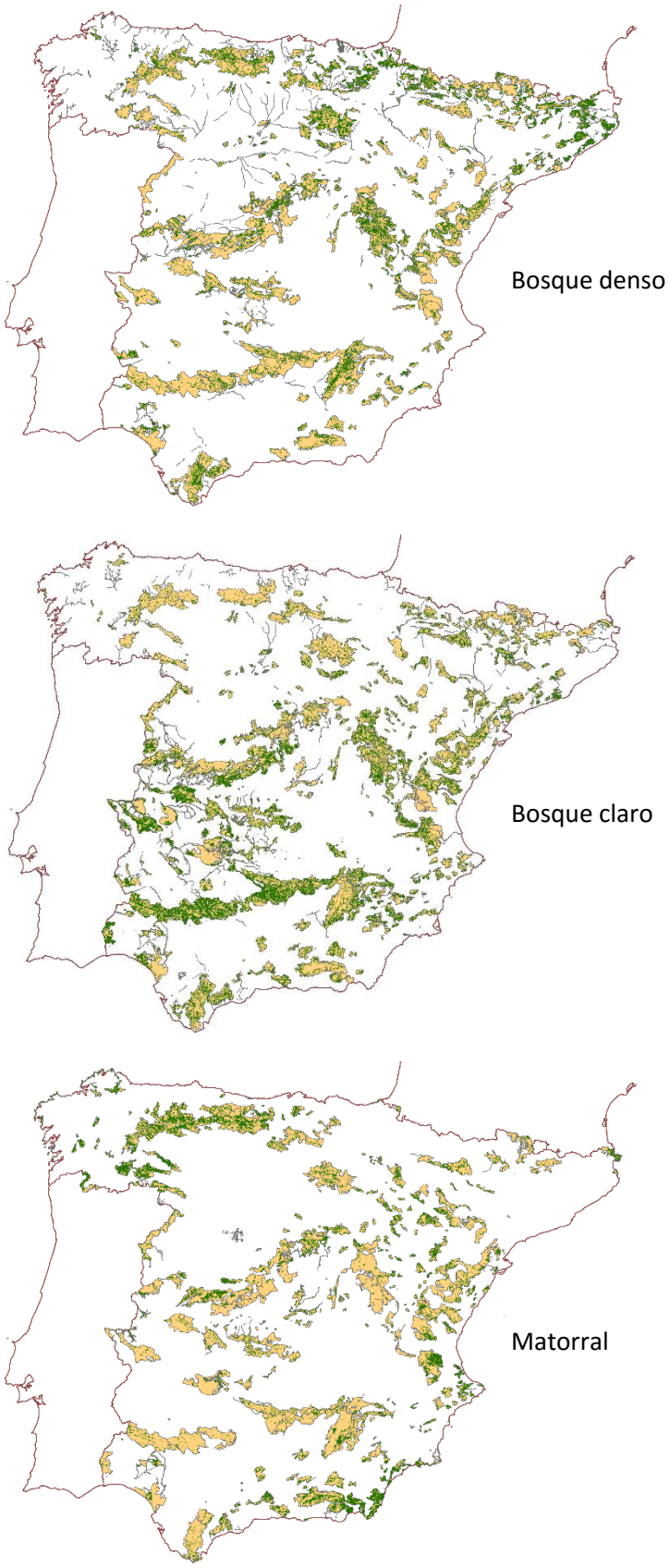

Figura 1. Espacios de la Red Natura 2000 considerados para el análisis de la conectividad para cada hábitat. Dentro de los espacios se superpone, en color verde, la distribución de las zonas ocupadas por las masas forestales de cada uno de los hábitats según el Mapa Forestal de España.

2.2. Espacios de la Red Natura 2000 considerados y su tratamiento espacial

2.2.1. Espacios a conectar para cada hábitat

En este estudio se consideraron como zonas núcleo a conectar los espacios de la Red Natura 2000 en la España peninsular, LICs (Lugares de Importancia Comunitaria) y ZEPAs (Zonas de Especial Protección para las Aves). Se excluyeron espacios marinos, espacios insulares, y unos pocos espacios peninsulares correspondientes a cuevas, simas o túneles. Las islas no se incluyeron en el análisis junto con la España peninsular ya que darían lugar a redes de conectores desvinculadas de las de la Península Ibérica y dado que la menor extensión espacial de las islas invita, cuando sea interesante, a realizar un estudio con mayor detalle y a una escala más local para estas islas. Las capas de LICs y ZEPAs fueron descargadas de la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente[4] el 15 de julio de 2015.

Por otro lado, el análisis de conectividad se debe realizar, en general y en este caso en particular, teniendo en cuenta la distribución espacial de los hábitats forestales considerados y, por tanto, evaluando los niveles de conectividad entre los espacios protegidos con presencia real de un determinado hábitat, y no entre espacios con ausencia del mismo. Por ello, para los objetivos de este estudio se determinó, de acuerdo con la información proporcionada por el Mapa Forestal de España 1:50.000, la superficie de cada uno de los tres hábitats (bosque denso, bosque claro y matorral) existente en cada uno de los espacios de la Red Natura 2000 (LICs y ZEPAs) en la España peninsular, excluyendo de los análisis de conectividad para un hábitat determinado los espacios sin presencia o con una presencia muy escasa de dicho hábitat.

En concreto, para los análisis de conectividad realizados para un determinado hábitat, se consideraron sólo los espacios de la Red Natura 2000 (LICs y ZEPAs) que cumplieran al menos una de las dos condiciones siguientes: (1) que contuvieran al menos 3500 hectáreas de hábitat, o (2) que presentaran al menos el 20% de su superficie cubierta por el hábitat considerado. Estos valores umbrales se establecieron tras evaluar el conjunto de espacios de la Red Natura 2000 que quedaban seleccionados para un rango de valores, y analizar en qué casos quedaban excluidos espacios con una singularidad o vocación netamente forestal y en cuáles otros quedaban incluidos espacios cuyos objetivos de conservación y hábitats que centraban su protección no eran específicamente forestales (por ejemplo espacios creados para la protección de aves esteparias con alguna masa forestal más o menos residual). El fijar un umbral basado en porcentaje de superficie dentro del espacio (20%), y no sólo en función de la superficie total (3500 ha), fue necesario para incluir dentro de los análisis, como espacios a conectar, espacios pequeños en cuanto a su superficie total pero con una notable singularidad y proporción significativa de alguno de los hábitats forestales considerados, como por ejemplo espacios riparios. Debe tenerse en cuenta que, en el caso de que un espacio esté completamente cubierto por masas forestales, distribuidas equitativamente entre los tres hábitats considerados, se tendría un porcentaje de superficie del 33% para cada uno de los tres hábitats, con lo que el corte del 20% establecido no es tan bajo como podría parecer a primera vista. Obviamente, un mismo espacio Red Natura 2000 puede quedar seleccionado para uno, más de uno o incluso los tres hábitats, aunque en general el conjunto de espacios seleccionado para cada hábitat es distinto (véase la Figura 1).

[4] http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/rednatura2000_descargas.aspx

Aplicados los criterios descritos, los espacios Red Natura 2000 seleccionados (Figura 1) cubrieron más del 90% de la superficie total de cada uno de los hábitats (respecto al total de la superficie de los hábitats existente dentro de todos los espacios de la Red Natura 2000 de la España peninsular). En concreto, ese porcentaje fue del 94% para el hábitat 1 (bosque denso), del 95% para el hábitat 2 (bosque claro), y del 91% para el hábitat 3 (matorral). Es decir, los espacios Red Natura 2000 seleccionados para cada tipo de hábitat incluyen una gran mayoría de la superficie cubierta por el hábitat correspondiente dentro de esta red de espacios protegidos en España. Por otro lado, si nos referimos a los espacios Red Natura 2000 considerados para al menos uno de los tres hábitats, estos espacios representan el 97% de la superficie total de los LICs y el 87% de la superficie total de las ZEPAs en la España peninsular (realizado este cómputo sobre todos los espacios, forestales o no forestales, de la Red Natura 2000). En términos del número de espacios Red Natura 2000, y no de la superficie que representan los mismos, los espacios seleccionados para el análisis de conectividad de al menos uno de los tres hábitats fueron el 84% de los LICs y el 67% de las ZEPAs de la España peninsular. En el Anexo B se presenta el listado de LICs y ZEPAs considerado para cada uno de los tres hábitats, así como información sobre la superficie del espacio y la superficie que ocupa el hábitat considerado dentro de cada espacio.

En cualquier caso las masas forestales situadas fuera de los espacios Red Natura 2000 seleccionados, ya sea en otros espacios Red Natura con muy escasa presencia de los hábitats considerados o en el resto de la amplia matriz territorial situada fuera de los espacios Red Natura 2000, son tenidas en cuenta como posibles facilitadoras del movimiento entre los espacios Red Natura 2000 seleccionados, conforme a las especificaciones de las superficies de resistencia descritas en el apartado 2.3, en las cuales las masas forestales con características próximas a las de los hábitats considerados son las que presentan una mayor permeabilidad (o menor resistencia) al movimiento entre los espacios Red Natura 2000 considerados. Esto ocurre igualmente para el resto de cubiertas no forestales, cuyo efecto en la conectividad es tenido en cuenta en el análisis de la matriz territorial.

Por otro lado, los análisis de conectividad realizados sobre los espacios Red Natura 2000 seleccionados tuvieron en cuenta la diferente superficie de hábitat existente en cada uno de ellos, ponderando la importancia de la fortaleza o debilidad de cada conexión en función de la superficie de hábitat existente en los espacios que pudieran estar funcionalmente vinculados a través de dicha conexión, tal como se considera en los índices de disponibilidad de hábitat considerados para la priorización de los conectores y descritos en el apartado 2.5.

Finalmente, no sólo se tuvo en cuenta, en los análisis de conectividad realizados, la abundancia (superficie) de cada hábitat en cada espacio de la Red Natura 2000, sino también su distribución espacial dentro de cada espacio Red Natura 2000 a la hora de determinar los puntos centrales de los espacios Red Natura 2000 a partir de los cuales se han calculado los conectores (tal como se describe en el apartado 2.2.3).

2.2.2. Tratamiento de los solapes totales o parciales entre LICs y ZEPAs

Existen numerosos solapes entre LICs y las ZEPAs en la España peninsular, o dicho de otro modo, un mismo punto del territorio puede estar cubierto tanto por un LIC como por una ZEPA.

Dado que el objetivo de este estudio es evaluar la conectividad para el conjunto de los espacios incluidos en la Red Natura 2000, y no separadamente para LICs y ZEPAs, fue necesario tratar

estos solapes (totales o parciales)[5] para evitar redundancias, duplicidades y sesgos en los análisis de conectividad correspondientes (tales como considerar que un espacio LIC está bien conectado simplemente porque está bien conectado a otro espacio que en realidad es él mismo, al haber sido también designado, en todo o en parte, como ZEPA).

El número de espacios Red Natura 2000 resultantes, a considerar en los análisis de conectividad, tras aplicar los umbrales de superficie o porcentaje de superficie descritos en el apartado 2.2.1 y los tratamientos de los solapes entre LICs y ZEPAs descritos en este apartado, es de 524 para el hábitat 1 (bosque denso), 547 espacios para el hábitat 2 (bosque claro) y de 345 espacios para el hábitat 3 (matorral).

2.2.3. Puntos centrales para cada uno de los espacios

Una vez definidos los espacios entre los cuales se deben evaluar los conectores y patrones de conectividad, se procedió a identificar, para cada espacio y hábitat, un punto situado en el interior del mismo que quedara ubicado dentro de las zonas cubiertas por el hábitat dentro del espacio y que tuviera una posición lo más central posible dentro de ese espacio o, mejor dicho, dentro de la distribución del hábitat en ese espacio[6]. A estos puntos se les denomina puntos centrales en lo sucesivo.

La motivación fundamental para evaluar los conectores entre los puntos centrales de los espacios, y no entre los bordes de los mismos, es considerar la heterogeneidad y variabilidad interna en las condiciones de los espacios de la Red Natura 2000, y los patrones de conectividad y las posibles limitaciones a la conectividad que puedan existir dentro de la Red Natura 2000, y

---

[5] Los solapes entre LICs y ZEPAs se trataron de la siguiente manera a los efectos de los análisis de conectividad realizados:

1) cuando un LIC o ZEPA corresponde a un espacio único e independiente, sin ningún solape con otra ZEPA o LIC, se le considera como un espacio único y diferenciado, tal como viene delimitado en la capa espacial original.
2) cuando un LIC y una ZEPA son completamente coincidentes espacialmente, tratándose de un mismo espacio que ha sido designado tanto LIC como ZEPA, se considera un único espacio con tal delimitación (eliminándose uno de los dos polígonos coincidentes).
3) cuando un LIC o una ZEPA está totalmente englobado dentro de una ZEPA o LIC de mayor superficie, se considera sólo este segundo espacio de mayor tamaño y se prescinde del primer espacio de menor superficie.
4) cuando un LIC y una ZEPA están parcialmente solapadas y forman un continuo en el espacio, se considera al conjunto de la LIC y ZEPA como un único espacio fusionado, salvo cuando existan partes suficientemente grandes del LIC o de la ZEPA (con más de las 3500 hectáreas de superficie mínima del hábitat) que no estén solapados con el otro espacio, en cuyo caso se considera cada una de esas posibles partes como un espacio diferenciado a efectos del análisis de conectividad.

[6] En concreto, los puntos centrales se identificaron como resultado de los pasos siguientes. En primer lugar, se identificó el centroide del conjunto de los polígonos de hábitat existentes dentro del espacio considerado. Si dicho centroide correspondía a un punto situado dentro del hábitat considerado, dicho centroide quedaba asignado como punto central para ese espacio y hábitat, y se concluía el proceso. Si dicho centroide no quedaba en cambio situado en una localización cubierta por el hábitat considerado, se procedía a realizar un segundo paso. Este segundo paso consistió en calcular separadamente el centroide de cada uno de los polígonos de hábitat situados dentro del espacio, tomando como punto central final para ese espacio el centroide de esos polígonos que, situado dentro de hábitat, quedara más cerca del centroide general para el conjunto del espacio tal como se identificó en el primer paso descrito. Por tanto, dado que la ubicación de los puntos centrales depende de la distribución del hábitat considerado dentro de cada espacio, los puntos centrales pueden ser diferentes para los distintos hábitats, incluso cuando el espacio considerado sea el mismo, en función de cómo se distribuya cada uno de los tres hábitats dentro de ese espacio.

no sólo fuera de ella. Teniendo en cuenta que la Red Natura 2000 cubre cerca del 27 % del territorio nacional, no es posible ignorar los patrones de conectividad y posibles restricciones que puedan existir dentro de estos espacios en una gestión integral y conjunta de la conectividad para toda la España peninsular.

En el Anexo C se muestran algunos ejemplos de detalle con los puntos centrales identificados para algunos espacios concretos, así como mapas generales para toda la España peninsular con la distribución de estos puntos centrales para todos los espacios de la Red Natura 2000 considerados en los análisis realizados para cada uno de los tres hábitats.

2.3. Resistencia del territorio al movimiento de las especies forestales

Gran parte de los análisis de conectividad del paisaje, y en concreto los abordados en este estudio, parten de una superficie de resistencia, consistente en una capa ráster que caracteriza el grado de dificultad que presenta el territorio para el movimiento de la especie o especies consideradas (Adriaensen et al. 2003; McRae 2006; Beier, Majka y Spencer 2008; Zeller, McGarigal y Whiteley 2012; Saura 2013). Dicho grado de dificultad se expresa mediante un valor de resistencia (también llamada en ocasiones fricción o coste) asignado a cada celda de esa capa ráster en función de las características del territorio existente en la misma, habitualmente los tipos de cubiertas o usos del suelo presentes en dicha celda (Ferreras 2001; Adriaensen et al. 2003; Chardon, Adriaensen y Matthysen 2003; Broquet et al. 2006; Theobald 2006; Driezen et al. 2007; Gurrutxaga, Rubio y Saura 2011; Mateo-Sánchez, Cushman y Saura 2014). Desde el punto de vista ecológico, la resistencia asignada se relaciona con la aversión de las especies a moverse por zonas con características muy diferentes a las de su hábitat adecuado, con un mayor riesgo de mortalidad en los eventos de dispersión, con un mayor gasto energético y/o fisiológico a lo largo del movimiento (por ejemplo por falta de recursos tróficos, mayores tasas de insolación y deshidratación, etc.), o con una combinación de varios de estos factores (Zeller, McGarigal y Whiteley 2012). Los valores de resistencia más bajos (habitualmente iguales a la unidad) se asignan a las zonas de hábitat de mejor calidad, incrementándose progresivamente los valores de resistencia a medida que las características del territorio divergen en mayor medida de las más adecuadas para la especie o especies consideradas.

Para este estudio se utilizó una superficie de resistencia parametrizada considerando la dificultad de movimiento a través de diferentes tipos de cubierta de las especies asociadas a hábitats forestales, y tomada de estudios previos que han realizado análisis también centrados en especies forestales y en la conectividad entre espacios protegidos o zonas de hábitat forestal en España. La superficie de resistencia se generó y utilizó en los análisis de conectividad en este estudio con una resolución espacial de 100 metros.

En concreto, se ha utilizado, y adaptado para los fines de este estudio, la superficie de resistencia construida para mamíferos forestales[7] y utilizada en estudios previos (Gurrutxaga, Lozano y del Barrio 2010; Gurrutxaga, Rubio y Saura 2011; Gurrutxaga y Saura 2014), construida inicialmente a partir de criterio experto pero posteriormente validada mediante el análisis de la estructura genética de la marta en el País Vasco (Ruiz-González et al. 2014). Esta superficie de resistencia

[7] Las especies de referencia consideradas en la asignación de los valores de resistencia fueron las siguientes (Gurrutxaga, Lozano y del Barrio 2010): corzo (*Capreolus capreolus*), ciervo (*Cervus elaphus*), marta (*Martes martes*), jineta (*Genetta genetta*), tejón (*Meles meles*), garduña (*Martes foina*), jabalí (*Sus scrofa*) y gato montés (*Felis silvestris*). La superficie de resistencia fue validada con datos genéticos para la marta (Ruíz-González et al. 2014).

ha sido utilizada, con pequeñas variaciones en cada caso según las zonas de estudio y los tipos de cubierta diferenciados en los datos cartográficos utilizados, en estudios de tipo científico (véanse las referencias citadas anteriormente en este párrafo), en publicaciones y estudios de conectividad oficiales en España sobre el efecto de las infraestructuras de transporte en la conectividad y las prioridades de desfragmentación para la mitigación del efecto barrera de esas infraestructuras (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2013), y en dos proyectos europeos recientes[8].

La superficie de resistencia no corresponde a una única especie forestal determinada, dada la generalidad y el amplio espectro de los análisis de conectividad planteados en este estudio y en los mencionados en el párrafo anterior, sino que trata de cuantificar una resistencia promedio o general para un conjunto de especies forestales (principalmente mamíferos forestales), en conformidad con las tipologías amplias de hábitat forestal consideradas. Aunque la superficie de resistencia se centra en mamíferos forestales, ello no excluye que tenga relación con la posible respuesta de otras especies o procesos dispersivos asociados a las masas forestales y que sean sensibles de manera similar a los usos del suelo, especialmente los más intensivos tales como las zonas urbanas o las grandes infraestructuras de transporte.

En la adaptación de dicha superficie de resistencia para los fines de este estudio se tuvieron en cuenta las características concretas de los tres hábitats definidos (bosque denso, bosque claro, matorral), que tienen algunas diferencias con los hábitats más generales (tales como todos los bosques sin diferenciar su fracción de cabida cubierta o estado de desarrollo) considerados en algunas de las publicaciones y proyectos previos arriba mencionados, así como las características concretas de la base cartográfica utilizada para asignar los valores de resistencia en este estudio (SIOSE, tal como se describe más abajo), que permite diferenciar algunos tipos de cubiertas no desglosados en las cartografías más genéricas (con menor detalle espacial y/o temático) utilizadas en algunas de esas publicaciones y proyectos previos, tales como el Corine Land Cover. En este sentido, los valores de resistencia se ajustaron suponiendo que las especies asociadas a los bosques densos encuentran sus mejores condiciones para el movimiento (menor resistencia) en esas masas arboladas y una mayor resistencia en las de matorral, mientras que para el hábitat matorral es este tipo de cubierta no arbórea el que presenta una menor resistencia y la resistencia es comparativamente algo mayor cuando los movimientos se deben producir a través de masas arboladas cerradas. En definitiva, se generaron tres superficies de resistencia, una para cada uno de los tres hábitats forestales considerados para los análisis de conectividad.

La base cartográfica utilizada para la asignación de la resistencia al movimiento de diferentes tipos de cubierta en la España peninsular fue el SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España) con escala 1:25,000 y fecha de referencia del año 2005. Esta cartografía fue seleccionada debido a (i) la caracterización y clasificación homogénea, con unas especificaciones comunes, para todo el territorio español, (ii) el buen detalle temático que presenta, al discriminar un número suficiente de tipos de cubierta a los efectos de este estudio, (iii) el detalle

[8] El primero de estos proyectos europeos tiene por título "*Pilot analysis of the connectivity of the Natura 2000 forest sites to guide forest conservation and restoration*", se ha desarrollado entre 2014 y 2015 por parte de la Universidad Politécnica de Madrid y el Institute for Environment and Sustainability del Joint Research Centre de la Comisión Europea, y tuvo como zona de estudio Castilla y León. El segundo proyecto europeo es el proyecto DIABOLO ("*Distributed, integrated and harmonised forest information for bioeconomy outlooks*") del programa Horizon 2020, en desarrollo entre 2014 y 2019, coordinado en su conjunto desde el Natural Resources Institute de Finlandia, y cuyos aspectos relativos a la conectividad de los hábitats y especies forestales son coordinados desde la Universidad Politécnica de Madrid. En este proyecto se abordan tres zonas de estudio de la conectividad entre espacios forestales de la Red Natura 2000 en España, Dinamarca y el Reino Unido.

espacial que proporciona en la caracterización de las cubiertas del suelo, con una unidad mínima cartografiada de 2 hectáreas para las zonas agrícolas y forestales y de 1 hectárea para las zonas urbanas. Esta unidad mínima de 1 ó 2 hectáreas para las cubiertas agrícolas y urbanas permite una caracterización notablemente más precisa de la distribución espacial de estos elementos en la matriz territorial que la proporcionada por el Mapa Forestal de España a escala 1:50,000 (con una unidad mínima cartografiada de 2,25 hectáreas para las masas forestales arboladas y de 6,25 ha para el resto de cubiertas), motivo por el cual se ha seleccionado el SIOSE, y no el Mapa Forestal de España, para la caracterización de la superficie de resistencia en este estudio. A cada uno de los polígonos del SIOSE se les asignó un valor de resistencia considerando la información sobre las cubiertas (habitualmente más de una) presentes en el polígono según los rótulos SIOSE. Dicha capa vectorial con los valores de resistencia se rasterizó a una resolución espacial de 100 metros para generar la superficie de resistencia utilizada en los análisis de conectividad. La versión del SIOSE para el año 2011 no ha sido utilizada dado que este estudio arrancó muchos meses antes de la publicación en abril de 2016 del SIOSE 2011 (fecha en la que de hecho ya estaban completados todos los análisis espaciales y de conectividad realizados en este estudio). En cualquier caso, se considera que la diferencia entre ambas versiones SIOSE (2005 y 2011) es de escasa relevancia para los patrones generales de conectividad y conectores a la escala de toda la España peninsular aquí abordados.

Además de caracterizar la resistencia al movimiento en la España peninsular a través de SIOSE, se consideró la posible existencia de corredores transfronterizos que, conectando espacios de la Red Natura 2000 situados en territorio español, pudieran transcurrir por zonas de Portugal, Francia o Andorra. Ello permite reflejar de manera más realista las zonas de menor resistencia del paisaje sin ceñirse a meros límites administrativos, no obligando a los corredores a transitar estrictamente por territorio español aun cuando en algunos casos pudieran existir otras zonas próximas más permeables pero pertenecientes a países vecinos.

Para ello, y dado que obviamente el SIOSE está disponible sólo para el territorio español, se utilizó el Corine Land Cover[9] del año 2006 en versión ráster y resolución (tamaño de pixel) de 100 m para caracterizar la resistencia al movimiento en Portugal y en una franja dentro del territorio de Francia que cubría hasta 200 km al norte de la frontera con España (más que suficiente para cubrir el trazado de cualquier posible corredor que, conectando espacios de la Red Natura 2000 en España, transitara total o parcialmente por territorio francés). Para el caso de Andorra, cuya información de cubiertas no está disponible ni en SIOSE ni en Corine Land Cover, la resistencia se caracterizó a partir del Mapa de Coberturas del Suelo de Andorra para el año 1995 a escala 1:5.000[10]. Las capas para Portugal, Francia y Andorra se rasterizaron a la misma resolución espacial que para la España peninsular (100 m), y buscando la mayor similitud posible, dentro de las diferentes clases definidas en cada una de estas cartografías, en los valores de resistencia asignados a los diferentes tipos de cubierta.

En la generación de la superficie de resistencia se prestó especial atención a las infraestructuras de transporte debido a la potencial intensidad de su efecto en la conectividad ecológica. Por ello, dado que los mapas de usos del suelo no siempre reflejan todas las infraestructuras de transporte existentes en el territorio debido a su carácter lineal y estrecho, y que se deseaba evitar una discontinuidad en el trazado de las vías de transporte a un lado y otro de la frontera (debido a una diferente caracterización de las carreteras en las cartografías de cubiertas en los

[9] http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-3 (descargado el 29 de octubre de 2015)

[10] http://www.iea.ad/mapa-de-cobertes-del-sol-d-andorra-1995

distintos países), se obtuvo e incorporó a la superficie de resistencia la información relativa a las infraestructuras de transporte proporcionada por Open Street Map[11] que dispone de información de detalle , actualizada y homogénea de estas infraestructuras para todas las zonas de España y todos los países incluidos en la definición del mapa de resistencia. Puesto que Open Street Map incluye información de muchos tipos de vías, se seleccionaron aquellas vías de mayor entidad y por tanto mayor impacto potencial sobre la conectividad (tipologías Motorway, Trunk y Primary road, que corresponden con autopistas, autovías y carreteras nacionales o similares). Esta información se rasterizó por separado y posteriormente se incorporó (superpuso) en las superficies de resistencia generadas anteriormente con sólo la información de los mapas de cubiertas, todo ello a una resolución espacial de 100 m, y asignando a las vías de Open Street Map el mismo valor de resistencia que a las vías y otras infraestructuras artificiales ya recogidas en SIOSE o Corine.

Se debe recalcar que en los análisis de conectividad se tuvo en cuenta la resistencia y heterogeneidad del territorio tanto en los paisajes que separan los espacios Red Natura 2000 como dentro de estos espacios (relacionado con el hecho de que los conectores se han calculado entre los puntos centrales de los espacios y no entre sus bordes). Todo ello para evitar el supuesto, habitual en algunos análisis de conectividad, pero excesivamente simplificado desde el punto de vista ecológico y de la gestión del territorio, de que todo el territorio situado dentro de la Red Natura 2000 esté completamente libre de limitaciones para la conectividad y presente, ya en la actualidad, las mejores condiciones posibles en este sentido.

En el Anexo D se muestran los valores de resistencia asignados a cada uno de los tipos de cubierta para cada uno de los tres hábitats a partir de las cartografías utilizadas (SIOSE, Corine Land Cover, Mapa de Coberturas del Suelo de Andorra, y Open Street Map). En el Anexo C se presentan algunas figuras con las superficies de resistencia generadas, aunque estas superficies forman parte de algunas de las composiciones de mapas que se incluyen en el apartado de resultados de este informe.

2.4. Análisis de coste mínimo: caminos y franjas conectoras

En este estudio se aplicó una de las aproximaciones más extendidas en el ámbito del análisis de la conectividad, consistente en la identificación de los caminos de mínimo coste a través de la superficie de resistencia (Adriaensen et al. 2003; Beier, Majka y Spencer 2008; Etherington y Holland 2013). Estos caminos se definen como aquellos que presentan el menor coste acumulado (suma de la resistencia de todas las celdas por las que transitan) en el movimiento entre los espacios de la Red Natura 2000 considerados (concretamente, entre los puntos centrales de los espacios descritos en el apartado 2.2.3). Los análisis de coste mínimo, además de identificar la trayectoria seguida por dichos caminos, cuantifican la distancia efectiva entre los espacios, es decir, el coste acumulado en el que es necesario incurrir para moverse entre cada par de espacios siguiendo el camino de coste mínimo. Estos valores de distancia efectiva permiten estimar la calidad, fuerza o dificultad de uso de cada uno de los conectores (caminos de coste mínimo) identificados, y serán utilizados a la hora de la priorización de dichos conectores que se describe en el apartado 2.5. Son numerosos los autores que han mostrado el mejor rendimiento de las distancias efectivas en comparación con las euclídeas[12] en diferentes

[11] https://www.openstreetmap.org

[12] Distancias geográficas, en línea recta, que no tienen en cuenta la heterogeneidad y variable resistencia de la matriz territorial.

casos de estudio relacionados con la conectividad ecológica (Chardon, Adriaensen y Matthysen 2003; Sutcliffe et al. 2003; Verbeylen et al. 2003; Coulon et al. 2004).

El análisis de coste mínimo se realizó, partiendo de la superficie de resistencia descrita en el apartado anterior, mediante la herramienta Linkage Mapper versión 1.0.9 (McRae y Kavanagh 2011) que funciona sobre ArcGIS 10. Se calcularon los análisis de coste mínimo entre los espacios espacialmente adyacentes (entre los puntos centrales de esos espacios), con dos objetivos. Por un lado, reducir el coste computacional para hacer viable el análisis para el gran conjunto de espacios, resolución espacial (100 m) y amplia extensión espacial considerada (toda la España peninsular más las zonas transfronterizas de Portugal, Andorra y Francia). Por otro lado, y más importante, para procurar que los conectores entre espacios Red Natura 2000 se apoyen unos a los otros dando lugar a una red eficiente que permita transitar entre pares de espacios más alejados entre sí, evitando una proliferación de conectores disociados unos de otros y con escasa viabilidad desde el punto de vista de su conservación y restauración. Por ejemplo, imaginando tres espacios A, B y C situados, en ese orden, de sur a norte, es deseable que el corredor de A a C sea la combinación de los corredores de A a B y de B a C (siempre que se respete el criterio de adyacencia espacial mencionado entre estos espacios), en vez de que el corredor de A a C transite por otro eje que, con diferencias marginales respecto a la combinación de A-B y B-C, obligue a implementar o conservar otro corredor disociado de los otros próximos, con una funcionalidad muy similar, duplicando y dispersando los siempre escasos esfuerzos y recursos de conservación.

Dado que tanto los espacios a considerar en el análisis de conectividad como la propia superficie de resistencia varían con el hábitat considerado, se realizaron tres análisis de coste mínimo, resultando en un conjunto de conectores (caminos de coste mínimo) y distancias efectivas diferente para cada uno de los tres hábitats.

Los caminos de coste mínimo como tales, a pesar de sus ventajas y amplia aceptación en el ámbito del análisis de la conectividad ecológica, presentan el inconveniente de que identifican caminos adecuados para el movimiento independientemente de su anchura, identificados como líneas, de manera que una ruta delgada aunque esté rodeada de otras zonas inhóspitas y de baja permeabilidad, se considera igualmente practicable para el movimiento de las especies que otra ruta con el mismo trazado del camino de coste mínimo y distancia efectiva pero una mayor amplitud de zonas circundantes de elevada permeabilidad y buenas condiciones para acoger dichos movimientos (Theobald 2006; Beier, Majka y Spencer 2008; Saura 2013). Esta segunda circunstancia (amplias zonas permeables en torno al camino de coste mínimo) sería preferible por dos motivos. Por un lado, porque corredores demasiado estrechos pueden ser escasamente funcionales para especies con grandes masas corporales y requerimientos espaciales o para especies que puedan estar fuertemente afectadas por el efecto borde. Por otro lado, los tramos estrechos de los corredores corresponderían a las zonas más frágiles, los cuellos de botella para la conectividad (véase apartado 2.6), en los que puede haber más restricciones para la conectividad y en los que adicionales deterioros del corredor por cambios en los usos del suelo u otros motivos, incluso aunque fueran de pequeña extensión, podrían comprometer más seriamente la funcionalidad del corredor.

Por ello, se utilizó ArcGIS 10 y Linkage Mapper para identificar, adicionalmente a las líneas (caminos) de coste mínimo, franjas permeables de anchura variable en torno a esos caminos de coste mínimo, de manera que esa anchura depende de la calidad y permeabilidad del territorio situado en el entorno del camino de coste mínimo. A las franjas así identificadas las llamaremos en adelante, franjas de coste mínimo o simplemente franjas conectoras, a diferencia del término

conector (o camino de coste mínimo) que utilizaremos para referirnos a la línea que transcurre por la parte central de las franjas conectoras.

2.5. Priorización de conectores en escenarios de conservación y restauración

2.5.1. Grafos espaciales e índices de disponibilidad de hábitat: la metodología Conefor

Para cuantificar la importancia y probabilidad de uso los diferentes conectores identificados, y priorizarlos en diferentes escenarios de conservación y restauración (tal como se describe en el apartado 2.5.2), se procedió a un análisis de conectividad basado en grafos espaciales e índices de disponibilidad de hábitat mediante la metodología y herramienta Conefor (Saura y Torné 2009), disponible en www.conefor.org. Esta herramienta y metodología, cuyas principales líneas se describen brevemente en los párrafos siguientes, ha tenido y está teniendo una amplia aceptación y uso a nivel nacional e internacional en el ámbito del análisis y apoyo a la gestión de la conectividad ecológica[13], como se resume en http://www.conefor.org/applications.html.)

Los grafos son, en general, la representación matemática de una red, y están compuestos por un conjunto de nodos que están o no conectados entre sí mediante enlaces (Urban y Keitt 2001; Jordán et al. 2003; Pascual-Hortal y Saura 2006; Fall et al. 2007; Calabrese y Fagan 2004; Urban et al. 2009; Galpern, Manseau y Fall 2011; Saura 2013). En el caso concreto del análisis de conectividad realizado en este estudio, los nodos corresponden a cada uno de los espacios de la Red Natura 2000, representados por los puntos centrales identificados para cada uno de estos espacios (tal como se describe en el apartado 2.2.3) y caracterizados por un atributo igual a la superficie de hábitat existente dentro de cada espacio, mientras que los enlaces corresponden a los conectores (caminos de coste mínimo) y están caracterizados por su distancia efectiva (coste acumulado en el movimiento a lo largo del camino de coste mínimo entre dos espacios), relacionada con la mayor o menor dificultad para completar un movimiento a lo largo de ese enlace. Por tanto, se construyeron tres grafos distintos (distintos conjuntos de nodos y enlaces), uno para cada uno de los tres hábitats forestales considerados.

Sobre el grafo así construido se procedió a evaluar la conectividad utilizando los índices de disponibilidad de hábitat (Pascual-Hortal y Saura 2006; Saura y Pascual-Hortal 2007; Saura y Rubio 2010; Saura 2013), y en concreto, el índice de la Probabilidad de Conectividad (PC), que se basa en un modelo probabilístico de conexiones, es decir, un modelo en el que cada conector tiene asociada una determinada probabilidad de ser utilizado, la llamada probabilidad de dispersión a lo largo de cada conector (Saura y Pascual-Hortal 2007; Pascual-Hortal y Saura 2008; Saura y Rubio 2010). El índice PC se basa en medir la cantidad de hábitat alcanzable en la red de espacios protegidos, considerando la disposición de estos espacios, la distancia efectiva entre ellos, y la capacidad de dispersión de las especies consideradas. El índice PC, calculado en este

[13] Conefor ha sido utilizado en estudios y publicaciones de organismos nacionales (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2013) e internacionales como la Comisión Europea, la Agencia Europea de Medio Ambiente, o las Naciones Unidas (European Environmental Agency 2009, 2010a, 2010b; FOREST EUROPE, UNECE y FAO 2011; Estreguil et al. 2012; Estreguil, Caudullo y San Miguel 2013; Arnell, Belle y Burgess 2014), así como en multitud de estudios científicos y estudio orientados a apoyar la toma de decisiones de conservación tanto en España (Gurrutxaga, Rubio y Saura 2011; Rubio et al. 2012; Zozaya, Brotons y Saura 2012; Martín-Queller y Saura 2013; Gurrutxaga y Saura 2014; Rodríguez-Pérez, García y Martínez 2014) como en otros países del mundo (Pereira, Segurado y Neves 2011; Awade, Boscolo y Metzger 2012; Bergsten, Bodin y Ecke 2013; Trainor et al. 2013; Crouzeilles et al. 2014; Mueller et al. 2014; O'Farrill et al. 2014; Giannini et al. 2015; Maiorano et al. 2015; Craven et al. 2016; Santini et al. 2016. En la web de Conefor se puede encontrar un listado más completo y detallado de las aplicaciones de esta herramienta y metodología: http://www.conefor.org/applications.html. En esa misma web es posible consultar los estudios empíricos que han validado el poder predictivo de los nuevos índices de conectividad incluidos en Conefor: http://www.conefor.org/empirical.html

estudio, se define como la probabilidad de que dos puntos situados al azar dentro del territorio correspondan a zonas de la Red Natura 2000 que estén conectadas entre sí. El índice PC tiene en cuenta tanto la cantidad de recursos de hábitat que pueden encontrarse dentro de una determinado espacio protegido (*intrapatch connectivity*), caracterizados en este caso mediante la superficie de hábitat existente dentro de cada espacio, como los recursos de hábitat que pueden alcanzarse gracias a las conexiones directas o indirectas con otros espacios, lo que en este caso se evalúa contrastando las distancias efectivas a lo largo de los caminos de coste mínimo con las distancias de dispersión que son capaces de alcanzar las especies consideradas (Saura y Pascual-Hortal 2007; Saura y Rubio 2010). En concreto, la probabilidad de dispersión a lo largo de un determinado conector se obtuvo mediante una función exponencial negativa de la distancia efectiva a lo largo del conector, parametrizada dicha función de acuerdo con el valor de la distancia mediana de dispersión considerada (ver abajo), a la que le corresponde un valor de probabilidad de 0,5. Espacios que estén separados por conectores con una distancia efectiva muy grande tendrán valores de probabilidad de dispersión muy próximos a 0, mientras que la función dará valores de probabilidad iguales a 1 cuando esa distancia sea nula. Esta función exponencial negativa es, con gran diferencia, la más utilizada en el ámbito de los análisis de conectividad (Urban y Keitt 2001; Saura y Pascual-Hortal 2007; Gurrutxaga, Rubio y Saura 2011; Awade, Boscolo y Metzger 2012; Santini et al. 2016).

En los análisis de conectividad se consideró un amplio rango de distancias medianas de dispersión de 1 a 30 km por zonas con un valor de resistencia medio, lo que cubre las distancias de dispersión descritas para la gran mayoría de las especies forestales (Paradis et al. 1998; Loison, Jullien y Menaut 1999; Hjeljord et al. 2000; Sutherland et al. 2000; Bowman, Jaeger y Fahrig 2002; Christensen 2002; D'Eon et al. 2002; Wiens, Reynolds y Noon 2006; Blanco y Cortés 2007; Bray et al. 2007; Debeffe et al. 2012; Whitmee y Orme 2013; Santini et al. 2013; Stevens et al. 2014; Santini et al. 2016, Carvalho et al. 2016). En concreto, se cuantificaron los patrones de conectividad para distancias medianas de dispersión de 1 km, 3 km, 5 km, 10 km, 20 km y 30 km, correspondiendo en todos los casos a distancias que las especies pueden recorrer a través de zonas con una resistencia igual al valor medio de la superficie de resistencia en la España peninsular. El producto del valor de la distancia de dispersión y el de resistencia medio da como resultado la distancia mediana efectiva (coste acumulado) que se puede recorrer a lo largo de un conector determinado para una determinada capacidad de dispersión, pudiéndose recorrer distancias mayores (en km) por zonas de alta permeabilidad y distancias menores (km) por zonas de alta resistencia, para un mismo valor de distancia efectiva, de manera similar a estudios previos (Gurrutxaga, Rubio y Saura 2011; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2013; Gurrutxaga y Saura 2014); por ejemplo, para una especie con una distancia mediana de dispersión de 5 km, se podrán recorrer 500 m por zonas con una resistencia igual a 10, 50 m por zonas con resistencia igual a 100, o 5000 m por zonas con una resistencia igual a 1 (las óptimas para el movimiento de la especie), todo ello con una probabilidad de 0,5 que es la que corresponde a la distancia mediana de dispersión. Distancias medianas de dispersión inferiores a 1 km se consideran de poca relevancia para la escala y amplia extensión espacial que abarca este estudio, que aborda los patrones de conectividad para toda la España peninsular; para organismos con distancias de dispersión de sólo unos pocos cientos de metros, como ocurre para muchos insectos, anfibios, reptiles o micromamíferos (Sutherland et al. 2000; Baguette 2003; Smith y Green 2005; Stevens et al. 2013), los niveles de conectividad a esta escala peninsular serán en general muy bajos, y los análisis y medidas de gestión correspondientes deben focalizarse en los entramados de teselas que pudieran existir en escalas mucho más locales. Por otro lado, son muy pocas las especies que puedan presentar distancias

medianas de dispersión superiores a 30 km, ya que ese rango de distancias entra dentro de las capacidades habituales incluso de especies con gran movilidad como el lobo o el lince ibérico (Blanco y Cortés 2007; Ferreras et al. 2004; Fordham et al. 2013). Es importante señalar que los análisis realizados se han basado en un modelo probabilístico de conectividad (Saura y Pascual-Hortal 2007), y que las distancias referidas (de 1 a 30 km) son distancias medianas, y no máximas, de dispersión; es decir, que estos valores de distancia mediana son los que alcanzan un 50% de los individuos en dispersión de una determinada especie (habrá una probabilidad de dispersión igual a 0,5 para aquellos espacios que estén separados por una distancia igual a esa distancia mediana de dispersión). Individuos concretos de una determinada especie pueden alcanzar distancias de dispersión mucho mayores (aunque esto no sea lo habitual para la mayor parte de los individuos de dicha especie), y ello es compatible con los valores de distancia mediana de dispersión, el modelo probabilístico de conectividad y la función exponencial negativa de dispersión empleados en este estudio (véase Saura y Pascual-Hortal (2007) para más detalles y fórmulas); por ejemplo, realizando los cálculos pertinentes, para una especie con una distancia mediana de dispersión de 30 km el 1% de los individuos puede alcanzar una distancia de 200 km en su dispersión, o para una especie con una distancia mediana de dispersión de 3 km el 1% de los individuos puede alcanzar una distancia de 20 km.

2.5.2 Priorización de los conectores en escenarios de conservación y restauración

Los resultados de los análisis de coste mínimo proporcionan una gran cantidad de conectores entre los numerosos espacios Red Natura 2000 considerados. Sin embargo, no todos estos conectores son igualmente importantes de cara a mantener, o a mejorar mediante acciones de restauración, la conectividad del conjunto de la Red Natura 2000. Por otro lado tampoco es factible, considerando los generalmente limitados recursos disponibles en conservación o restauración, actuar sobre todos ellos con la misma intensidad de cara a asegurar o incrementar su funcionalidad. Por ello, se hace necesario contar con una priorización de los conectores identificados para concentrar sobre ellos de la manera más eficiente posible los recursos de conservación y restauración disponibles.

En concreto, dentro de este estudio se han considerado los siguientes tres escenarios de priorización de los conectores identificados:

1) Escenario de conservación. Se identifican aquellos conectores en los que la degradación o deterioro de sus condiciones actuales (hasta un bloqueo completo de su capacidad conectora) tendría un efecto más pernicioso sobre los niveles de conectividad que actualmente presenta la Red Natura 2000. La importancia de cada conector en el escenario de conservación se cuantifica mediante la disminución porcentual en el valor del índice PC que se produciría si se perdiera dicho conector ($dPC_{conserv}$).

2) Escenario de restauración. Se identifican aquellos conectores en los que la mejora de sus condiciones hasta su mejor estado posible, en el que todo el conector transitara por las cubiertas más favorables (con menor resistencia) para el movimiento de las especies asociadas al hábitat considerado, redundaría en un mayor incremento de la conectividad del conjunto de la Red Natura 2000. La importancia de cada conector en este escenario de restauración se cuantifica mediante el incremento porcentual en el valor del índice PC para la Red Natura 2000 que se produciría si dicho conector pasara a tener una distancia efectiva igual a la longitud del conector ($dPC_{restaur}$) La distancia efectiva sería igual a la longitud del conector si ya en el momento actual todo el conector transitara a través de zonas con resistencia igual a 1, que es valor de resistencia que

tienen las cubiertas más favorables para el movimiento (en cuyo caso por tanto $dPC_{restaur}$=0 ya que el conector presenta ya las condiciones óptimas y no ha lugar a una restauración o mejora de sus condiciones).

3) Escenario de restauración normalizada por el esfuerzo requerido. Se identifican aquellos conectores en los que una determinada intensidad limitada de las acciones de restauración sería más eficiente, por ser estos conectores los que presentan un mejor ratio entre el beneficio en términos de conectividad que se obtendría para el conjunto de la Red Natura 2000 y una estimación el coste de restauración requerido (hasta alcanzar un hipotético estado óptimo del conector). La importancia de cada conector en este escenario de restauración normalizada se cuantifica como el ratio entre (i) el incremento porcentual en el valor del índice PC que ocurriría si dicho conector pasara a tener una distancia efectiva igual a la longitud del conector ($dPC_{restaur}$), es decir, el mismo incremento considerado en el punto anterior para el escenario de restauración sin normalizar y (ii) la diferencia entre la distancia efectiva (coste acumulado) que existe actualmente en el conector y la longitud del conector (que sería la distancia efectiva que podría haber en el caso de menor resistencia a lo largo del conector), entendiendo que dicha diferencia en distancia efectiva (coste o resistencia acumulado) es proporcional al esfuerzo de restauración que habría que hacer sobre el territorio en este caso. Es decir, se entiende que cuanto más alejadas están las condiciones actuales de los paisajes por los que pasa el corredor de las condiciones óptimas (resistencia mínima) que podrían existir, mayor será el esfuerzo de restauración en términos tanto ecológicos como económicos. De entre varios conectores con un mismo $dPC_{restaur}$ (misma prioridad en el escenario de restauración sin normalizar), el conector que quedaría seleccionado como prioritario en este escenario de restauración normalizada sería aquel que presentara, en el momento actual, una menor diferencia entre su distancia efectiva actual y la menor distancia efectiva que se podría alcanzar de restaurar el conector a las condiciones óptimas en todo su trazado. Esa diferencia será tanto más reducida cuanto mejores sean ya las condiciones actuales del conector y/o cuanto menor longitud tenga el mismo.

Las prioridades en cada escenario se obtuvieron mediante el ranking, de mayor a menor, de los valores de importancia obtenidos y se resumieron para identificar los conectores prioritarios como el 10% de todos los conectores con mayor valor de importancia, complementado cuando sea necesario por los percentiles siguientes de importancia (por ejemplo, el segundo grupo de conectores por importancia, con el siguiente 10% (del 10 al 20%) de los valores de importancia).

Todos los valores de importancia (variaciones porcentuales en el valor del índice PC en uno y otro escenario) se calcularon mediante el programa informático Conefor, y se obtuvieron, en cada escenario, para cada uno de los tres hábitats y para cada una de las seis distancias de dispersión consideradas (1, 3, 5, 10, 20 y 30 km). Además de las prioridades para cada valor concreto de distancia de dispersión, se determinaron los conectores prioritarios para todo el conjunto de distancias de dispersión (de 1 a 30 km) mediante la suma de los valores de importancia obtenidos para cada una de las distancias de dispersión.

Las prioridades obtenidas para un mismo hábitat y distancia de dispersión serán en general diferentes para cada uno de los tres escenarios considerados. Por poner un ejemplo, si un conector tiene actualmente unas condiciones muy débiles, su pérdida o deterioro adicional puede tener un impacto bajo en la conectividad de la Red Natura 2000, ya que ese conector era ya poco utilizable para el movimiento entre los espacios de la red. Por tanto, tal conector tendrá

baja importancia y prioridad en el escenario de conservación. Pero ese mismo conector podría tener una alta prioridad en el escenario de restauración si su mejora contribuyera de manera sustancial a incrementar la conectividad entre espacios Red Natura 2000 que actualmente están muy débilmente conectados o aislados y no cuentan con otras vías alternativas para el intercambio de individuos o genes. Con ello quedan cubiertos los diferentes escenarios de actuación y los conectores que, en cada uno de ellos, pueden propiciar un mejor mantenimiento o mejora de la conectividad y funcionalidad ecológica a la escala de la España peninsular.

2.6. Identificación de cuellos de botella en los conectores prioritarios

Aun dentro de los conectores prioritarios identificados, no todos los tramos presentan la misma urgencia de actuación, en el sentido de que hay tramos donde las condiciones para la conectividad pueden ser ya buenas o relativamente buenas y otros donde la funcionalidad del corredor puede ser mucho más frágil y estar mucho más comprometida desde un punto de vista ecológico.

En este sentido, los análisis de coste mínimo realizados (véase apartado 2.4) no identifican sólo los caminos de coste mínimo entre los espacios Red Natura 2000, sino que también permiten estimar, a través de la evaluación de las franjas conectoras de anchura variable en torno a dichos caminos de coste mínimo, en qué tramos concretos de los conectores se presentan cuellos de botella, es decir, tramos con una escasa anchura de las franjas conectoras con suficiente permeabilidad. Estos cuellos de botella corresponden a los tramos en los que la funcionalidad conectora se podría ver comprometida en mayor medida, especialmente para especies con mayores requerimientos espaciales, así como a los tramos en los que pequeñas modificaciones adicionales de las cubiertas y usos del suelo podrían revertir en un bloqueo u obturación más drástica de la funcionalidad del conector.

En concreto, los cuellos de botella en los conectores prioritarios se han identificado como el 10% de los tramos (respecto a la longitud total del 10% de conectores prioritarios) en los que las condiciones del entorno del conector (promedio en un radio de 1 km) son más hostiles (presentan mayor resistencia) para el movimiento de las especies forestales. Dado que los cuellos de botella así calculados representan el 10% de la longitud total de los conectores prioritarios, y éstos a su vez representan el 10% del total de conectores, los cuellos de botella identificados representan del orden del 1% de la longitud total de todos los conectores entre todos los espacios de la Red Natura 2000 en la España peninsular.

2.7. Caracterización de las zonas transitadas por los conectores

Se caracterizaron las zonas transitadas por las diferentes tipologías de conectores identificados, escenarios (conservación, restauración y restauración normalizada), y hábitats. En concreto se caracterizaron, para cada uno de los tres hábitats a conectar, las zonas recorridas por (a) el total de conectores identificados para todos los espacios Red Natura 2000, (b) los conectores prioritarios (10% de valores de importancia) para el conjunto de distancias de dispersión (de 1 a 30 km) y para cada uno de los tres escenarios contemplados (conservación, restauración, restauración normalizada por el esfuerzo requerido), y (c) los cuellos de botella en esos conectores prioritarios para los tres escenarios.

Para ello se intersecaron las capas de los conectores o cuellos de botella con las siguientes capas de información sobre la Red Natura 2000, los ríos (para cuantificar el uso de las zonas de ribera por parte de los conectores) y las cubiertas del suelo:

- Red Natura 2000. Se usaron las mismas capas de LICs (Lugares de Importancia Comunitaria) y ZEPAs (Zonas de Especial Protección para las Aves) de la España peninsular descritas en el apartado 2.2.1.
- Ríos (riberas). Se definieron las riberas como las zonas situadas a una distancia de hasta 100 metros de los ríos, definidos éstos como los ríos primarios y secundarios identificados en la Base Cartográfica Nacional 1:200.000 del Instituto Geográfico Nacional.
- Cubiertas del suelo identificadas en el Mapa Forestal de España a escala 1:50.000 (ver mayores detalles sobre este mapa en el apartado 2.1). Se consideraron los siguientes principales tipos de cubierta: agrícola, bosque, bosque de plantación[14], dehesa y matorral[15] (que cubren conjuntamente del orden del 90% del territorio de la España peninsular). Otros tipos de cubierta menos abundantes no se consideraron en esta caracterización por su baja representación en el territorio y/o en los conectores identificados, que no permitía arrojar información relevante a estos efectos.

3. Resultados

3.1. Caminos de coste mínimo

Los caminos de coste mínimo muestran, para los tres hábitats, un patrón relativamente denso de conectores en la España peninsular (Figura 2), al representar el total de las conexiones entre todos los espacios de la Red Natura 2000, sin ninguna selección o priorización específica de los conectores en esta Figura 2.

Hay, no obstante, diferencias apreciables en la distribución territorial de los conectores, desde zonas con un entramado notablemente denso de conectores hasta otras por las que al contrario no discurren ningún o prácticamente ningún conector, tal como ocurre en determinadas partes de la submeseta sur o la submeseta norte y en algunas franjas costeras relativamente amplias (Figura 2).

Se observa también que los conectores entre los espacios Red Natura 2000 de la España peninsular discurren en algunos casos por fuera del territorio español, siendo más frecuentes y de mayor longitud los conectores que atraviesan Portugal, aunque también existe alguno en la vertiente norte (francesa) de los Pirineos. Estos resultados ilustran la importancia de considerar y gestionar la conectividad bajo una perspectiva trasnacional, especialmente en el marco de la Península Ibérica.

---

[14] El bosque de plantación, tal como se define en el Mapa Forestal de España a escala 1:50.000, corresponde a masas arboladas cuyo origen de plantación es perceptible por aparecer visibles los marcos de plantación u otros elementos que delaten su origen artificial, o por contar con especies arbóreas exóticas. Los bosques procedentes inicialmente de plantación dejan de estar dentro de esta categoría de plantación del Mapa Forestal de España cuando hayan adquirido una naturalidad y desarrollo estructural fruto del paso del tiempo y de la propia dinámica de la vegetación, por aparecer diluidos los marcos de plantación, presentar los árboles un diámetro normal del tronco de al menos 25 cm, haber irregularidad de tamaños y dimensiones en los pies arbóreos, producirse regeneración natural de la masa, o suficiente presencia espontánea de otras especies arbustivas o arbóreas que sean naturales en la zona.

[15] Dentro del tipo matorral se englobaron las clases de matorral y de pastizal-matorral diferenciadas en el Mapa Forestal de España.

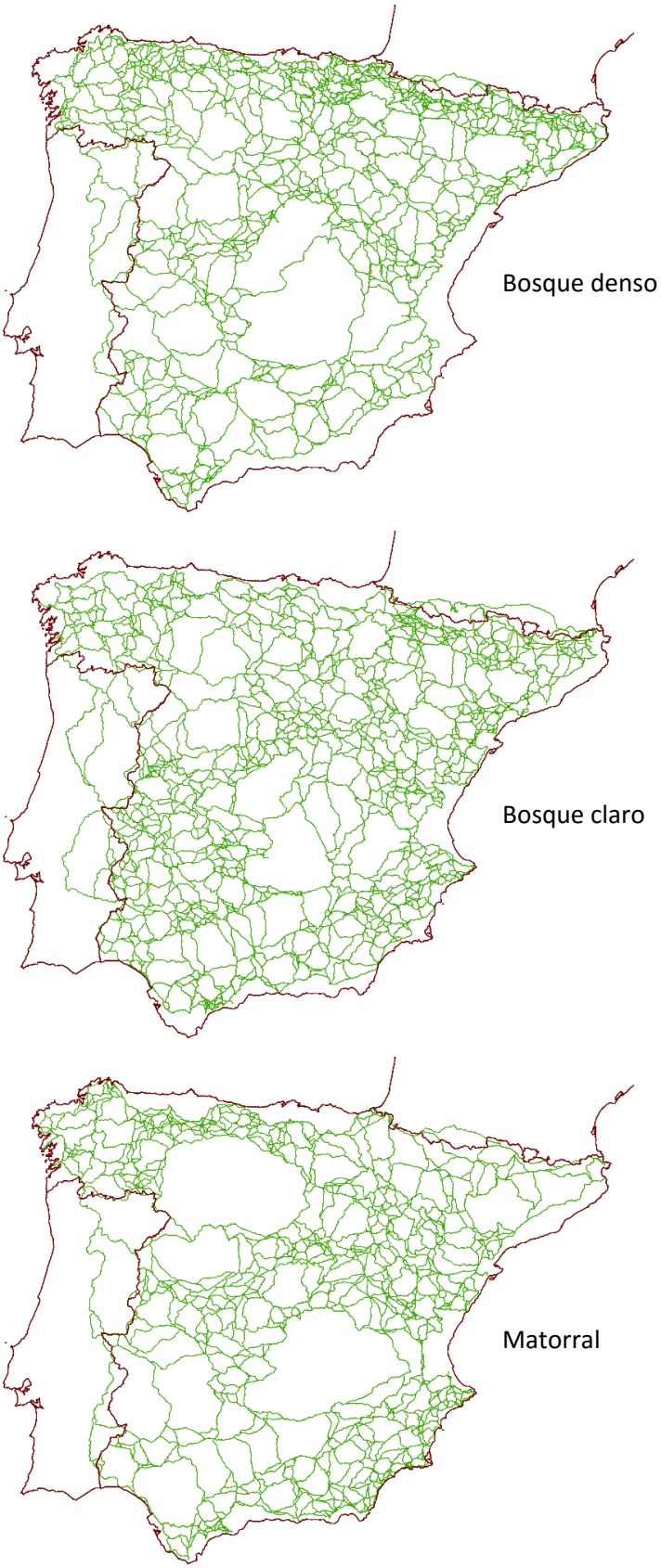

Figura 2. Caminos de coste mínimo (conectores) entre los espacios de la Red Natura 2000 en la España peninsular para cada uno de los tres hábitats considerados. En el Anexo C se pueden encontrar otras composiciones cartográficas en las que se muestran también estos caminos de coste mínimo.

Las diferencias en la distribución de los caminos de coste mínimo entre los diferentes hábitats son imputables tanto al distinto conjunto de espacios Red Natura a conectar en cada caso (aquellos con representación suficiente del hábitat correspondiente) como a las diferencias en las superficies de resistencia consideradas para cada hábitat, en función de la mayor o menor afinidad de las cubiertas del suelo para cada uno de los hábitats.

3.2. Franjas conectoras

La información de los caminos de coste mínimo (líneas) se complementa y amplia de manera sustancial con la de las franjas conectoras (Figuras 3, 4 y 5), en las que se observa no sólo el trazado del eje o parte central de los conectores (caminos de coste mínimo) sino la amplitud de la franja territorial sobre la cual es factible que las especies encuentren buenas condiciones para realizar sus movimientos o, en otras palabras, la anchura de los corredores entre los espacios de la Red Natura 2000.

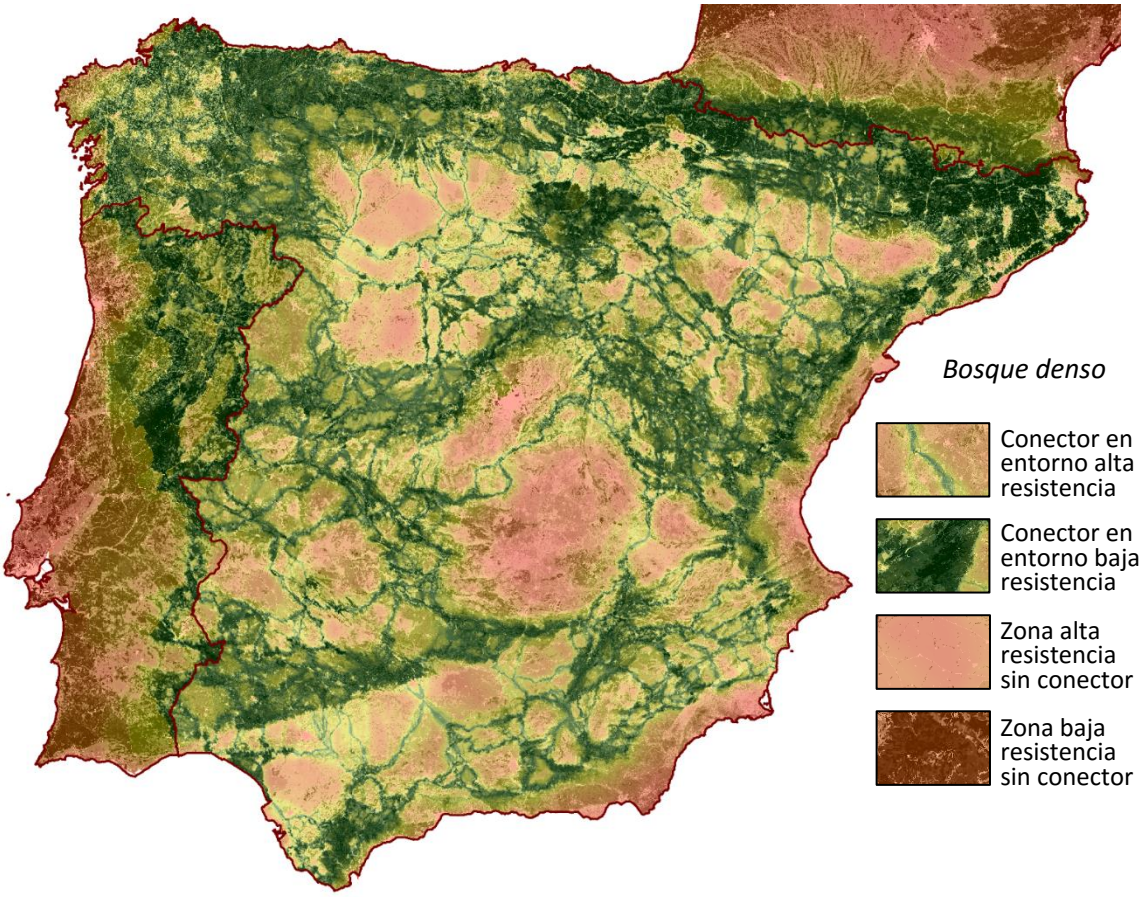

Figura 3. Red de franjas conectoras de la Red Natura 2000 en la España peninsular para el hábitat correspondiente a bosque denso y maduro. La figura es el resultado de mostrar el mapa de franjas conectoras superpuesto, con cierta nivel de transparencia, sobre la superficie de resistencia para este hábitat. En el Anexo C se pueden encontrar figuras con composiciones que muestran individual y separadamente cada una de estas capas (mapa de franjas conectoras y superficie de resistencia), así como otras composiciones relacionadas.

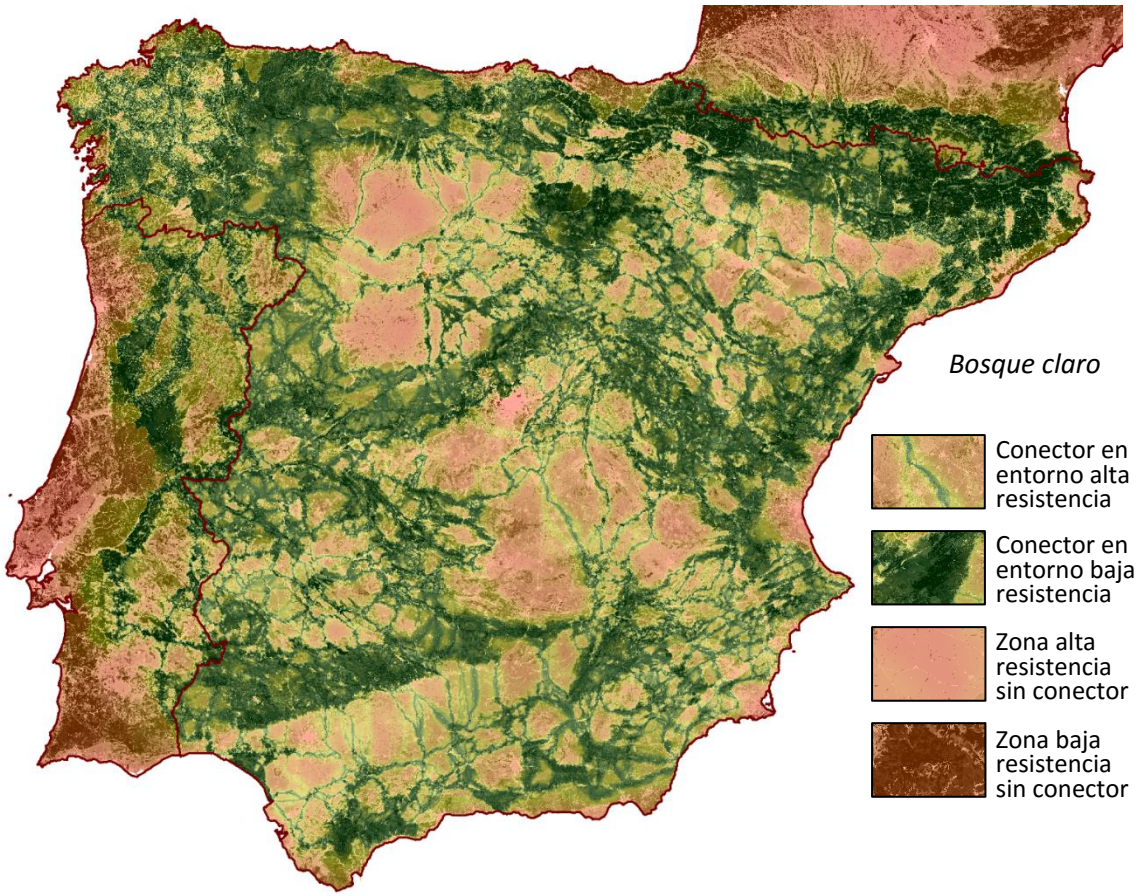

Figura 4. Red de franjas conectoras de la Red Natura 2000 en la España peninsular para el hábitat correspondiente a bosque claro. Véase la leyenda de la Figura 3 para detalles adicionales.

Sobre las franjas conectoras se pueden diferenciar conectores con entornos amplios favorables y con buena permeabilidad, y otros conectores que transcurren encajonados y constreñidos a través de entornos paisajísticos con elevada hostilidad y resistencia para el movimiento de las especies forestales (Figuras 3, 4 y 5). Sobre los mapas de las Figuras 3-5 se pueden apreciar también, aparte de los corredores en sí mismos, zonas con alta resistencia a través de las cuales, como cabe esperar, son menos frecuentes los conectores (aunque en algunos casos los conectores tienen que atravesar también zonas de alta resistencia cuando ésta es la única posibilidad para alcanzar un determinado espacio de la Red Natura 2000), así como zonas de baja resistencia que, a pesar de ello, no forman parte de la red de franjas conectoras, bien porque son zonas periféricas que no dan acceso a otros espacios Red Natura 2000 de España, o bien porque están rodeadas por otras zonas de alta resistencia que dificultan la existencia de caminos que pudieran transitar hacia o a través de las mismas.

También se pueden observar las amplias franjas conectoras que, enlazando espacios Red Natura 2000 españoles, transitan por la vertiente francesa de los Pirineos y, sobre todo, por Portugal (especialmente en su mitad norte), incidiendo en los beneficios de gestionar la conectividad desde una perspectiva transnacional, como ya apuntábamos en el apartado anterior.

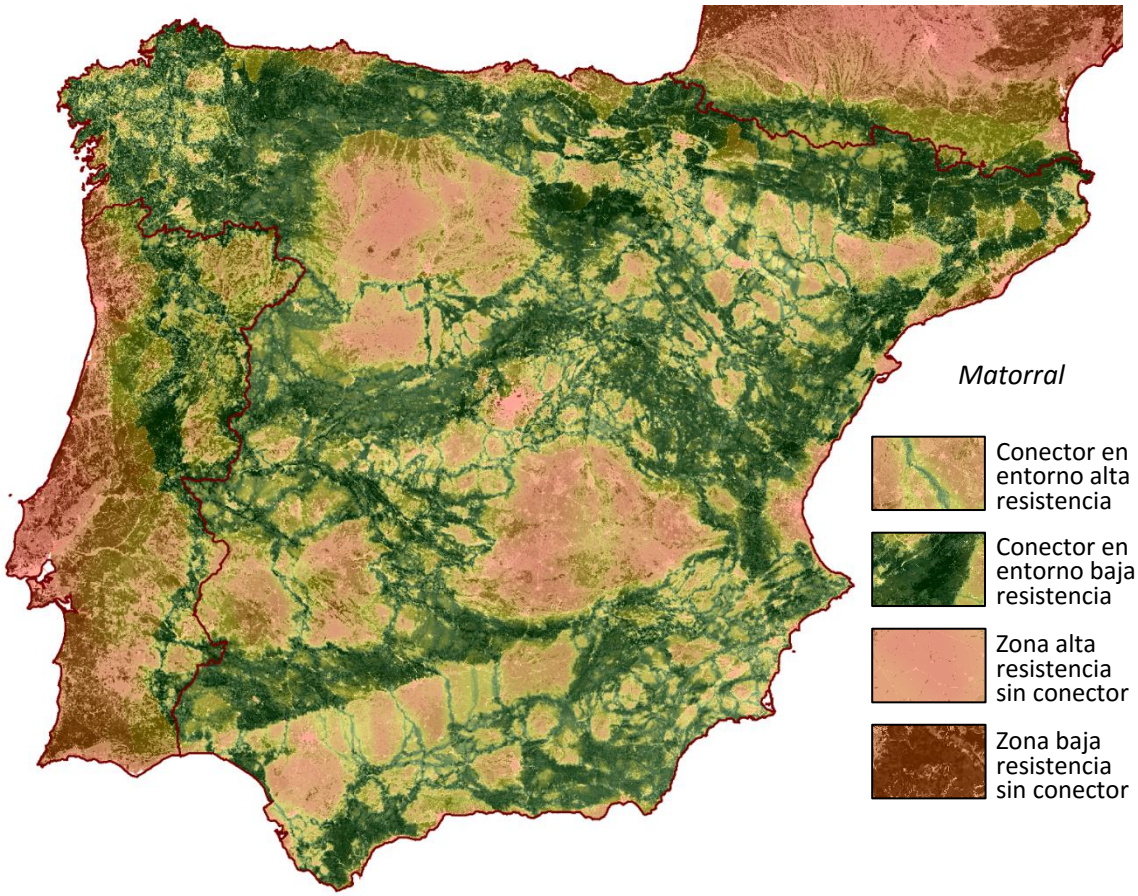

Figura 5. Red de franjas conectoras de la Red Natura 2000 en la España peninsular para el hábitat correspondiente a matorral. Véase la leyenda de la Figura 3 para detalles adicionales.

3.3. Conectores prioritarios

Dentro del gran número de conectores (caminos de coste mínimo) identificados, no todos ellos son igualmente importantes para la conectividad y funcionalidad del conjunto de la Red Natura 2000. Por ello, la priorización de estos conectores es necesaria para orientar adecuadamente los esfuerzos de gestión destinados a mantener o mejorar la conectividad de la Red Natura 2000 en España.

En la priorización de los conectores se ha tenido en cuenta (i) la distribución de los espacios Red Natura 2000 con presencia significativa de cada hábitat, (ii) la superficie de hábitat existente en cada espacio de manera que, a igualdad de otros factores, los conectores que permiten alcanzar mayores recursos de hábitat tienen un mayor peso en la priorización, (iii) la distancia efectiva (coste acumulado) entre los espacios a lo largo de los conectores, que es dependiente de la resistencia de la matriz en el territorio que separa los espacios, y también de la resistencia existente dentro de los propios espacios Red Natura 2000, (iv) la distancia de dispersión de las especies consideradas, de manera que por ejemplo los conectores que tengan distancias efectivas mucho mayores que la distancia de dispersión tendrán una aportación muy débil a la conectividad, y (v) los diferentes caminos que se pueden seguir para moverse entre los espacios (de manera que un camino que sea el único que se puede seguir para moverse entre dos espacios tendrá mayor peso que cuando existan muchos caminos, con distancias efectivas bajas o moderadas, que permitan alcanzar esos espacios), todo ello conforme a los métodos descritos en el apartado 2.5.

En las Figuras 6-8 se muestran los corredores prioritarios identificados para cada uno de los hábitats en los escenarios de conservación (conectores cuya pérdida supondría un impacto más negativo para la conectividad de la red), restauración (conectores cuya mejora hasta unas condiciones ideales revertiría en un mayor beneficio en términos de incremento de la conectividad de la red), y restauración normalizada por el esfuerzo de restauración requerido (conectores en los que se estima que se obtendría un mejor ratio entre el incremento de la conectividad obtenido y el gasto requerido para obtener tal incremento). En la Figura 9 se muestran de manera conjunta los conectores prioritarios identificados para todos los hábitats y escenarios, diferenciándose con colores los correspondientes a cada uno de los tres escenarios considerados. Adicionalmente, en la Figura 10 se muestra la calidad conectora de las franjas territoriales en un entorno de 10 km del eje central de los conectores prioritarios (entendida dicha calidad como la amplitud de las zonas permeables en dicho entorno), generada como resultado de combinar el conjunto de conectores que se muestra en la Figura 9 con los resultados relativos a las franjas conectoras que se muestran en las Figuras 3-5 (apartado 3.2). Dado el gran número de priorizaciones realizadas (3 hábitats, 3 escenarios de conservación o restauración, y 6 valores de distancias medianas de dispersión entre 1 y 30 km), en las Figuras 6-10 se muestran las priorizaciones agregadas para el conjunto de distancias de dispersión, resultantes de sumar la importancia obtenida para cada conector para las seis distancias medianas de dispersión evaluadas (1 km, 3 km, 5 km, 10 km, 20 km y 30 km). No obstante, en el Anexo C se presentan las priorizaciones desglosadas para cada uno de estos valores de distancia de dispersión, así como otras figuras relacionadas con estas priorizaciones.

Aunque en las Figuras 6-8 se pueden apreciar los diferentes detalles de las priorizaciones obtenidas para los tres escenarios considerados, se pueden destacar algunos patrones generales de interés comunes a los tres hábitats analizados (bosque denso, bosque claro y matorral). En primer lugar, se observa que en el escenario de conservación los conectores prioritarios tienden a estar concentrados a lo largo de los principales macizos montañosos de la España peninsular, aunque también existe un número significativo de conectores fuera de estos macizos, a través de paisajes que permiten mantener conectados entre sí importantes masas forestales de distintos espacios Red Natura 2000. En cambio, en el escenario de restauración los conectores se distribuyen en mucha mayor medida que en el de conservación a través de la matriz territorial que separa los espacios forestales de la Red Natura 2000, atravesando con cierta frecuencia paisajes con un intenso uso agrícola y baja cobertura forestal (como por ejemplo el entorno del Valle del Guadalquivir o determinadas zonas de la Submeseta Sur) a través de las pequeñas franjas relativamente permeables que existen en los mismos. Las diferencias en las priorizaciones entre estos dos escenarios reflejan que en un caso se destacan los conectores que, por tener suficientemente buenas condiciones actualmente, hay que evitar que se deterioren (escenario de conservación) y en el otro se destacan aquellos que, aun no teniendo actualmente características de permeabilidad suficiente para realizar una aportación destacada a la conectividad de la Red Natura 2000, presentan una posición estratégica en el territorio, de manera que si se mejorara su funcionalidad ello se traduciría en una mejora sustancial en la conectividad del conjunto de la red (escenario de restauración).

Así pues, si un conector está destacado como prioritario en el escenario de conservación pero no en el de restauración, debe interpretarse que su conservación y mantenimiento en su estado actual es fundamental pero que no es prioritario concentrar en él recursos para mejorar adicionalmente sus condiciones de permeabilidad, ya que estas mejoras serían más necesarias y efectivas en otros conectores que presentan actualmente condiciones peores (más limitantes) de cara a la conectividad del conjunto de la red. Si, por el contrario, un conector se destaca como

prioritario para la restauración pero no para la conservación, quiere decir que este conector presenta actualmente unas condiciones malas para la conectividad (alta distancia efectiva o coste acumulado a lo largo del mismo), por lo que incluso si se mantuviera en su estado actual su aportación a la conectividad del conjunto de la red sería muy débil, y por tanto también muy débil el impacto en términos de pérdida de conectividad que pudiera tener el deterioro adicional de este conector. Sin embargo, tal conector cuenta con una posición estratégica en el territorio, de manera que si se pudiera restaurar suficientemente, ello sí mejoraría sustancialmente la conectividad de la Red Natura 2000 por encima de los niveles actuales.

Por otro lado, el conjunto de conectores destacado como prioritario para el escenario de restauración y para el escenario de restauración normalizada por el esfuerzo requerido no tiene por qué coincidir. Cuando un conector sea prioritario en ambos escenarios, quiere decir que su restauración supondría una mejora destacada de la conectividad de la Red Natura 2000, y que al mismo tiempo también sería factible o eficiente considerando la magnitud del esfuerzo de restauración requerido. Por el contrario, que un conector sea prioritario para la restauración y no para la restauración normalizada por el esfuerzo indica que la mejora de las condiciones de ese conector sería muy beneficioso para la conectividad de la Red Natura 2000, pero que la magnitud del esfuerzo de restauración requerido es tal que podría considerarse la actuación en otros conectores cuya mejora revertiría en un incremento no tan elevado de la conectividad de la red pero con una inversión sensiblemente menor en términos relativos (mejor ratio beneficio/coste), permitiendo una mejor modulación y distribución de los recursos (generalmente escasos) disponibles para la restauración.

Dado que el esfuerzo de restauración requerido para llevar a un conector de sus condiciones actuales a las ideales para la conectividad es combinación de la longitud de ese conector (extensión del territorio sobre el que habría que trabajar) y de los tipos de cubierta presentes actualmente en el conector (mayor esfuerzo de restauración requerido en los conectores con peores condiciones de permeabilidad, menor cobertura forestal, y mayor resistencia al movimiento de las especies forestales), los conectores prioritarios para la restauración normalizada por el esfuerzo tienden a ser más cortos, y a discurrir por zonas con mayor proporción de cobertura forestal, que los conectores prioritarios para la restauración sin normalizar (independiente del esfuerzo requerido), que tienden a ser más largos y a atravesar con más frecuencia paisajes con menor permeabilidad para las especies forestales (por ejemplo paisajes dominados por uso agrícola y escasa cubierta forestal), como se puede apreciar en las Figuras 6-9.

En qué casos (proyectos de restauración) es más relevante orientarse según las prioridades de restauración (sin normalización) y en cuáles según las normalizadas depende de la escala y magnitud de las actuaciones que se puedan plantear. Proyectos con gran alcance, intensidad, y dotación presupuestaria pueden abordar las prioridades del escenario de restauración sin normalizar (aunque posiblemente tal proyecto se centre en sólo uno o pocos de los conectores identificados), mientras que actuaciones más pequeñas, con recursos más contenidos, en los que es fundamental maximizar la eficiencia de las actuaciones, serían más rentables o eficientes desde el punto de vista de la conectividad en los conectores identificados como prioritarios en el escenario de restauración normalizado por el esfuerzo requerido.

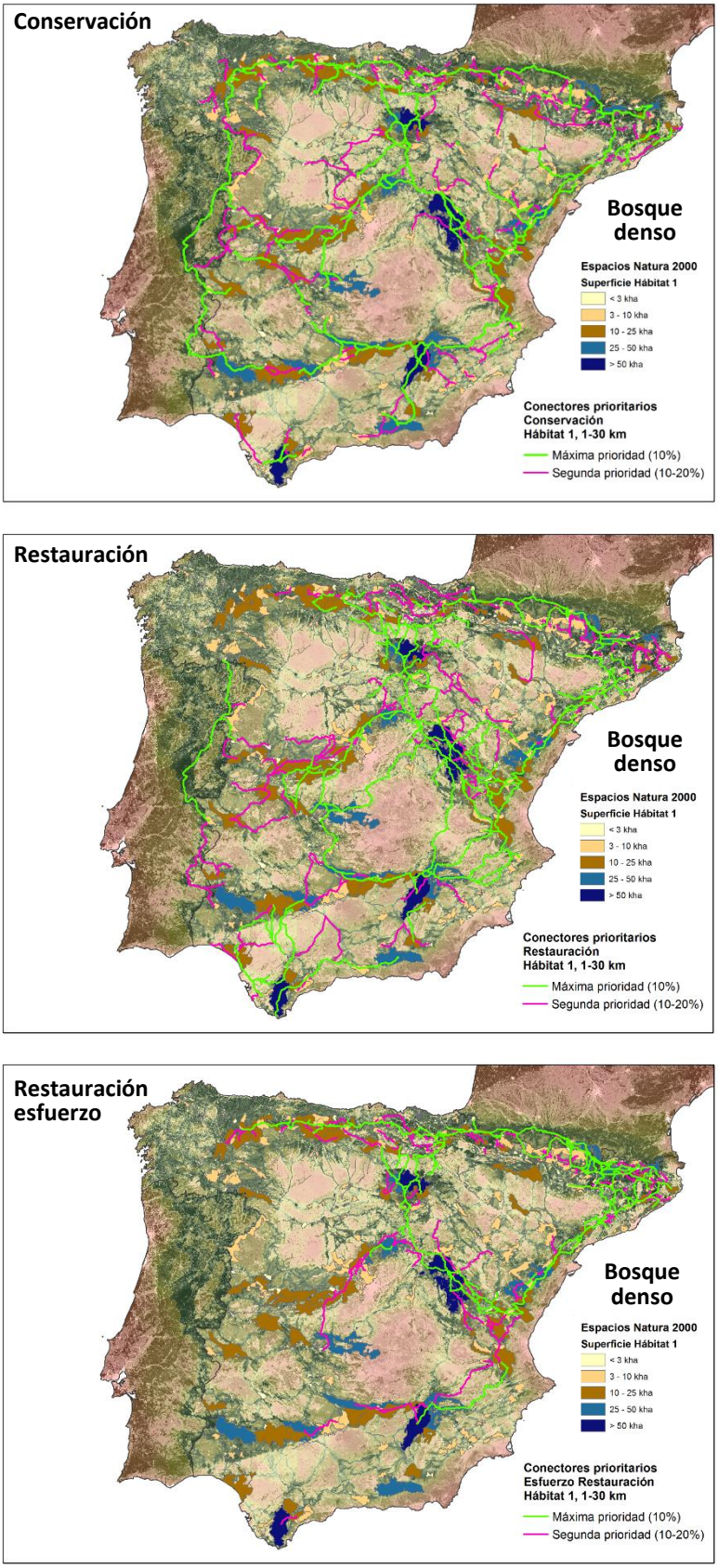

Figura 6. Conectores prioritarios para el bosque denso y maduro (hábitat 1) en los escenarios de conservación, restauración y restauración normalizada por el esfuerzo requerido. Se destacan como prioritarios el 20% de los conectores totales, desglosados en dos grupos de importancia: el 10% de más prioridad en verde y el segundo grupo del 10-20% en magenta.

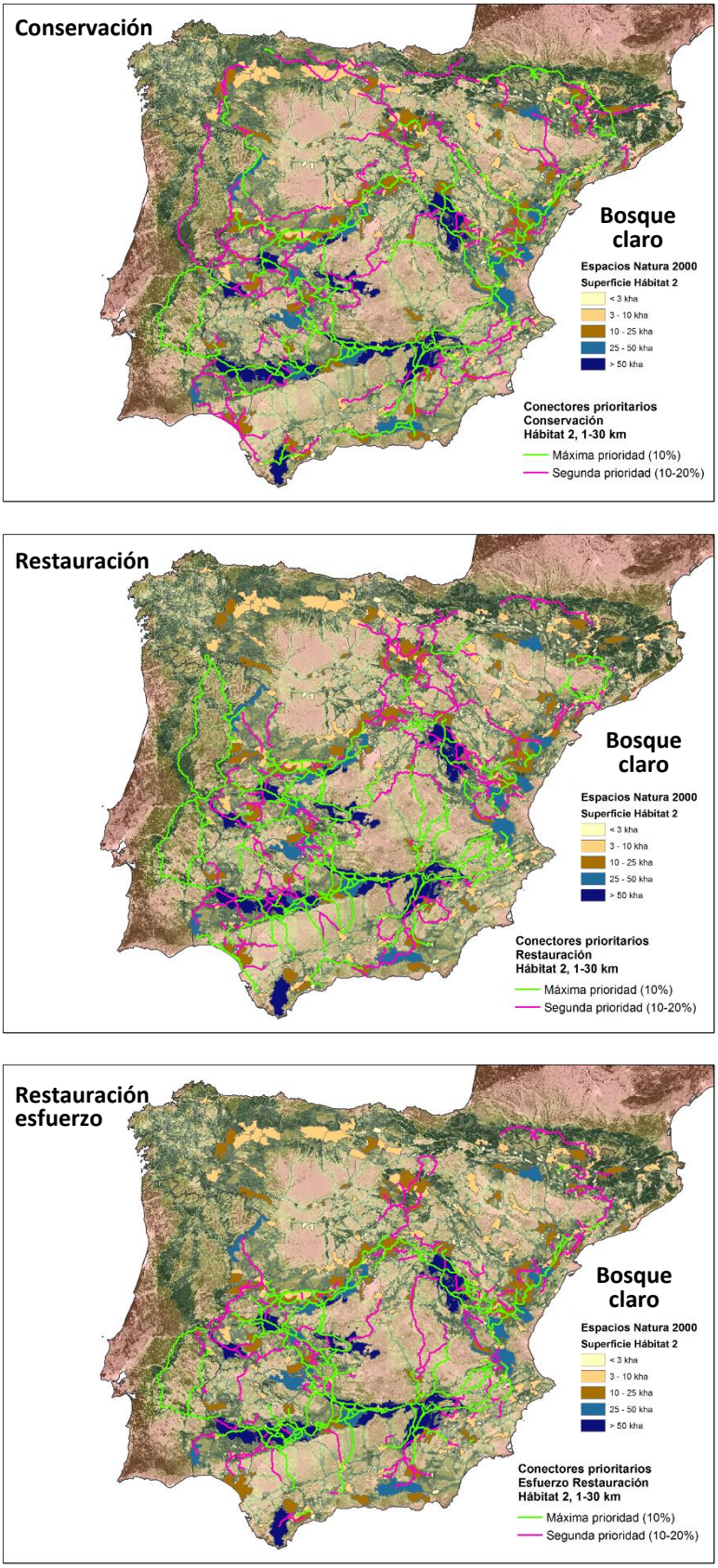

Figura 7. Conectores prioritarios para el bosque claro (hábitat 2) en los escenarios de conservación, restauración y restauración normalizada por el esfuerzo requerido. Se destacan como prioritarios el 20% de los conectores totales, desglosados en dos grupos de importancia: el 10% de más prioridad en verde y el segundo grupo del 10-20% en magenta.

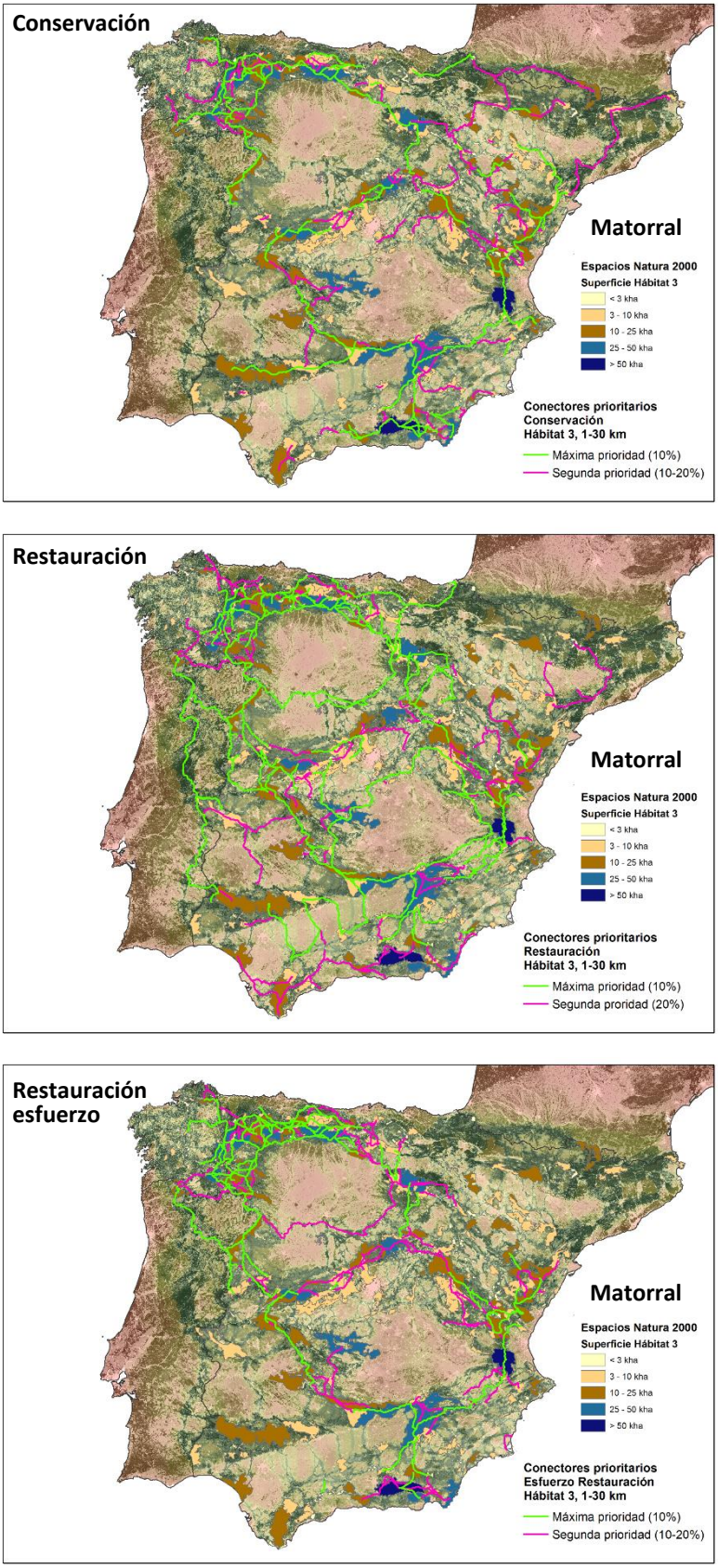

Figura 8. Conectores prioritarios para el matorral (hábitat 3) en los escenarios de conservación, restauración y restauración normalizada por el esfuerzo requerido. Se destacan como prioritarios el 20% de los conectores totales, desglosados en dos grupos de importancia: el 10% de más prioridad en verde y el segundo grupo del 10-20% en magenta.

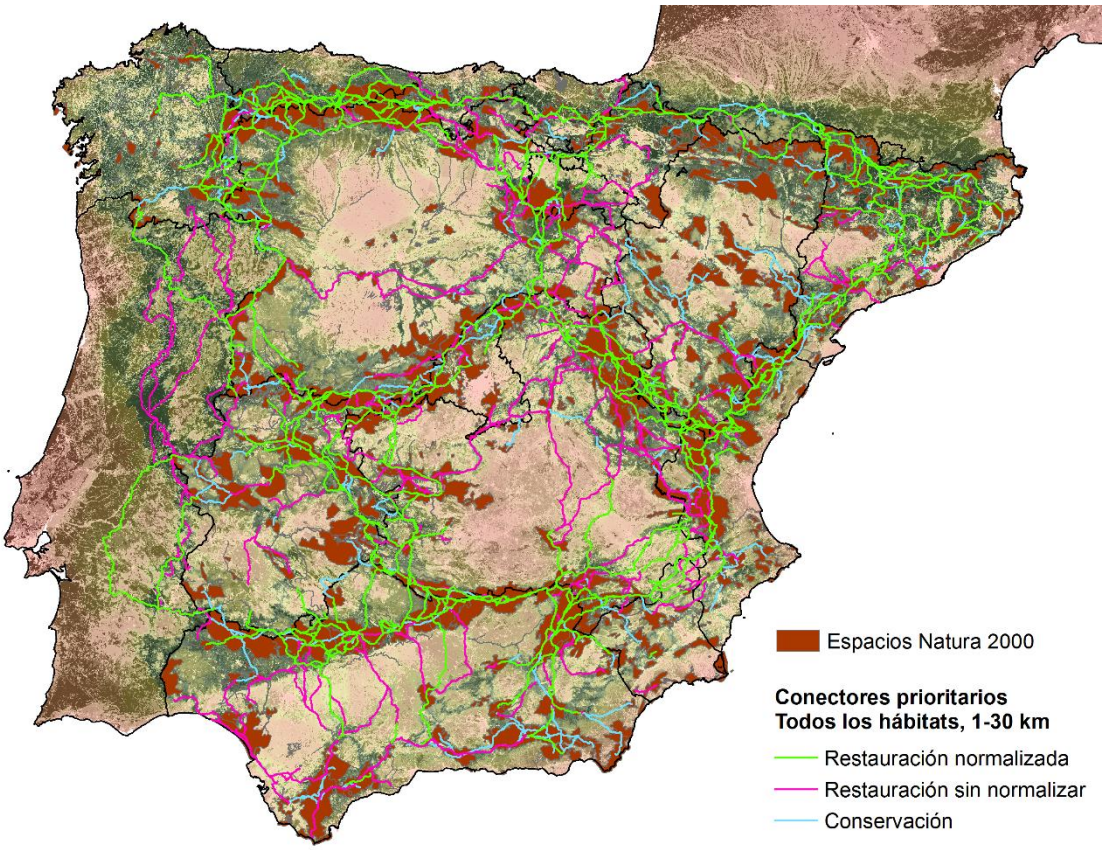

Figura 9. Conectores prioritarios (10% con mayor importancia del total de conectores) para todos los hábitats (bosque denso, bosque claro y matorral), diferenciándose con colores los correspondientes a cada uno de los escenarios de conservación y restauración. No obstante, en caso de solapes (coincidencias) entre conectores prioritarios para distintos escenarios, prevalece el orden de visualización que figura en la leyenda gráfica; es decir, se muestran siempre los conectores prioritarios para la restauración normalizada por el esfuerzo de restauración requerido, los prioritarios para la restauración (sin normalizar) sólo son visibles si no coinciden con los anteriores, y los conectores prioritarios para la conservación sólo son visibles si no coinciden con los que son prioritarios en cualquiera de los dos escenarios de restauración.

En las Figuras 6, 7 y 8 se pueden observar también diferencias en los patrones de los conectores prioritarios para los diferentes hábitats, asociadas a las diferencias en la distribución de estos hábitats en la España peninsular y en los espacios de la Red Natura 2000, como por ejemplo con una distribución más septentrional para los conectores prioritarios para el bosque denso (Figura 6) y una más meridional para los conectores prioritarios para el bosque claro (Figura 7).

En la Figura 10 se puede observar que la calidad de las franjas en torno a los conectores prioritarios para los hábitats forestales es claramente más elevada en el norte de España y en los principales macizos montañosos que presentan las mejores condiciones de permeabilidad para las especies forestales (Cordillera Cantábrica, Pirineos, Sistema Ibérico, Sistema Central, Sierra Morena, etc.), mientras que los conectores prioritarios con los entornos más hostiles los encontramos al transitar por el Valle del Guadalquivir, por la Submeseta Sur y Norte, y por algunas zonas costeras, de acuerdo con lo presentado en el apartado 3.2.

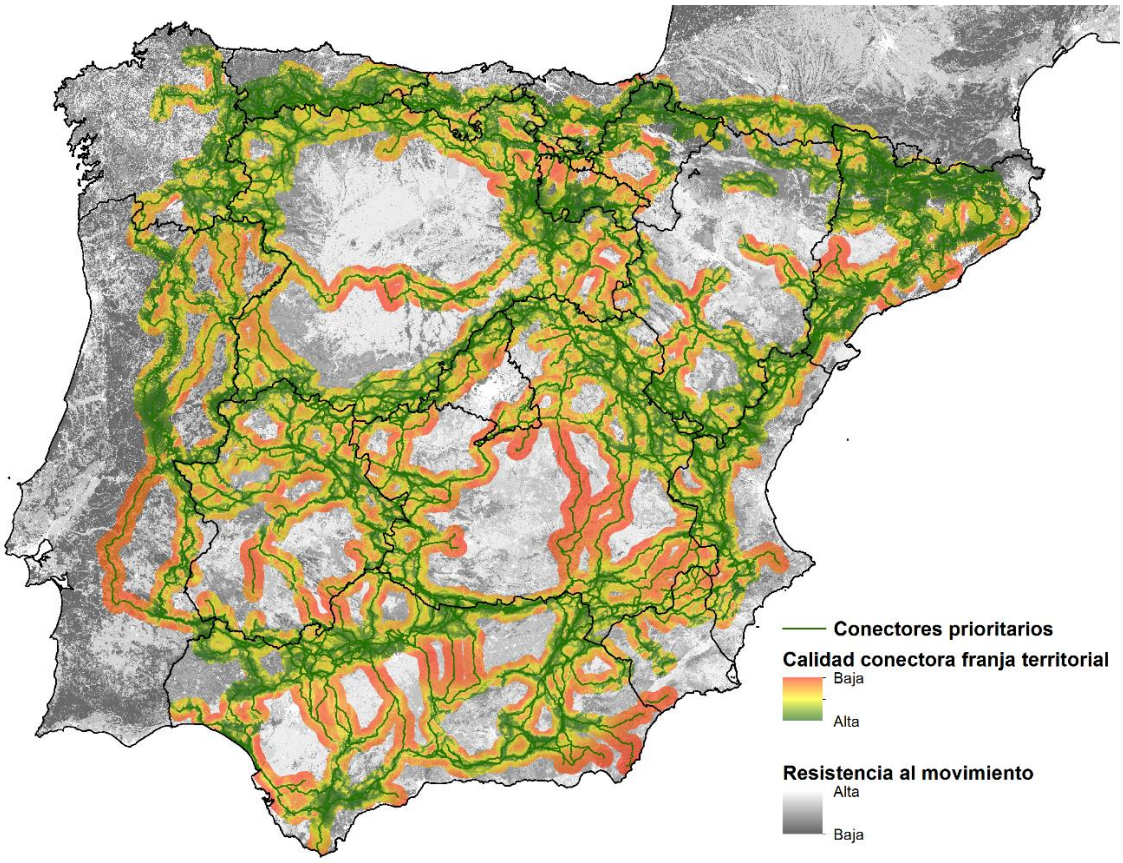

Figura 10. Calidad conectora de las franjas territoriales en un entorno de 10 km del eje central de los conectores prioritarios entre los espacios de la Red Natura 2000 (se incluyen los conectores prioritarios para todos los hábitats y escenarios). Valores altos de esta calidad en toda o gran parte de la franja correspondiente indican que se presentan condiciones favorables para el movimiento, en el sentido de ser similares a las del camino de coste mínimo que marca el eje central del conector, en un amplio entorno espacial y, por tanto, que los conectores cuentan con una anchura considerable que les permite conducir grandes flujos de dispersión y a su vez mantener su funcionalidad frente a pequeños cambios locales en las condiciones de usos del suelo que se puedan producir dentro de estas franjas territoriales. Por el contrario, una baja calidad en gran parte de la franja, incluso ya en las zonas inmediatamente adyacentes a su eje central marcado por los conectores, indican condiciones mucho más limitantes para el movimiento de las especies forestales, en comparación con las del camino de coste mínimo que marca el eje central del conector, y una fragilidad de la funcionalidad del conector, si no ya en sus condiciones actuales, frente a pequeños deterioros o degradaciones adicionales de las zonas por las que transitan. En la figura se muestran los conectores prioritarios definidos como aquellos que representan el 10% de mayor importancia para cada uno de los tres hábitats forestales (bosque denso, bosque claro y matorral) y escenarios (conservación, restauración y restauración normalizada por el esfuerzo requerido) considerados. En las zonas no cubiertas por dichas franjas territoriales se muestran, en gama de grises, los valores locales de la superficie de resistencia al movimiento. Las capas de calidad conectora de las franjas territoriales y de resistencia al movimiento corresponden ambas al resultado agregado para los tres hábitats forestales considerados (bosque denso, bosque claro y matorral) que se muestran en las Figuras 3, 4 y 5.

En conjunto, los conectores prioritarios identificados (considerando conjuntamente todos los hábitats y escenarios), en el supuesto de que contaran con la anchura mínima de 100 m que se considera exigible para que puedan funcionar como corredor para la gran mayoría de las especies (Bentrup 2008), cubrirían una extensión total de 387.100 hectáreas, es decir, del orden del 0.8% de la superficie de la España peninsular (418.417 hectáreas si incluimos los conectores transfronterizos que transcurren por Portugal y Francia). Mayores anchuras que ese valor mínimo para los conectores darían superficies más o menos proporcionales a las reseñadas: por ejemplo, para una anchura de 200 m de los corredores, la extensión total que cubrirían sería de 739.282 hectáreas (798.649 incluyendo los conectores transfronterizos).

3.4. Cuellos de botella en los conectores prioritarios

Los conectores identificados, aun refiriéndonos sólo a los prioritarios, representan una considerable extensión en el territorio español. Por otro lado, los conectores no son entidades completamente homogéneas, sino que dentro de los mismos existen tramos con diferentes características y condiciones más o menos favorables para la conectividad; la funcionalidad conectora de un corredor entre dos espacios, ya sea más o menos débil o fuerte, es el resultado agregado de las características de los diferentes tramos que lo componen. Por ello, es conveniente afinar la identificación de los conectores prioritarios presentada en el apartado anterior mediante la caracterización de los cuellos de botella que, dentro de éstos, presentan las condiciones más frágiles y por tanto tienen mayor necesidad de centrar las actuaciones de conservación o restauración.

Estos cuellos de botella (Figuras 11-15) son los tramos que presentan una menor anchura de las franjas conectoras con suficiente permeabilidad, y por tanto son aquellos en los que la funcionalidad conectora se podría ver comprometida en mayor medida, especialmente para especies con mayores requerimientos espaciales, así como los tramos en los que pequeñas modificaciones adicionales de las cubiertas y usos del suelo podrían revertir en un bloqueo u obturación más drástica de la funcionalidad del conector. Aunque algunos de estos cuellos de botella se pueden adivinar sobre los mapas de las franjas conectoras y las cuatro tipologías diferenciadas en las Figuras 3-5, aquí se presentan identificados de una manera cuantitativa y objetiva, y ya centrados en los conectores prioritarios para la conservación y restauración.

En comparación con la distribución de los conectores prioritarios (Figuras 6-9) se observa que los cuellos de botella (Figuras 11-15) tienden a encontrarse en menor medida en los principales núcleos forestales, y se localizan con una frecuencia mayor en la matriz territorial abierta y relativamente inhóspita, por la cual los conectores sólo encuentran escasas zonas permeables, frecuentemente estrechas, con discontinuidades, y con entornos relativamente resistentes para el movimiento a escasa distancia del eje central del conector. No obstante, esta tendencia es mucho más patente en los cuellos de botella de los conectores prioritarios para la restauración, tanto normalizada como sin normalizar (aunque en mayor medida en esta última), que en los cuellos de botella en los conectores prioritarios para la conservación (Figuras 11-13). Ello es reflejo de las mejores condiciones y anchura de los conectores que, ya en las condiciones actuales, muestran en términos generales una mayor funcionalidad y aporte a la conectividad del conjunto de la red Natura 2000, y son por tanto aquellos que no se deben perder o deteriorar.

En general se observa con claridad cómo los cuellos de botella tienden a concentrarse en los tramos de los conectores que, conectando en sus extremos los principales macizos montañosos y espacios forestales de la Red Natura 2000, transitan a través de paisajes con una baja cobertura

forestal (Figuras 11-15), siendo esta tendencia especialmente patente en los cuellos de botella de los escenarios de restauración.

En la Figura 15 se destacan diez zonas prioritarias de actuación atendiendo a la importante presencia de cuellos de botella, donde se puede observar que estas zonas se concentran muy mayoritariamente en la mitad sur de España, con la excepción de la zona prioritaria que corresponde a la conexión del Sistema Ibérico con los Montes Vascos y las estribaciones de la Cordillera Cantábrica.

En conjunto, los cuellos de botella identificados (considerando conjuntamente todos los hábitats y escenarios), en el supuesto de que los conectores contaran en estos tramos con la anchura mínima de 100 m que se considera exigible para que puedan funcionar como corredor para la gran mayoría de las especies (Bentrup 2008), cubrirían una extensión total de 44.366 hectáreas (47.594 hectáreas si incluimos los cuellos de botella en los conectores transfronterizos que transcurren por Portugal y Francia). Mayores anchuras que ese valor mínimo para los conectores en los cuellos de botella darían superficies más o menos proporcionales a las reseñadas: por ejemplo, para una anchura de 200 m la extensión total que cubrirían sería de 86.099 hectáreas (92.378 hectáreas incluyendo los cuellos de botella en los conectores transfronterizos).

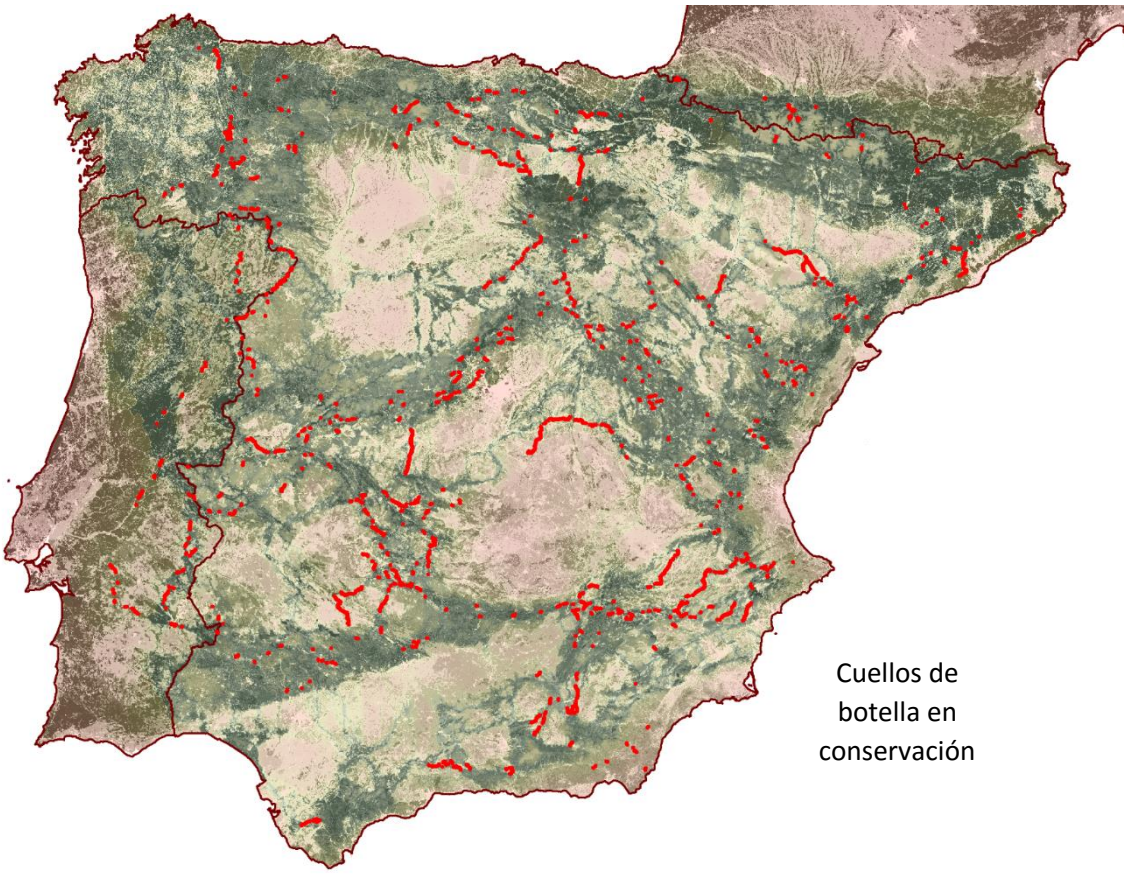

Figura 11. *Cuellos de botella en los conectores prioritarios para la conservación de la conectividad de la Red Natura 2000. Se incluyen los cuellos de botella para los tres hábitats forestales considerados (bosque denso, bosque claro y matorral). En el Anexo C se incluyen figuras con los cuellos de botella separadamente para cada uno de los hábitats, así como otras composiciones de mapas relacionadas con los cuellos de botella.*

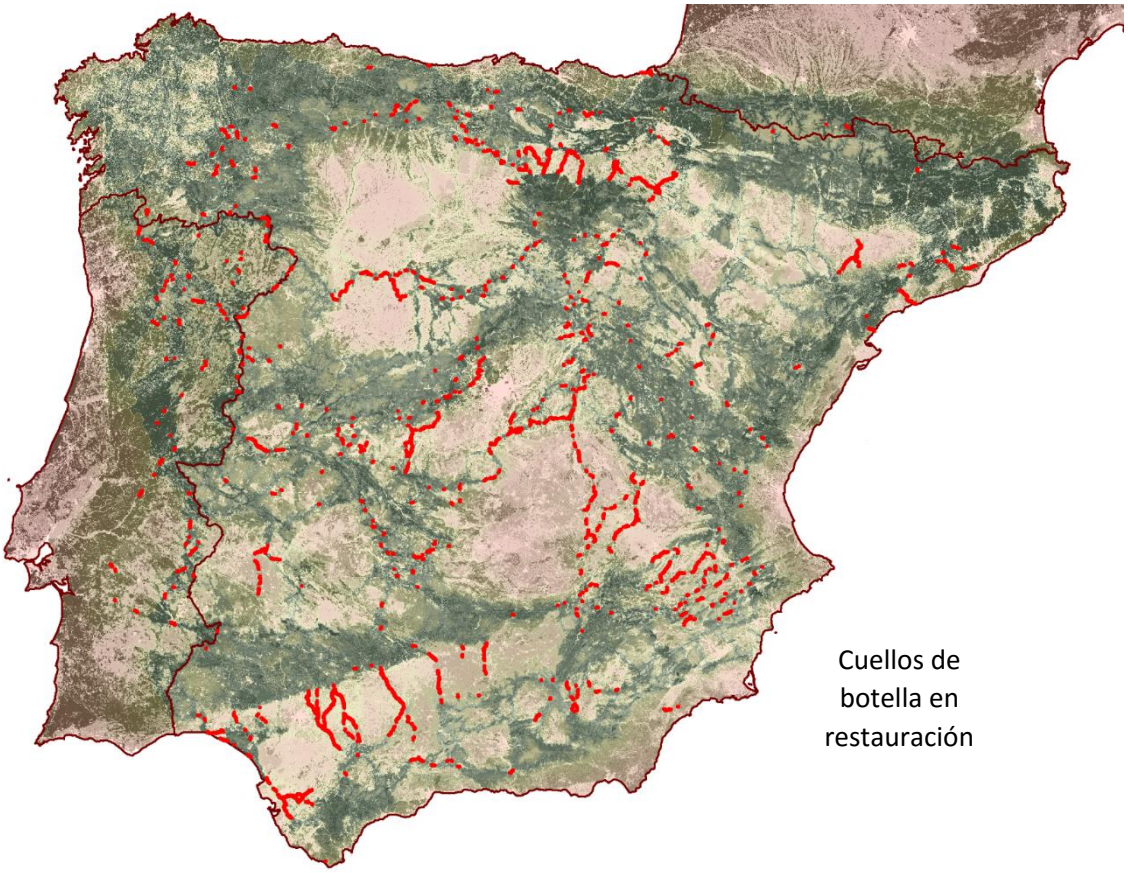

Figura 12. Cuellos de botella en los conectores prioritarios para la restauración de la conectividad de la Red Natura 2000. Se incluyen los cuellos de botella para los tres hábitats forestales considerados (bosque denso, bosque claro y matorral). En el Anexo C se incluyen figuras con los cuellos de botella separadamente para cada uno de los hábitats, así como otras composiciones de mapas relacionadas con los cuellos de botella.

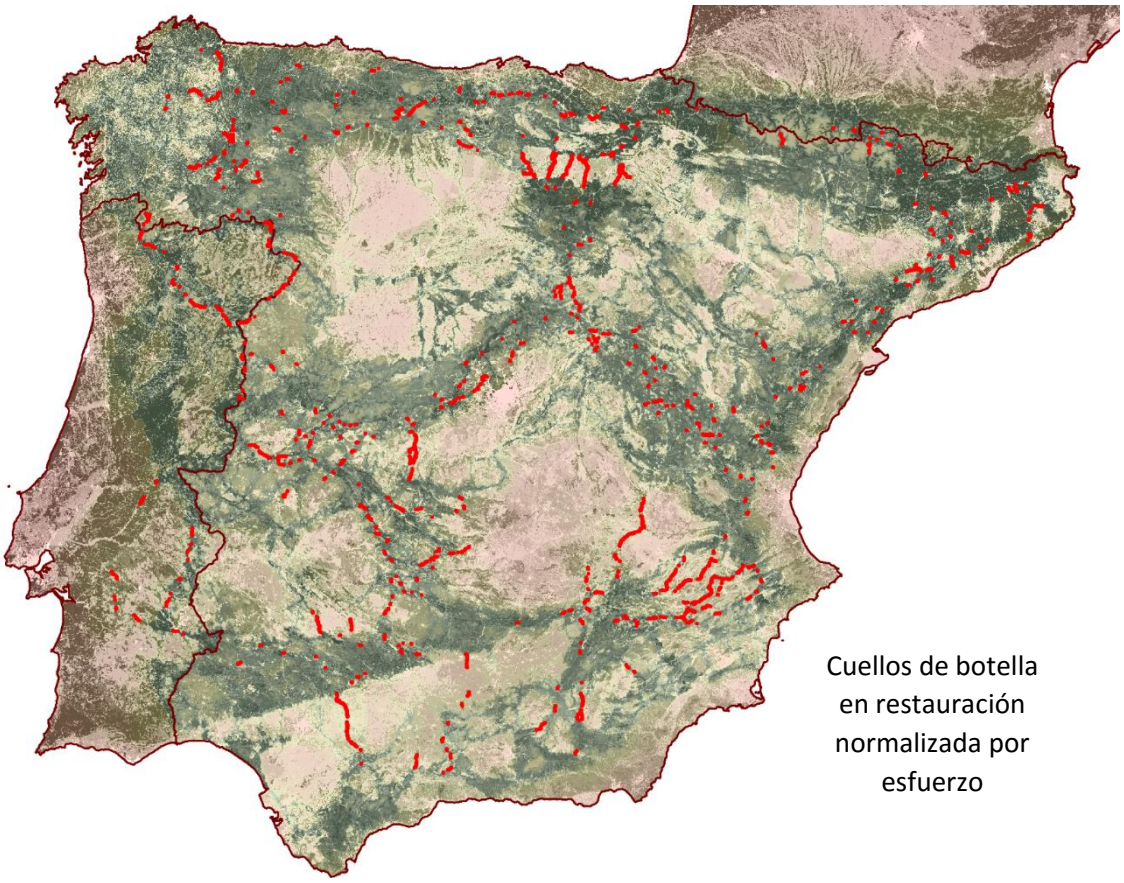

Figura 13. Cuellos de botella en los conectores prioritarios para el escenario de restauración normalizada por el esfuerzo de restauración requerido. Se incluyen los cuellos de botella para los tres hábitats forestales considerados (bosque denso, bosque claro y matorral) en la Red Natura 2000. En el Anexo C se incluyen figuras con los cuellos de botella separadamente para cada uno de los hábitats, así como otras composiciones de mapas relacionadas con los cuellos de botella.

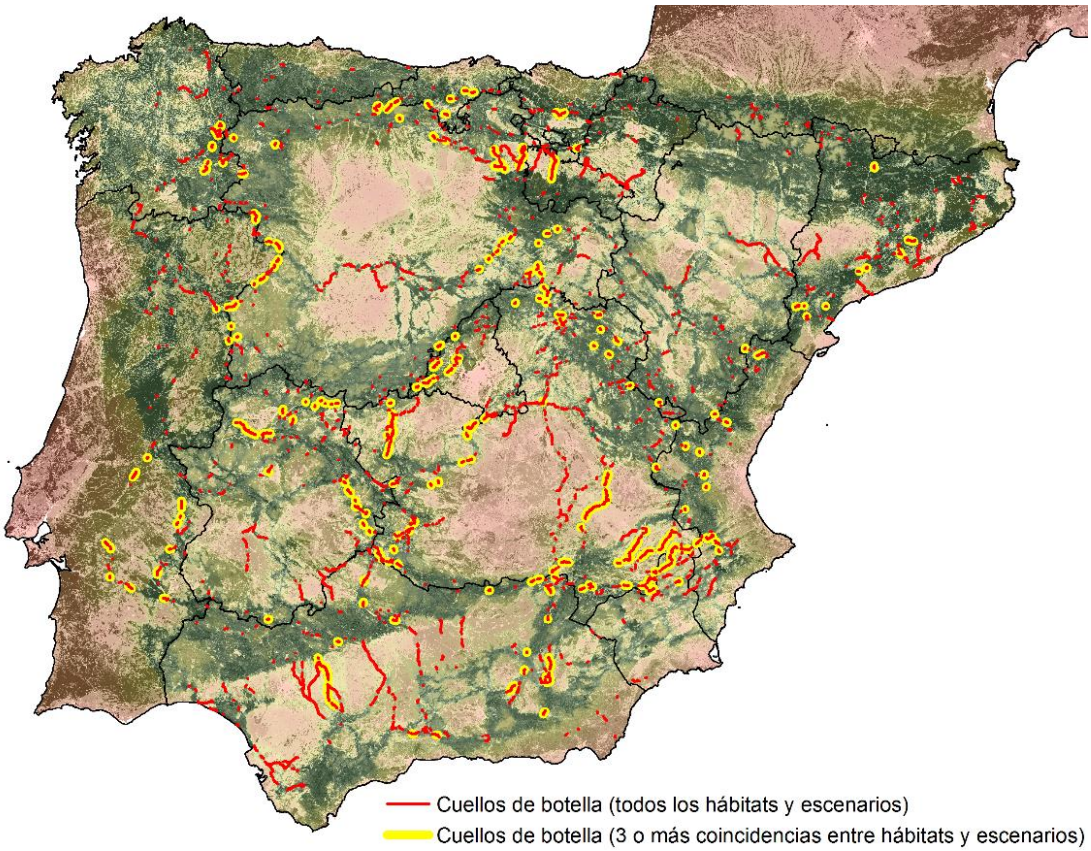

Figura 14. Cuellos de botella en los conectores prioritarios entre los espacios Red Natura 2000 para todos los hábitats (bosque denso, bosque claro, matorral) y escenarios (conservación, restauración, restauración normalizada por el esfuerzo requerido). Se destacan, en color amarillo, los tramos que son cuellos de botella para tres o más de las combinaciones de hábitats y/o escenarios (el máximo hipotético es de 9 combinaciones posibles en total). En el Anexo C se incluyen figuras con los cuellos de botella separadamente para cada uno de los hábitats y escenarios, así como otras composiciones de mapas relacionadas con los cuellos de botella.

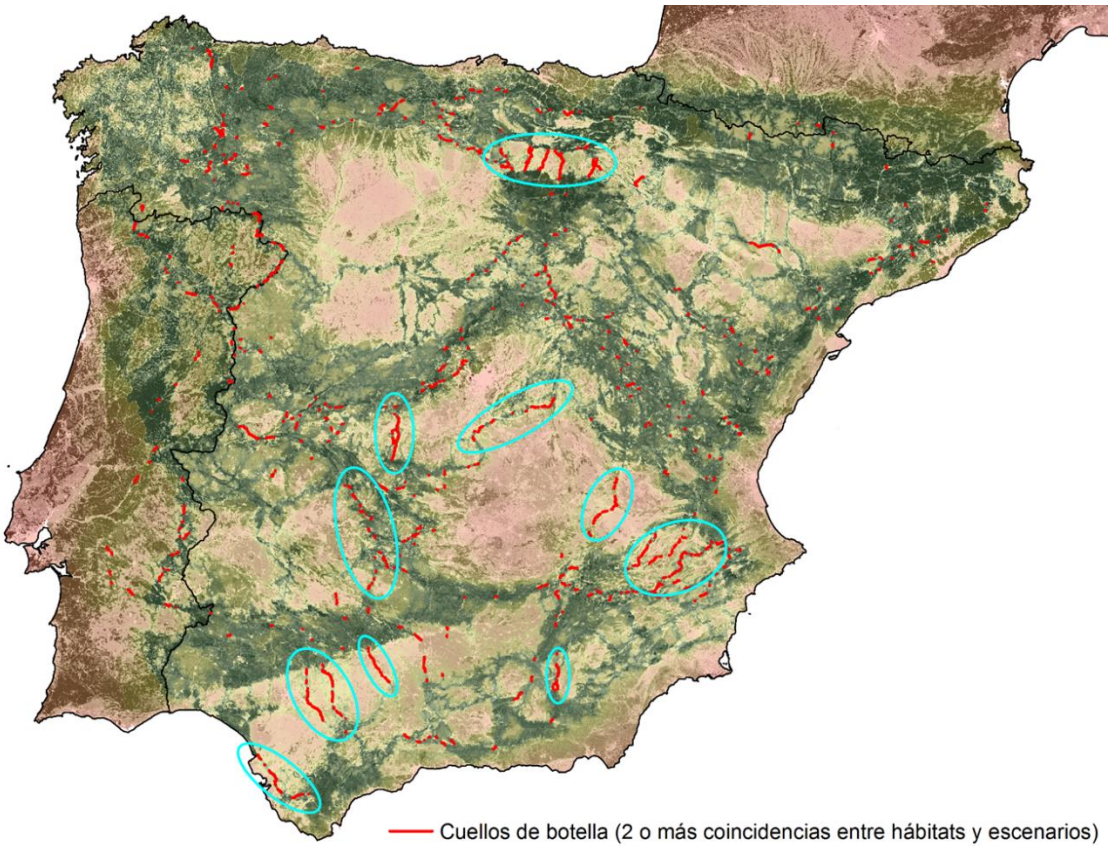

Figura 15. Diez zonas prioritarias de actuación (marcadas por las elipses de color cian) atendiendo a la importante presencia de cuellos de botella en las mismas, ya sea debido a la considerable longitud de los tramos con cuellos de botella y/o a la acumulación de varios tramos contiguos, paralelos o consecutivos en la misma zona. Los cuellos de botella que se destacan en color rojo, y sobre los que se han delimitado estas diez zonas prioritarias, son aquéllos en los que se da la coincidencia de cuellos de botella para al menos dos de las combinaciones de los tres hábitats forestales y tres escenarios considerados.

3.5. Caracterización de las zonas atravesadas por los conectores

Los conectores identificados transcurren en una gran proporción a través de paisajes incluidos en la Red Natura 2000 (Tabla 1). De hecho, el porcentaje de todos los conectores que transitan dentro de la Red Natura 2000 es cerca de 1,7 veces superior a la disponibilidad de superficie cubierta por los propios espacios Red Natura 2000 en el conjunto de la España peninsular; por ejemplo, un 45% de todos los conectores para el bosque denso transitan dentro de la Red Natura 2000 mientras que sólo el 27% de la superficie de la España peninsular está cubierta por la Red Natura 2000 (Tabla 1). Esto es el resultado de dos factores. Por un lado, que las zonas cubiertas por la Red Natura 2000 presentan en general mejores condiciones para la conectividad que las situadas fuera de esta red de espacios protegidos, siendo por tanto positivamente seleccionadas por los conectores identificados. Por otro lado, dado que se están determinando los conectores entre puntos centrales de espacios Natura 2000, los conectores arrancan y terminan en el interior de esos espacios y deben por tanto transitar necesariamente, al menos en parte, por dentro de los mismos.

Las buenas condiciones generales de conectividad dentro de la Red Natura 2000 mencionadas anteriormente se refuerzan observando que los mayores porcentajes de la Tabla 1 corresponden a los conectores prioritarios para la conservación (por encima del 65% para los

tres hábitats). Ello indica que los conectores que ya actualmente tienen buenas o mejores condiciones, que son estratégicos para la conectividad, y que por tanto es más necesario no perder o deteriorar, son los que están presentes en mayor medida dentro de la Red Natura 2000. Los conectores prioritarios para la restauración también transitan, aunque en menor medida que los prioritarios para la conservación, mayoritariamente por espacios incluidos en la Red Natura 2000 (Tabla 1).

Si nos centramos en cambio en los cuellos de botella, es decir, en las partes más débiles de los conectores prioritarios, se observa que éstos están presentes dentro de la Red Natura 2000 en mucha menor proporción que el conjunto de todos los conectores o que los conectores prioritarios (Tabla 1). Especialmente los cuellos de botella de restauración están situados muy mayoritariamente (entre el 78,1 y el 86,1 %) fuera de la Red Natura 2000. De nuevo, este resultado incide con claridad en que las mayores restricciones a la conectividad, especialmente en el caso de los corredores necesitados de mayores esfuerzos de restauración, se presentan fuera de la Red Natura 2000. No obstante, estos mismos resultados también señalan que no se puede considerar los espacios Red Natura 2000 como áreas libres de limitaciones para la conectividad, ya que se detecta una proporción significativa de cuellos de botella dentro de dichos espacios, fundamentalmente para los cuellos de botella en los conectores prioritarios para la conservación, que son los únicos que se presentan dentro de la Red Natura 2000 en mayor porcentaje que el 27% de la superficie que dicha red ocupa en la España peninsular (Tabla 1). Por tanto, una adecuada gestión de la conectividad y funcionalidad ecológica del conjunto de la Red Natura 2000 debe también contemplar actuaciones dentro de esa red que puedan promover el intercambio ecológico en escalas amplias entre los diferentes espacios que la componen.

Tabla 1. Porcentaje de los conectores (líneas definidas por los caminos de coste mínimo) que transitan por el interior de los espacios de la Red Natura 2000. El porcentaje se ha calculado sobre el total de la longitud de los conectores desde los puntos centrales de los espacios a conectar, incluyendo por tanto la parte de los conectores que transita dentro de los mismos. Se proporcionan los resultados para los tres hábitats considerados y para diferentes categorías de conectores (todos los conectores, conectores prioritarios y cuellos de botella en los conectores prioritarios). Estos valores se deben comparar, como referencia, con el porcentaje de la superficie de la España peninsular cubierta por la Red Natura 2000 que se indica en la última fila de la tabla (este porcentaje es independiente del análisis de conectividad realizado y de los conectores identificados).

		Hábitat a conectar		
Tipo de conectores		Bosque denso	Bosque claro	Matorral
Todos los conectores		45,0 %	43,9 %	46,2 %
Conectores prioritarios (10 %)	Conservación	66,3 %	67,6 %	66,0 %
	Restauración	54,9 %	51,8 %	48,1 %
	Restauración normalizada	55,0 %	61,1 %	55,3 %
Cuellos de botella en conectores prioritarios	Conservación	33,0 %	40,6 %	36,3 %
	Restauración	13,9 %	16,4 %	21,9 %
	Restauración normalizada	24,5 %	21,7 %	26,1 %
Superficie de la España peninsular cubierta por la Red Natura 2000		*27,0 %*		

Los conectores identificados muestran una clara selección positiva de las riberas, es decir, tienden a discurrir a lo largo de los márgenes de los ríos con una frecuencia bastante mayor que el porcentaje de superficie que estos márgenes representan en la España peninsular (Tabla 2). Por ejemplo, los conectores para el bosque denso transitan a lo largo de las riberas con una frecuencia casi cuatro veces mayor que la disponibilidad de este tipo de elementos en los paisajes de la España peninsular (2.54% frente a 0,68%, véase la Tabla 2). Dicha selección positiva se produce, aunque con intensidades notablemente diferentes, para todos los hábitats y tipos de conectores (Tabla 2).

Dentro de los conectores prioritarios se observa que son los prioritarios para la restauración los que transitan en mayor medida a lo largo de los márgenes de los ríos (Tabla 2). Pero donde es enormemente frecuente la presencia de las riberas es en los cuellos de botella de los conectores prioritarios para la restauración, con porcentajes de más del 10% para los dos hábitats arbolados, 15 veces más que la disponibilidad media del 0,68% de este tipo de elementos en el territorio (Tabla 2). La intensidad de este resultado nos conduce a dos conclusiones relevantes. Por un lado, que los márgenes de los ríos constituyen un refugio esencial para el tránsito de los corredores por zonas y paisajes que fuera de las riberas son mayoritariamente hostiles para el movimiento de las especies forestales, al estar dominadas por cubiertas con una elevada influencia antrópica. Por otro, que en general las condiciones de la vegetación de ribera son propicias para las especies forestales sólo en una franja estrecha en torno a los propios cauces, de modo que a escasa distancia de estas franjas de ribera se deterioran rápidamente las condiciones de la cubierta en lo que se refiere a su permeabilidad y grado de cobertura para las especies forestales, constituyéndose con frecuencia estas partes de los conectores en franjas estrechas, frágiles frente a modificaciones de la vegetación existente y, en definitiva, en cuellos de botella de los conectores que enlazan los espacios protegidos. Estos resultados destacan el valor de los márgenes de los ríos, y la vegetación en ellos existente, como conectores clave entre espacios Red Natura 2000, especialmente en zonas donde representan el único elemento de permeabilidad a través de paisajes mayoritariamente hostiles. Estos resultados muestran asimismo la necesidad de concentrar grandes esfuerzos de restauración en ríos y riberas, en los que la escasa anchura de las franjas conectoras, y en algunos casos baja calidad de las formaciones vegetales presentes en las mismas, podría comprometer la funcionalidad de los conectores y del propio conjunto de la Red Natura 2000.

Finalmente, se puede destacar que todos los tipos de conectores transitan en mayor proporción a lo largo de las riberas para los hábitats boscosos que para el matorral (Tabla 2). Ello puede ser consecuencia, por un lado, de que las riberas tienden a albergar con mayor frecuencia masas relativamente densas de arbolado (que tienen una menor resistencia al movimiento asignada para los hábitats boscosos, véase Anexo D) y no tanto masas de matorral (que son los que presentan menor resistencia para este hábitat no arbolado). Por otro lado, puede deberse a que el matorral es más frecuente encontrarlo que el bosque en la vegetación presente en las zonas relativamente alejadas de los cauces, a cierta distancia de los márgenes de los ríos, habiendo por tanto menor necesidad de que los conectores transcurran junto a los márgenes de los ríos para las especies que encuentran en el matorral su hábitat y las condiciones de mayor permeabilidad para el movimiento; así, la vegetación arbolada que se presenta en el margen de los ríos resulta más valiosa como elemento de permeabilidad para las especies asociadas a los hábitats boscosos.

Tabla 2. Porcentaje de los conectores (líneas correspondientes a los caminos de coste mínimo) que discurren a lo largo de las riberas, definidas mediante un buffer de 100 metros en torno a los ríos. Se proporcionan los resultados para los tres hábitats considerados y para diferentes categorías de conectores (todos los conectores, conectores prioritarios y cuellos de botella en los conectores prioritarios). Estos valores se deben comparar, como referencia, con el porcentaje de la superficie de la España peninsular cubierta por los márgenes de los ríos (para ese mismo buffer de 100 m) que se indica en la última fila de la tabla (este porcentaje es independiente del análisis de conectividad realizado y de los conectores identificados).

		Hábitat a conectar		
Tipo de conectores		Bosque denso	Bosque claro	Matorral
Todos los conectores		2,54 %	2,13%	1,41 %
Conectores prioritarios (10 %)	Conservación	1,05 %	0,99 %	0,68 %
	Restauración	1,75 %	2,07 %	1,07 %
	Restauración normalizada	0,91 %	1,20 %	0,68 %
Cuellos de botella en conectores prioritarios	Conservación	3,11 %	3,15 %	1,79 %
	Restauración	11,55 %	10,38 %	4,59 %
	Restauración normalizada	4,20 %	6,22 %	2,07 %
Toda la España peninsular		*0,68 %*		

Se puede observar que los conectores tienden a evitar fuertemente las zonas agrícolas, especialmente para el hábitat 1 (bosque denso y maduro), dado que aunque más del 40% del territorio de la España peninsular está cubierto por zonas agrícolas, sólo el 6% y el 8% de todos los conectores trascurren a través de este tipo de cubierta (Tabla 3). Obviamente, dada la gran superficie ocupada por las cubiertas agrícolas en España, los conectores que enlazan los espacios Red Natura 2000 deben transcurrir con alguna frecuencia a través de estas zonas agrícolas. En estos casos, existen evidencias de que las especies y conectores buscan preferentemente, cuando ello sea posible, aquellas zonas más heterogéneas o que presenten cierta frecuencia de parches remanentes de vegetación natural y de cultivos leñosos permanentes (Gastón et al. 2016).

Especialmente escasos son los conectores prioritarios para la conservación que atraviesan las zonas agrícolas (sólo del orden del 3%, ver Tabla 3), lo que indica que los corredores con mejores condiciones para las especies y hábitats forestales están también menos afectados por el uso agrícola. Si nos centramos en los cuellos de botella destaca fuertemente el elevado porcentaje de los cuellos de botella para los corredores prioritarios de restauración que se encuentra inmerso en la matriz agrícola (entre el 25% y 40% según el hábitat considerado), lo que refuerza la apreciación de que es a través de estos paisajes agrícolas donde encontramos las condiciones más restrictivas y limitantes para la conectividad, y donde las medidas de restauración podrían ser más necesarias para aliviarlas.

Por el contrario, y como cabe esperar, los conectores para el bosque denso y bosque claro se concentran preferentemente a través de zonas arboladas, tanto de bosque como de bosque de plantación (Tabla 3). Hay una cierta diferencia en cuanto al grado de preferencia por estos dos tipos de masas arboladas, siendo en general seleccionado más frecuentemente el bosque que el bosque de plantación tanto para el hábitat 1 (bosque denso) como para el hábitat 2 (bosque claro), según se puede apreciar en la Tabla 3. La diferencia más acusada entre la presencia de bosques y de bosques de plantación se presenta para el hábitat 1 (bosque denso maduro) en los

conectores prioritarios, y sobre todo, en los prioritarios para la restauración normalizada (Tabla 3), indicando que las zonas en las que la restauración tiene más al alcance obtener mejoras significativas para la conectividad del conjunto de los bosques maduros de la Red Natura 2000 son zonas con una comparativamente menor presencia de masas arboladas con menor desarrollo o complejidad estructural como suele ser el caso de las plantaciones forestales recientes. Sin embargo, la diferencia entre ambos tipos de bosque no es excesivamente acusada en el conjunto de los escenarios analizados; si tomamos la media de los siete casos contemplados en la Tabla 3 (todos los conectores, tres tipos de conectores prioritarios, y tres tipos de cuellos de botella) para los dos hábitats arbolados, encontramos que el bosque de plantación forma parte de los conectores 1,72 veces más que su disponibilidad (superficie ocupada) en el territorio español, mientras que la tipología general de bosque forma parte de los conectores 2,02 veces más que la disponibilidad de esta tipología de bosque en la España peninsular. Hay que tener en cuenta que aunque los bosques de plantación, si son reciente y dependiendo de cómo hayan sido gestionados, pueden presentar diferencias en composición y estructura respecto a los bosques comparativamente más naturales o naturalizados, ello no es óbice para que proporcionen condiciones de cobertura y refugio que le hagan jugar un papel importante como elemento conector entre los espacios Red Natura 2000, especialmente en zonas con ausencia o escasez de otros tipos de bosque estructuralmente más complejos[16].

Las dehesas, como es natural dada la baja fracción de cabida cubierta de estas masas arboladas, tienden a ser mucho más abundantes en los conectores para el bosque claro que en los conectores para el bosque denso o matorral (Tabla 3). No obstante, para el bosque claro la frecuencia de las dehesas en los conectores sólo supera ligeramente el porcentaje de superficie que estas dehesas representan en el conjunto del territorio de la España peninsular (Tabla 3). Ello es posiblemente debido a que los conectores para este hábitat pueden transcurrir también a través de otras masas forestales claras que tienen una distribución más amplia y son más abundantes en términos de superficie en el conjunto de la España peninsular, mientras que las dehesas tienen una distribución relativamente concentrada en regiones concretas y quizá, en términos comparativos, más asociada a entornos no predominantemente forestales. Por todo ello, y en resumen, las dehesas desempeñan un papel positivo pero no tan destacado como otras cubiertas o elementos (riberas, Red Natura 2000, bosque en general) en los conectores entre los espacios dominados por masas de bosque claro de la Red Natura 2000.

Finalmente, y como cabe esperar dadas las características de los hábitats forestales considerados y de las superficies de resistencia asociadas a los mismos, en general en los conectores para los bosques densos o claros encontramos el matorral en una proporción inferior a la de la superficie que ocupan estas masas de matorral en la España peninsular (Tabla 3), ocurriendo lo contrario para los conectores correspondientes al hábitat de matorral (Tabla 3).

[16] Para complementar esta discusión, debe tenerse en cuenta que la clase de bosque de plantación, tal como viene definida en el Mapa Forestal de España utilizado para estos efectos, corresponde a masas arboladas cuyo origen de plantación es perceptible por aparecer visibles los marcos de plantación u otros elementos que delaten su origen artificial, o por contar con especies arbóreas exóticas. Los bosques procedentes inicialmente de plantación dejan de estar dentro de esta categoría de plantación del Mapa Forestal de España cuando hayan adquirido una naturalidad y desarrollo estructural fruto del paso del tiempo y de la propia dinámica de la vegetación, por aparecer diluidos los marcos de plantación, presentar los árboles un diámetro normal del tronco de al menos 25 cm, haber irregularidad de tamaños y dimensiones en los pies arbóreos, producirse regeneración natural de la masa, o suficiente presencia espontánea de otras especies arbustivas o arbóreas que sean naturales en la zona.

Tabla 3. Porcentaje de los conectores (líneas definidas por los caminos de coste mínimo) que discurren a través de los principales tipos de cubierta. Se proporcionan los resultados para los tres hábitats y para diferentes categorías de conectores (todos los conectores, conectores prioritarios y cuellos de botella en los conectores prioritarios). Estos valores se deben comparar, como referencia, con los porcentajes de la superficie de la España peninsular por la que se extiende cada uno de estos tipos de cubierta, tal como se indica en las últimas filas de la tabla (estos porcentajes son independientes del análisis de conectividad realizado y de los conectores identificados).

			Hábitat a conectar		
Tipo de conectores		Tipo de cubierta	Bosque denso	Bosque claro	Matorral
Todos los conectores		Agrícola	6,2 %	7,7 %	8,0 %
		Bosque	63,8 %	58,7 %	48,4 %
		B. plantación	13,4 %	11,5 %	10,1 %
		Dehesa	2,3 %	4,7 %	2,1 %
		Matorral	8,0 %	11,0 %	24,6 %
Conectores prioritarios (10%)	Conservación	Agrícola	2,8 %	2,6 %	3,3 %
		Bosque	75,3 %	66,3 %	49,6 %
		B. plantación	8,9 %	12,0 %	10,3 %
		Dehesa	1,6 %	5,3 %	1,3 %
		Matorral	7,6 %	9,1 %	30,2 %
	Restauración	Agrícola	6,3 %	10,4 %	6,0 %
		Bosque	70,5 %	55,2 %	53,3 %
		B. plantación	8,7 %	11,5 %	9,7 %
		Dehesa	1,1 %	6,7 %	2,6 %
		Matorral	7,7 %	9,6 %	22,5 %
	Restauración normalizada	Agrícola	3,6 %	5,7 %	3,5 %
		Bosque	81,6 %	61,9 %	50,3 %
		B. plantación	5,6 %	11,0 %	8,9 %
		Dehesa	0,0 %	7,6 %	2,2 %
		Matorral	4,8 %	8,8 %	29,1 %
Cuellos de botella en conectores prioritarios	Conservación	Agrícola	12,8 %	11,7 %	12,5 %
		Bosque	53,1 %	47,5 %	35,9 %
		B. plantación	6,9 %	9,0 %	10,5 %
		Dehesa	2,1 %	6,6 %	1,4 %
		Matorral	12,5 %	14,0 %	31,2 %
	Restauración	Agrícola	28,7 %	39,1 %	25,1 %
		Bosque	26,4 %	19,1 %	32,0 %
		B. plantación	8,8 %	6,4 %	6,8 %
		Dehesa	1,1 %	2,8 %	1,9 %
		Matorral	10,0 %	9,0 %	20,4 %
	Restauración normalizada	Agrícola	17,0 %	25,6 %	14,4 %
		Bosque	42,0 %	36,4 %	37,0 %
		B. plantación	13,7 %	5,4 %	13,3 %
		Dehesa	0,0 %	5,7 %	1,7 %
		Matorral	13,5 %	10,2 %	25,4 %
Toda la España peninsular		*Agrícola*	*40,4 %*		
		Bosque	*25,1 %*		
		B. plantación	*5,6 %*		
		Dehesa	*5,1 %*		
		Matorral	*12,8 %*		

3.6. Recomendaciones de gestión en la red de conectores

En la red de conectores, y especialmente en los conectores identificados como prioritarios y en los cuellos de botella que éstos presentan, se recomienda la adopción de una serie de medidas de gestión que garanticen o promuevan su funcionalidad ecológica y, en definitiva, su efectividad de cara a la consecución de los deseables niveles de conectividad para los hábitats y especies forestales en la España peninsular:

1) En los tramos de los conectores que transiten por zonas agrícolas, y especialmente en los cuellos de botella en estas zonas, se aconseja, respecto al uso agrícola, fomentar una mayor proporción de cultivos leñosos y apostar por prácticas agrícolas menos intensivas que permitan mantener suficientes remanentes de vegetación natural entremezclados con los cultivos, aspectos que se han mostrado claves para fomentar la permeabilidad del paisaje para especies emblemáticas como el lince ibérico (Gastón et al. 2016).

2) En el mismo caso anterior, se recomienda priorizar la reforestación en cultivos agrícolas abandonados o tierras de productividad marginal, ya sea mediante repoblación directa o mediantes acciones que fomenten o aceleren los procesos naturales de colonización por parte de la vegetación forestal. Estas medidas se deberían concentrar especialmente en zonas con escasa superficie arbolada. Por el contrario, se debe evitar el fomento de una excesiva dominancia de la cubierta forestal en zonas donde ésta ya es muy mayoritaria, para mantener una cierta heterogeneidad de condiciones en estos paisajes que permita recoger las necesidades de hábitat y permeabilidad de una diversidad de especies con diferentes requerimientos ecológicos.

3) Incorporar las medidas descritas en los dos puntos anteriores, y otras que puedan ser necesarias para la conservación y restauración de la permeabilidad y conectividad del territorio, en el marco de la Política Agraria Común y las ayudas asociadas a la misma.

4) Fomentar, allí donde sea posible, la madurez y el desarrollo estructural de las masas forestales, mediante tratamientos selvícolas que reduzcan la competencia y densidad del arbolado allí donde sea necesario (por ejemplo en repoblaciones con elevada densidad por falta de gestión décadas después de su establecimiento), mejorando así la vitalidad, crecimiento, dimensiones y tasas de fructificación del arbolado, así como el establecimiento de una mayor diversidad de especies en los huecos liberados por dichos tratamientos selvícolas, que pueden atraer o proporcionar recursos tróficos y refugio a un mayor número de especies en sus áreas de campeo o movimientos dispersivos, todo ello en beneficio de una mayor biodiversidad y funcionalidad conectora de estas masas forestales. Del mismo modo se debe priorizar la conservación de los bosques que en la actualidad ya presenten estas características.

5) Incorporar la función conectora de las masas arboladas en los instrumentos de planificación forestal existentes y en las medidas asociadas a los mismos.

6) En los tramos de los conectores que transitan por o junto a los ríos, priorizar las acciones de restauración de la vegetación de ribera, buscando reforzar la anchura y la continuidad espacial de ésta a lo largo de los márgenes de los ríos, especialmente en aquellos paisajes con matrices más inhóspitas en los que las riberas proporcionan uno de los escasos elementos de permeabilidad para especies asociadas a la vegetación forestal.

7) En los tramos de los conectores afectados por infraestructuras de transporte (ya existentes o previstas), abordar las necesarias medidas para su permeabilización. Ello incluye la instalación, seguimiento y refuerzo de vallados perimetrales para reducir la mortalidad de las especies que puedan transitar por estos conectores o por zonas próximos a los mismos, y dirigir sus movimientos hacia los puntos de permeabilidad (pasos de fauna de diferentes características), existentes o por generar, que deben estar asociados a los conectores prioritarios identificados, prestando igualmente atención al mantenimiento y mejora de los pasos de fauna ya construidos.

8) Para la gestión efectiva de las zonas consideradas como prioritarias es importante tener en cuenta aquellas áreas en las que la aplicación de medidas para conservar o restaurar la conectividad puede ser más factible (espacios protegidos, zonas de ribera, montes de utilidad pública, etc…), ya que las sinergias con herramientas de planificación ya existentes y reguladas representa una excelente oportunidad en la implantación de medidas orientadas a la permeabilización de la matriz del paisaje y al establecimiento de corredores funcionales a través del territorio.

9) Sin perjuicio de que las condiciones de conectividad sean en general mejores dentro de la Red Natura 2000 que fuera de ésta, una adecuada gestión de la conectividad y funcionalidad ecológica del conjunto de la Red Natura 2000 debe también contemplar actuaciones decididas dentro de los espacios que componen esta red, que deben quedar reflejadas con el suficiente protagonismo e intensidad dentro de los planes de gestión de cada uno de los espacios de la Red Natura 2000.

10) Evitar que los desarrollos urbanísticos, industriales o de otros tipos de usos del suelo afecten a los conectores prioritarios identificados. Para ello, es necesario que las consideraciones de conectividad, y la red de conectores identificados en este estudio, se integren dentro de la planificación territorial a diferentes escalas.

11) En general, procurar que los conectores presenten o alcancen, mediante las acciones de restauración que puedan ser necesarias, anchuras de las franjas de vegetación con funcionalidad conectora de al menos 100 m, supuesta ésta suficiente para conducir los movimientos dispersivos de la gran mayoría de especies (Bentrup 2008), o anchuras mayores cuando las condiciones del medio natural y de los usos del suelo lo permitan.

12) Coordinar las medidas y planes de conectividad en distintos sectores y Comunidades Autónomas para propiciar una visión integrada y sinérgica de las actuaciones en materia de conectividad para el conjunto de España, así como para asegurar la efectividad real de estas actuaciones, y vincular también estas medidas y planes con las redes, iniciativas y esfuerzos transnacionales en relación con la conectividad ecológica.

4. Conclusiones

La adecuada gestión y vertebración ecológica del territorio español hace necesario contar con una visión conjunta e integrada, para todo el país, de los patrones de conectividad y las zonas prioritarias de actuación a abordar en los proyectos de conservación y restauración. Además, la funcionalidad de la Red Natura 2000 en España, y la consecución a largo plazo de los objetivos de conservación por los que ha declarado, dependen fuertemente de la conectividad entre los espacios que la componen. En este estudio se ha abordado la identificación y priorización de la red de conectores entre los espacios forestales de la Red Natura 2000 en la España peninsular mediante la aplicación, de forma combinada, de un conjunto de métodos de análisis de la conectividad que han sido contrastados y que cuentan con una amplia difusión y aceptación a nivel internacional. Los espacios de la Red Natura 2000 considerados en los análisis, que son aquellos espacios con presencia significativa de al menos uno de los tres hábitats forestales evaluados (bosque denso, bosque claro y matorral), representan más del 90% de la superficie total de la Red Natura 2000 en la España peninsular, lo que da idea de la amplitud y representatividad territorial del estudio abordado.

Los resultados obtenidos muestran la complejidad y heterogeneidad de los patrones de conectividad entre espacios de la Red Natura 2000 en España, habiéndose identificado tanto franjas conectoras de gran anchura, con amplios entornos favorables y permeables, como conectores con estrechos cuellos de botella que transcurren encajonados y constreñidos a través de entornos paisajísticos con elevada hostilidad y resistencia para el movimiento de las especies forestales, todo ello en función de la variabilidad de condiciones en la matriz territorial y dentro de los propios espacios de la Red Natura 2000. Estos cuellos de botella son los tramos más frágiles de la red de conectores, en los que la funcionalidad conectora podría estar comprometida en mayor medida, especialmente para especies con mayores requerimientos espaciales, y en los que pequeñas modificaciones adicionales de las cubiertas y usos del suelo podrían revertir en una obturación más drástica de dicha funcionalidad.

En general, los conectores identificados difieren sustancialmente en su importancia para sostener o reforzar la conectividad de la Red Natura 2000, lo que subraya la importancia de realizar una adecuada selección de los conectores sobre los que actuar y de las medidas de gestión a tomar en los mismos, para lo cual los resultados de las priorizaciones obtenidas en este estudio para diferentes escenarios de conservación y restauración deben jugar un papel decisivo. Mientras que los conectores prioritarios para el escenario de conservación tienden a estar concentrados en mayor medida a lo largo de los principales macizos montañosos de la España peninsular, los conectores prioritarios para la restauración se tienden a distribuir a través de la matriz territorial que separa los espacios forestales de la Red Natura 2000, atravesando con cierta frecuencia paisajes con un intenso uso agrícola y baja cobertura forestal a través de las pequeñas franjas relativamente permeables que existen en los mismos.

Los resultados obtenidos muestran que las zonas cubiertas por la Red Natura 2000 presentan en general mejores condiciones para la conectividad que las situadas fuera de esta red de espacios protegidos. En efecto, en este estudio se ha obtenido que las mayores restricciones a la conectividad, especialmente en el caso de los corredores necesitados de mayores esfuerzos de restauración, se presentan claramente fuera de la Red Natura 2000. No obstante, los resultados del estudio señalan también que no se pueden considerar los espacios Red Natura 2000 como áreas libres de limitaciones para la conectividad, ya que se detecta una proporción significativa de cuellos de botella dentro de dichos espacios donde es conveniente, y en varios casos prioritario, actuar. Por ello, una adecuada gestión de la conectividad y funcionalidad

ecológica del conjunto de la Red Natura 2000 debe también contemplar actuaciones dentro de esa red que puedan promover el intercambio ecológico en escalas amplias entre los diferentes espacios que la componen.

Los conectores identificados muestran una fuerte selección positiva de las riberas, es decir, tienden a discurrir con gran frecuencia a lo largo de los márgenes de los ríos. Esta frecuencia es especialmente alta en el caso de los conectores prioritarios para la restauración y, más aún, en los cuellos de botella identificados dentro de estos conectores. Estos resultados destacan el valor de los márgenes de los ríos, y la vegetación en ellos existente, como conectores clave entre espacios Red Natura 2000, especialmente en zonas donde representan el único elemento de permeabilidad a través de paisajes mayoritariamente hostiles, constituyendo un refugio para el tránsito de los corredores en determinados entornos paisajísticos. Por otro lado, los resultados obtenidos muestran la necesidad de concentrar grandes esfuerzos de restauración en ríos y riberas, en los que la escasa anchura, y en algunos casos calidad, de las franjas conectoras podría comprometer la funcionalidad de los conectores y del propio conjunto de la Red Natura 2000.

Finalmente, los conectores identificados entre los espacios Red Natura 2000 de España discurren en algunos casos por fuera del territorio español, y en mayor medida través de Portugal que de Francia, lo que ilustra la importancia, y posibles beneficios, de considerar y gestionar la conectividad bajo una perspectiva trasnacional, especialmente en el marco de la Península Ibérica.

En resumen, este estudio proporciona resultados sólidos y espacialmente explícitos, y disponibles en formatos compatibles con sistemas de información geográfica, capaces de contribuir a la consolidación de una red de conectores funcionales que vertebre el entramado de espacios de la Red Natura 2000 en España, y valiosos para priorizar los conectores, y los tramos dentro de estos conectores, en los que, atendiendo a sus condiciones actuales de permeabilidad y a su posición estratégica en el territorio, se deben concentrar los esfuerzos de conservación y restauración orientados a garantizar la funcionalidad ecológica de la Red Natura 2000 en España. Ciertamente, los resultados del análisis territorial realizado en este estudio favorecen la incorporación de objetivos concretos sobre preservación y restauración de conectores ecológicos en los planes territoriales y programas de desarrollo que se elaboren o revisen a diferentes escalas. Gracias a este estudio los gestores del paisaje y responsables de la toma de decisiones de todas las Comunidades Autónomas pueden incorporar en sus estudios o diseños, de manera coordinada y bajo los mismos criterios, los elementos del paisaje requeridos para conformar y reforzar la red de corredores ecológicos a escala de la España peninsular, priorizando y coordinando de manera eficiente las zonas de intervención y los esfuerzos de conservación o restauración en dicha red, dados los siempre limitados recursos presupuestarios disponibles para tal fin. El estudio se ha centrado en hábitats forestales, y en los espacios Red Natura 2000 con presencia significativa de los mismos, debido a la importancia y valor de conservación de las especies asociadas a los hábitats forestales, a la amplia distribución y representatividad territorial de estos hábitats, que han permitido considerar en este estudio más del 90% de la superficie total de la Red Natura 2000 en la España peninsular, y al mayor grado de detalle y fiabilidad de la información disponible a escala de toda España para abordar los análisis de conectividad para estos hábitats forestales. No obstante, resultados análogos se podrían generar en el futuro, aplicando el mismo conjunto de metodologías, para otros tipos de hábitats, para un mayor número de hábitats de interés comunitario, o para especies concretas en las que se pudiera desear concentrar o detallar los esfuerzos de gestión en determinadas zonas del territorio español.

Referencias

Adriaensen, F., Chardon, J.P., De Blust, G., Swinnen, G., Villalba, S., Gulinck, H., Matthysen, E. 2003. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. Landscape and Urban Planning 64: 233–247.

Arnell, A.P., Belle, E., Burgess, N.D. 2014. Assessment of Protected Area Connectivity in West Africa. UNEP-WCMC technical report. The United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre[17].

Awade, M., Boscolo, D., Metzger, J.P. 2012. Using binary and probabilistic habitat availability indices derived from graph theory to model bird occurrence in fragmented forests. Landscape Ecology 27: 185–198.

Baguette, M. 2003. Long distance dispersal and landscape occupancy in a metapopulation of the cranberry fritillary butterfly. Ecography 26: 153–160.

Beier, P., Majka, D.R., Spencer, W.D. 2008. Forks in the road: choices in procedures for designing wildland linkages. Conservation Biology 22: 836–851.

Bentrup, G. 2008. Conservation buffers: design guidelines for buffers, corridors, and greenways. Gen. Tech. Rep. SRS-109. Asheville, NC: USDA, Forest Service, Southern Research Station[18].

Bergsten, A., Bodin, Ö., Ecke, F. 2013. Protected areas in a landscape dominated by logging – A connectivity analysis that integrates varying protection levels with competition–colonization tradeoffs. Biological Conservation 160: 279–288.

Blanco, J.C., Cortés, Y. 2007. Dispersal patterns, social structure and mortality of wolves living in agricultural habitats in Spain. Journal of Zoology 273: 114–124.

Bowman, J., Jaeger, J.A.G., Fahrig, L. 2002. Dispersal distance of mammals is proportional to home range size. Ecology 83: 2049–2055.

Bray, Y., Devillard, S., Marboutin, E., Mauvy, B., Péroux, R. 2007. Natal dispersal of European hare in France. Journal of Zoology 273: 426–434.

Broquet, T., Ray, N., Petit, E., Fryxell, J.M., Burel, F. 2006. Genetic isolation by distance and landscape connectivity in the American marten (*Martes americana*). Landscape Ecology 21: 877–889.

Calabrese, J.M., Fagan, W.F. 2004. A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. Frontiers in Ecology and the Environment 2: 529–536.

Carvalho, F., Carvalho, R., Mira, A., Beja, P. 2016. Assessing landscape functional connectivity in a forest carnivore using path selection functions. Landscape Ecology 31: 1021–1036.

Chardon, J. P., Adriaensen, F., Matthysen, E. 2003. Incorporating landscape elements into a connectivity measure: a case study for the speckled wood butterfly (*Pararge aegeria* L). Landscape Ecology 18: 561–573.

[17] Disponible en http://parcc.protectedplanet.net/system/comfy/cms/files/files/000/000/044/original/PA_Connectivity_FINAL_EN.pdf

[18] Disponible en http://nac.unl.edu/buffers/index.html

Christensen, H. 2002. Spredning af unge Sortspætter Dryocopus martius iforbindelse med indvandringen til Sønderjylland. Dansk Ornithologisk Forenings Tidsskrift 96: 161–167.

Coulon, A., Cosson, J.F., Angibault, J. M., Cargnelutti, B., Galan, M., Morellet, N., Petit, E., Aulagnier, S., Hewison, A. J. 2004. Landscape connectivity influences gene flow in a roe deer population inhabiting a fragmented landscape: an individual-based approach. Molecular Ecology 13: 2841–2850.

Craven, D., Filotas, E., Angers, V.A., Messier, C. 2016. Evaluating resilience of tree communities in fragmented landscapes: linking functional response diversity with landscape connectivity. Diversity and Distributions 22: 505–518.

Crooks, K.R., Sanjayan, M. 2006. Connectivity Conservation. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

Crouzeilles, R., Prevedello, J.A., Figueiredo, M.S.L., Lorini, M.L., Grelle, C.E.V. 2014. The effects of the number, size and isolation of patches along a gradient of native vegetation cover: how can we increment habitat availability? Landscape Ecology 29: 479–489.

Debeffe, L., Morellet, N., Cargnelutti, B., Lourtet, B., Bon, R., Gaillard, J.M., Hewison, A.J.M. 2012. Condition-dependent natal dispersal in a large herbivore: heavier animals show a greater propensity to disperse and travel further. Journal of Animal Ecology 81: 1327–1337.

Del Barrio, G., Simón, J.C., Cuadrado, A., Sánchez, E., Ruiz, E., García, R. 2000. Aproximación para estimar la conectividad regional de las redes de conservación. V Congreso Nacional de Medio Ambiente: Comunicaciones Técnicas. Colegio Oficial de Físicos, Madrid, pp. 1–17.

Del Barrio, G., Márquez Barraso, S., Ruiz, A. 2007. Conectividad ecológica de la Red Natura 2000 en España peninsular. I Congreso Nacional de Biodiversidad. Resúmenes. Comunicaciones Orales. Diversitas/IUBS.

D'Eon, R.G., Glenn, S.M., Parfitt, I., Fortin, M.J. 2002. Landscape connectivity as a function of scale and organism vagility in a real forested landscape. Conservation Ecology 6 (2), 10 [online][19].

Driezen, K., Adriaesen, F., Rondinini, C., Doncaster, C.P., Matthysen, E. 2007. Evaluating least-cost model predictions with empirical dispersal data: a case-study using radiotracking data of hedgehogs (*Erinaceus europaeus*). Ecological Modelling 209: 314–322.

Estreguil, C., Caudullo, G., de Rigo, D., San Miguel, J. 2012. Forest Landscape in Europe: Pattern, Fragmentation and Connectivity. Joint Research Centre Scientific and Policy Reports. European Commission. Luxembourg, Publications Office of the European Union[20].

Estreguil, C., Caudullo, G., San Miguel, J. 2013. Connectivity of Natura 2000 Forest Sites. Joint Research Centre Scientific and Policy Reports. European Commission. Luxembourg, Publications Office of the European Union[21].

EUROPARC-España. 2009. Conectividad ecológica y áreas protegidas: herramientas y casos prácticos. Monografía nº 2 Programa de Trabajo para las Áreas Protegidas 2009-2013. Ed. FUNGOBE[22].

[19] http://www.consecol.org/vol6/isss2/art10
[20] Disponible en http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/27726/1/lb-na-25717-en-n.pdf
[21] Disponible en http://bookshop.europa.eu/en/connectivity-of-natura-2000-forest-sites-pbLBNA26087/
[22] Disponible en http://redeuroparc.org/system/files/share/user/31/monografia2_0.pdf.

Etherington, T. R., Holland, E.P. 2013. Least-cost path length versus accumulated-cost as connectivity measures. Landscape Ecology 28: 1223–1229.

European Environmental Agency. 2009. Progress towards the European 2010 biodiversity target - indicator factsheets (compendium to EEA report 4/2009). European Environmental Agency technical report 5/2009. ISSN 1725-2237.

European Environmental Agency. 2010a. Fragmentation of natural and semi-natural areas (SEBI 013) - Assessment published May 2010[23].

European Environmental Agency. 2010b. Bodiversity: 10 messages for 2010. Forest Ecosystems[24].

Fall, A., Fortin, M. J., Manseau, M., O'Brien, D. 2007. Spatial graphs: principles and applications for habitat connectivity. Ecosystems 10: 448–461.

Ferreras P., Delibes M., Palomares F., Fedriani J.M., Calzada J., Revilla E. 2004. Proximate and ultimate causes of dispersal in the Iberian lynx *Lynx pardinus*. Behavioral Ecology 15: 31–40.

Fordham D.A., Akçakaya H.R., Brook B.W., Rodríguez A., Alves P.C., Civantos E., Triviño M., Watts M.J., Araújo M.B. 2013. Adapted conservation measures are required to save the Iberian lynx in a changing climate. Nature Climate Change 3: 899–903.

FOREST EUROPE, UNECE, FAO. 2011. State of Europe's Forests 2011: Status & Trends in Sustainable Forest Management in Europe[25].

Galpern, P., Manseau, M., Fall, A. 2011. Patch-based graphs of landscape connectivity: a guide to construction, analysis and application for conservation. Biological Conservation 144: 44–55.

Gastón, A., Blázquez-Cabrera, S., Garrote, G., Mateo-Sánchez, M.C., Beier, P., Simón, M.A., Saura, S. 2016. Response to agriculture by a woodland species depends on cover type and behavioural state: insights from resident and dispersing Iberian lynx. Journal of Applied Ecology 53: 814–824.

Giannini, T.C., Tambosi, L.R., Acosta, A.L., Jaffé, R., Saraiva, A.M., Imperatriz-Fonseca V.L., Metzger, J.P. 2015. Safeguarding ecosystem services: a methodological framework to buffer the joint effect of habitat configuration and climate change. PLoS ONE 10(6): e0129225.

Gurrutxaga, M., Lozano, P.J., del Barrio, G. 2010. GIS-based approach for incorporating the connectivity of ecological networks into regional planning. Journal for Nature Conservation 18: 318-326.

Gurrutxaga, M., Rubio, L., Saura S. 2011. Key connectors in protected area networks and the impact of highways: a transnational case study from the Cantabrian Range to the Western Alps. Landscape and Urban Planning 101: 310–320.

Gurrutxaga, M., Saura, S. 2014. Prioritizing highway defragmentation locations for restoring landscape connectivity. Environmental Conservation 41: 157–164.

[23] Disponible en http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/fragmentation-of-natural-and-semi/fragmentation-of-natural-and-semi/view

[24] Disponible en http://www.eea.europa.eu/publications/10-messages-for-2010-2014-3

[25] Disponible http://www.foresteurope.org/documentos/State_of_Europes_Forests_2011_Report_Revised_November_2011.pdf

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.

Jordán, F., Baldi, A., Orci, K. M., Racz, I., Varga, Z. 2003. Characterizing the importance of habitat patches and corridors in maintaining the landscape connectivity of a *Pholidoptera transsylvanica* (Orthoptera) metapopulation. Landscape Ecology 18: 83–92.

Loison, A., Jullien, J.M., Menaut, P. 1999. Subpopulation structure and dispersal in two populations of chamois. Journal of Mammalogy 80: 620–632.

Maiorano, L., Amori, G., Montemaggiori, A., Rondinini, C., Santini, L., Saura, S., Boitani, L. 2015. On how much biodiversity is covered in Europe by national protected areas and by the Natura 2000 network: insights from terrestrial vertebrates. Conservation Biology 29: 986–995.

Martín-Queller, E., Saura, S. 2013. Landscape species pools and connectivity patterns influence tree species richness in both managed and unmanaged stands. Forest Ecology and Management 289: 123–132.

Mateo-Sánchez, M.C., Cushman, S., Saura, S. 2014. Connecting endangered brown bear subpopulations in the Cantabrian Range (NW Spain). Animal Conservation 17: 430–440.

Mazaris, A.D., Papanikolaou, A.D., Barbet-Massin, M., Kallimanis, A.S., Jiguet, F., Schmeller, D.S., Pantis, J.D. 2013. Evaluating the connectivity of a protected areas' network under the prism of global change: the efficiency of the European Natura 2000 network for four birds of prey. PLoS ONE 8(3): e59640.

McRae, B. H. 2006. Isolation by resistance. Evolution 60: 1551–1561.

McRae, B.H., Kavanagh, D.M. 2011. Linkage Mapper Connectivity Analysis Software. The Nature Conservancy, Seattle WA, Estados Unidos de América.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2013. Identificación de áreas a desfragmentar para reducir los impactos de las infraestructuras lineales de transporte en la biodiversidad. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 6. 260 pp. Madrid[26].

Mueller, T., Lenz, J., Caprano, T., Fiedler, W., Böhning-Gaese, K. 2014. Large frugivorous birds facilitate functional connectivity of fragmented landscapes. Journal of Applied Ecology 51: 684–692.

O'Farrill, G., Schampaert, K.G., Rayfield, B., Bodin, Ö., Calmé, S., Sengupta, R., Gonzalez, A. 2014. The potential connectivity of waterhole networks and the effectiveness of a protected area under various drought scenarios. Plos ONE 9 (5): e95049.

Paradis, E., Baillie, S.R., Sutherland, W.J., Gregory, R.D. 1998. Patterns of natal and breeding dispersal in birds. Journal of Animal Ecology 67: 518–536.

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

[26] http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/fragmentacion-habitats-desfragmentacion.aspx

Pascual-Hortal, L., Saura, S. 2008. 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.

Pereira, M., Segurado, P, Neves, N. 2011. Using spatial network structure in landscape management and planning: a case study with pond turtles. Landscape and Urban Planning 100: 67–76.

Piquer-Rodríguez, M., Kuemmerle, T., Alcaraz-Segura, D., Zurita-Milla, R., Cabello, J. 2012. Future land use effects on the connectivity of protected area networks in southeastern Spain. Journal for Nature Conservation 20: 326–336.

Rodríguez-Pérez, J., García, D., Martínez, D. 2014. Spatial networks of fleshy-fruited trees drive the flow of avian seed dispersal through a landscape. Functional Ecology 28: 990–998.

Rubio, L., Rodríguez-Freire, M., Mateo-Sánchez, M.C., Estreguil, C., Saura, S. 2012. Sustaining forest landscape connectivity under different land cover change scenarios. Forest Systems 21: 223–235.

Ruiz-González, A., Gurrutxaga, M., Cushman, S.A., Madeira, M.J., Randi, E., Gómez-Moliner, B.J. 2014. Landscape genetics for the empirical assessment of resistance surfaces: the European Pine Marten (*Martes martes*) as a target-species of a regional ecological network. PLoS ONE 9(10): e110552.

Santini, L., Di Marco, M., Visconti, P., Daniele, B., Luigi, B., Rondinini, C. 2013. Ecological correlates of dispersal distance in terrestrial mammals. Hystrix 24: 181–186.

Santini, L., Saura, S., Rondinini, C. 2016. Connectivity of the global network of protected areas. Diversity and Distributions 22: 199–211.

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 and Software 24: 135–139.

Saura, S., Rubio, L. 2010. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. Ecography 33: 523–537.

Saura, S. 2013. Métodos y herramientas para el análisis de la conectividad del paisaje y su integración en los planes de conservación. In: De la Cruz, M., Maestre, F. (Eds.), Avances en el análisis espacial de datos ecológicos: aspectos metodológicos y aplicados, pp. 1–46. ECESPA-Asociación Española de Ecología Terrestre. ISBN 978-84-616-3448-4.

Smith, M.A., Green, D.M. 2005. Dispersal and the metapopulation paradigm in amphibian ecology and conservation: are all amphibian populations metapopulations? Ecography 28: 110–128.

Stevens, V.M., Trochet, A., Blanchet, S., Moulherat, S., Clobert, J., Baguette, M. 2013. Dispersal syndromes and the use of life-histories to predict dispersal. Evolutionary Applications 6: 630–642.

Stevens, V.M., Whitmee, S., Le Galliard, J.F., Clobert, J., Boehning-Gaese, K., Bonte, D., Brändle, M., Dehling, D.M., Hof, C., Trochet, A., Baguette, M. 2014. A comparative analysis of dispersal syndromes in terrestrial and semi-terrestrial animals. Ecology Letters 17: 1039–1052.

Sutcliffe, O.L., Bakkestuen, V., Fry, G., Stabbetorp, O. E. 2003. Modelling the benefits of farmland restoration: methodology and application to butterfly movement. Landscape and Urban Planning 63: 15–31.

Sutherland, G.D., Harestad, A.S., Price, K., Lertzman, K.P. 2000. Scaling of natal dispersal distances in terrestrial birds and mammals. Conservation Ecology 4: 16 (online)[27].

Taylor, P., Fahrig, L., Henein, K. Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. Oikos 68: 571–573.

Theobald, D. M. 2006. Exploring the functional connectivity of landscapes using landscape networks. En: Connectivity Conservation, (eds. Crooks, K. R. y Sanjayan, M.), pp. 416–443. Cambridge University Press, New York, Estados Unidos de América.

Trainor, A.M., Walters, J.R., Urban, D.L., Moody, A. 2013. Evaluating the effectiveness of a Safe Harbor Program for connecting wildlife populations. Animal Conservation 16: 610–620.

Urban, D., Keitt, T. 2001. Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. Ecology 82: 1205–1218.

Urban, D.L., Minor, E.S., Treml, E.A., Schick, R.S. 2009. Graph models of habitat mosaics. Ecology Letters 12: 260–273.

Verbeylen, G., DeBruyn, L., Andriaensen, F., Matthysen, E. 2003. Does matrix resistance influence Red squirrel (*Sciurus vulgaris* L. 1758) distribution in an urban landscape? Landscape Ecology 18: 791–805.

Whitmee, S., Orme, C.D.L. 2013. Predicting dispersal distance in mammals: a trait-based approach. Journal of Animal Ecology 82: 211–221.

Wiens, J.D., Reynolds, R.T., Noon, B.R. 2006. Juvenile movement and natal dispersal of Northern Goshawks in Arizona. Condor 108: 253–269.

Zeller, K.A., McGarigal, K., Whiteley, A.R. 2012. Estimating landscape resistance to movement: a review. Landscape Ecology 27: 777–797.

Zozaya, E., Brotons, L., Saura, S. 2012. Recent fire history and connectivity patterns determine bird species distribution dynamics in landscapes dominated by land abandonment. Landscape Ecology 27: 171–184.

[27] Disponible en http://www.consecol.org/vol4/iss1/art16.

Anexos

La información que se ha aportado en este documento se complementa con la incluida en los siguientes anexos, que se proporcionan como archivos independientes adjuntos a este documento:

Anexo A. Tipos estructurales del Mapa Forestal de España considerados para la identificación de las teselas correspondientes a cada uno de los tres hábitats.

Anexo B. Lugares de Importancia Comunitaria (LICs) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPAs) considerados en los análisis de conectividad para cada hábitat (incluye la superficie total de cada espacio y la superficie ocupada por cada hábitat dentro del espacio).

Anexo C. Presentación sobre el estudio realizado y los resultados obtenidos en el mismo, incluyendo numerosas figuras y mapas adicionales.

Anexo D. Valores de resistencia asignados a cada uno de los tipos de cubierta para los diferentes hábitats a partir de las cartografías utilizadas.