

CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Análisis de la conectividad y fragmentación ecológicas en el Parque Nacional de Cabañeros.

Organismo Autónomo Parques Nacionales



Autores: Raquel Blanco-Domínguez (Organismo Autónomo Parques Nacionales); Jesús Serrada Hierro (Organismo Autónomo Parques Nacionales); Sergio González Ávila (Universidad Politécnica de Madrid); Ángel Gómez Manzaneque (Director-Conservador del PN Cabañeros. OAPN); María Dolores Rollán Monedero (Organismo Autónomo Parques Nacionales); Fernando Díez Vázquez (Tragsatec); Eduardo Campos Gómez (Tragsatec).

ÍNDICE

1. Título
2. Resumen
3. Descripción del proyecto
4. Metodología
5. Resultados
6. Conclusiones
7. Bibliografía

1. TÍTULO

Análisis de la conectividad y fragmentación ecológicas en el Parque Nacional de Cabañeros. Organismo Autónomo Parques Nacionales.

2. RESUMEN

El Organismo Autónomo Parques Nacionales¹ ha desarrollado recientemente un proyecto, con la colaboración de la Universidad Politécnica de Madrid y Tragsatec, en el que se analiza la conectividad y fragmentación ecológicas en el Parque Nacional de Cabañeros (Castilla-La Mancha).

La metodología desarrollada en este estudio piloto, además de su posible utilización en el seguimiento, evaluación y gestión de espacios protegidos y hábitats, se puede aplicar en otras zonas del territorio español, para, entre otras cuestiones, identificar las zonas prioritarias a conservar o restaurar, por su mayor contribución a la conectividad ecológica del conjunto del territorio, y de esta manera poder ser incluidas en la futura Infraestructura Verde.

En el proyecto, el análisis se ha centrado en determinados hábitats y sistemas naturales de vegetación del parque, y en varias especies y ecoperfiles (grupos de especies) de variados requerimientos ecológicos.

Con respecto al ámbito territorial de estudio, el análisis de la conectividad ecológica (funcional) se planteó en dos escalas diferentes: 1) la dada por los límites del Parque Nacional, y 2) otra de mucha mayor extensión, que permite evaluar la contribución del parque en relación a los hábitats ubicados en otros espacios protegidos del entorno.

Por otra parte, el análisis de la fragmentación estructural de los sistemas naturales de vegetación y de los hábitats se ciñó al ámbito espacial del parque nacional.

El análisis de la conectividad ecológica, en términos de hábitat disponible o alcanzable, se ha realizado principalmente mediante el método de los caminos de coste mínimo. En el caso del lince se ha utilizado otro método basado en la teoría de circuitos eléctricos para determinar las zonas de alta probabilidad de paso.

Como resultado de los análisis de coste mínimo, se ha obtenido y plasmado en cartografía una serie de conectores, los cuales no contribuyen por igual al mantenimiento o mejora de la conectividad del hábitat en cuestión. Se han considerado tres escenarios de priorización de los conectores: 1) escenario de conservación, 2) escenario de restauración, y 3) escenario de

¹ <https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/>

restauración normalizada por el esfuerzo requerido. De esta manera, se han identificado los conectores prioritarios para su conservación o restauración, y los que su restauración sería más eficaz en términos de coste/beneficio. También se han identificado posibles cuellos de botella para el movimiento de las especies. Igualmente se han identificado las teselas de hábitat cuya conservación resulta esencial por contribuir de manera importante a la conectividad local y regional, y se han obtenido diversos índices de conectividad.

Además, este trabajo analiza la fragmentación de determinados sistemas naturales de vegetación característicos del parque, y de los hábitats de determinadas especies y ecoperfiles, en el Parque Nacional de Cabañeros, mediante diversos índices de paisaje, como complemento al análisis de conectividad.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El Organismo Autónomo Parques Nacionales (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico) ha llevado a cabo recientemente un proyecto, con la colaboración de la Universidad Politécnica de Madrid y Tragsatec, con el objetivo de analizar la conectividad ecológica (característica funcional) y la fragmentación (característica estructural) en el Parque Nacional de Cabañeros (Castilla-La Mancha), con la finalidad de detectar las áreas y conectores prioritarios a conservar o restaurar, los cuellos de botella existentes actualmente para el flujo de las distintas especies analizadas, los hábitats o sistemas naturales de vegetación del parque nacional que presentan una configuración más fragmentada, y la determinación de índices de conectividad y fragmentación de utilidad en el seguimiento y evaluación del espacio protegido.

La metodología desarrollada en este proyecto piloto puede ser aplicada a otros espacios protegidos y, en general, otras zonas del territorio, para, entre otras cosas, detectar las zonas principales que deben ser conservadas o restauradas, por su mayor contribución a la conectividad global del conjunto del territorio, y así maximizar la eficacia de las acciones de gestión y optimizar los recursos disponibles para este tipo de actuaciones.

El **Parque Nacional de Cabañeros**, con una superficie de 40.856 ha, se encuentra enclavado en los Montes de Toledo, a caballo entre las provincias de Toledo y Ciudad Real, en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, y es uno de los quince parques nacionales de España que se encuentran declarados a día de hoy. Fue declarado en 1995 para proteger una muestra representativa de los montes mediterráneos españoles mejor conservados.

Entre sus principales valores naturales están los bosques y matorrales mediterráneos, algunos enclaves relícticos de vegetación atlántica, bosques de ribera, turberas y herbazales, con la flora y fauna asociada a cada uno de estos ecosistemas, entre las que se encuentran algunas especies en peligro de extinción como el águila imperial ibérica.

El paisaje del Parque Nacional de Cabañeros presenta grandes contrastes y está estructurado en dos grandes unidades muy representativas de la zona de los Montes de Toledo: la raña y las sierras.

La **raña** es una gran llanura de aproximadamente 8.000 hectáreas de extensión situada en el sureste del Parque, cuyo origen es el relleno con materiales circundantes que se produjo hace unos 3 millones de años. En los años 60 se eliminó parte del bosque y del matorral que la cubría, para dedicarla a cultivos de cereal, y a partir de entonces se convirtió en el herbazal arbolado actual, con algunas zonas que conservan la vegetación original.

Las **sierras** son las zonas de relieve montañoso correspondientes al norte, centro y oeste del Parque, y ocupan la mayor parte de su superficie, oscilando su altura entre los 650 y los 1448 metros de su cumbre más elevada, el Rocigalgo. Se encuentran cubiertas de bosques y matorrales y en ellas también pueden observarse pedrizas descubiertas de vegetación. Los bosques más abundantes son encinares, alcornocales, quejigares, rebollares y los bosques de ribera alrededor de los cursos fluviales. El matorral más abundante es el jaral-brezal.

Conectividad ecológica

La conectividad ecológica puede entenderse como aquella característica del paisaje que facilita en mayor o menor medida diferentes flujos ecológicos en el mismo. Es fundamental para la conservación de la biodiversidad, ya que favorece la dispersión de las especies y la diversidad genética, facilita su persistencia y aumenta su capacidad de recuperación frente a perturbaciones (Crooks y Sanjayan, 2006), mitiga el efecto de fragmentación de los hábitat, y facilita la adaptación al cambio climático y de los usos del suelo, permitiendo reajustes en las áreas de distribución de las especies.

Por ello, esta característica del paisaje es un elemento clave en la gestión del medio natural, cuya aplicación en la gestión supone el favorecer determinados tipos de configuraciones (con mayor conectividad) en el mosaico del paisaje.

Bajo este término se pueden distinguir diferentes conceptos interrelacionados. Así, se define la **“conectividad de hábitat”** como el grado de conexión entre teselas de hábitat idóneo para una especie en concreto, siendo por tanto lo opuesto al aislamiento (del hábitat) de la especie (Lindenmayer y Fischer, 2006).

La **conectividad de hábitat** determina, para una especie concreta, **cuánta superficie de hábitat**, y por tanto de recursos, de la existente en el territorio **es realmente accesible y alcanzable** para un individuo situado en un punto concreto. Así, son factores determinantes de la conectividad la configuración del paisaje y también la capacidad de dispersión de la especie considerada. Por tanto, los hábitats de un mismo paisaje pueden estar más o menos conectados en función de la especie considerada.

En este proyecto se ha optado por analizar la conectividad de hábitat en términos de hábitat alcanzable o disponible, dada la escala de trabajo y el ratio resultados/esfuerzo que ofrece. La conectividad analizada se considera **“funcional”** porque tiene en cuenta las características de dispersión de las especies y ecoperfiles (grupos de especies) analizados (los del cuadro 1).

Cuadro 1. Especies y ecoperfiles objeto de análisis de la conectividad de hábitat.

Especies singulares
Mariposa del madroño (<i>Charaxes jasius</i>)
Lagarto verdinegro (<i>Lacerta schreiberi</i>)
Elanio común (<i>Elanus caeruleus</i>)
Lince ibérico (<i>Lynx pardinus</i>)
Ecoperfiles representativos
Matorral mediterráneo
Herbazales y pastizales mediterráneos
Humedales de las zonas de raña



Figura 1. Área de transición entre herbazal, matorral mediterráneo y dehesa en las proximidades de la Raña del Espino en el PN Cabañeros

Fragmentación

La alteración del medio natural por causas antrópicas, como infraestructuras de transporte, la urbanización o los cambios de usos del suelo, en general lleva a la pérdida del hábitat de muchas especies y su fragmentación. Esta fragmentación es reconocida como una importante causa de degradación de los hábitats remanentes, dando lugar a teselas más pequeñas, con mayor incidencia del efecto borde, más proclives a extinciones locales y en general a verse más afectadas por perturbaciones e influencias externas (Kettunen et al., 2007).

Los efectos negativos de la fragmentación en algunos casos pueden verse revertidos, o al menos mitigados, por medidas de gestión encaminadas al fomento y restauración de la conectividad en el paisaje. Por tanto, **los análisis de fragmentación y conectividad de los hábitats a escala de paisaje pueden ser considerados complementarios**, cuyos resultados esperables son el diagnóstico del estado de los hábitats a esa escala y la identificación de áreas prioritarias de gestión.

Fahrig (2003) sugiere utilizar el término fragmentación para la **desagregación (subdivisión) en sí misma de una tesela en varias**, por lo que se define como un proceso (a escala de paisaje) mediante el cual una gran extensión de hábitat se transforma en un número de teselas de menor tamaño separadas entre sí por otros tipos de cubierta (matriz del paisaje). Este proceso supone la pérdida de continuidad física de las teselas remanentes, dando lugar a lo que se conoce como un “hábitat fragmentado”, o en un nivel de generalización mayor también como “paisaje fragmentado”.

En un paisaje fragmentado, el movimiento de individuos entre teselas de hábitat depende en parte de la configuración o disposición espacial de las mismas. Junto a ello, también la permeabilidad de la matriz entre esas teselas, dependiente de los tipos de cubiertas vegetales, es otro factor que afecta al movimiento de las especies.

La fragmentación está asociada a tres cambios en la estructura del paisaje (véase Saura (2010) para el caso de los bosques):

1. Reducción del tamaño de las teselas.
2. Incremento del aislamiento de las teselas.
3. Aumento del efecto borde.

Esas tres características estructurales del paisaje son la base para la selección de indicadores de fragmentación, escogiéndose por ello índices de paisaje que las cuantifiquen.

En este proyecto se ha abordado el análisis de la fragmentación del hábitat a escala del Parque Nacional de Cabañeros para cuatro sistemas naturales de vegetación característicos del parque nacional, y además, para los hábitats de las mismas especies y ecoperfiles objeto del análisis de la conectividad, tal como puede verse en la siguiente tabla.

Cuadro 2. Elementos objeto de análisis de la fragmentación del hábitat

Sistemas naturales de vegetación
Quejigares
Dehesa de encina y alcornoque
Dehesa de quejigo
Abedulares

Especies singulares
Mariposa del madroño (<i>Charaxes jasius</i>)
Lagarto verdinegro (<i>Lacerta schreiberi</i>)
Elanio común (<i>Elanus caeruleus</i>)
Lince ibérico (<i>Lynx pardinus</i>)
Ecoperfiles representativos
Matorral mediterráneo
Herbazales y pastizales mediterráneos
Humedales de las zonas de rña

Sistemas Naturales de Vegetación analizados

La Ley 30/2014, de 3 de diciembre, de Parques Nacionales, en su art. 3, define **sistema natural** como el “conjunto de elementos y procesos, biológicos, geológicos y climáticos interdependientes que, como resultado de la libre evolución sobre un territorio, caracterizan su ecología y su paisaje hasta definir un escenario propio, reconocible y singularizable”. En el Anexo de la Ley se incluye un listado de estos sistemas naturales.

El Organismo Autónomo Parques Nacionales dispone de la cartografía de los sistemas naturales² de la Red de Parques Nacionales para cada parque nacional; siendo la escala 1:10.000 para los sistemas naturales vegetales.

En este proyecto se ha analizado la fragmentación de cuatro sistemas naturales de vegetación del Parque Nacional de Cabañeros: los quejigares; los abedulares meridionales relictuales riparios; las dehesas de encina y/o alcornoque; y las dehesas de quejigo.

QUEJIGARES

Son formaciones caracterizadas por la presencia de *Quercus faginea* subsp. *broteroi*, que en el Parque Nacional de Cabañeros están presentes en las laderas más frescas y, en ocasiones, en áreas de vaguada. Los quejigares se reparten por un total de 874 teselas que, en conjunto, ocupan una superficie de 2.786 ha.

Los quejigares merecen una atención particular, ya que se viene observando en los últimos años un cierto grado de deterioro y de dificultad de regeneración, posiblemente ocasionado por episodios reiterados de estrés hídrico.

ABEDULARES MERIDIONALES RELICTUALES RIPARIOS

Este sistema está constituido por abedulares parvibracteados (*Betula pendula* subsp. *fontqueri* var. *parvibracteata*) o celtibéricos (*B. pendula*), que en el parque se encuentran en enclaves muy localizados (4 teselas) en zonas de elevada humedad edáfica.

Su interés reside, fundamentalmente, en su carácter relictico de interés geobotánico en este parque nacional, mereciendo una atención particular, además, por su falta de regeneración y especial vulnerabilidad a los efectos del cambio climático.

DEHESAS DE ENCINA Y/O ALCORNOQUE

² <https://www.miteco.gob.es/es/red-parques-nacionales/sig/sistemas-naturales.aspx>

En esta categoría reclasificada, se incluyen los sistemas naturales vegetales “Dehesas de encina”, “Dehesas de alcornoque” y “Dehesas de encina y alcornoque”. Son formaciones con estructura adhesionada con encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) y/o alcornoque (*Quercus suber*), acompañadas, fundamentalmente por un cortejo de especies herbáceas. Estos agrosistemas típicamente mediterráneos, representativos del Parque Nacional de Cabañeros, son de gran interés ecológico.

La dehesa de encina es la formación más abundante, ocupando una superficie de 1.691 ha, repartida en 238 teselas. La dehesa de alcornoque, por su parte, ocupa una superficie de 318 ha con 39 teselas. Mientras, las dehesas mixtas de encina y alcornoque se reparten por 52 teselas que vienen a ocupar una superficie de 301 ha.

DEHESAS DE QUEJIGO

Al igual que las dehesas de encina y/o alcornoque las dehesas de quejigo son objeto de atención particular. Esta formación ocupa una superficie de 210 ha repartidas por 9 teselas.

Especies y ecoperfiles analizados

Las especies seleccionadas para el análisis, la mayor parte de ellas protegidas, han tratado de cubrir un rango amplio de rasgos funcionales y requerimientos ecológicos. Adicionalmente, se han incorporado al análisis determinados "ecoperfiles" (grupos de especies de similar perfil ecológico). De esta manera, la selección de varias especies y ecoperfiles aportan dos visiones alternativas al estudio. En el cuadro 3 se pueden ver las especies y ecoperfiles analizados en este proyecto junto con su escala de análisis.

Los ecoperfiles se basan en categorizar las especies en grupos con similares perfiles ecológicos (Vos et al., 2001; Karlson y Mörtberg, 2015), caracterizados estos por sus requerimientos de hábitat y capacidades de dispersión. La utilización del concepto de ecoperfil puede también ser de interés cuando la gestión pretenda incorporar una orientación multispecie.

A continuación se describen los ecoperfiles analizados en este estudio:

ECOPERFIL MATORRAL MEDITERRÁNEO

Incluye las especies de similar perfil ecológico que tienen como hábitat el matorral mediterráneo. Este hábitat se caracteriza por la presencia de formaciones arbustivas mediterráneas, como son los madroñales con olivillas, aladiernos y brezos, y formaciones de matorrales mediterráneos acidófilos como son los retamares, escobonales, piornales, jarales y brezales. Las formaciones vegetales características de este ecoperfil son de gran importancia para la conservación de la fauna. Entre las especies que seleccionan preferentemente este tipo de formaciones se encuentran el gato montés, meloncillo, lince ibérico y garduña.

ECOPERFIL HERBAZALES Y PASTIZALES MEDITERRÁNEOS

El hábitat de este ecoperfil se caracteriza por la presencia de un amplio grupo de comunidades herbáceas. Incluye pastizales oligótrofos mediterráneos, como son los pastos terofíticos y los vallicares (*Agrostis* spp.), comunidades ruderales y arvenses, como son los pastos terofíticos nitrificados, y los pastizales de diente (*Molinio-Arrhenatheretea*, *Cynosurion cristati*). Estas formaciones son clave para la conservación de aves esteparias (como la alondra, alcaraván, sisón, ganga, avutarda, etc.), para mamíferos como la liebre ibérica (*Lepus granatensis*) o el topillo mediterráneo (*Microtus duodecimcostatus*) o para invertebrados ortópteros y roalóceros.

ECOPERFIL HUMEDALES DE LAS ZONAS DE RAÑA

La raña es un elemento característico del paisaje del Parque Nacional de Cabañeros. Los humedales ocupan las zonas más bajas y llanas, rellenas por depósitos aluviales de piedemonte y que han sido poco erosionadas por la actividad fluvial. La existencia de depósitos arcillosos propicia que estas zonas sean propensas a la inundación y, por tanto, a la formación de humedales temporales, también conocidos como “esmataos”. Estos humedales son fundamentales para la supervivencia de numerosas especies de anfibios y reptiles en el parque nacional. Se han identificado un total de 80 charcas o lagunas presentes en la zona de la raña de Cabañeros.

Una descripción somera de las especies objeto de análisis se incluye a continuación:

LAGARTO VERDINEGRO (*Lacerta schreiberi*)

Especie de interés comunitario (incluida en los anexos II y IV de la Directiva Hábitats) e incluida en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (Real Decreto 139/2011). Considerada vulnerable en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha (Decreto 33/1998).



La especie se distribuye en el parque en zonas ligadas a cauces en zonas de quejigares y melojares umbríos en laderas de umbría, en altitudes superiores a los 700 m, y con una precipitación media anual igual o superior a los 542 mm. Dichas preferencias ecológicas hacen que la especie sea sensible a los efectos del cambio climático.

Las poblaciones de la mitad sur peninsular se estarían viendo afectadas de manera particular por la destrucción y degradación de su hábitat, por lo que su tamaño es cada vez menor y su grado de aislamiento y de fragmentación cada vez mayor. Los atropellos en infraestructuras viarias suponen un factor de riesgo para la especie (Marco, 2017).

Por su baja capacidad dispersiva y de movimiento se ha estudiado la conectividad dentro de los límites del parque nacional.

Figura 2. Hábitat del lagarto verdinegro en el río Estena, en un área identificada como tesela núcleo para la especie en el Parque Nacional de Cabañeros.

MARIPOSA DEL MADROÑO (*Charaxes jasius*)

La mariposa del madroño está presente en áreas de matorral denso, cálido y seco con abundancia de madroño (*Arbutus unedo*), planta nutricia de sus orugas, siendo frecuente en laderas con cierta pendiente (Hiernaux et al, 2011).

Aunque, de acuerdo a los resultados de seguimiento de la especie realizado por el *Catalan Butterfly Monitoring Scheme (BMS)*, en Cataluña la especie está presente en diversos tipos de hábitat. Presenta alta capacidad de vuelo.

ELANIO COMÚN (*Elanus caeruleus*)

Ave incluida en el anexo I de la Directiva Aves y en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (Real Decreto 139/2011). Considerada vulnerable en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha (Decreto 33/1998).

La especie se establece preferentemente en áreas de dehesa con cultivo de cereal de secano. Entre las principales amenazas para la especie se encuentran las derivadas de los cambios en los usos del suelo que son causa de la degradación o pérdida de su hábitat. Así mismo, cabe destacar entre las causas de mortalidad no natural de la especie la electrocución en tendidos eléctricos y el atropello en infraestructuras viarias (Rivera et al, 2019).

Atendiendo a la capacidad de movimiento y dispersión de la especie, se ha analizado la conectividad en el ámbito ampliado del proyecto.

LINCE IBÉRICO (*Lynx pardinus*)

Especie de interés comunitario (incluida en los anexos II y IV de la Directiva Hábitats) y considerada en peligro de extinción en el Catálogo Español de Especies Amenazadas. Actualmente no hay ninguna población estable en el Parque Nacional de Cabañeros.

En Andalucía el lince ibérico selecciona como hábitat preferente las áreas de monte mediterráneo, es decir, matorral mediterráneo y bosques de frondosas. En menor medida la especie también muestra un uso frecuente de cubiertas adehesadas y pastizales, y en el caso de los movimientos dispersivos, también de los olivares (Illanas et al., 2017). Es destacable la importancia de las zonas de ecotono entre matorral y pastizal (Fernández et al., 2003) o entre las zonas arboladas y de matorral (Gastón et al., 2016).

Entre las principales amenazas para la especie se encuentran la fragmentación de su hábitat, la escasez de su presa principal, el conejo, y la mortalidad por atropello (Rodríguez, 2017).

Teniendo en cuenta que en el ámbito del proyecto LIFE+ “Iberlince” (Recuperación de la distribución histórica del Lince ibérico, *Lynx pardinus*, en España y Portugal. LIFE10NAT/ES/570) se ha realizado un estudio sobre conectividad del paisaje para la especie a nivel de la España peninsular, se ha optado por realizar un análisis de detalle sobre conectividad a nivel del Parque Nacional de Cabañeros.

Ámbito espacial del análisis

Como las especies no restringen sus movimientos a los límites administrativos de un espacio protegido, se ha planteado el análisis de la conectividad en dos escalas diferentes: 1) la dada por los límites del parque nacional a la que nos referimos como “local”, y 2) otra de mucha mayor extensión, referida como “ámbito ampliado del proyecto” o “regional”, y que permite evaluar la contribución del parque en relación a los hábitats ubicados en otros espacios protegidos del entorno.

Tras diferentes pruebas, el ámbito ampliado del proyecto o ámbito regional quedó finalmente definido por un círculo de radio 100 km con centro en el punto central del parque nacional. Se eligió ese radio por abarcar una superficie de extensión suficiente para identificar potenciales rutas de desplazamiento de un amplio rango de especies, e incluir todos los espacios naturales más próximos al parque nacional con los que puede tener una relación ecológica funcional.

El ámbito espacial ampliado incluye numerosos espacios naturales protegidos de las comunidades autónomas de Castilla-La Mancha, Extremadura, Madrid y Castilla y León. En los análisis de conectividad en ese ámbito regional se han tenido en consideración, por su relevancia y especial contribución a las redes de conservación de la biodiversidad, los espacios protegidos Natura 2000, entre los que se incluyen el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, el Parque Regional “Curso medio del río Guadarrama y su entorno”, y el Parque Natural “Valle de Alcudia y Sierra Madrona”.

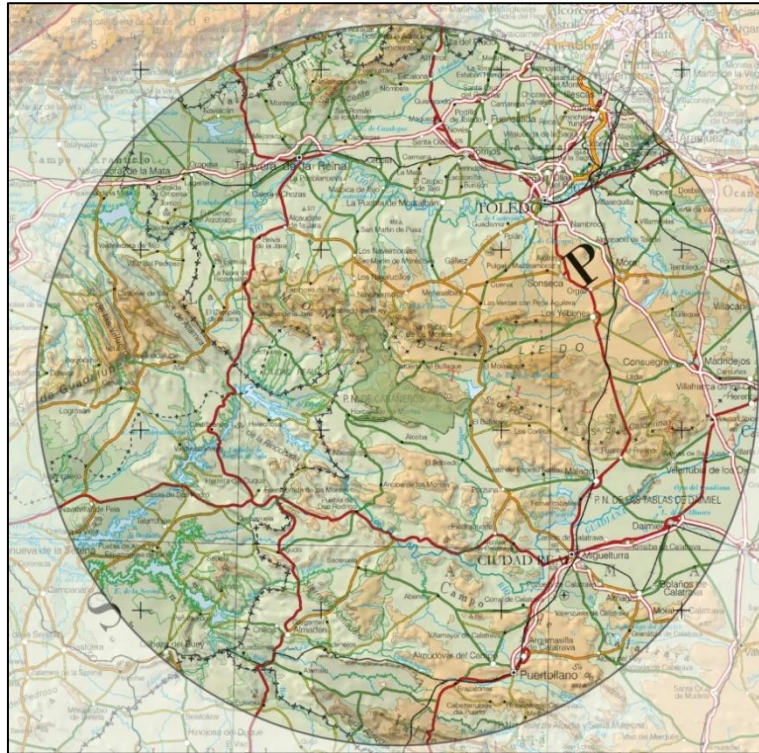


Figura 3. Ámbito del proyecto: local (límites del Parque Nacional de Cabañeros) y ampliado (círculo de 100 km alrededor del centroide del parque)

Por otra parte, el análisis de la fragmentación estructural de los sistemas naturales vegetales y hábitats se ciñó al ámbito espacial del parque nacional.

En la siguiente tabla se pueden ver los elementos objeto de los análisis de fragmentación y conectividad, señalando el ámbito espacial considerado en cada caso:

Cuadro 3. Elementos objeto de análisis y ámbito espacial

	FRAGMENTACIÓN	CONECTIVIDAD
Sistemas Naturales de Vegetación del Parque Nacional de Cabañeros		
Quejigares	PARQUE NACIONAL DE CABAÑEROS	
Dehesa de encina y alcornoque		
Dehesa de quejigo		
Abedulares		
Hábitat de especies singulares del Parque Nacional de Cabañeros		
Mariposa del madroño (<i>Charaxes jasius</i>)	PARQUE NACIONAL DE CABAÑEROS	PARQUE NACIONAL DE CABAÑEROS
Lagarto verdinegro (<i>Lacerta schreiberi</i>)		
Elanio común (<i>Elanus caeruleus</i>)		AMBITO TERRITORIAL AMPLIADO
Lince ibérico (<i>Lynx pardinus</i>)		PARQUE NACIONAL CABAÑEROS

Ecoperfiles representativos del Parque Nacional de Cabañeros		
Matorral mediterráneo	PARQUE NACIONAL DE CABAÑEROS	AMBITO TERRITORIAL AMPLIADO
Herbazales y pastizales mediterráneos		PARQUE NACIONAL DE CABAÑEROS
Humedales de las zonas de raña		PARQUE NACIONAL DE CABAÑEROS

Infraestructuras

Las infraestructuras que se han considerado en los análisis, por su influencia en la conectividad a través de la matriz del paisaje para las especies y ecoperfiles, son: infraestructuras viarias (carreteras, caminos y líneas de ferrocarril), núcleos de población (o áreas edificadas), cortafuegos y/o cortaderos, canalizaciones hidráulicas, infraestructuras energéticas (tendidos eléctricos y aerogeneradores), y cerramientos.

4. METODOLOGÍA

Conectividad de hábitat (funcional)

El enfoque metodológico principal seguido para el análisis de la conectividad funcional ha sido el **análisis de grafos**, que constituye la mejor aproximación para obtener resultados espacialmente explícitos sin datos precisos de presencias y/o dinámicas poblacionales de las especies focales. Los grafos son estructuras matemáticas compuestas por **nodos y enlaces**.

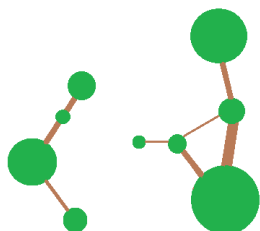


Figura 4. Representación de un grafo compuesto por nodos, que serían las teselas de hábitat (círculos verdes), y enlaces (líneas marrones) que representan las conexiones funcionales entre las teselas. (Fuente: OAPN).

Así, los **nodos** representan las unidades espaciales objeto del análisis, habitualmente teselas de hábitat. Los nodos se pueden caracterizar mediante un atributo que se considere relevante para el análisis, tal como el área de hábitat, su calidad para una determinada especie, etc.

Los **enlaces** representan las conexiones funcionales entre cada par de nodos; la existencia de un enlace implica la capacidad potencial de un organismo para, en mayor o menor grado, dispersarse de manera directa entre los dos nodos.

En este proyecto, en el marco del enfoque metodológico de grafos, además del método analítico de los **caminos de coste mínimo**, que ha sido el utilizado principalmente, se empleó otro basado en la teoría de circuitos eléctricos (este último sólo para el lince).

Disponibilidad de hábitat a escala de paisaje. Índices PC y ECA.

El concepto de **disponibilidad de hábitat** a escala de paisaje se basa en considerar una tesela en sí misma como un espacio en el que existe conectividad plena, e integrar en una única medida el área existente dentro de las teselas (*intra-patch connectivity*) junto con el área de hábitat que está disponible (que es alcanzable) a través de las conexiones con otras teselas

(*inter-patch connectivity*) (Pascual-Hortal y Saura 2006, Saura y Rubio 2010). Así, la disponibilidad de hábitat para una determinada especie u organismo será baja si, dada la capacidad de dispersión de dicha especie, las teselas de hábitat se encuentran aisladas unas de otras, pero también si el hábitat es muy escaso aunque las teselas estén fuertemente conectadas entre sí.

El **índice Probability of Connectivity (Probabilidad de Conectividad), PC**, derivado del concepto de disponibilidad de hábitat, se define como la **probabilidad de que dos puntos ubicados al azar dentro del paisaje queden situados en zonas de hábitat interconectadas entre sí**, para un determinado conjunto de teselas de hábitat y enlaces (conexiones) entre las mismas (Saura y Pascual-Hortal 2007). Se calcula de la siguiente manera:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \times a_j \times p_{ij}^*}{A_L^2} = \frac{PCnum}{A_L^2}$$

Donde n es el número total de teselas de hábitat, ai y aj son los atributos (por ej. superficies de hábitat) de las teselas i y j respectivamente, pij* es la probabilidad máxima de conexión entre las teselas i y j, AL es la superficie total del paisaje o zona de análisis, y PCnum denota el numerador del índice PC.

Es muy útil la aplicación del índice PC a la **priorización de los elementos del paisaje (teselas de hábitat y elementos conectores)** por su contribución a la conectividad y disponibilidad de hábitat en el paisaje. Esta contribución se obtiene calculando el porcentaje de variación en el índice PC (**dPCk**) causado por la eliminación del paisaje de cada uno de esos elementos individuales, de acuerdo con la siguiente expresión (Keitt et al. 1997, Urban y Keitt 2001, Saura y Pascual-Hortal 2007):

$$dPC_k = 100 \cdot \frac{PC - PC_{elim.k}}{PC}$$

El cálculo de **dPCk** para cada uno de los elementos del paisaje (teselas y enlaces) **permite priorizar e identificar las zonas cuya pérdida o deterioro supondría un mayor impacto negativo en la conectividad** del conjunto del paisaje. De esta forma se puede **maximizar la efectividad de las actuaciones de conservación** previstas al focalizarlas en aquellas zonas clave para la conectividad del conjunto. El mismo procedimiento se puede aplicar para el caso de **medidas de restauración** del hábitat que añadan al paisaje nuevos elementos favorables para la conectividad y disponibilidad del mismo, así como para la mejora de los ya existentes.

Por otra parte, otro índice directamente derivado del PC y con aplicación como indicador en programas de seguimiento de paisajes en general, o espacios protegidos en particular, es el **índice ECA (Equivalent Connected Area o Área Conexa Equivalente)**, cuya fórmula es:

$$\sqrt{PCnum}$$

El ECA (Saura et al., 2011a; 2011b) se define como la raíz cuadrada del numerador del índice PC. Las unidades de ECA son de área (el atributo de los nodos utilizado es su área), lo que **permite su comparación directa con el valor de superficie total de hábitat (A)**.

El índice ECA, Área Conexa Equivalente o Área Conectada Equivalente, proporciona un valor global (único) para cada especie/ecoperfil para toda la extensión de análisis considerada.

Para una determinada especie, con una determinada capacidad de dispersión, el ECA proporciona la superficie de una hipotética tesela única, por tanto máximamente conectada, que tendría el mismo valor de PC que el mosaico de teselas de hábitat analizado.

Cálculo de distancias entre teselas núcleo y análisis de coste mínimo: caminos y franjas conectoras

Una de las aproximaciones más extendidas para llevar a cabo análisis de la conectividad consiste en la identificación de los **caminos de coste mínimo** (*Least Cost Paths* o **LCPs** en inglés) a través de una superficie de resistencia (Adriaensen et al. 2003; Beier, Majka y Spencer 2008; Etherington y Holland 2013), utilizando algoritmos de cálculo implementados en un SIG.

Los **caminos de coste mínimo (LCPs)** 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 dos de las áreas núcleo consideradas. Los análisis de coste mínimo identifican el recorrido seguido por dichos caminos y cuantifican su **distancia efectiva**, o **coste acumulado total** en el que es necesario incurrir para moverse entre cada par de teselas-núcleo a través de los mismos.

En el proyecto los análisis de coste mínimo se realizaron, partiendo de las correspondientes superficies de resistencia, mediante la herramienta **Linkage Mapper** versión 1.0.9 (McRae y Kavanagh, 2011) que funciona sobre ArcGIS 10.

Para el análisis del **ámbito regional o ampliado** se calcularon los caminos de coste mínimo entre áreas del hábitat focal situadas dentro de espacios de la Red Natura 2000 y del propio parque nacional. La cartografía de base utilizada fue Corine Land Cover 2018 con píxeles de 50 m.

En los casos del **ámbito local** (límites del Parque Nacional de Cabañeros) las teselas-núcleo a unir se identificaron partiendo de la base principal dada por la capa de Sistemas Naturales de Vegetación del parque nacional. Esta capa también fue la base para generar la correspondiente de resistencias con píxel de 5 m, junto a otras de los factores considerados.

Los análisis de coste mínimo se llevaron a cabo **para cada especie y ecoperfil**, y **en los respectivos ámbitos de estudio** de este trabajo (local del Parque Nacional de Cabañeros y regional).

Las zonas del conector estrechas en torno al camino de coste mínimo (estrechas por presentar altos valores de resistencia agrupados y próximos al mismo) corresponderían a los llamados **cuellos de botella para la conectividad**, que son considerados zonas críticas ya que son zonas relativamente poco extensas en las que es esperable la concentración del flujo de individuos por ser la permeabilidad de sus alrededores bastante baja.

Se utilizó **Linkage Mapper** para identificar, adicionalmente a los caminos de coste mínimo, franjas permeables en torno a los ejes definidos por estos. A las franjas así identificadas se las denomina **franjas conectoras**, a diferencia del término **conector** (o camino de coste mínimo) utilizado para referir la línea que transcurre por la parte central de las franjas conectoras.

Priorización de conectores y escenarios considerados

Como resultado de los análisis de coste mínimo se obtiene un determinado número de conectores, los cuales no contribuyen de la misma manera al mantenimiento o mejora (mediante acciones de restauración) de la conectividad del hábitat en cuestión en el ámbito considerado.

Tras la asignación de pesos a los enlaces entre teselas mediante las distancias efectivas, se procedió a la priorización de los mismos mediante el cálculo de valores de dPC con el programa Conefor en su versión Command Line (www.conefor.org).

La **priorización de los conectores** de cara a la gestión es fundamental, ya que actuar sobre todos ellos y con la misma intensidad no suele ser posible. Por ello resulta de gran interés identificar, mediante un procedimiento objetivo, aquellos conectores en los que concentrar los recursos de conservación y restauración disponibles, haciendo la gestión lo más eficiente posible.

En este trabajo se han considerado los **tres escenarios de priorización de los conectores** que se describen a continuación (Saura et al., 2016):

1. **Escenario de conservación.** Se identifican aquellos conectores en los que la degradación o deterioro de sus condiciones actuales tendría un efecto más pernicioso sobre los niveles de conectividad que actualmente presenta el hábitat considerado.
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 para el movimiento de las especies asociadas al hábitat considerado, redundaría en un mayor incremento de la conectividad del conjunto.
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 de hábitat y una estimación del coste de restauración requerido.

Cartografía e identificación de conectores prioritarios

La **priorización de conectores en cada escenario** consistió en determinar el **ranking de los conectores** según sus valores de contribución a la conectividad en términos de disponibilidad de hábitat a escala de paisaje. Se han considerado **conectores prioritarios** el **10%** de los conectores con **valores más altos de dPC**. De esta forma se elaboró una cartografía de importancia de los conectores para cada combinación de escenario, especie/ecoperfil, ámbito de estudio y distancia de dispersión.

Priorización de teselas para su conservación. Índices dPC y BC(PC)

Junto con el cálculo de los valores de dPC de los conectores se obtuvieron también los valores de **dPC de las teselas núcleo**, igualmente con el software Conefor versión Command Line.

En el caso de las teselas, los valores de dPC pueden dividirse en tres fracciones o modos de contribución a la conectividad diferentes, considerando tanto la conectividad intra-teselar (fracción intra) como la inter-teselar (fracciones flux y connector), simbolizadas por dPCintra, dPCflux y dPCconnector (véase Saura y Rubio, 2010).

El valor **dPCflux** de una tesela refleja lo bien conectada que está dicha tesela con el resto del hábitat existente en el paisaje, pero no la importancia de la misma para mantener los flujos y conexiones entre otras zonas de hábitat, aspecto que cuantifica la siguiente fracción.

El valor **dPCconnector** de una tesela evalúa la contribución de dicha tesela como elemento conector o tesela puente (*stepping stone*) entre el resto de teselas de hábitat del paisaje. Y da idea de cuánto de irremplazable es la tesela por no haber elementos alternativos que puedan ser utilizados de igual forma en caso de desaparición.

De esta forma se pueden identificar aquellas teselas que más contribuyen a la conectividad, en términos de hábitat disponible a escala paisaje, y cuya conservación debiera priorizarse.

Igualmente se han obtenido los valores del **índice de centralidad de las teselas, BC(PC)** (Bodin y Saura, 2010). Una tesela tendrá un alto valor de centralidad cuando forme parte de muchas rutas de enlace entre otras teselas, sirviendo por tanto como “tesela puente”. La diferencia entre el valor de BC(PC) y de dPCconnector, también relacionado con el rol de tesela puente, es que el índice de centralidad BC(PC) evalúa para una tesela su grado de involucración en los movimientos entre otras teselas, pero no considera cuán irremplazable es la tesela, como sí hace dPCconnector.

Fragmentación (estructural)

Como se ha indicado anteriormente, la fragmentación da lugar a tres cambios en la estructura del paisaje: reducción del tamaño de las teselas, incremento del aislamiento de las mismas y aumento del efecto borde.

Los índices de fragmentación seleccionados en este trabajo para la cuantificación de estas tres características de la estructura del paisaje han sido:

1. **MPS (Mean Patch Size):** Tamaño Teselar Medio (ha).
2. **MNN (Mean Nearest Neighbor):** Distancia Media al Vecino más Próximo (m).
3. **ED (Edge Density):** Densidad de Bordes (teselares): m/100 ha.

Estos tres índices son de uso habitual en el ámbito de la Ecología del Paisaje. Se calculan utilizando el programa **FRAGSTATS** o la extensión de ArcGIS “Patch Analyst” u otros.

A partir del cálculo de esta tripleta de índices, se ha propuesto evaluar la intensidad de la fragmentación a través de la **integración de los valores a nivel de tesela (individual) y a nivel clase (el conjunto de todas las de un hábitat determinado)**.

Los análisis con FRAGSTATS se llevaron a cabo para todos los **Sistemas Naturales de Vegetación** (SNV) previamente reclasificados, pero los resultados se centraron en el análisis de cuatro de ellos: Quejigar, Dehesa (de encina o alcornoque), Abedular, y Dehesa de quejigo.

Los valores obtenidos **a nivel de tesela** se representaron en conjunto, en diagramas de dispersión, lo cual permite identificar aquellas teselas que con mayor probabilidad muestren los efectos negativos de la fragmentación. Estas teselas son las de tamaños menores, más aisladas y con mayor cantidad de perímetro.

Por su parte, los cálculos de los índices **a nivel de clase** se realizaron en subunidades hexagonales de 400 ha para visualizar su variación espacial en el parque.

A partir de estos cálculos se generaron los correspondientes mapas para cada índice y Sistema Natural de Vegetación (SNV) considerado. Finalmente, se realizó un mapa de integración de los tres índices, y se clasificaron las puntuaciones finales en tres categorías de Fragmentación: Alta, Media y Baja.

Dado el carácter piloto de este trabajo, se aplicó un **segundo procedimiento** para el análisis de la fragmentación, en este caso de los hábitats de las **especies y ecoperfiles** que han sido objeto del análisis de conectividad en este trabajo (cuadro 1).

El procedimiento seleccionado se implementa a través del software **GuidosToolbox (GTB)** (Vogt y Riitters, 2017), que es libre y descargable desde la web del centro de investigación

Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea (<https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/activities/lpa/gtb>).

GTB permite el cálculo de diferentes índices, los cuales cuantifican y reportan el nivel de fragmentación de un hábitat. En este trabajo se utilizó el **índice específico FAD** (*Foreground Area Density*), utilizando los valores medios en cada tesela de hábitat (FAD-APP).

El Grupo de Expertos de Forest Europe, Conferencia Ministerial para la Protección de los Bosques de Europa, ha adoptado el índice FAD para reportar la fragmentación de los bosques a nivel europeo (Vogt et al., 2019). Por defecto, GTB usa cinco escalas de análisis para FAD, correspondientes a ventanas de análisis de 0,049 ha, 1,69 ha, 7,29 ha, 65,61 ha y 590,49 ha, tratando de cubrir escalas de diferentes órdenes de magnitud. Estas escalas han sido utilizadas en otros trabajos, por ejemplo, en el análisis de los bosques de USA (Riitters y Wickham, 2012).

Los resultados de FAD-APP muestran dónde y cuán fragmentado está el hábitat analizado, y permiten comparar el grado de fragmentación según diferentes escalas de análisis, las cuales son atribuibles a diferentes grupos de especies, o comportamientos para el caso de una única especie. Las categorías de fragmentación asignadas a cada tesela son (de menor a mayor fragmentación): Interior, Dominante, Transicional, Dispersa y Rara (valores por defecto).

Enfoque metodológico del proyecto

En la siguiente figura se esquematiza el enfoque metodológico seguido en el proyecto:

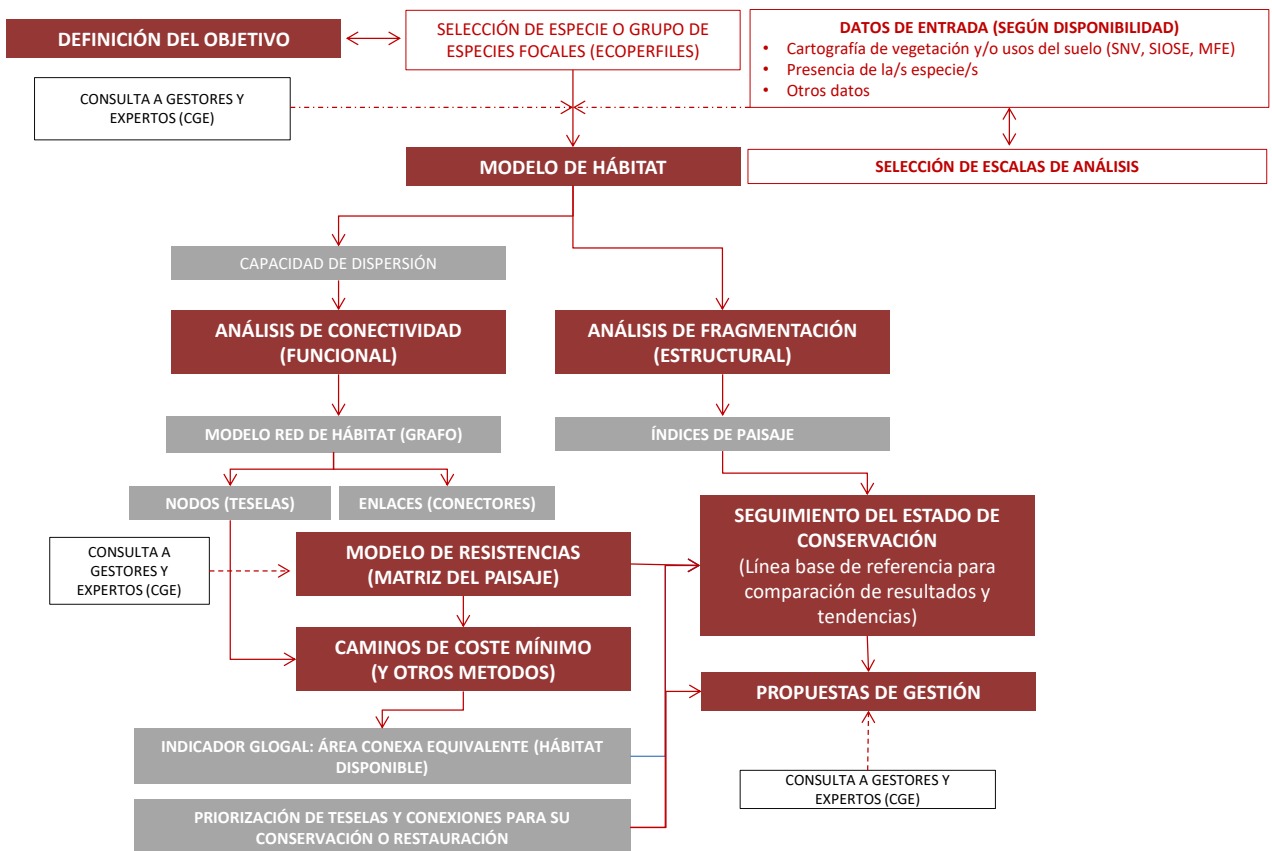


Figura 5. Esquema del enfoque metodológico del proyecto (Fuente: OAPN).

5. RESULTADOS

A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos en los análisis de conectividad y fragmentación realizados en el Parque Nacional de Cabañeros, tanto en el ámbito local del parque, como en el ámbito ampliado en algunos de los casos.

Análisis de la Conectividad. Conectores prioritarios

Como se ha comentado en el apartado de metodología, en el proyecto se han identificado y cartografiado el conjunto de todos los conectores y los conectores prioritarios para cada especie y ecoperfil, para cada una de las distancias de dispersión consideradas en cada una de ellas, para cada escenario (conservación/ restauración/ restauración-esfuerzo) y para cada ámbito considerado (local o regional) según el caso.

Los conectores más importantes para ser considerados en la gestión, ya sea mediante su conservación o restauración, son los que han resultado prioritarios para varias distancias de dispersión (de cada especie o ecoperfil) y en dos o tres escenarios.

Hay que resaltar que este estudio piloto se ha realizado para mostrar una metodología que podría aplicarse en otros espacios naturales y, en general, en otras zonas del territorio, para evaluar la conectividad de hábitat de las especies, e identificar las zonas prioritarias a conservar o restaurar por su contribución a la conectividad del conjunto del territorio.

ECOPERFIL MATORRAL MEDITERRÁNEO. (ÁMBITO LOCAL)

Este ecoperfil presenta una gran cantidad de su hábitat característico repartido por todo el parque nacional, excepto en la zona de raña y de las repoblaciones de coníferas del sector centro-este del parque. La mayoría de los conectores prioritarios se encuentran en el sector más septentrional. En este caso aparecen algunos conectores verdes (indican que son conectores prioritarios en los tres escenarios considerados) de escasa longitud. Se han identificado dos Zonas por su mayor densidad de conectores prioritarios.

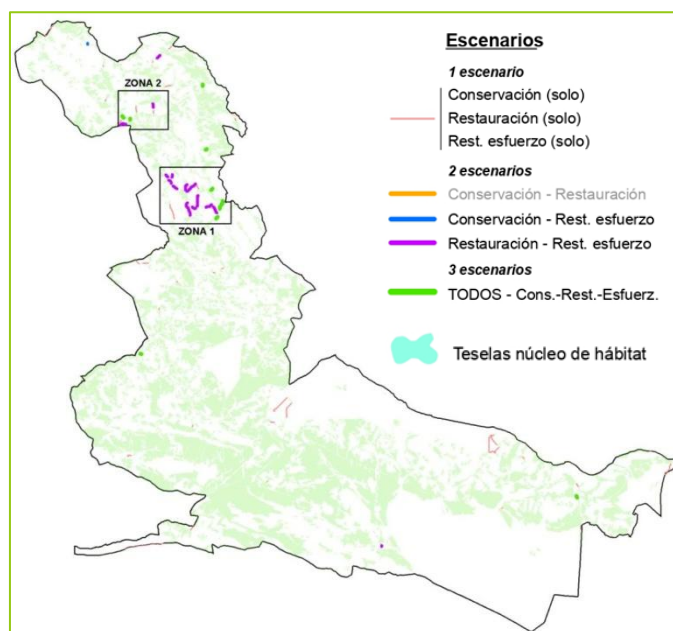


Figura 6. Zonas de concentración de conectores prioritarios para el ecoperfil matorral mediterráneo en el Parque Nacional de Cabañeros.

A continuación se muestra con más detalle la Zona 1, donde se puede observar con distintos colores los conectores que han sido calificados como prioritarios para los distintos escenarios (para uno, dos o los tres escenarios, según se ve en las leyendas).

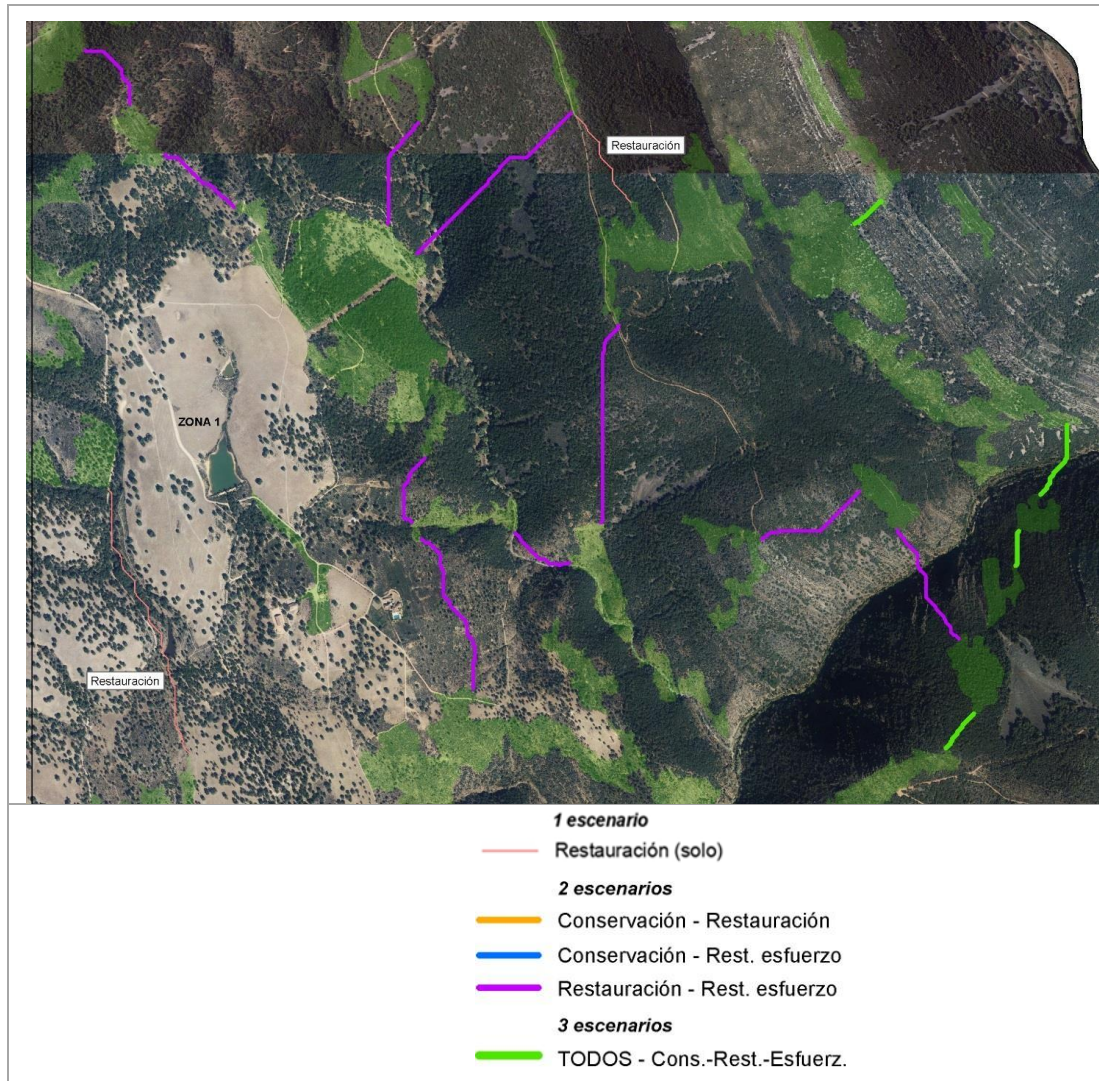


Figura 7. Detalle de la Zona 1 de concentración de conectores prioritarios para el ecoperfil matorral mediterráneo, en el P.N. Cabañeros. (Áreas en color verde claro: teselas núcleo de hábitat de matorral mediterráneo).

En esta Zona 1, como se puede observar, se presenta una elevada concentración de conectores prioritarios. Los conectores verdes (prioritarios en los tres escenarios) se sitúan al este, marcando una suerte de eje S-N. El conector verde ubicado más al sur (sector SE de la Zona) discurre entre una divisoria y una tesela de hábitat en la zona media de una ladera de orientación sur, con longitud 140 m. Esta tesela a media ladera consta de dos partes, separadas por menos de 50 m. El eje de conectores verdes sigue con dirección norte, descendiendo por la ladera hasta atravesar el río Estena, en este caso un conector de 243 m, que por tanto enlaza con teselas de la ladera opuesta, de orientación S-SO. Dada la abundancia de este ecoperfil, la hipotética permeabilización de este eje debería ser evaluada en un contexto de gestión del espacio más global, pero el mantenimiento de los conectores sí que debe tomarse en consideración y asegurarse. La potencialidad de cruce del río Estena debería

ser evaluada en más detalle. Otro conector verde se ubica más al norte, en esta ocasión discurre por 108 m en línea máxima pendiente, para enlazar una tesela de la parte más alta de la ladera (900 aprox.) con otra de menor cota.

Los conectores prioritarios en dos escenarios son morados (restauración y restauración-esfuerzo), en general de mayor longitud, entre los 213 m y 646 m. Discurren por variadas orientaciones; uno cruza el Estena por el este, el ubicado más al noroeste atraviesa un arroyo, o los más largos van por máxima pendiente para enlazar zonas bajas con teselas en la divisoria de la sierra del Maíllo.

La restauración (actuaciones de permeabilización) de este conjunto debería evaluarse en detalle y decidir sobre su necesidad. Recordemos que este proyecto se trata de un estudio piloto, para mostrar una metodología que puede aplicarse para evaluar la conectividad en otros territorios con más problemas de fragmentación que en el caso de este parque nacional.

ECOPERFIL HUMEDALES DE LA ZONA DE RAÑA. (ÁMBITO LOCAL)

Las conexiones potenciales identificadas entre los humedales en la zona de la raña discurren por las tenues vaguadas que la atraviesan. En la red de zonas de hábitat, potenciales charcas temporales (círculos azules), se identifican dos Zonas en las que se sitúan los conectores prioritarios, ninguno de ellos prioritario en los 3 escenarios a la vez.

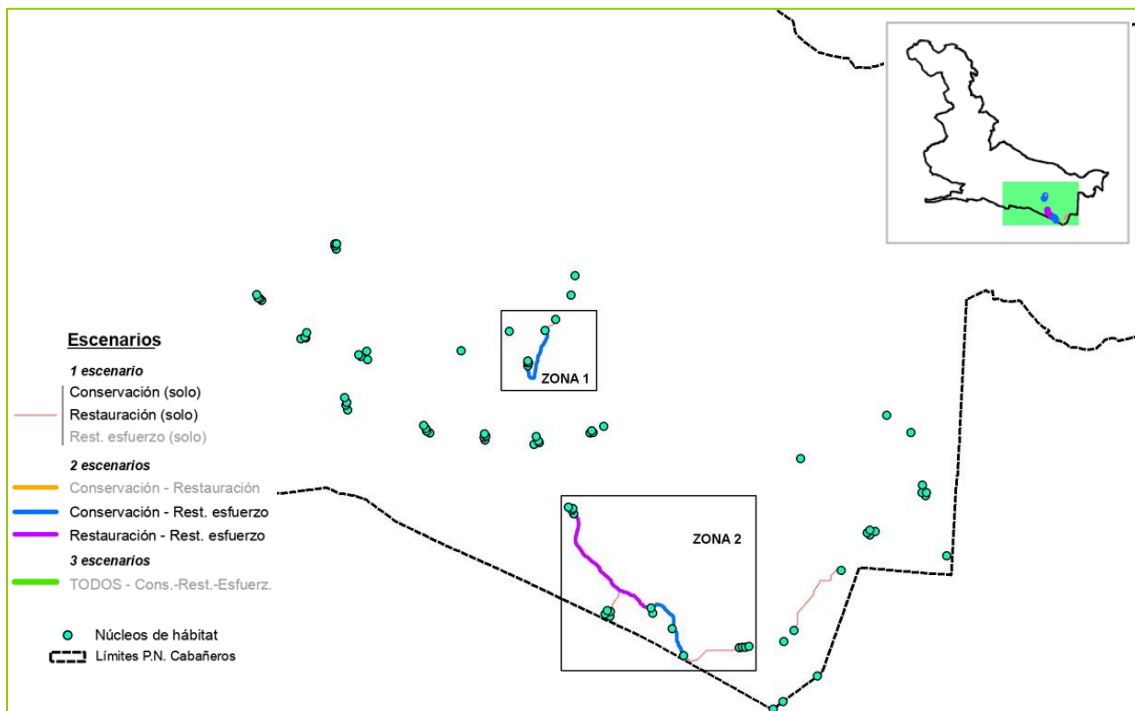


Figura 8. Zonas de concentración de conectores prioritarios para el ecoperfil humedales de la zona de raña en el P.N. Cabañeros.

A continuación se puede observar con más detalle la Zona 2 y los conectores prioritarios identificados en la misma.

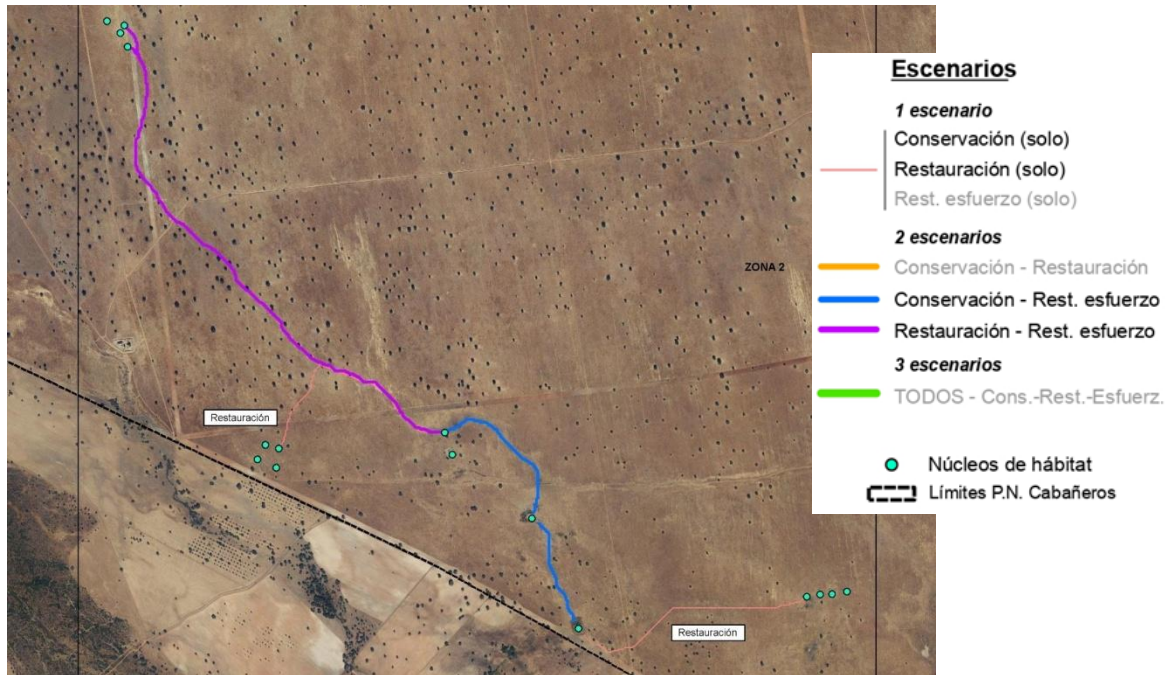


Figura 9. Detalle de la Zona 2 de concentración de conectores prioritarios para el ecoverfil humedales de la zona de raña, en el P.N. Cabañeros.

Como se puede observar en la imagen, en la Zona 2 se alinean cuatro conectores, tres de ellos prioritarios en dos escenarios. El morado (restauración y restauración-esfuerzo) es el más largo con casi 2 km. A continuación, hacia el sureste se concatenan dos conectores azules (conservación y restauración-esfuerzo) de 566 m y 391 m, con una charca intermedia. Finalmente, un conector rojo claro de restauración, de 881 m, enlaza con un grupo de charcas hacia el este. El conector morado, más largo, se localiza en una zona central de la distribución global de las charcas, por lo que puede tener interés su permeabilización con el fin de facilitar la posible dispersión entre las áreas de hábitat ubicadas al este del conector con las ubicadas al oeste del mismo.



Figura 10. Charca seca en el arroyo de Pedro Cabezas en la zona de raña, de la que parte un conector identificado como prioritario (conservación y restauración-esfuerzo) para el ecoverfil humedales de la zona de raña, en el P.N. Cabañeros.

CARTOGRAFÍA DEL CONJUNTO DE LOS CONECTORES PRIORITARIOS. (Escala Local)

A continuación se muestran cartografiados los conectores prioritarios para las tres distancias de dispersión consideradas para cada especie o ecoperfil (excepto para el linco que se analizó con Circuitscape), que han resultado prioritarios en dos o tres escenarios (conservación, restauración o restauración-esfuerzo) en el parque nacional.

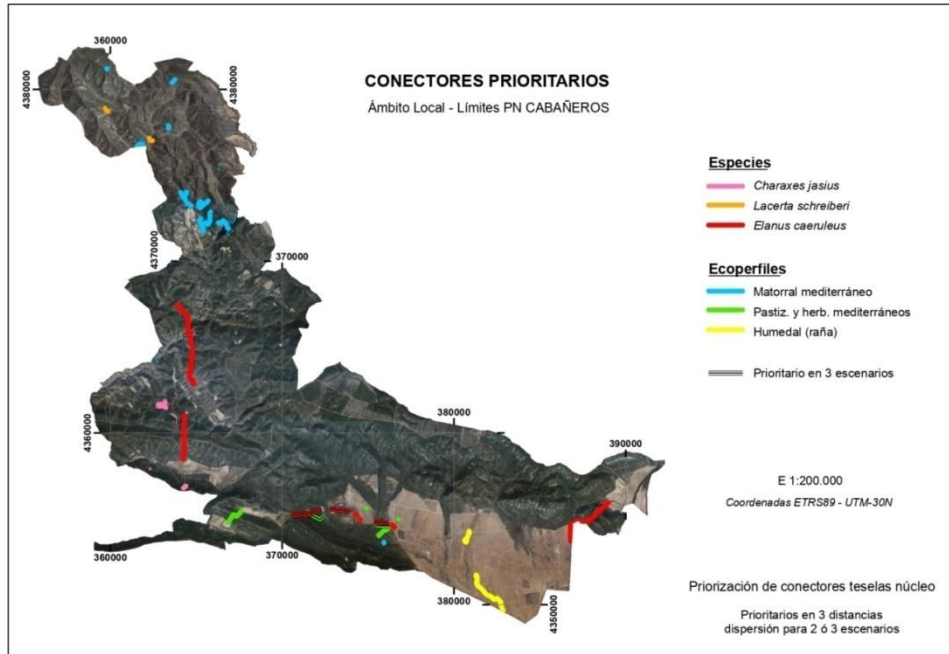


Figura 11. Mapa de conectores prioritarios para el conjunto de las especies y ecoperfiles en el P.N. Cabañeros. (Prioritarios en 3 distancias de dispersión para 2 ó 3 escenarios).

Área conexas equivalente (ECA)

A continuación se muestran los valores del área conexas/conectada equivalente obtenidos para varias especies y ecoperfiles tanto en el ámbito local como regional, según tres distancias de dispersión consideradas para cada uno de los casos. Los valores de la distancia intermedia d2 corresponden a la capacidad de dispersión identificada como más verosímil. (Las distancias de dispersión, d1, d2, y d3, son distintas en función de la especie o ecoperfil de que se trate).

Cuadro 4. Valores del área conexas equivalente según distintas distancias de dispersión, y del área total de hábitat de cada especie/ecoperfil, en los ámbitos local y regional del parque.

Especie / Ecoperfil - ámbito	ECA d1 (ha)	ECA d2 (ha)	ECA d3 (ha)	A (ha)
Matorral mediterráneo - local	12.766	13.190	13.249	13.310
Matorral mediterráneo - regional	82.742	100.474	112.971	129.487
Herbazales y pastizales mediterráneos - local	3.047	3.329	3.440	3.647
Herbazales y pastizales mediterráneos - regional	29.891	52.060	71.222	121.882
Elanio común - local	1.874	2.103	2.285	2.544
Elanio común - regional	71.933	82.656	87.451	99.982

El índice ECA puede adoptarse como un indicador a implementar en los programas de seguimiento de espacios protegidos, hábitats o de determinadas especies o grupos de especies. De esta manera, se debería recalcularse el ECA después de un intervalo de tiempo, siendo conveniente cada 6 ó 12 años, coincidiendo con las evaluaciones sexenales del estado de conservación de hábitats y especies de interés comunitario.

Una vez se tengan datos de dos fechas diferentes, se podrán evaluar los cambios en la superficie total de cada hábitat (dA (%)) y compararlos con los cambios en el hábitat total disponible o alcanzable (dECA (%)). Esta comparación (dA puede ser mayor, menor o igual que dECA) permite evaluar si las pérdidas o ganancias netas de hábitat dan lugar a efectos de mayor o menor relevancia en términos de hábitat disponible. Por ejemplo, si teselas nuevas de hábitat se localizan en zonas “estratégicas”, que facilitan conexiones entre teselas débilmente conectadas previamente, dECA será mayor que dA, indicando que la mejoría en términos de conectividad supera a la derivada meramente del aumento de hábitat.

En el **ámbito local** del Parque Nacional de Cabañeros, el hábitat **Matorral mediterráneo** es el más abundante, con un total de 13.310 ha. Para especies con las distancias de dispersión consideradas, los valores de ECA son relativamente elevados (superiores al 95% de la superficie total de hábitat), poniendo de manifiesto la facilidad de conexión entre las teselas de este tipo. Algo similar ocurre con las 3.647 ha del ecoperfil **Herbazales y pastizales mediterráneos**, con un valor de ECA para las especies con menor capacidad de dispersión del 83,5% del área total de hábitat. Especies con mayor capacidad de dispersión tienen porcentajes de hábitat disponible mayores, como es lógico (91,3 % para d2 y 94,3% para d3).

Con respecto a especies concretas, en el caso del **elanio**, especie con alta capacidad de dispersión, el área conexas equivalente dentro del parque es elevado, 82,7% respecto a un total de hábitat de 2.544 ha.

En el **ámbito regional**, los ecoperfiles Matorral mediterráneo y Herbazales y pastizales mediterráneos son los que presentan una mayor superficie de hábitat. El **Matorral mediterráneo** tiene unos valores de ECA entre el 64% y el 87% del hábitat total (según distancias de dispersión), inferiores a los de este mismo ecoperfil en el ámbito local. En ambos ámbitos de análisis es el hábitat más representado, pero en términos de conectividad del hábitat actual es en la escala local donde se muestra en unos niveles ciertamente elevados, por encima de los de la escala regional.

En el caso de los **Herbazales** ocurre algo similar, pero con una intensidad mucho más marcada, pues el ECA regional varía entre el 24% y el 58% de la superficie total de hábitat. Las especies de menor capacidad de dispersión de este ecoperfil se encuentran relativamente más desfavorecidas en este caso que en los otros. En cambio, para la especie concreta incluida en el análisis regional, el **elanio**, los porcentajes son más parecidos entre los ámbitos local y regional (72% a 87% en el segundo caso).

Los valores actuales de ECA muestran que el hábitat de matorral mediterráneo se encuentra en un nivel muy elevado de conectividad en el ámbito del parque, por encima del que se presenta en la escala regional. Esto mismo ocurre, aunque de forma menos acusada, para los herbazales y el hábitat del elanio. Los resultados anteriores muestran las (esperables) características especiales del parque con respecto a su entorno.

Importancia de las teselas de hábitat por su contribución a la conectividad en el ámbito regional. Índices dPC y BC(PC) de las teselas.

Se identificaron los grupos de teselas dentro del parque de cada ecoperfil analizado, y se calcularon como indicadores de contribución a la conectividad y hábitat disponible en la red regional los valores de dPC, en sus tres fracciones intra, flux y connector.

Para poder comparar los valores específicos obtenidos para las teselas del parque, se calcularon los percentiles de sus valores considerando los valores de dPC de todas las teselas del ámbito regional completo. Así, valores próximos a 1 indican teselas de gran importancia en la red regional del hábitat, cuya posible pérdida daría lugar a mayores pérdidas de hábitat disponible a través de dicha red.

Los resultados obtenidos para el **matorral mediterráneo** indican la gran importancia que tiene el Parque Nacional de Cabañeros en el ámbito regional en relación a este ecoperfil, ya que los percentiles de todas las teselas del mismo, y para las tres distancias de dispersión consideradas, están muy próximos o son superiores a 0,90, siendo el nodo 159 uno de los que más conexiones provee de todo el ámbito regional.

Los valores altos del grupo de teselas que forman el nodo 159, tanto en dPCconnector como en su valor de centralidad BC(PC), nos indican que funciona como un grupo de teselas puente de gran importancia en el ámbito regional. El percentil tan alto (0,99) del valor de dPCconnector de dicho nodo revela cuán irremplazable es dicho grupo de teselas en el ámbito regional por no existir elementos alternativos que puedan ser utilizados de igual forma.

En el cuadro 5 se pueden ver los valores de los índices para este ecoperfil para la distancia de dispersión intermedia de 10 km.

En el caso del **elanio**, los valores de percentil de los dPC son muy inferiores (< 0,3), aunque hay un grupo de teselas que muestra cierta importancia respecto de la fracción connector (percentiles superiores a 0,5 para las tres distancias de dispersión), por lo que pese a no proveer a la red regional de una gran superficie de hábitat (percentil 0,34 en el tamaño teselar), sí que puede tener cierta relevancia como tesela puente o intermediaria en las conexiones entre otras teselas de mayor tamaño situadas fuera del parque.

El seguimiento de estos valores en el tiempo permitirá caracterizar la evolución de las redes de hábitat analizadas, y en el caso concreto del parque nacional determinar si las variaciones son debidas a cambios dentro del mismo o en los espacios Red Natura 2000 de su ámbito regional.

Cuadro 5. Valores de dA, dPC y cuantiles de dA, dPC, dPCintra, dPCflux, dPCconnector y BC(PC), de los grupos de teselas de hábitat del ecoperfil matorral mediterráneo del parque nacional, para una distancia de dispersión de 10 km.

id nodo (grupo de teselas)	Hábitat	dA	dPC	q_dA	q_dPC	q_dPCintra	q_dPCflux	q_dPCconnect	q_BC_PC
77	Matorral	1,29	3,07	0,88	0,90	0,88	0,92	0,69	0,92
121	Matorral	1,87	4,36	0,96	0,96	0,96	0,97	0,38	0,39
157	Matorral	1,90	4,51	0,96	0,97	0,96	0,97	0,70	0,79
159	Matorral	1,13	4,46	0,84	0,97	0,84	0,88	0,99	0,96

En la tabla, dA es el porcentaje de superficie de hábitat del grupo de teselas respecto al total del hábitat regional. dPC es el valor en porcentaje de contribución a la conectividad, en términos de hábitat disponible a escala de paisaje, de cada nodo. Valores de dPC mayores que dA identifican nodos con contribuciones apreciables por las conexiones que tienen o que proveen a otros. El resto de columnas muestran valores de percentiles de cada uno de los indicadores (fracciones dPC y centralidad (BC)), y por tanto valores próximos a 1 indican importancia muy alta en la red regional de hábitat.

La **importancia** que tiene el **Parque Nacional de Cabañeros** en el **ámbito regional** respecto a la conectividad del **ecoperfil matorral mediterráneo**, queda también reflejada en el mapa de los conectores prioritarios obtenidos en dicho ámbito, que se muestra en el mapa siguiente. En él se puede ver que varios de dichos conectores (prioritarios en uno, dos o los tres escenarios, y para las tres distancias de dispersión consideradas) cruzan, parten o llegan al parque nacional.

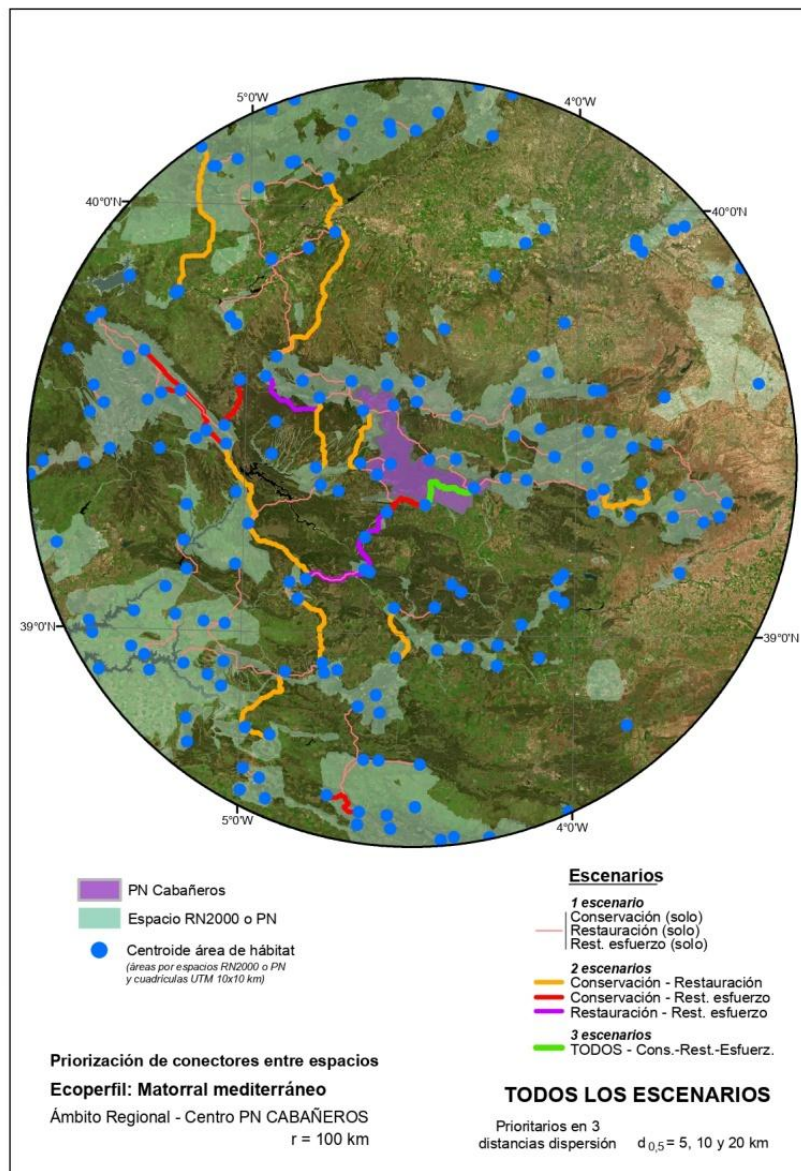


Figura 12. Mapa de conectores prioritarios para el ecoperfil matorral mediterráneo en el ámbito regional (100 km alrededor del parque nacional).

LINCE IBÉRICO (*Lynx pardinus*) (Escala local)

El análisis de conectividad para el lince ibérico se llevó a cabo sin considerar teselas núcleo de hábitat, mediante la aplicación de la teoría de circuitos eléctricos. En este caso, a partir de la capa de resistencias se han identificado las áreas susceptibles de ser utilizadas por la especie en sus movimientos. Para ello se utilizó el software Circuitscape, que dio como resultado el mapa de intensidad de flujo (de corriente) que se muestra, en el que se han identificado las zonas de mayor probabilidad de paso de lince.

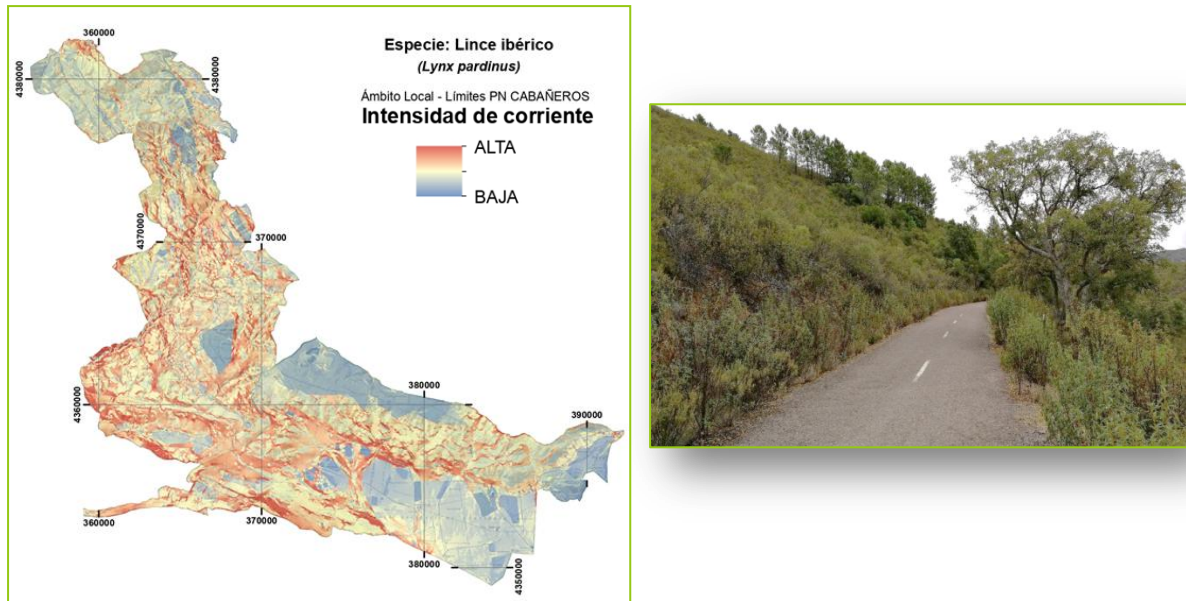


Figura 13. Izquierda: Mapa de probabilidad de paso de lince ibérico en el P.N. Cabañeros.
Derecha: Tramo de carretera de alta probabilidad de paso.

En el mapa puede observarse la gran cantidad de superficie con buenas características para la dispersión del lince (tonos rojos), que da lugar a un muy elevado número de rutas alternativas para los desplazamientos N-S y E-O dentro del Parque.

En conjunto, el parque constituye un gran corredor, de gran anchura y con multitud de rutas alternativas en su interior, para eventuales individuos procedentes de las poblaciones del sur que realicen grandes movimientos dispersivos.

Respecto a una hipotética entrada de individuos de la especie por el oeste o suroeste del parque, en su desplazamiento hacia el norte, los individuos se pueden encontrar con dos carreteras y el río Estena.

Se identificaron seis zonas más o menos extensas con alta intensidad de flujo de la especie (probabilidad de paso), ya sea en una o varias rutas de movimiento, en las que hipotéticas modificaciones en el terreno deberían evaluarse con detalle, dado su valor potencial para la especie.

Se han estudiado con detenimiento dichas zonas de alto flujo y se han analizado los puntos de cruce con carreteras y el río Estena para evaluar la necesidad de acometer medidas específicas.

La información obtenida en estos análisis es básica para la adopción, en su caso, de medidas que favorezcan la conectividad y la supervivencia del lince, sobre todo ante posibles atropellos.

Se comenta a continuación algunas cuestiones respecto a una de las zonas.

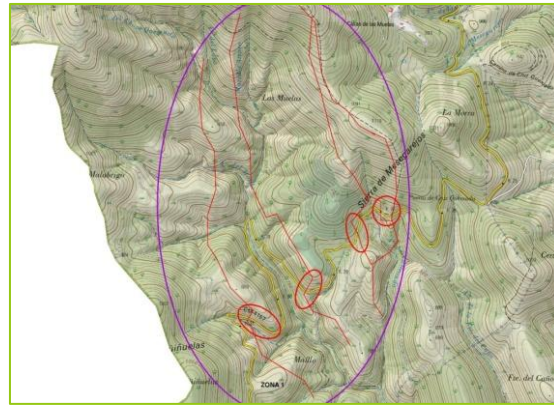


Figura 14. Detalle de una de las zonas de alta probabilidad de paso de lince ibérico en el P.N. Cabañeros. (Las líneas rojas identifican ejes generales de flujo de individuos. Las elipses rojas señalan áreas de alta probabilidad de cruce de una carretera).

Las rutas en esta zona (Figura 14) siguen una dirección N-S. En esta zona se ubica una carretera, en la cual se han identificado tramos o áreas en el entorno de la misma, de alta probabilidad de paso (marcadas en la imagen con elipses rojas). Los corredores tienen anchos de unos 100-150 m aproximadamente, y no se identifican cuellos de botella (estrechamientos de los mismos debido a un entorno de alta resistencia). Además, en la zona se identifican entre tres y cuatro ejes paralelos, o rutas alternativas. La existencia de diferentes rutas alternativas, todas ellas de anchos aceptables, hace presuponer que el tránsito de la especie por esta zona no encuentra impedimentos graves en general. En este caso particular no es necesario realizar actuaciones específicas en dichos tramos de carretera porque el vial presenta muy escasa circulación de vehículos y es de velocidad reducida.

Análisis de la Fragmentación

Los análisis de fragmentación efectuados se han realizado en el ámbito territorial del parque nacional (ámbito local) y se han realizado sobre los cuatro sistemas naturales de vegetación y los hábitats de las cuatro especies y tres ecoperfiles descritos en este trabajo. A continuación se presentan algunos de los resultados.

En el caso de los sistemas naturales de vegetación, se muestran los resultados del análisis de fragmentación obtenidos con FRAGSTATS para los quejigares.

QUEJIGARES

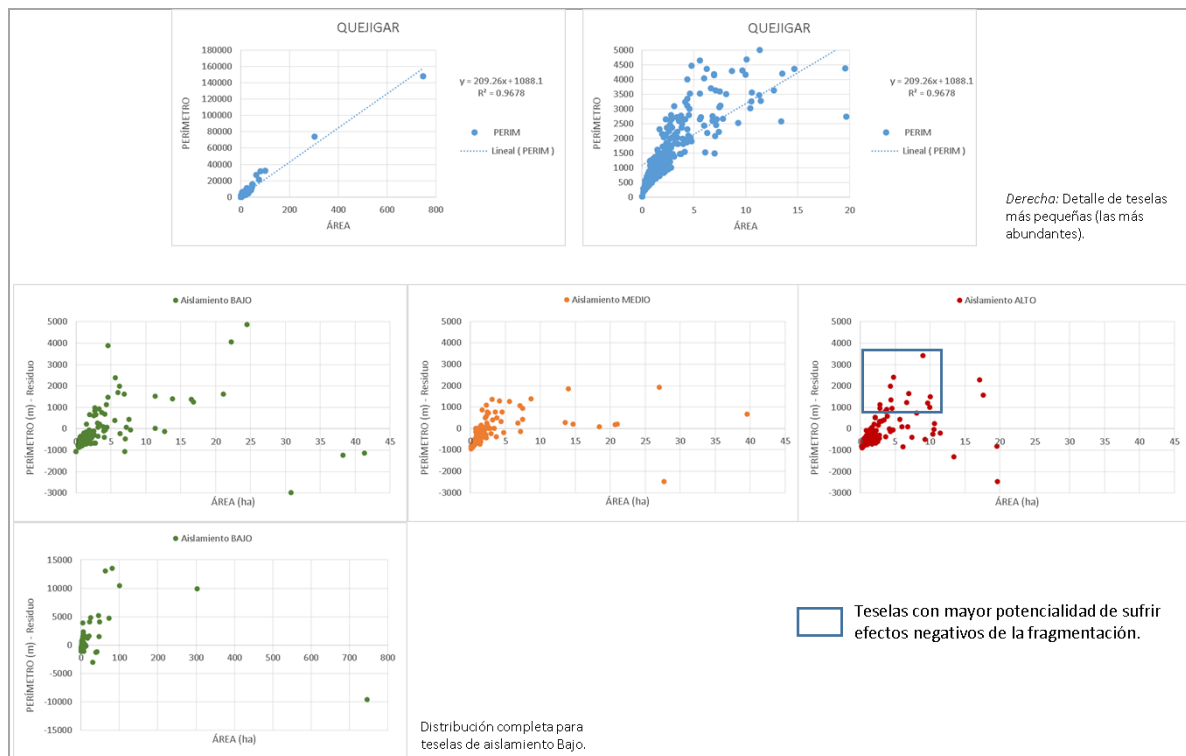


Figura 15. Diagramas de dispersión de las teselas de quejigar en el P.N. Cabañeros respecto a los factores de la fragmentación considerados.

En total, se han identificado 374 **teselas** de quejigar. Los gráficos de puntos azules muestran la dispersión de los pares (área, perímetro) de las teselas, junto con el ajuste lineal de los mismos. Para la identificación de las teselas más y menos susceptibles de sufrir los efectos negativos de la fragmentación, en los siguientes gráficos (igual escala para permitir su comparación) se usaron los residuos de este ajuste.

Los gráficos de dispersión de puntos verdes, naranjas y rojos corresponden a los pares (área, residuo) por nivel de aislamiento (verde Bajo, a rojo Alto). Ninguna de las teselas de aislamiento Alto es mayor de 20 ha, por lo que se dan de forma simultánea las dos características tal vez más relevantes con respecto a la fragmentación, teselas pequeñas y aisladas.

Las teselas de mayor tamaño son escasas y se encuentran en los niveles de aislamiento Bajo y Medio, como ya se ha apuntado. Aun así, en el caso del quejigar el aislamiento Alto (percentil > 66) supone distancias no muy elevadas, más de 85 metros a la tesela de quejigar más próxima. Por ello, se identifican a continuación el 5% de teselas más aisladas (más de 481 m) independientemente de los otros factores. Estas teselas se representan en el siguiente mapa en color azul. En verde el resto de teselas de quejigar.

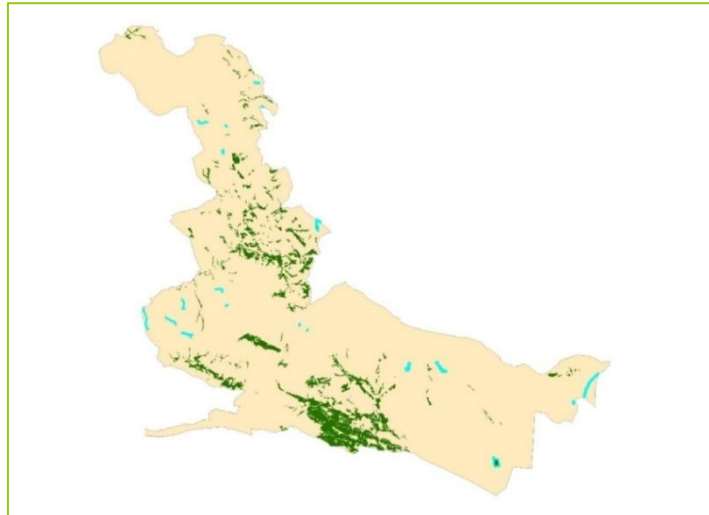


Figura 16. Localización del 5% de teselas de quejigar más aisladas, en azul (distancia a vecino más próximo > 481 m). En verde el resto de teselas de quejigar en el P.N. de Cabañeros.

Finalmente, se identifican las teselas con valores más altos en los factores de la fragmentación considerados, e identificadas en el gráfico de dispersión rojo (Figura 15) con un cuadrado azul (aislamiento Alto, Área < 10 ha, y residuo > 1000 m).

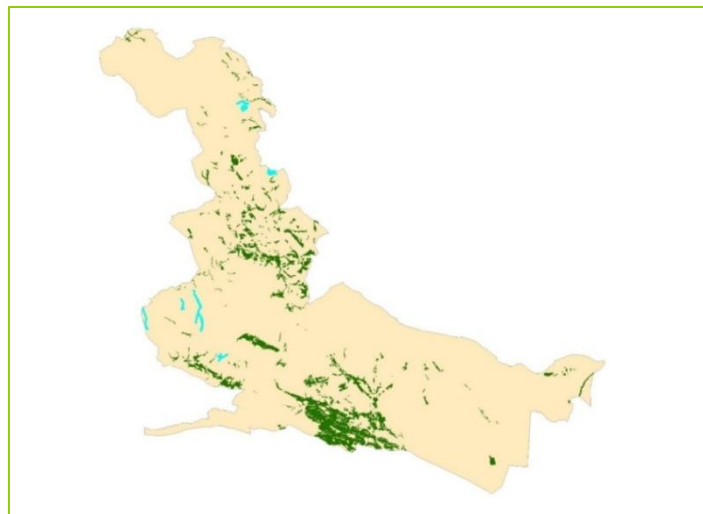


Figura 17. Localización de las teselas de quejigar más susceptibles de sufrir los efectos negativos de la fragmentación (en azul) en el P.N. Cabañeros (corresponden a las identificadas en la Figura 15). En verde el resto de teselas de quejigar.

Prácticamente todas las teselas de quejigar tienen tamaños menores de 100 ha, la mayoría por debajo de las 20 ha. Aun así, se identifica una tesela de alto valor, al menos en el contexto del parque nacional, por ser la más grande de todas con gran diferencia (747 ha) y pertenecer al grupo de bajo aislamiento.

Los índices calculados a nivel de tesela también se calcularon a nivel de **clase** (valores medios de todas las teselas del mismo sistema natural de vegetación) en hexágonos de 400 ha, dando lugar a los resultados que se presentan a continuación. Los colores verdes indican menor fragmentación y los rojos mayor.

El tamaño teselar es predominantemente pequeño, con mayoría de hexágonos rojos o naranjas, al contrario que el aislamiento. Las áreas con teselas de quejigar más aisladas se localizan en el sector centro-oeste del Parque Nacional.

En el caso de los bordes teselares, las áreas con mayor densidad se localizan en la tesela de quejigar más grande (los tres hexágonos rojos), revelando la gran cantidad de huecos dentro de la misma, y que a nivel de tesela no se reflejaban.

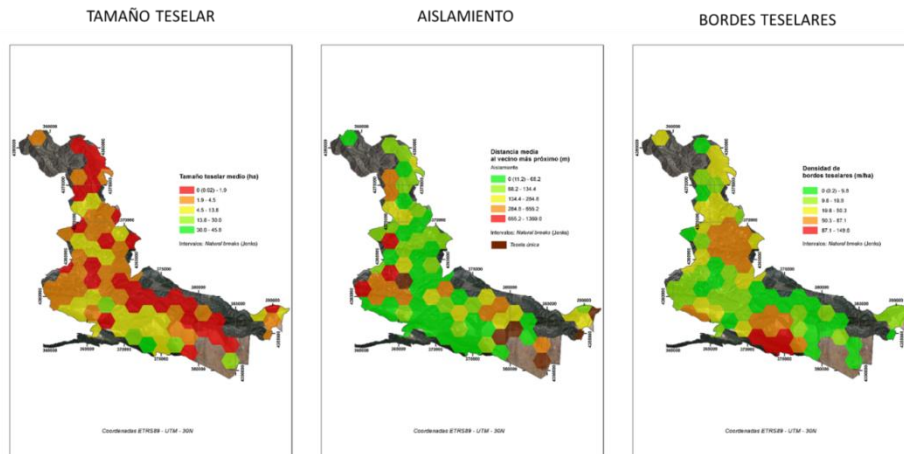


Figura 18. Cuantificación de los índices de fragmentación, calculados a nivel de clase, para el quejigar en el P.N. Cabañeros. Del verde (menor fragmentación) al rojo (mayor).

Los valores de los índices anteriores se sumaron para generar el mapa de integración de los tres factores de la fragmentación, que se muestra a continuación, que permite identificar las zonas (hexágonos) que en términos relativos contienen teselas de quejigar más fragmentado. En el caso del quejigar se identifican dos hexágonos rojos (alta fragmentación) que requerirían de atención en la gestión y análisis de más detalle.

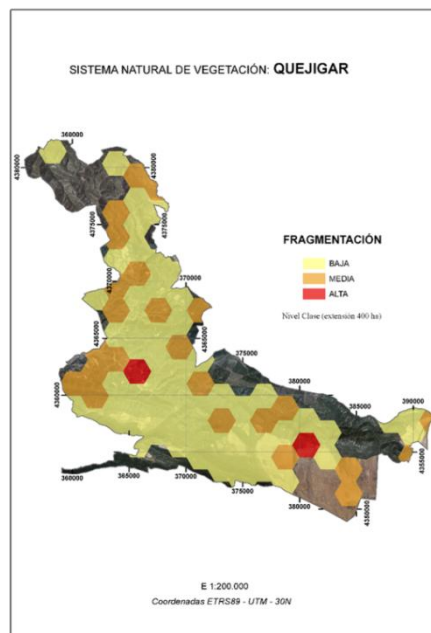


Figura 19. Cuantificación en el P.N. Cabañeros del índice integrado de fragmentación para el quejigar (rojo indica alta fragmentación, naranja media, y amarillo baja).

GRADO DE FRAGMENTACIÓN DEL HÁBITAT DE DIVERSAS ESPECIES Y ECOPERFILES

A continuación se muestran algunos resultados del **índice FAD** (*Foreground Area Density*) calculado con GuidosToolbox y promediado a nivel de tesela (FAD-APP). Las **5 escalas** que aparecen en las gráficas (escalas 1 a 5) se corresponden con ventanas de análisis de 0,049 ha, 1,69 ha, 7,29 ha, 65,61 ha y 590,49 ha, respectivamente. Para cada especie o ecoperfil se muestra el gráfico resumen del análisis y la capa ráster del parque nacional correspondiente a la escala denominada ‘multiescala’ que aglutina las 5 escalas de análisis reseñadas. En estos gráficos y mapas se clasifica cada tesela en una de las siguientes **categorías de fragmentación** (de menor a mayor fragmentación): Interior, Dominante, Transicional, Dispersa y Rara.

Los resultados muestran dónde y cuán fragmentado está el hábitat analizado, así como el cambio en el grado de fragmentación según diferentes escalas de análisis, las cuales pueden ser atribuidas a diferentes grupos de especies o diferentes comportamientos para el caso de una única especie.

ELANIO COMÚN (*Elanus caeruleus*)

La superficie total de su hábitat dentro del parque es de 2.544,94 ha, divididas en 226 teselas, lo que da lugar a un tamaño medio de 11,26 ha. El hábitat de clase Interior aparece en las dos escalas menores, con más del 50% en la escala 1 (490 m2) y 17% aproximadamente en la escala 2 (1,69 ha). Para esta especie es probable que sean relevantes escalas mayores, en las que la situación es diferente. En la escala 5 aparece en torno a un 12% de hábitat de la clase *Raro*, estando el resto repartido de forma más o menos equitativa entre las clases *Disperso* y *Transicional*. Se muestra el mapa de valores medios (multiescala), con predominio de la clase Dominante. En este caso puede ser de interés centrar esfuerzos en analizar en mayor detalle la funcionalidad de las teselas de la clase *Raro* de la escala de 590 ha (escala 5).

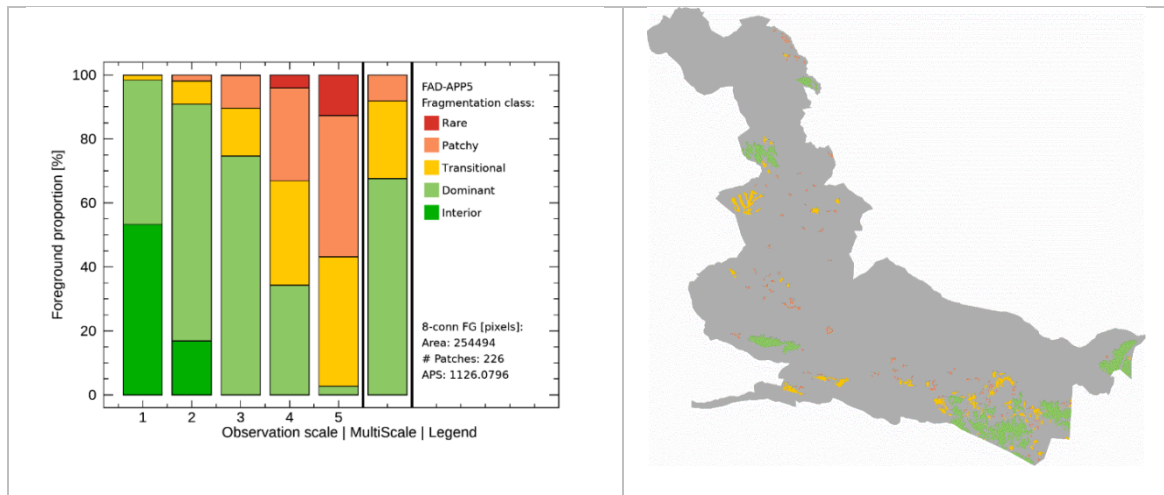


Figura 20. Izquierda: Distribución de los valores del índice de fragmentación FAD-APP para las teselas de hábitat del elanio común, según categorías (rojo más fragmentación, verde menor) y para distintas escalas de análisis (eje x: 1 más pequeña, 5 más grande). Derecha: Mapa representando las teselas de hábitat según valores medios de FAD-APP (multiescala) en el Parque Nacional de Cabañeros.

ECOPERFIL PASTIZALES Y HERBAZALES MEDITERRÁNEOS

La superficie total del hábitat dentro del parque es de 3.646,20 ha, divididas en 197 teselas, lo que da lugar a un tamaño medio de 18,50 ha. El hábitat de clase Interior aparece en las dos escalas menores, siendo predominante en la 1. Por tanto, especies de pequeño tamaño que utilicen este tipo de hábitat, como invertebrados o reptiles, pueden encontrar una situación favorable respecto a la fragmentación, aunque no así otras especies de mayor tamaño o capacidad de dispersión, ya que en la escala 5 domina la clase Transicional y las otras dos más fragmentadas están representadas por más de un 20% de la superficie del hábitat. Estas teselas, localizadas en los sectores centro y norte del parque y alejadas de la zona de la raña, podrían requerir de estudios de mayor detalle en caso de gestión dirigida a favorecer a especies de este ecoperfil.

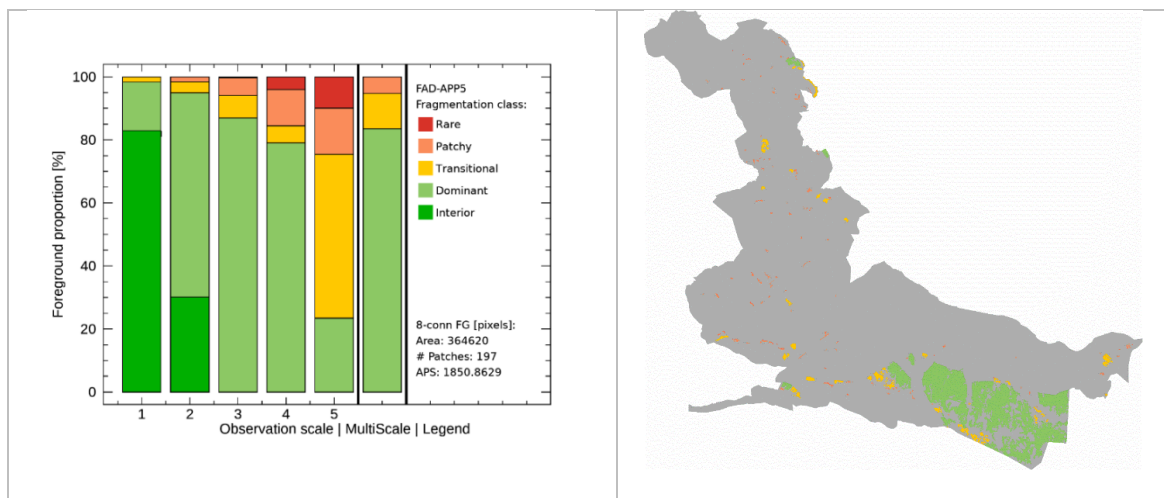


Figura 21. Izquierda: Distribución de los valores del índice de fragmentación FAD-APP para las teselas del ecoperfil pastizales y herbazales mediterráneos, según categorías (rojo más fragmentación, verde menor) y para distintas escalas de análisis (eje x: 1 más pequeña, 5 más grande). Derecha: Mapa representando las teselas de hábitat según valores medios de FAD-APP (multiescala) en el P.N. Cabañeros.



Figura 22. Tesela núcleo de hábitat para el ecoperfil pastizales y herbazales mediterráneos próxima a un área de dehesa identificada igualmente como núcleo para el elanio común, en el entono del paraje "El Mancho del Portugués" en el parque nacional, de la que parten conectores prioritarios.

ECOPERFIL MATORRAL MEDITERRÁNEO

La superficie total del hábitat dentro del parque es de 13.309,61 ha, divididas en 778 teselas, lo que da lugar a un tamaño medio de 17,10 ha. El hábitat de clase Interior aparece en la escala menor y muy escasamente en la 2. En el caso opuesto la clase Raro es casi inexistente incluso en la escala 5. El análisis multiescala (valores medios), al que corresponde el mapa que se presenta, muestra predominancia de la clase Dominante, por lo que, respecto a la fragmentación, el hábitat del ecoperfil matorral mediterráneo tiene situación buena en términos generales.

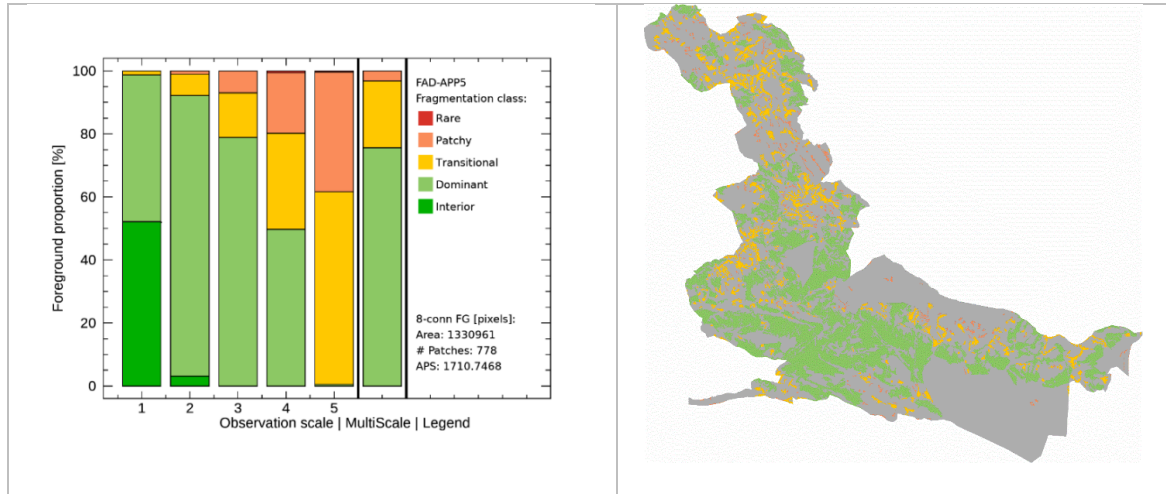


Figura 23. Izquierda: Distribución de los valores del índice de fragmentación FAD-APP para las teselas del ecoperfil matorral mediterráneo, según categorías (rojo más fragmentación, verde menor) y para distintas escalas de análisis (eje x: 1 más pequeña, 5 más grande). Derecha: Mapa representando las teselas de hábitat según valores medios de FAD-APP (multiescala) en el P.N. Cabañeros.



Figura 24. Hábitat del ecoperfil matorral mediterráneo en el Parque Nacional de Cabañeros.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado una completa metodología que incorpora diferentes métodos de análisis de la conectividad y fragmentación ecológicas, y se ha aplicado para evaluar la situación del Parque Nacional de Cabañeros (Castilla-La Mancha), tanto dentro de sus límites, como sus relaciones funcionales con otros espacios naturales de alrededor. Esta metodología puede aplicarse para evaluar dichas características del paisaje en otros espacios protegidos u otras zonas del territorio.

En el proyecto se ha evaluado el grado de fragmentación estructural de cuatro sistemas naturales de vegetación característicos del parque, y de los hábitats de cuatro especies y tres ecoperfiles en el ámbito local del parque nacional.

La conectividad funcional se ha analizado tanto dentro como fuera del parque nacional, para comprobar el grado de conexión para el movimiento de diversas especies dentro del parque, y entre el parque y otros espacios naturales protegidos existentes en un radio de 100 km alrededor del parque. El análisis de la conectividad en ese ámbito ampliado o regional se ha realizado para el elanio y para las especies ligadas a los ecoperfiles de matorral, y pastizal y herbazal mediterráneos. Estos análisis han permitido evaluar tanto la disponibilidad de hábitat a escala de paisaje, como la contribución de cada elemento (nodos y enlaces) a la correspondiente red de hábitat (local o regional).

Se ha trabajado con varias distancias de dispersión para cada especie o ecoperfil. Y se han establecido tres escenarios de priorización de los conectores obtenidos: escenario de conservación, de restauración, y de restauración-esfuerzo por el ratio coste/ beneficio. De esta manera, se han identificado los conectores prioritarios que deben ser mantenidos o restaurados para lograr la máxima conectividad del territorio para las especies, y es en esas zonas donde se deben enfocar los recursos y llevar a cabo las actuaciones necesarias de conservación o restauración, con el fin de mantener o mejorar la conectividad interna y externa del parque nacional o de cualquier otro espacio natural.

Se ha analizado la importancia de las teselas de hábitat del parque en relación a la conectividad del conjunto de las teselas de hábitat en el ámbito regional mediante los índices dPC, sus distintas fracciones, y el índice de centralidad de las teselas BC(PC).

Además, el seguimiento en el tiempo de los valores del área conexas equivalente (o área conectada equivalente, ECA) para cada especie o ecoperfil, que se expresa en unidades de superficie, y su variación, así como la variación temporal del área de cada tipo de hábitat, y la comparación de los valores anteriores, proporciona información muy útil de cara al seguimiento y evaluación de la conectividad interna y externa de un espacio natural protegido o de los hábitats de especies o grupos de especies en diferentes escalas del territorio.

En el caso del lince, la conectividad dentro del parque nacional se ha analizado mediante Circuitscape, obteniéndose las zonas con mayor probabilidad de paso de individuos, y se han detectado los tramos de carreteras que interceptan o están en las proximidades de dichas zonas, para la adopción, en su caso, de medidas específicas que favorezcan la conectividad.

La metodología desarrollada en este estudio piloto, además de su posible utilización en el seguimiento, evaluación y gestión de espacios protegidos, hábitats y especies, se puede aplicar en otras zonas del territorio español, para identificar las zonas prioritarias a conservar o

restaurar, por su mayor contribución a la conectividad ecológica del conjunto del territorio, y de esta manera poder ser incluidas en la futura Infraestructura Verde (tanto infraestructura verde para la conservación como para la restauración).

Un hito importante en este sentido ha sido la reciente aprobación por Consejo de Ministros, en octubre de 2020, de la Estrategia Estatal de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas³, que, según la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (en su modificación de 2015), tiene entre sus objetivos marcar las directrices para la identificación y conservación de los elementos del territorio que compondrán la Infraestructura Verde del territorio español, terrestre y marino, y que integrará, entre otras zonas, las áreas estratégicas para la conectividad ecológica; a cuya identificación ha tratado de contribuir este proyecto mediante la aplicación de diversas metodologías.

El presente proyecto ha sido financiado mediante el Programa de Impulso al Medio Ambiente (PIMA Adapta) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

7. BIBLIOGRAFIA

- Ayllón, E., Bustamante, P., Cabrera, F., Flox, L., Galindo, A. J., Gonsálvez, R. U., Hernández, J. M., Morales, M., Torralvo, C. & Zamora, F., 2003. Atlas provisional de distribución de los anfibios y reptiles de la provincia de Ciudad Real (Castilla-La Mancha, España)
- Balbontín, J., Negro, J. J., Sarasola, J. H., Ferrero, J. J., Rivera, D. (2008). Land-use changes may explain the recent range expansion of the Black-shouldered Kite *Elanus caeruleus* in southern Europe. *Ibis*, 150 (4): 707-716.
- Beier, P., D. R. Majka, and W. D. Spencer. 2008. Forks in the road: choices in procedures for designing wildland linkages. *Conservation Biology* 22:836–851.
- Bennett, F. A., 2003. Linkages in the landscape. The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation. In The World Conservation Union (ed.): IUCN Forest Conservation Programme, Conserving Forest Ecosystems Series No. 1. IUCN, Australia.
- Bowman, J., Jaeger, J. A. G. and Fahrig, L., 2002. Dispersal distance of mammals is proportional to home range size. *Ecology*, 83(7), 2002, pp. 2049–2055.
- 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.

³ https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/conectividad-fragmentacion-de-habitats-y-restauracion/Infr_verde.aspx

- Cirujano, S., Álvarez M., Meco, A., Rubio, A., Martín, A. y Guerrero N., 2012. Estudio y caracterización de la flora y vegetación acuática de los humedales del parque nacional de Cabañeros. Parque Nacional de Cabañeros.
- Crooks, K.R. and Sanjayan, M., 2006. Eds.: Connectivity Conservation, Cambridge University Press, Cambridge.
- EUROPARC-España, 2009. Conectividad ecológica y áreas protegidas. Herramientas y casos prácticos. Ed. FUNGOBE Madrid. 86 páginas.
- Fagan W.F. y Calabrese J.M., 2006. Quantifying connectivity: Balancing metric performance with data requirements. En: Crooks, K.R. and Sanjayan, M., 2006. Eds.: Connectivity Conservation, Cambridge University Press, Cambridge.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics 34:487-515.
- Fernández, N., Delibes, M., Palomares, F., Mladenoff, J. (2003). Identifying breeding habitat for the Iberian lynx: inferences from a fine-scale spatial analysis. Ecol. Appl., 13: 1310-1324.
- Ferreras, P., Delibes, M., Palomares, F., Fedriani, J. M., Calzada, J. and Revilla, E., 2004. Proximate and ultimate causes of dispersal in the Iberian lynx *Lynx pardinus*. Behavioral Ecology Vol. 15 No. 1: 31-40.
- Forman, R.T.T. and Godron, M., 1986. Landscape Ecology. John Wiley and Sons Ltd., New York.
- Forman, R.T.T., 1995. Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. New York: Cambridge University Press.
- Gastón, A., Blázquez-Cabrera, S., Garrote, G., Mateo-Sánchez, M.C., Beier, P., Simón, M.A. y 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, pp. 814-824. doi: 10.1111/1365-2664.12629.
- Goodwin B.J. y Fahrig, L., 2002. Effect of landscape structure on the movement behaviour of a specialized goldenrod beetle, *Trirhabda borealis* Can. J. Zool. 80: 24-35.
- Hiernaux, L., Pereira, P., Hurtado, A. & Fernández, J., 2011. Catálogo y atlas de los Ropalóceros del Parque Nacional de Cabañeros. Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- Illanas, S., Ciudad, C., Gastón, A., Blázquez-Cabrera, S., Simón, M.A., Saura, S., 2017. Selección del hábitat y permeabilidad del territorio para el lince ibérico (*Lynx pardinus*) en Andalucía: influencia del estado de comportamiento y de la resolución cartográfica. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. 43: 193-208.
- Kettunen, M, Terry, A., Tucker, G. & Jones A., 2007. Guidance on the maintenance of landscape features of major importance for wild flora and fauna - Guidance on the implementation of Article 3 of the Birds Directive (79/409/EEC) and Article 10 of the Habitats Directive (92/43/EEC). Institute for European Environmental Policy (IEEP), Brussels.

- Lindenmayer, D.B. y Fischer, J., 2006. Habitat fragmentation and landscape change: an ecological and conservation synthesis. Washington D.C.: Island Press.
- Marco, A., 2015. Lagarto verdinegro – *Lacerta schreiberi*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Marco, A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- McRae, B., Dickson, B., Keitt, T., y Shah, V., 2008. Using Circuit Theory to Model Connectivity in Ecology, Evolution, and Conservation. *Ecology*, 89(10), 2712-2724.
- McRae BH, Kavanagh DM. 2011. Linkage Mapper Connectivity Analysis Software. The Nature Conservancy, Seattle, WA.
- 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. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 260 pp. Madrid.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015. *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales* (segunda edición, revisada y ampliada). Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transportes, número 1. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 139 pp. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010. *Prescripciones técnicas para la reducción de la fragmentación de hábitats en las fases de planificación y trazado*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transportes, número 3. O.A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 145 pp. Madrid
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2010. *Indicadores de fragmentación de hábitats causada por infraestructuras lineales de transporte*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 4. O.A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 133 pp. Madrid.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020. Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración ecológicas. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/conectividad-fragmentacion-de-habitats-y-restauracion/Infr_verde.aspx
- Organismo Autónomo Parques Nacionales. Información general del Parque Nacional de Cabañeros. <https://www.miteco.gob.es/es/red-parques-nacionales/nuestros-parques/cabaneros/>
- Organismo Autónomo Parques Nacionales, 2015. Memoria de la cartografía de los sistemas naturales de vegetación. Parque Nacional de Cabañeros. OAPN.

- Organismo Autónomo Parques Nacionales, 2019. Seguimiento del estado fitosanitario de las masas forestales en la Red de Parques Nacionales. Informe de resultados para el periodo 1986-2018. OAPN.
- Pascual-Hortal, L. y Saura, S., 2006. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology* 21 (7): 959-967.
- Rey Benayas, J.M. y de Torre Ceijas, R. 2017. Medidas para fomentar la conectividad entre Espacios Naturales protegidos y otros Espacios de Alto Valor Natural en España. FIRE, MNCN-CSIC y MAPAMA. Madrid.
- Riitters, K.H.; Wickham, J.D., 2012. Decline of forest interior conditions in the conterminous United States. *Scientific Reports* 2, Article number: 653. DOI 10.1038/srep00653.
- Rivera, D., Pérez Gil, S., Casas, J. M., Balbontín, J., Negro, J. J., Abad-Gómez, J. M., 2019. Elanio común – *Elanus caeruleus*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. López, P., Martín, J., Zuberogoitia, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- Rodríguez, A., 2017. Lince ibérico – *Lynx pardinus*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Barja, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- Sánchez, C., Sardinero, S., Bouso, V., Hernández, G., Pérez, R. y Fernández, F., 2010. Los abedulares del Parque Nacional de Cabañeros: sistemática, demografía, biología reproductiva y estrategias de conservación. *Proyectos de investigación en parques nacionales: 2006-2009*. OAPN.
- Saura, S., 2010. Del rodal al paisaje: Un cambio de escala, nuevas perspectivas para la planificación y ordenación forestal. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 31:213-239.
- Saura, S., 2013. Métodos y herramientas para el análisis de la conectividad del paisaje y su integración en los planes de conservación. En: De la Cruz, M. y Maestre, F. T. (eds.) 2013. *Avances en el Análisis Espacial de Datos Ecológicos: Aspectos Metodológicos y Aplicados*. ECESPA-Asociación Española de Ecología Terrestre. Móstoles.
- Saura, S., González-Ávila, S., Elena-Rosselló, R., 2011. Evaluación de los cambios en la conectividad de los bosques: el índice del área conexas equivalente y su aplicación a los bosques de Castilla y León. *Montes* 106: 15-21.
- Saura; S., Mateo Sánchez, M.C., de la Fuente Martín, B., Gastón González, A., 2016. Estudio para la identificación de redes de conectividad entre espacios forestales de la Red Natura 2000 en España. Fundación Conde del Valle de Salazar; estudio desarrollado para WWF-España.
- Saura, S. y 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 (2-3): 91-103.

- Saura, S. y 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. y Torné, J., 2009. Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software* 24: 135-139.
- Spencer, W.D., Beier, P., Penrod, K., Winters, K., Paulman, C., Rustigian-Romsos, H., Strittholt, J., Parisi, M. y Pettler, A., 2010. California Essential Habitat Connectivity Project: A Strategy for Conserving a Connected California. Prepared for California Department of Transportation, California Department of Fish and Game, and Federal Highways Administration.
- Stefanescu, C. & Planas, J. 2003. Com afecta el rigor del hivern les poblacions de *Charaxes jasius*. *Butll. Soc. Cat. Lep.*,91: 31-48.
- Sutherland, G. D., A. S. Harestad, K. Price, and K. P. Lertzman. 2000. Scaling of natal dispersal distances in terrestrial birds and mammals. *Conservation Ecology* 4(1): 16.
- Taylor, P.D., Fahrig, L. Henein, K. and Merriam, G., 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68(3): 571-572.
- Theobald, D. M., 2006. Exploring the functional connectivity of landscapes using landscape networks. In: Crooks, K. R.; Sanjayan, M. (editors) *Connectivity conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, 2006. p. 416-443.
- Valladares, F., Gil, P. y Forner, A., 2017. Bases científico-técnicas para la Estrategia estatal de infraestructura verde y de la conectividad y restauración ecológicas. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.
- Verbeylen, G., De Bruyn, L., Adriaensen, F. & Matthysen, E., 2003. Does matrix resistance influence Red squirrel (*Sciurus vulgaris* L. 1758) distribution in an urban landscape? *Landscape Ecology*, 18, 791– 805.
- Vogt, P. y Riitters, K., 2017. GuidosToolbox: universal digital image object analysis. *European Journal of Remote Sensing* 50:1, 352-361.
- Vogt, P., 2019. Measuring *Forest Area Density* to quantify Forest Fragmentation. Directorate D – Sustainable Resources. European Commission.
<https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/activities/lpa/gtb/>
- Vogt P., Riitters, K., 2017. GuidosToolbox: universal digital image object analysis. *European Journal of Remote Sensing* 50:1, 352-361, DOI: 10.1080/22797254.2017.1330650.
- Vogt, P., Riitters, K.H., Caudullo, G., Eckhardt, B. and Raši, R., 2019. *An approach for pan-European monitoring of forest fragmentation*, EUR 29944 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-10374-5, doi:10.2760/991401, JRC118541.

WWF España. 2018. Autopistas Salvajes: Propuesta de WWF España para una Red Estratégica de Corredores Ecológicos entre espacios Red Natura 2000. Informe 2018.WWF España.

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