

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CONECTIVIDAD ECOLÓGICA DE LA RED NATURA 2000 EN LA PROVINCIA DE TERUEL Y DESCRIPCIÓN DE LOS EFECTOS DERIVADOS DE LA IMPLANTACIÓN DE PARQUES EÓLICOS.

ECOLOGICAL CONECTIVITY OF THE NATURA 2000 NETWORK IN THE TERUEL PROVINCE AND DESCRIPTION OF THE EFFECTS DERIVED FROM THE IMPLEMENTATION OF WIND FARMS

Autor: Héctor Sampietro Lardiés

Director: Luis Alberto Longares Aladrén

Máster Universitario en

**Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del
territorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

Noviembre 2021



**Universidad
Zaragoza**

**Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio**



Resumen

Las especies de vertebrados requieren de un cierto nivel de desplazamiento en el espacio para asegurar la viabilidad de sus poblaciones, siendo los corredores ecológicos elementos de los ecosistemas que permiten la conexión entre áreas de distribución, migración o dispersión, así como el propio uso del espacio vital de las especies por lo que deben posibilitar el desplazamiento de las especies. Sin embargo, la actividad del ser humano ha degradado este desplazamiento mediante la aparición de barreras y destrucción de hábitats, comprometiendo así la conectividad ecológica. Unas de las instalaciones que pueden comprometer el flujo de especies voladoras son la disposición de aerogeneradores en parques eólicos; y considerando que son numerosos los parques eólicos proyectados en la Provincia de Teruel, se ve la necesidad de evaluar los efectos de éstos sobre los corredores ecológicos actuales, en el caso de las especies más vulnerables.

Para estudiar la conectividad ecológica actual y la influencia de los parques eólicos para la provincia, se usa la metodología de cálculo de superficies de fricción. El valor de fricción usado depende de ambos: cobertura de suelo y pendientes. Se emplean como áreas núcleo las Zonas de Especial Conservación y Zonas de Especial Protección para las Aves (Red Natura 2000, RN); y se estudian un total de cinco grupos de especies: mamíferos terrestres, aves esteparias, aves planeadoras, aves rapaces y aves forestales. Con la herramienta *Linkage mapper* de ArcGis 10.7.1 se usan las superficies de fricción para obtener los resultados referentes a superficies de menor coste, valor de corredor, barreras, cuellos de botella, y valor de área núcleo. Se analizan los resultados individualmente, y se combinan entre sí. Viendo la diferencia entre la situación para la red de corredores y RN posterior y actual se cuantifican los efectos de éstos sobre la conectividad ecológica.

Los resultados muestran diferencias para las aves esteparias con respecto a las especies de preferencia por superficies forestales. Las aves rapaces y planeadoras no presentan muchos problemas; sin embargo, las aves esteparias tienen mayor afinidad a desplazarse por el extremo norte y oeste de la provincia, mientras que los mamíferos y aves forestales tienen preferencia por las áreas sur y este de la provincia. Las principales barreras antropogénicas a destacar son distintos tramos de autovía, en adición de la red ferroviaria y los cultivos de secano intensivo, y los distintos parques eólicos, muchos de los cuales se ubican entre los polígonos de la RN.

En muchas ocasiones, los corredores se ubican en las áreas más estrechas que separan dos polígonos de la RN. Dado que muchos de los parques eólicos proyectados se ubican en estas áreas, los resultados muestran una importante posible afección a los corredores. Estos efectos se traducen o bien en el desplazamiento de los corredores a los alrededores de los nuevos parques eólicos, desplazándose por áreas menos favorables que las iniciales, o bien el mantenimiento del corredor, pero dificultando su uso, con la consecuente pérdida de operatividad de los mismos. Además, los efectos pueden ser locales, pero también pueden modificar la red de corredores, añadiendo o eliminándolos en otras áreas.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, Linkage mapper, mamíferos terrestres, aves esteparias, aves planeadoras, aves rapaces, aves forestales, comparativa.

Abstract

Vertebrate species require a certain level of displacement in space to ensure the viability of their populations, being ecological corridors elements of ecosystems that allow the connection between areas of distribution, migration or dispersal, as well as the use of space itself vital of the species so they must make possible the displacement of the species. However, human activity has degraded this displacement through the appearance of barriers and the destruction of habitats, compromising thus ecological connectivity. Some of the facilities that can compromise the flow of flying species are the provision of wind turbines in wind farms; and considering that there are numerous wind farms projected in the Teruel Province, it is necessary to evaluate the effects of these on the current ecological corridors, in the case of the most vulnerable species.

To study the current ecological connectivity and the influence of wind farms for the province, the friction surface calculation methodology is used. The friction value used depends on both: ground cover, and slopes. Areas of Special Conservation and Areas of Special Protection for Birds (Red Natura 2000, RN) are used as core areas; and a total of five groups of species are studied: terrestrial mammals, steppe birds, soaring birds, raptors and forest birds. With the ArcGis 10.7.1 *Linkage mapper* tool, friction surfaces are used to obtain the results for least cost surfaces, corridor value, barriers, pinchpoints, and core area value. The results are analyzed individually, and combined with each other. Seeing the difference between the situation for the corridor network and the later and current RN, the effects of these on ecological connectivity are quantified.

The results show differences for steppe birds with respect to the species of preference for forest areas. Raptors and gliders do not present many problems; however, steppe birds have a greater affinity to move through the extreme north and west of the province, while mammals and forest birds have a preference for the southern and eastern areas of the province. The main anthropogenic barriers to highlight are different stretches of highway, in addition to the railway network and intensive rainfed crops, and the different wind farms, many of which are located between the polygons of the RN.

On many occasions, the corridors are located in the narrowest areas that separate two polygons from the RN. Given that many of the projected wind farms are located in these areas, the results show a significant possible impact on the corridors. These effects are translated either in the displacement of the corridors to the surroundings of the new wind farms, moving through areas less favorable than the initial ones, or the maintenance of the corridor, but making its use difficult, with the consequent loss of operability of the wind farms themselves. In addition, the effects can be local, but they can also modify the network of corridors, adding or removing them in other areas.

Keywords: Geographic Information Systems, Linkage mapper, land mammals, steppe birds, soaring birds, raptors, forest birds, comparative.

Índice

1.- Introducción	1
1.1.- Conceptos básicos	1
1.1.1.- Alteración, fragmentación del hábitat y barreras al desplazamiento de la fauna	1
1.1.2.- Conectividad ecológica e importancia, corredores ecológicos, infraestructura verde y paisaje.....	2
1.1.2.1.- Conectividad ecológica.....	2
1.1.2.2.- Corredores ecológicos.....	3
1.1.2.3.- Infraestructura verde	3
1.2.- Antecedentes	3
1.3.- Justificación	4
1.4.- Objetivos	6
2.- Área de estudio	6
3.- Material y métodos	10
3.1. Marco teórico	10
3.1.- Material empleado	12
3.2.- Asignación de los valores de fricción	14
3.3.- Tratamiento de las capas base.....	17
3.4.- Cálculo de ruta de mínimo coste y barreras. Linkage mapper	17
3.5.- Tratamiento y valoración de resultados Linkage Mapper.....	18
3.6.- Visualización resultados	19
4.- Resultados.....	21
4.1.- Superficies de fricción y barreras aparentes	21
4.2.- Evaluación resultados Linkage mapper para la situación actual.....	23
4.3.- Valor de la Red Natura 2000. Situación actual y posterior.....	32
4.4.- Evaluación de resultados Linkage mapper situación para la fase posterior a instalación de los parques eólicos proyectados	36
4.5.- Comparativa entre la situación posterior y actual a la instalación de parques eólicos....	42
5.- Discusión	51
5.1.- Situación actual.....	51
5.2.- Efectos de instalación de parques eólicos	52
6.- Conclusiones	54
7.- Bibliografía	55

1.- Introducción

1.1.- Conceptos básicos

1.1.1.- Alteración, fragmentación del hábitat y barreras al desplazamiento de la fauna

Los cambios de uso del suelo, unidos al efecto de las infraestructuras de transporte y al desarrollo agrícola, dan lugar a procesos de fragmentación de los hábitats naturales. La modificación de la estructura y composición del paisaje repercute en las poblaciones de organismos silvestres que los habitan y por ende en el ecosistema; degradando por tanto la biodiversidad (Andrén, 1994; Saunders *et al.*, 1991).

La fragmentación es un proceso de división de áreas de hábitats continuos en fragmentos que, a medida que se hacen más pequeños, quedan más aislados entre sí comprometiendo a las poblaciones de especies que albergan, pasando a ocupar sólo una fracción de la superficie original del hábitat (Rosell *et al.*, 2003). Además de los cambios de uso de suelo, la fragmentación del hábitat es generada también por la aparición de barreras que impiden el desplazamiento, principalmente infraestructuras lineales (Wilson *et al.*, 2016), aunque son muchas las que se pueden enumerar (Gurrutxaga y Lozano, 2010).

El efecto barrera se refiere a la dificultad que tienen ciertas especies para atravesar determinadas infraestructuras (como carreteras, líneas de ferrocarril, presas y embalses fluviales, vallados cinegéticos o canales) de forma que se ve reducida su capacidad para desplazarse a través del territorio entre distintas teselas de hábitat (Valladares *et al.*, 2017)

La reducción y fragmentación de hábitats son consideradas como unas de las causas principales de la crisis de biodiversidad (Gurrutxaga y Lozano, 2010; Ruiz-González *et al.*, 2010). Afectan tanto a la biodiversidad como al funcionamiento del ecosistema (Andrén, 1994; Haddad *et al.*, 2015; Mulla, 2016; Wilson *et al.*, 2016), además de generar pérdida de conectividad. Se produce, por lo tanto, un aislamiento de las poblaciones por aparición de barreras (Saunders *et al.*, 1991), especialmente entre aquellas especies con requerimientos ecológicos alejados de los ambientes humanizados (Valladares *et al.*, 2017). Este aislamiento, produce múltiples efectos negativos transformando el biotopo, y poniendo la biodiversidad nativa en peligro (Collinge, 1996; Fischer *et al.*, 2006; Martín Ramos *et al.*, 2008; Santos, T.; Tellería, 2006). Frente a estos impactos, surge el concepto de “desfragmentación” (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2013b).

Entre los agentes causantes de reducción y fragmentación de hábitats merece especial mención la instalación de grandes aerogeneradores pues generan detrás de sí múltiples impactos (Hernández *et al.*, 2019; Langston y Pullan, 2003). Durante la fase de explotación, más allá de los impactos ambientales negativos generados en el ámbito socioeconómico, ya sea el impacto paisajístico, o los derivados del ruido (Bravo *et al.*, 2008), y de la pérdida de hábitat en el espacio ocupado por las instalaciones (de Lucas, 2007; Marques *et al.*, 2020; Percival, 2005), caben destacar los generados sobre aves y murciélagos, y en concreto los derivados de la colisión de éstos con las aspas o palas y con ciertas estructuras eléctricas (de Lucas, 2007; Hötter *et al.*, 2006), si bien es cierto que la mortalidad de estos grupos por la causa indicada es menor que la producida por otras razones (de Lucas, 2007).

La mortalidad por las causas expuestas es especialmente significativa en especies de larga vida, con baja productividad y lenta maduración, y que a menudo presentan un estado de conservación desfavorable. Asimismo, son más vulnerables las especies grandes con poca maniobrabilidad. Además, hay que tener en cuenta que el riesgo de colisión viene también en función de factores ambientales del entorno (Drewitt y Langston, 2006).

Sin embargo, pese a que la mortalidad por colisión sea el impacto más destacable y estudiado, se debe tener en cuenta también el “efecto barrera” provocado por las amplias extensiones ocupadas por los aerogeneradores de última generación. Éste puede llegar a ser importante, hasta el punto de que algunas aves, incluso migratorias, se desvían para evitar las turbinas entre 100 y 3000 m de su trayectoria original. Por este efecto barrera se pueden bloquear rutas entre lugares de invernada, reproducción y alimentación. Dicho efecto se ve incrementado según la disposición de los mismos sobre el terreno, si se instalan alineaciones superpuestas de aerogeneradores o se genera una gran densidad de aerogeneradores en una misma zona (Drewitt y Langston, 2006). El problema descrito se agrava, todavía más, en especies territoriales (águilas y otras especies) o ligadas a hábitats determinados, ya que se puede producir un efecto de vacío o de pérdida de hábitat y comprometer seriamente su supervivencia, o provocar el abandono de grandes áreas.

El efecto barrera se ha evaluado y descrito, en numerosos estudios, para determinadas especies, mientras que para otras se ha visto que tal efecto no siempre se produce (Hötter *et al.*, 2006). Además, se ha de tener en cuenta que el efecto barrera depende de otros factores, tanto ambientales como de la propia especie (Muñoz, 2014 en Sus, 2018) y no solo de la presencia de estas infraestructuras.

1.1.2.- Conectividad ecológica e importancia, corredores ecológicos, infraestructura verde y paisaje

1.1.2.1.- Conectividad ecológica

Asociado al concepto de “fragmentación de hábitats”, aparece el de “conectividad ecológica” tanto la espacial como la funcional (Gurrutxaga, 2007; Valladares *et al.*, 2017).

Se entiende por “conectividad ecológica” la facilidad o dificultad que presenta el paisaje para ser atravesado por especies animales. La buena o mala conectividad ecológica condiciona la migración, distribución geográfica e intercambio genético entre poblaciones (Valladares *et al.*, 2017). Por lo tanto puede suponer, sobre todo en pequeños hábitats, la diferencia entre tener una población estable o creciente o por el contrario que una especie se extinga (Fahrig, L.; Merriam, 1985).

Preservar la conectividad ecológica del territorio se considera clave para minimizar los efectos negativos de la fragmentación de hábitats y del cambio climático sobre la biodiversidad (Gurrutxaga, 2014).

Se considera, por lo tanto, que es necesario aplicar criterios de conservación, de la conectividad ecológica, dentro y fuera de las áreas protegidas (Fischer *et al.*, 2006; M. Gurrutxaga *et al.*, 2010; Valladares *et al.*, 2017), e incluirlos en la ordenación integral del territorio (Gurrutxaga, 2014).

1.1.2.2.- Corredores ecológicos

Ligado al concepto de conectividad ecológica está el de “corredores ecológicos”, entendiéndose por tales a aquellos sectores del territorio que se consideran de especial interés para dar soporte a los distintos desplazamientos que realizan las especies a lo largo de su vida (Gurrutxaga y Lozano, 2009).

Las características de un corredor vendrán determinadas, en gran medida, por los requerimientos ecológicos y la capacidad de desplazamiento del taxón o taxones cuya movilidad se pretende garantizar. Los corredores pueden plantearse, fundamentalmente, entre los núcleos de población de un taxón, entre éstos y zonas aptas desocupadas o, desde una perspectiva de mayor integración, entre espacios de características ambientales similares que albergan grupos funcionales de especies con análoga ecología espacial (Gurrutxaga, 2008). De hecho, incluso las calles arboladas y parques pueden actuar como corredores lineales y *stepping stones* respectivamente (Gurrutxaga, 2004).

Los corredores forman parte del paisaje, junto a la matriz (elemento dominante del paisaje) y las manchas o parches (fragmentos inmersos en la matriz, diferentes de la misma) (Gurrutxaga, 2007) y, a pesar de que pueda acarrear consecuencias negativas, los estudios realizados muestran que tienen, en general, un efecto positivo para la supervivencia de las especies (Bennett, 2003; Gurrutxaga, 2008; Gurrutxaga, 2007).

1.1.2.3.- Infraestructura verde

Los corredores ecológicos en su conjunto, junto a las áreas núcleo, áreas de amortiguación (*buffer zones*), ciertos elementos urbanos, y otros elementos funcionales, forman la llamada infraestructura verde (Valladares *et al.*, 2017).

Al desarrollo de la infraestructura verde también se le puede aplicar una versión con una orientación más socioeconómica llamada “marco de infraestructura verde”, generando una planificación multiescala (espacial y temporal) que integre a ambos: servicios ecosistémicos y bienestar (Laforteza *et al.*, 2013).

1.2.- Antecedentes

En las últimas décadas, a nivel global la conectividad de áreas protegidas ha aumentado, aunque no a los niveles deseables (Saura *et al.*, 2019).

Se dispone de metodologías a nivel europeo para evaluar la fragmentación de los hábitats naturales por las infraestructuras, y proponer medidas de mitigación del impacto (Iuell *et al.*, 2003). Además, hay múltiples propuestas de elaboración de corredores ecológicos o infraestructuras verdes usando como base la Red Natura 2000 (RN), a nivel internacional (Leibenath *et al.*, 2010), en el centro de Europa (Fňukalová *et al.*, 2021; Van Der Sluis *et al.*, 2004), o entre España y Francia (Gurrutxaga *et al.*, 2011), etc.

Se ha evaluado el grado de fragmentación por infraestructuras viales en España (Ambiente *et al.*, 2013), y se ha observado que es uno de los países de la UE donde todavía queda gran cantidad de superficies o de hábitats con bajo grado de fragmentación (alto tamaño efectivo de malla) (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2013a, 2013b).

En España son las Comunidades Autónomas las responsables del diseño de redes de espacios naturales protegidos, Red Natura 2000, y otros elementos de interés natural. En estos espacios se ha evaluado la permeabilidad de las infraestructuras y su influencia sobre la pérdida de conectividad de sus hábitats (Gurrutxaga, 2011; Martín *et al.*, 2008).

Además del efecto barrera y la fragmentación de hábitats que generan ciertas infraestructuras, en Aragón se ha estudiado la incidencia por atropellos en las carreteras Aragonesas (Vidal, 2014), y de los parques eólicos sobre la avifauna (Sus, 2018).

Aunque, actualmente en España, son muchas las publicaciones científicas e iniciativas para favorecer la coherencia ecológica y territorial de los espacios protegidos (Gurrutxaga, 2004), falta mucho para que éstas se integren de forma generalizada en criterios de planificación y ordenación del territorio (Gurrutxaga, 2011).

Así, dentro del territorio nacional, se han realizado varias propuestas de corredores ecológicos, unas con el fin de conectar los espacios de la RN, mediante el cálculo de superficies de coste para diversas especies forestales prioritarias (Rodríguez *et al.*, 2018); otras para conectar hábitats de interés comunitario; y otras para ampliar y conectar los Espacios Naturales Protegidos (Martínez y Echevarría, 2013). Al mismo tiempo, se ha marcado una estrategia para la elaboración de infraestructuras verdes (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020).

A nivel autonómico, se han propuesto distintos corredores ecológicos para especies concretas (Terrones y Bonet, 2014), o más genérico (Consejería del medio ambiente y ordenación del territorio, 2018; Gurrutxaga, 2012), y para la RN (Medina y Ballarín, 2018), y se ha evaluado su utilidad (Gurrutxaga, 2014).

1.3.- Justificación

La biodiversidad (número de especies, hábitats y ecosistemas) es considerada actualmente como uno de los principales activos de la riqueza de un país. Es necesaria la conservación y preservación de dicha biodiversidad y para ello se han tomado medidas como la creación de espacios protegidos, delimitación de la RN, y establecimiento de leyes de obligado cumplimiento, así como la aprobación y aplicación de planes de conservación específicos entre otras.

Se ha demostrado que no es posible alcanzar los objetivos de conservación basándose únicamente en la declaración de espacios protegidos aislados (Rodríguez *et al.*, 2018), y la creación de redes ecológicas (Martínez y Echevarría, 2013); y así lo reconoce la Comisión Europea (Rodríguez *et al.*, 2018). Esto es así porque no se incide sobre la integridad y continuidad de los procesos ecológicos y de los flujos de organismos, materia y energía que tienen lugar en el territorio (Valladares *et al.*, 2017).

Trabajos científicos recientes indican que el conjunto de espacios protegidos acoge de forma razonable a la biodiversidad global de la Península Ibérica, en particular si engloban los espacios protegidos de la RN (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2013b). Por este motivo, estas áreas protegidas deben ser identificadas como “áreas focales” a conservar frente a la fragmentación (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010).

Se sabe que las medidas de protección de los espacios de la RN no garantizan la conservación de la biodiversidad europea si no van acompañadas de una adecuada gestión de la matriz territorial (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020). Una matriz donde el desarrollo de corredores sea considerado como una medida necesaria para evitar la fragmentación y aislamiento de dichos espacios (de la Guerra y Gómez-Limón , 2002).

Por lo tanto, para alcanzar la coherencia ecológica de la RN, tal y como establecen las propias Directivas Europeas de Hábitats y Aves (artículos 10 y 3 respectivamente), se debe tener en cuenta, además de establecer los límites de los propios espacios, que la matriz que los engloba debe permitir la conectividad entre ellos mediante corredores según los requerimientos de las distintas especies.

Como ya se ha visto, propuestas de conectores han sido generadas, tanto a nivel regional, nacional como internacional. Además, la conectividad ecológica viene recogida en la Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (artículo 21) como objetivo de primer orden en el régimen de conservación de los recursos naturales; y también aparece representado en Texto Refundido de la Ley de Espacios Protegidos de Aragón (Decreto Legislativo 1/2015, de 29 de julio del Gobierno de Aragón).

También hay que tener en cuenta que el problema de la conectividad ecológica en España es particularmente acusado para especies forestales, por la importancia para la biodiversidad del medio forestal y la distribución fragmentada de este hábitat en el paisaje (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2013b).

Para garantizar la conectividad ecológica, se han hecho propuestas de corredores para la RN, pero no con un grado de precisión elevado, y únicamente se han hecho para un grupo de animales (mamíferos), pero no se ha realizado ningún estudio que tenga en cuenta medidas de este tipo para la avifauna. Además, dado el gran interés que este grupo tiene en el territorio turolense, resulta conveniente evaluar su capacidad de desplazamiento y establecer o delimitar corredores que garanticen su conservación.

Por otro lado, hay que considerar que actualmente han sido presentados muchos proyectos de centrales eólicas para ser sometidas a trámite en Aragón, especialmente en las áreas que integran entre otras las comarcas de Maestrazgo, Gúdar-Javalambre y Matarraña. Esto unido al hecho de que la presencia de aerogeneradores genera un efecto barrera para la avifauna que condiciona el desarrollo y conservación de las especies de este grupo, resulta conveniente cuantificar los efectos que estas construcciones tienen sobre la conectividad de los espacios de la RN declarados en la provincia.

Por estos motivos, se ha seleccionado esta línea de trabajo y objetivos que se describen a continuación para el presente Trabajo fin de máster (TFM).

1.4.- Objetivos

El objetivo general de este TFM, es evaluar la conectividad ecológica para la Red Natura 2000 para mamíferos terrestres y aves en la provincia de Teruel; detectar barreras que puedan fragmentar los hábitats o aislar poblaciones, y cuantificar el impacto negativo que pueden generar los parques eólicos sobre la conectividad ecológica para estos grupos de animales. Para ello, se van a desarrollar los siguientes objetivos específicos: Evaluar la situación actual.

1. Evaluar la situación hipotética en la cual todos los parques eólicos proyectados y actualmente admitidos a trámite se ejecutan, y cuantificar el efecto de los mismos.
2. Llevar a cabo una comparativa entre ambas situaciones.

2.- Área de estudio

La provincia de Teruel abarca un total de 14.809 km² alberga una amplia variedad de Espacios Naturales Protegidos, así como de espacios de la RN. Esta última ocupa en conjunto el 29 % del territorio (ver Figura 1).

Según la clasificación climática de Köppen-Geiger, de Norte a Sur, la provincia presenta los climas desértico frío, templado sin estación seca con verano caluroso, y templado sin estación seca con verano templado (BSK, Cfa y Cfb respectivamente). Tiene una temperatura media entre los 15 y los 7 °C aproximadamente, y unas precipitaciones que oscilan entre los 350 y los 700 mm (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino *et al.*, 2011).

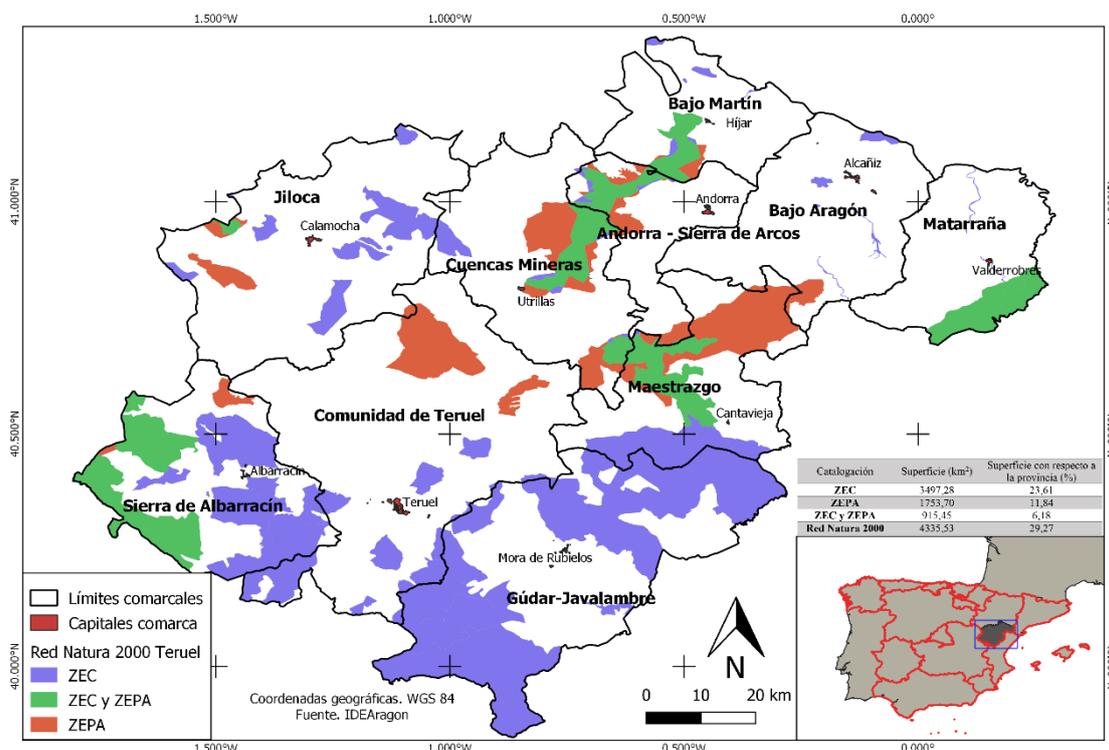


Figura 1. Mapa Red Natura 2000 y ubicación de la Provincia de Teruel

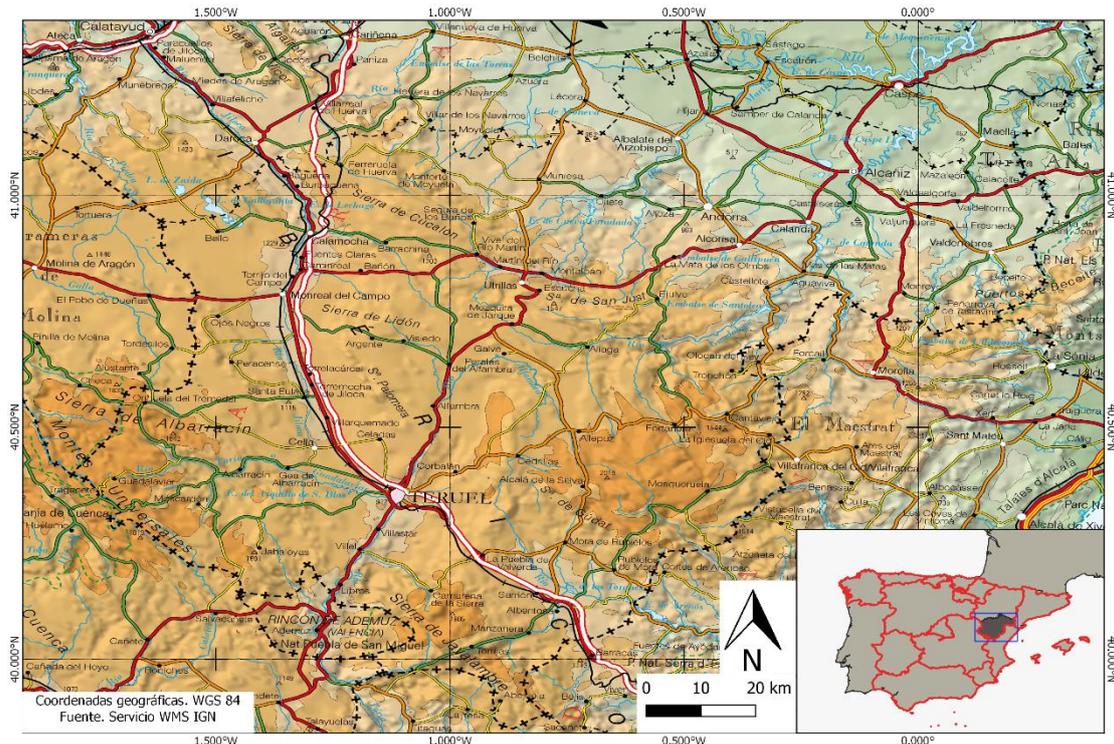


Figura 2. Mapa Topográfico Nacional provincia de Teruel

Los usos de suelo son variados, tal y como se muestra en las Figuras 3 y 4. En concreto, los usos más predominantes son los cultivos de secano (21,81%), mosaico con predominio forestal (20,75%), matorral (14,57%), y mosaico con predominio del pastizal (14,42%). En total, el 60% corresponden a áreas naturales; no obstante, las masas con una elevada densidad de arbolado son más bien escasas (menos del 1%), de tal manera que los árboles, por lo general, se encuentran inmersos en otra matriz (pastizales, matorrales, cultivos, etc.).

En la provincia pueden separarse dos áreas diferenciadas desde el punto de vista de la cobertura de suelo: sectores norte y central, bastante antropizados, que abarcan las comarcas del Bajo Aragón, Bajo Martín, Cuencas Mineras, Jiloca, y mitad superior de la Comunidad de Teruel, donde predominan los cultivos, en concreto los herbáceos de secano; y el sector suroriental y suroccidental, más natural y con una mayor cantidad de áreas forestadas (Sierra de Albarracín, mitad inferior de la Comunidad de Teruel, Gúdar-Javalambre, Maestrazgo y Matarraña).

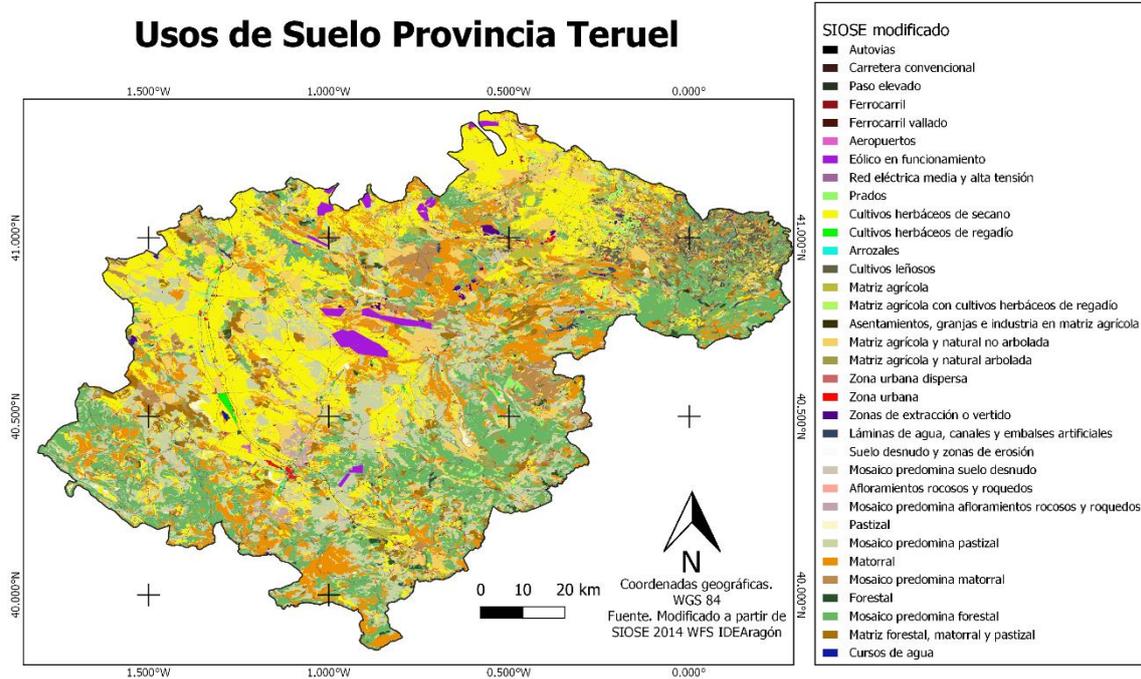


Figura 3. Mapa de usos de suelo de la provincia de Teruel

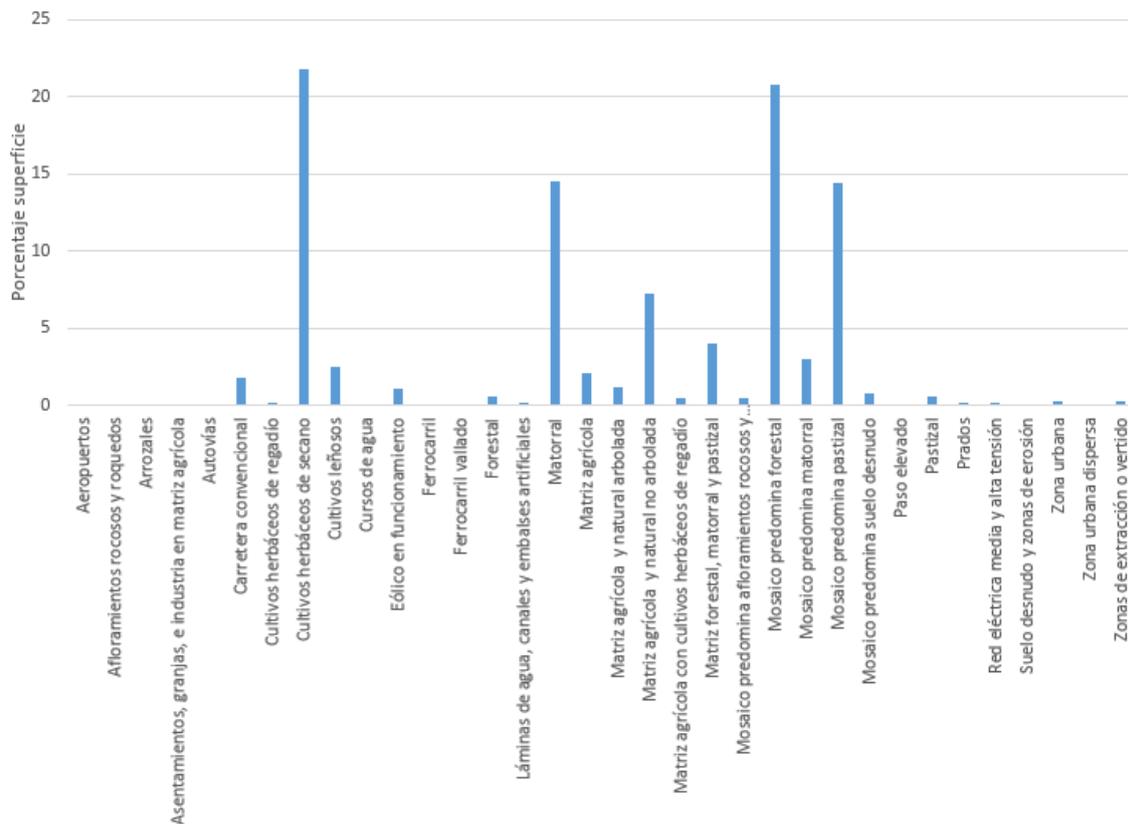


Figura 4. Porcentaje de superficie según cobertura SIOSE modificado

La topografía de la zona muestra altitudes que varían entre los 150 y los 2028 metros sobre el nivel del mar, pero, como se puede ver en la Figura 5, un alto porcentaje del territorio se encuentra entre los 1000-1200 m. El relieve se caracteriza por amplias extensiones de suaves pendientes no solo en el área de la depresión del Ebro sino también en la zona central y en la fosa del Jiloca. Las áreas más abruptas se localizan en la franja oriental de la provincia hasta el borde Sur, así como en el cuadrante suroccidental.

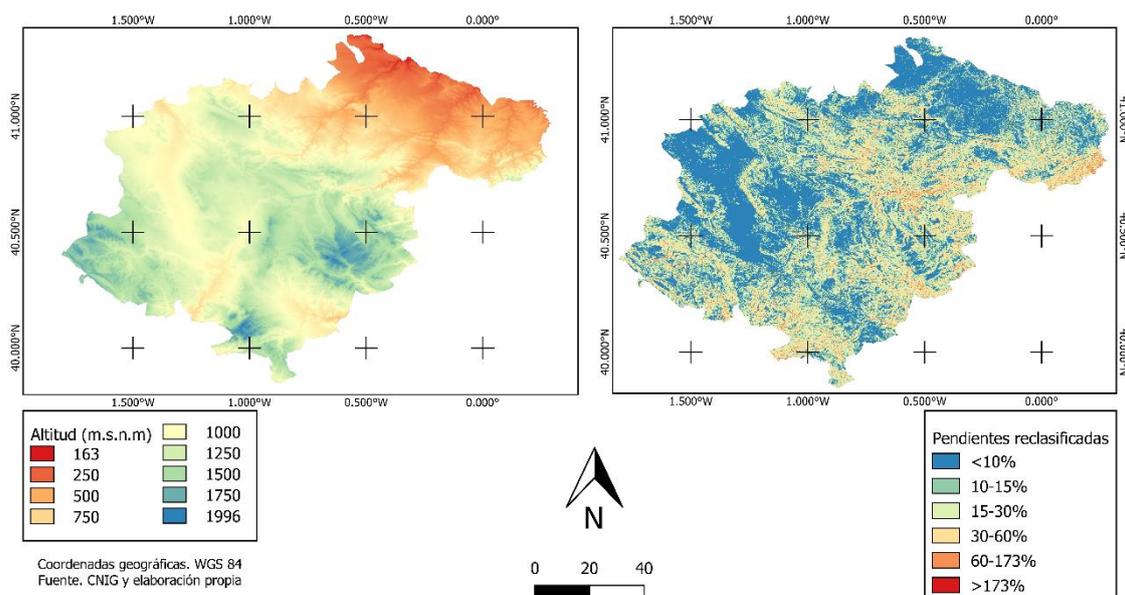


Figura 5. Mapa de altitud y pendientes provincia de Teruel

En lo que a fauna se refiere, la provincia alberga una gran diversidad, incluyendo numerosas especies de aves amenazadas. Destacan diversas poblaciones de aves catalogadas, ya sean rapaces (águila perdicera, cernícalo primilla, alimoche) y esteparias (alondra ricotí, sisón, ganga ortega, avutarda euroasiática) entre otros (Alcántara, 2007).

Actualmente es regular la presencia del quebrantahuesos, fruto principalmente de planes de reintroducción, así como del buitre negro, debido a su expansión.

3.- Material y métodos

En la Figura 6 se presenta un esquema del proceso seguido para obtener los resultados finales.

3.1. Marco teórico

El estudio de la conectividad estructural del hábitat es análogo al de la propia fragmentación, y está basado en parámetros de vecindad o distancia euclidiana entre las manchas (Gurrutxaga y Lozano, 2007).

En múltiples trabajos que tratan sobre la evaluación de la conectividad ecológica, se propone una metodología de medición de la conectividad funcional basada en la resistencia, fricción o impedancia, que oponen los diferentes usos del suelo al desplazamiento de las especies entre las manchas de hábitat (Gurrutxaga y Lozano, 2007). Esta metodología tiene ventajas frente a otros tipos de modelización de cara a la delimitación de corredores ecológicos en el territorio (Gurrutxaga, 2007). Este tipo de modelización, basada en la configuración de mapas de resistencia o fricción (Knaapen *et al.*, 1992), se denomina genéricamente superficies de coste (*cost surfaces*), distancias ponderadas de coste (*cost-weighted distance*) o análisis de rutas de mínimo coste (*least-cost path analysis*) (Gurrutxaga, 2007).

Así, el método de las superficies de coste, calcula el coste acumulado de desplazamiento de la especie desde los fragmentos que ocupa (celdas-origen). Este coste de desplazamiento entre dos localidades también se denomina “distancia efectiva” o “distancia funcional” (Gurrutxaga, 2007) y se estima considerando la resistencia que oponen las celdas correspondientes a los diferentes ecotopos del paisaje que han de atravesar para desplazarse entre aquellos (Sastre *et al.*, 2002).

El mapa de resistencias debe presentar una resolución de píxel adecuada, en especial para incorporar íntegramente los elementos lineales del paisaje, como las carreteras, los bosques de ribera y otros (Gurrutxaga, 2007).

Las rutas de mínimo coste de desplazamiento constituyen además una herramienta para el diseño y planificación de corredores ecológicos en el paisaje, modelando la relación entre paisaje y movilidad de organismos (Gurrutxaga, 2007). Así, un modelo de conectividad se genera basado en el coste de rutas de mínimo coste entre cada par de áreas núcleo (Marull y Mallarach, 2002; Sastre *et al.*, 2002).

En este caso las áreas núcleo son áreas de la Red Natura 2000, metodología que ya tiene antecedentes (Gurrutxaga *et al.*, 2010; Gurrutxaga, 2014). Para su representación se fusionan los polígonos de Zonas de Especial Conservación (ZECS, anteriormente Lugares de interés comunitario, LICs) y las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPAS).

En cuanto a especies objetivo se refiere, dado que se va a evaluar la conectividad entre la RN, se considera utilizar grupos de especies, que engloben a aquellas que puedan desplazarse de forma notoria a nivel regional. Por ello, y considerando las características, variabilidad de ecosistemas, y diversidad faunística de la provincia de Teruel, se eligen los siguientes grupos, basándose los valores de fricción en el comportamiento de varias especies emblemáticas para cada grupo:

1. Mamíferos terrestres no voladores. Orden Artiodactyla, Carnivora, etc.
2. Aves planeadoras. Grandes necrófagas (buitre leonado, quebrantahuesos y alimoche) y águilas (águila real, águila perdicera).
3. Otras aves rapaces y otras Falconiformes de tamaño mediano o pequeño. Milanos, halcones, etc.
4. Aves forestales. Mayormente paseriformes.
5. Aves esteparias. Sisón común, alondra ricotí, gangas, y otras.

A la hora de estudiar la conectividad de hábitats naturales o autóctonos, los pequeños y medios mamíferos se pueden considerar como buenas “especies paraguas” (Gurrutxaga, 2007). No obstante, los grandes mamíferos forestales es el grupo de especies que más se ha utilizado en el diseño de conexiones ecológicas a escala nacional y regional (Gurrutxaga *et al.*, 2010; Gurrutxaga, 2004; Singleton *et al.*, 2002). Esto es porque son muy sensibles al efecto barrera causado por carreteras, y porque las áreas y caminos que usan son también usados por múltiples especies (Gurrutxaga *et al.*, 2011).

Por otro lado, se toman en cuenta diversos grupos de aves, no sólo por su gran variedad, representatividad e interés faunístico para el área de estudio, sino también porque son, junto a los quirópteros, los principales animales afectados por la actividad de los parques eólicos. De este modo la movilidad de las aves no solo se ve afectada por la cobertura del suelo, sino también por los obstáculos que haya en el aire (aerogeneradores, rutas de vuelo de aeronaves, etc.). Esto es a lo que algunos autores se refieren como fragmentación del aire (Davy *et al.*, 2017).

Se usan como referencia, entre otras, especies protegidas como la alondra ricotí (*Chersophilus duponti*), ya que para lograr su conservación no solo es necesario preservar y aumentar la disponibilidad de hábitats, sino también asegurar la conectividad entre ellos (Gómez *et al.*, 2019); y además es un ave que se ve sensiblemente afectada por los aerogeneradores de los parques eólicos (Gómez *et al.*, 2018).

Considerando la desigual distribución de las comunidades vegetales en la provincia, es de esperar que en el cuadrante noroeste predominen las aves esteparias, mientras que en la mitad sur-suroeste las aves forestales y mamíferos las especies predominantes. Por ende, los resultados deben tener en cuenta este factor.

Finalmente, revisando la red Natura 2000 se observa que cuatro polígonos corresponden a cuatro cuevas (de la Humera, de la Solana, del Recuenco, y de Baticambras), y a una sima (Sima del Polo). Si bien en principio ninguno de los grupos faunísticos objeto de estudio tiene interés por estas cavidades del terreno, los quirópteros si lo tienen. En cierto modo, su comportamiento en el terreno podría, o bien ajustarse a los valores de fricción propuestos para las aves esteparias y forestales, o bien tener valores intermedios.

Sabiendo que entre las tres cuevas presentes hay un total de 5 especies de murciélagos catalogadas (Gobierno de Aragón, n.d.), y que estas especies (o al menos la mayoría) tienen preferencia por áreas forestales, pero que también pueden ocupar áreas deforestadas (Alcántara, 2007), conviene tener en cuenta el efecto barrera para estos espacios. Por estos motivos, estos cuatro polígonos son tenidos en cuenta para las aves forestales, y esteparias.

Finalmente, destacar que únicamente se tienen en cuenta los elementos y superficies ubicadas dentro de la provincia de Teruel. Se considera la conectividad dentro de la misma, y no se estudian las infraestructuras colindantes (como parques eólicos) que puedan generar efecto barrera situados fuera de la misma.

3.1.- Material empleado

Las variables utilizadas para el estudio son las siguientes:

1. Relieve: Modelo Digital del Terreno (MDT). Tamaño de píxel de 25 metros.
2. Usos del suelo: SIOSE 2014, escala 1:25000.
3. Red Natura 2000: Lugares de Interés Comunitario (actualmente transformados en Zonas de especial conservación ZECs) y ZEPAS.
4. Red viaria. Se desestiman los tramos subterráneos, y se separa la autovía, y pasos elevados del resto.
5. Ferrocarril. Se separan, a través de la ortofotografía, los tramos con o sin vallado.
6. Red eléctrica de medio y alto voltaje. Digitalizada a partir de la ortofotografía PNOA, partiendo del mapa red eléctrica (entsoe, 2019).
7. Canales. La capa proporcionada por la CHE no es correcta, así que se elabora una manualmente, usando la capa base y ortofotografía. Se consideran sólo los canales profundos (de más de 3 metros de ancho), y se excluyen las acequias someras.
8. Embalses. Observando la capa del SIOSE se evidencia que parte de la zona inundable no queda recogida, y algunos embalses son catalogados como masas de agua naturales.
9. Parques eólicos en funcionamiento. En el SIOSE hay polígonos correspondientes a parques eólicos, pero además existen parques eólicos instalados más recientemente y que no aparecen en el SIOSE del año 2014.
10. Parques eólicos proyectados y admitidos a trámite, y aquellos con permiso previo y de construcción. Estos ocupan un área grande. Es de asumir que no toda esa área va a ser cubierta por aerogeneradores, pero al ser la información disponible, no puede ser tratada de otro modo ni tampoco obviada.

Estos últimos polígonos de parques eólicos son extraídos del [IDEAragón](#) en julio de 2021.

Salvo que se haya indicado lo contrario, todas las capas citadas están disponibles en el centro de [descargas de IDEAragón](#), o en su servicio de [WFS](#); a excepción del MDT, disponible en el [Centro Nacional de Información Geográfica \(CNIG\)](#). Se usó la información más actualizada, siendo descargada en junio de 2021; sin embargo, la capa de SIOSE del WFS fue usada la correspondiente al año 2014, ya que versiones más actualizadas no muestran la proporción de cada tipo de cobertura de suelo por polígono.

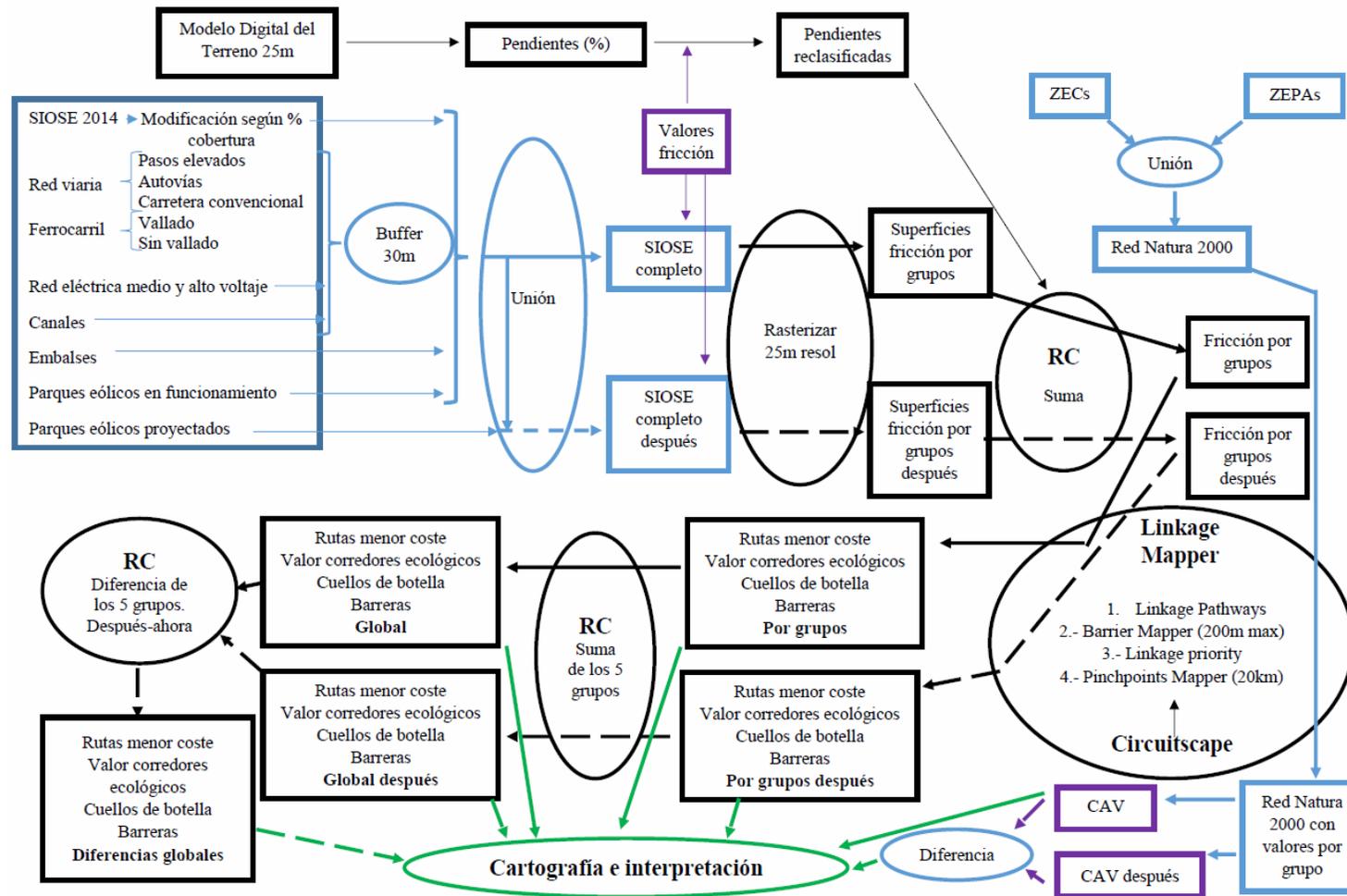


Figura 6. Esquema de metodología seguida. Círculos son procesos. Rectángulo capas/información. Azul clase vectorial. Negro clase ráster. Morado tabla. RC = Raster calculator

3.2.- Asignación de los valores de fricción

A cada uno de estos elementos se les da un valor de fricción; es decir, el coste que tiene para un ejemplar (o grupo de especies como es el caso) recorrer ese espacio según sus preferencias de hábitat. Estos valores de fricción se establecen según estudios previos, o según el conocimiento que hay sobre el comportamiento de cada grupo de especies. Los valores empleados se muestran en la Tabla 2.

El rango de valores varía entre 1 y 1000, tal y como se ha hecho en múltiples estudios que estudian los mamíferos terrestres (Gurrutxaga *et al.*, 2010; Gurrutxaga *et al.*, 2011; Gurrutxaga, 2007; Lacadena, 2019; Pascual y Saura, 2008; Ruiz-González *et al.*, 2010; Terrones y Bonet, 2014; Zhou y Song, 2021), y cuyos valores son en buena parte integrados en la Tabla 2. Sin embargo, pese a que en estudios anteriores se ha incluido el efecto pendiente usándose distintas metodologías y escalas (Sánchez *et al.*, 2006; Zhang y Song, 2020; Zhou y Song, 2021), en este caso se decide usar una escala de 0 a 1000, de acuerdo con las preferencias de cada grupo (ver Tabla 1). El valor correspondiente a la fricción generada por la pendiente se suma al correspondiente a la superficie para obtener así un valor de fricción final para cada píxel.

Ya que las especies tienden a desplazarse por aquellas superficies más semejantes a su hábitat preferente (Eycott *et al.*, 2012), a las áreas que presentan estas características se les da un valor 1 y, por el contrario, aquellas que generan más rechazo se les da un valor máximo.

La capa del SIOSE del año 2014 del WFS dispone de información del porcentaje de cobertura para cada tipo de superficie, y esta información, junto al resto de capas es usada para diferenciar el territorio en las clases visibles en la Tabla 2. Para las superficies resultado de la mezcla de 2 o más puras, se les da un valor intermedio, de manera semejante a Knaapen *et al.* (1992).

En lo que a red viaria se refiere, según la información disponible en el IDE Aragón, los aforos realizados en carreteras marcan que la mayoría de las aforadas tuvieron en el año 2013 un valor comprendido entre 1500 y 2300 vehículos al año, salvo en el caso de la N-334 en el entorno de Cella, donde se contabilizaron los 3500 vehículos diarios. De acuerdo con Iuell *et al.* (2003), esta afluencia de vehículos da una barrera “permeable para algunas especies, pero evitable por otras más sensibles”. En esta categoría, aunque la mayor parte de los animales que lo intentan consiguen cruzarla, el porcentaje de animales muertos puede variar hasta el 40%. Dadas las circunstancias de la provincia de Teruel, es de esperar que el aforo de vehículos sea menor a los valores indicados. Por ello a la red viaria (a excepción de la autovía) se le da el valor indicado en Gurrutxaga *et al.* (2010). Los pasos elevados son tomados como efecto barrera, pero éste tiene más incidencia en las especies voladoras a poca altura (forestales y esteparias).

Debe tenerse en cuenta que el efecto de las carreteras es heterogéneo, siendo el efecto barrera más pronunciado en unos grupos que en otros, incluidas las aves. Estas últimas, con distintas alturas de vuelo (cernícalos, milanos y buitres al menos) presentan distintas afecciones ya que de forma facultativa usan estas vías para cazar o alimentarse (Meunier *et al.*, 2000).

Al considerar el ferrocarril se observa que, a pesar de no constituir una línea de alta velocidad, buena parte del trazado se encuentra vallado. No obstante, a su vez se observa como la presencia de viaductos, desagües de considerable tamaño, y pasos bajos es frecuente; por ello, se va a considerar como un efecto de barrera menor al valor máximo.

Para el caso concreto de los parques eólicos no se encuentran fuentes que utilicen datos de fricción. No obstante, en Hötter *et al.*, (2006), se muestra que hay múltiples estudios que evidencian el efecto barrera para numerosas especies de aves, aunque para algunas tal efecto no es claro. En el caso de los paseriformes, el efecto barrera se evidencia en la práctica totalidad en la literatura científica; pero para las aves de presa solo se describe dicho efecto en catorce de veinticinco estudios. En concreto, las aves que no siempre mostraron tal efecto negativo son los gavilanes, culebreras, ratoneros, y cernícalos vulgares. Por ello, se le da un valor uniforme para las aves, salvo para el “resto de rapaces”, que se le va a dar un valor de fricción menor.

Para el caso de las aves forestales, pueden tomarse como referencia los estudios de Nikolakaki (2004) y Sastre *et al.* (2002) y para el caso de las esteparias el de Brazuelo (2020). No obstante, con el fin de comparar los valores de fricción de un grupo a otro, se usa el mismo rango de valores (de 1 a 1000), y por tanto estos estudios se toman en cuenta únicamente como orientación. De hecho, algunos de los valores de fricción empleados para las esteparias son mucho más extremos que los usados en el tercer estudio citado.

En el estudio de Campedelli *et al.* (2015) no se encontrp una diferencia sustancial entre la estepas y campos de cultivos como hábitat para las aves esteparias. No obstante, se observa que aquí en Aragón, debido a las prácticas que se llevan a cabo en agricultura intensiva, sí que el riesgo para estas aves es significativo en los campos de cultivo (Alcántara, 2007); por ello, éstos no son considerados como hábitat preferente en este estudio.

Tabla 1. Valores de fricción empleados para las distintas pendientes

Pendientes		id	Mamíferos terrestres forestales	Planeadoras	Otras rapaces	Aves forestales	Aves esteparias
Porcentaje	Grados						
<10	<5.71	1	0	100	0	0	0
10-15	5.7-8.5	2	1	50	0	0	0
15-30	8.5-16.7	3	2	25	0	0	500
30-60	16.7-31	4	10	0	0	0	1000
60-173	31-60	5	200	0	0	0	1000
>173	>60	6	1000	0	0	500	1000

Tabla 2. Valores de fricción empleados para las distintas superficies

Superficies	Mamíferos terrestres forestales	Planeadoras	Otras rapaces	Aves forestales	Aves esteparias
Antrópicas					
Autovías	1000	250	100	1000	750
Carretera convencional	100	100	100	500	100
Paso elevado	50	100	100	500	100
Ferrocarril	100	250	100	500	250
Ferrocarril vallado	700	300	250	600	500
Prados	30	15	15	300	10
Cultivos herbáceos de secano	60	10	10	500	10
Cultivos herbáceos de regadío	60	15	15	600	750
Arrozales	100	20	20	700	1000
Cultivos leñosos	50	100	50	100	1000
Matriz agrícola	55	10	10	150	500
Matriz agrícola con cultivos herbáceos de regadío	55	25	25	400	1000
Asentamientos, granjas, e industria en matriz agrícola	100	50	50	500	1000
Matriz agrícola y natural no arbolada	40	5	5	150	500
Matriz agrícola y natural arbolada	25	8	8	50	750
Zona urbana dispersa	500	250	150	250	1000
Zona urbana	1000	500	300	500	1000
Zonas de extracción o vertido	100	100	100	1000	1000
Láminas de agua, canales y embalses artificiales	1000	10	10	1000	1000
Eólico en funcionamiento ***	40	250	200	250	250
Aeropuertos	1000	1000	800	1000	750
Red eléctrica media y alta tensión	35	100	100	100	50
Naturales					
Suelo desnudo y zonas de erosión	50	1	1	250	100
Mosaico predomina suelo desnudo	40	1	1	225	25
Afloramientos rocosos y roquedos	40	1	1	150	1000
Mosaico predomina afloramientos rocosos y roquedos	20	1	1	200	1
Pastizal	30	2	2	100	1
Mosaico predomina pastizal	35	3	3	50	100
Matorral	5	5	5	25	25
Mosaico predomina matorral	4	7	7	5	25
Forestal	1	20	20	1	750
Mosaico predomina forestal	2	15	15	30	500
Matriz forestal, matorral y pastizal	8	10	10	500	500
Cursos de agua	100	500	500	500	1000

3.3.- Tratamiento de las capas base

A todas las capas lineales se les aplica un buffer de 30 metros. Estos buffers, junto al resto de capas poligonales, son integradas a la capa SIOSE, mediante la herramienta *Polygon update*. A esta capa de superficies se le añaden campos con los valores de fricción para los distintos grupos de fauna (Tabla 2). Finalmente, esta capa es transformada en 5 ráster (uno para cada grupo) con un tamaño de celda de 25 m.

En lo que respecta a las pendientes, partiendo del MDT se elabora un ráster de pendientes de la misma resolución espacial. A este ráster se le aplica una reclasificación en función de los valores de fricción presentados en la Tabla 1, generándose así 4 nuevos ráster (como en el caso de las rapaces no hay valores a sumar, se prescinde de este proceso para dicho grupo).

Finalmente, para conseguir el ráster de fricción final, se genera la suma (*Raster calculator*) entre ambos ráster, para los valores de fricción de superficies y pendientes de cada grupo faunístico.

Todo esto en lo que respecta a la situación actual. Para generar superficies de fricción para la situación posterior a la instalación de los parques eólicos proyectados, las capas que incluyen a éstos son integradas al SIOSE de la situación actual, siguiéndose el mismo proceso.

3.4.- Cálculo de ruta de mínimo coste y barreras. *Linkage mapper*

Se aplica el pack de herramientas *Linkage Mapper 2.0.0* (McRae y Kavanagh, 2011) para *ArcGis 10.7.1*. En concreto, se usan las herramientas *Linkage Pathways*, *Barrier mapper* y *Pinchpoint Mapper*. Para aplicar esta última herramienta, se instaló el *Circuit Scape 3.5.8*. Se ha optado por usar el *Linkage mapper* porque ha sido usado de forma recurrente en los últimos años en numerosos estudios (Brazuelo, 2020; Cao *et al.*, 2020; Colyn *et al.*, 2020; Crego *et al.*, 2021; Feng *et al.*, 2021; Fňukalová *et al.*, 2021; Gray *et al.*, 2020; Kwon *et al.*, 2021; Lim *et al.*, 2021; Shi *et al.*, 2018; Su *et al.*, 2015; Rodríguez *et al.*, 2018; Zhou y Song, 2021), y por la amplia variedad de resultados que ofrece.

De todos los resultados obtenidos, se extraen un total de 5 resultados. A continuación, según lo indicado en las guías proporcionadas por los creadores del pack de herramientas, se explica cómo se usan éstas. En todo caso se aplica el ráster de resistencia para cada grupo obtenido en el apartado 3.3, y como áreas núcleo los polígonos (*singlepart*) de la Red Natura 2000 numerados (ver Figura 16):

1. *Linkage Pathways*. Identifica las áreas adyacentes a las áreas núcleo (1). Construye una red de las áreas núcleo usando la información referencia a distancia y adyacencias (2). Calcula las distancias de coste (*cost-weighted distance*), rutas de mínimo coste (*least-cost paths*) (3), y finalmente (5) calcula los corredores de mínimo coste, fusionándolos en un mismo mapa. Se usan los parámetros por defecto. Es la base necesaria para usar el resto de herramientas.

2. *Barrier mapper*. Usa una ventana circular con respecto al corredor para detectar barreras a lo largo de los corredores. Finalmente se utiliza el resultado correspondiente a un radio de detección de 200 m, usándose como método el máximo para la combinación a través de múltiples pares de áreas núcleo.
3. *Linkage priority*. Ayuda a cuantificar la prioridad de conservación de cada conexión en el paisaje. De aquí se generan:
 - a. Coste truncado normalizado (*Normaliced Truncated cost*). Es resultado de invertir el valor de *cost weight distance*, de manera que áreas de menor coste aparecen con el valor 1 y las de mayor con un valor 0 o sin datos.
 - b. Prioridad mezclada (*Blended priority*). Es un ráster generado a partir de la suma de los pesos (suman 1) de *Linkage priority* y el coste truncado, teniendo cada uno un valor del 50%.
 - c. Valor del área núcleo (*Core Area Value CAV*). Valor que es integrado polígono de la RN, y que aporta un valor resultado de la ponderancia con el mismo peso de: área, perímetro y valor de resistencia.
4. *Pinchpoint Mapper*. Usa la herramienta *Circuitscape* (McRae y Slah, 2009), que identifica y muestra cuellos de botella (*pinchpoints*) en los corredores de mínimo coste. También proporciona valores de resistencia efectiva para los corredores. Se usan 20 km como distancia de corte del coste de distancia (*cost weight distance*).

Todos los resultados son de clase ráster, a excepción del CAV, cuyo resultado se adhiere a la capa vectorial referente a la RN.

Este proceso se lleva a cabo para cada uno de los grupos de animales, tanto para la situación actual, como para la situación posterior a la instalación de los parques eólicos.

3.5.- Tratamiento y valoración de resultados *Linkage Mapper*

Una vez obtenidos los resultados del apartado anterior se elabora una cartografía de los mismos. Además, para tener una visión más global se realiza para los cinco grupos la suma de cada uno de los cuatro resultados ráster para los cinco grupos.

Para llevar a cabo la suma entre los resultados para la situación actual y para la situación posterior, es necesario rellenar los píxeles nulos con un valor (0). Esto se hace porque en caso contrario el *raster calculator* únicamente opera en aquellos píxeles que tienen valores para los 5 grupos; con lo cual, únicamente se visualizarían aquellos píxeles que sean comunes para los 5 grupos.

Finalmente se establece la diferencia entre la situación posterior y la situación actual, para así poder valorar los cambios globales en los corredores ecológicos que son usados actualmente.

Todos los resultados vienen dados por números decimales positivos que, en el caso de las rutas de menor coste (NORMTRUNC) y de los corredores de prioridad combinada (*blended priority*) están normalizados de 0 a 1. Los resultados se simbolizan en una escala de valores categóricos, con colores que varían del azul (valor mínimo) al rojo (valor máximo) (ver apartado 3.6). Por lo tanto, las áreas rojas indicarán las rutas de menor coste y las áreas de los corredores cuya conservación es prioritaria, y por otro lado los valores máximos de cuellos de botella, y las barreras, o sea, aquellas áreas donde sería necesario actuar para mejorar la conectividad y expandir el corredor.

Finalmente, a estos resultados globales se les realiza la diferencia, entre la situación posterior y la situación actual. Así, los píxeles con valor 0, corresponden a un cambio neutral y se les da una tonalidad blanca. Por otro lado, se da tonalidad roja a los valores mínimos de la diferencia de menor coste y de la diferencia de valor combinado de corredores ecológicos, lo que indica una degradación de los corredores. Por el contrario, serán rojos los valores de positivos máximos de las diferencias de cuellos de botella y barreras, pues el aumento en estos casos implica una degradación de estas áreas.

Por último, a la capa de Red Natura 2000 (áreas núcleo) se les aportan nuevos valores. De estos, son extraídos los valores correspondientes al valor del área núcleo (CAV), y en una hoja Excel se les calcula la diferencia.

A partir de estos resultados, se lleva a cabo la correspondiente interpretación visual para determinar cuáles son las áreas más importantes que se deberían conservar o proteger, de acuerdo con la situación actual, y cuáles serían los efectos o impactos sobre ellas en el caso de que se instalaran los parques eólicos proyectados.

3.6.- Visualización resultados

Únicamente con motivo de generar una mejor visualización, se lleva a cabo una reclasificación de los valores de fricción y de los resultados obtenidos con la herramienta *Linkage mapper* según los valores mostrados en la Tabla 3 para las superficies de fricción, y en la Tabla 4 para los segundos. No se conocen ningunos valores estandarizados ni bibliografía a aplicar para la reclasificación (en Cao *et al.*, 2020; Colyn *et al.*, 2020; Rodríguez *et al.*, 2018; Zhang y Song, 2020 se llevaron a cabo reclasificaciones pero no definen valores numéricos en el texto); por ello, se han considerado los valores de corte según su coherencia con respecto a los valores máximos y mínimos, la superficie que representan y sus características.

Tabla 3. Valores de reclasificación valores de fricción

Clase	Intervalo de valores
1	1
2	2-5
3	5-25
4	25-50
5	50-100
6	100-250
7	250-500
8	500-1000
9	1000-2000

Tabla 4. Valores de reclasificación resultados *Linkage mapper*

Resultados individuales				Clase	
Menor coste y valor corredor combinado 1	Cuello de botella 2	Barrera 3	Clasificación		
0,0-0,2	0 - 0,1	0-10	Muy bajo	5	
0,2-0,4	0,1 - 0,25	10-50	Bajo	4	
0,4-0,6	0,25 - 0,5	50-100	Moderado	3	
0,6-0,8	0,5 - 1	100-250	Alto	2	
0,8-1,0	> 1	>250	Muy alto	1	
Suma resultados				Clase	
Menor coste y valor corredor combinado 1	Cuello de botella 2	Barrera 3	Clasificación		
0 - 0,5	0 - 0,1	0 - 10	Muy bajo	5	
0,5 - 1	0,1 - 0,25	10 - 50	Bajo	4	
1 - 2	0,25 - 0,5	50 - 100	Moderado	3	
2 - 3	0,5 - 1	100 - 250	Alto	2	
3 - 5	> 1	250 - 1043	Muy alto	1	
Diferencia resultados individuales				Clase	
Menor coste y valor corredor combinado 1	Cuello de botella 2	Barrera 3	Clasificación		
			Columna 1	Columnas 2 y 3	
<-1 - -0,8	> 1	>250	Degradación muy alta	1	
-0,8 - -0,6	0,5 - 1	100 - 250	Degradación alta	2	
-0,6 - -0,4	0,25- 0,5	50 - 100	Degradación moderada	3	
-0,4 - -0,2	0,1 - 0,25	10 - 50	Degradación leve	4	
-0,2 - -0,1	0,01 - 0,1	5 - 10	Degradación muy leve	5	
-0,1 - 0,1	-0,01 - 0,01	-5 - 5	Neutro	6	
>0,1	< -0,1	<-5	Nuevo corredor	Abandono de barreras y cuellos de botella	7
Diferencia suma resultados				Clase	
Menor coste y valor corredor combinado 1	Cuello de botella 2	Barrera 3	Clasificación		
			Columna 1	Columnas 2 y 3	
-4 - -2	> 1	>250	Degradación muy alta	1	
-2 - -1	0,5 - 1	50 - 250	Degradación alta	2	
-1 - -0,5	0,25- 0,5	20 - 50	Degradación moderada	3	
-0,5 - -0,25	0,1 - 0,25	10 - 20	Degradación leve	4	
-0,25 - -0,1	0,01 - 0,1	5 - 10	Degradación muy leve	5	
-0,1 - 0,1	-0,01 - 0,01	-5 - 5	Neutro	6	
> 0,1	< -0,1	< -5	Nuevo corredor	Abandono de barreras y cuellos de botella	7

4.- Resultados

4.1.- Superficies de fricción y barreras aparentes

En base a las superficies mostradas en la Figura 2, se desarrollan las superficies de fricción mostradas en las Figura 8. Teniendo en cuenta que las superficies con valor 8 (entre 500 y 1000) pueden ser consideradas como un área que tienden a evitar los animales, y las de valor 9 (entre 1000 y 2000) como barreras teóricas; se puede observar cómo, en la provincia de Teruel, los grupos más desfavorecidos para el desplazamiento son las aves esteparias y las forestales. Esto se pone también de manifiesto en el diagrama de barras de porcentaje acumulado. En concreto y a grandes rasgos, se puede observar como la parte naturalizada de la provincia de Teruel (mitad suroriental) presenta las superficies preferentes para los mamíferos, planeadoras, y aves forestales. Por el contrario, las aves esteparias tienen preferencia por la otra mitad. En lo que respecta a las aves rapaces se observa que, al igual que las esteparias, las superficies de mayor fricción se muestran más difusas y aparentan tener facilidad a desplazarse por la mitad antropizada, al igual que las esteparias. En cualquier caso, para las aves planeadoras y rapaces las áreas que presentan mayor fricción corresponden a las áreas urbanas y los parques eólicos. Las estadísticas aparecen representadas en la Figura 7.

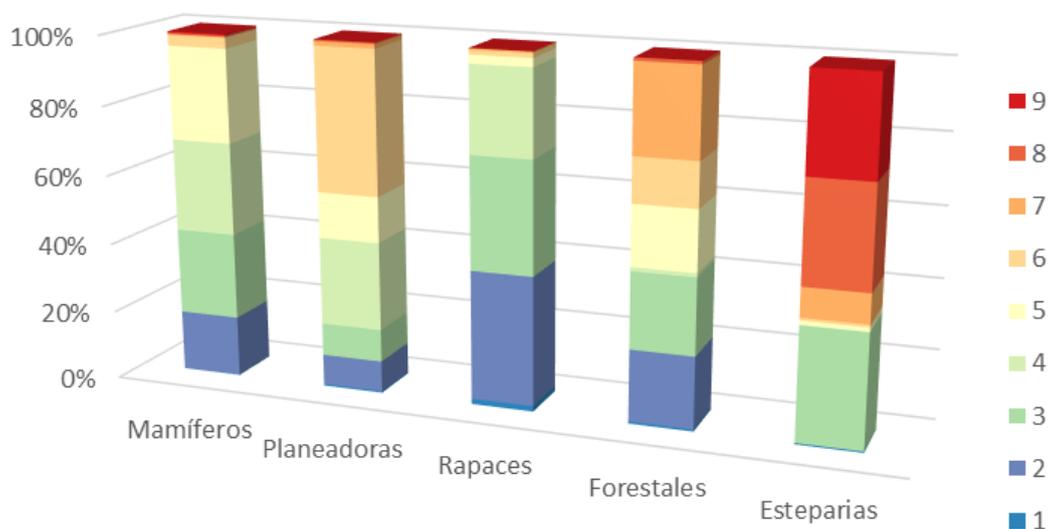


Figura 7. Diagrama de barras con el porcentaje acumulado por grupos según superficies de fricción clasificadas

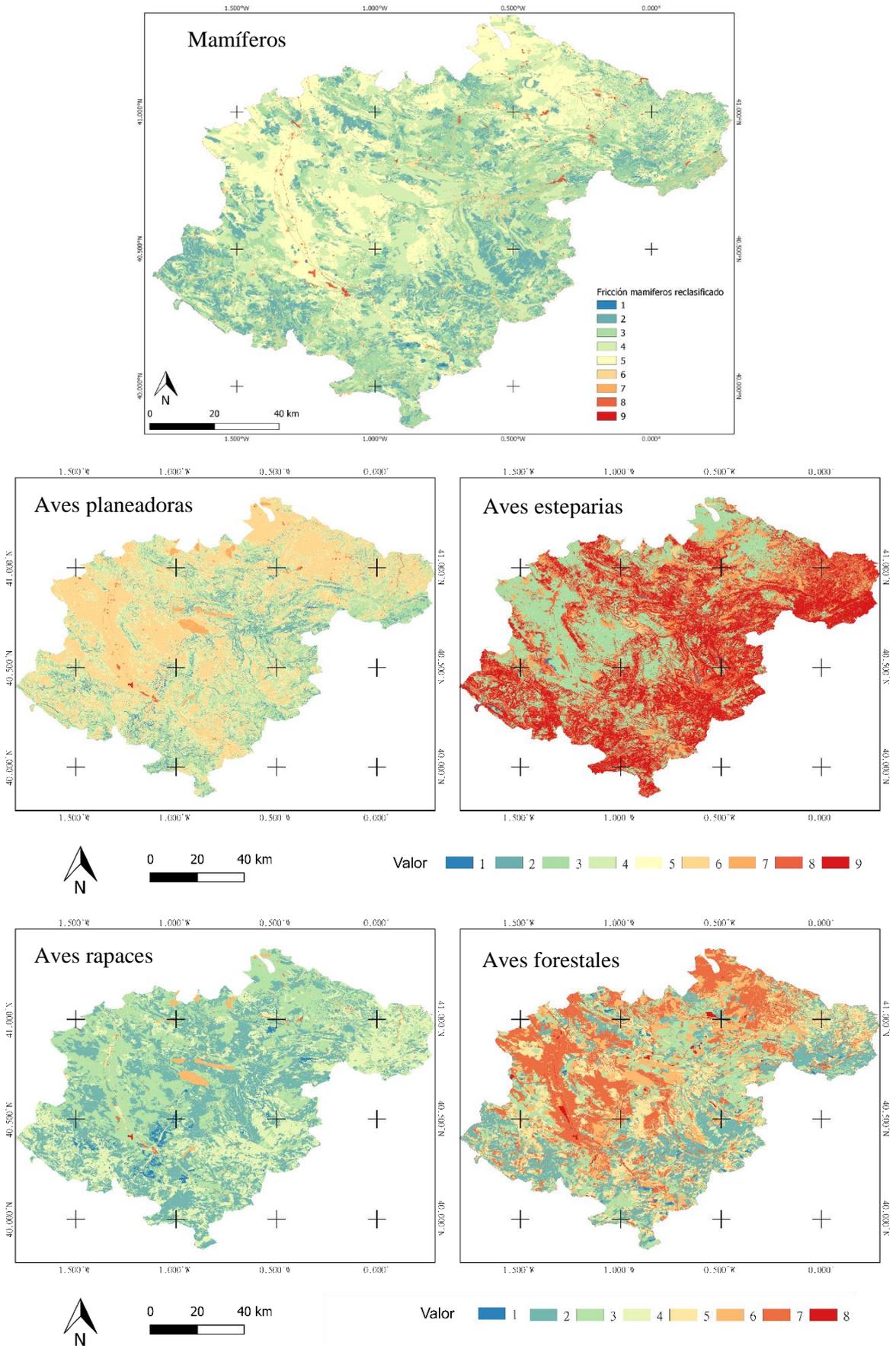


Figura 8. Fricción total por grupos

La superficie de embalses en la provincia es bastante pequeña, y además los ríos no son tan anchos como para constituir una barrera importante para los animales. En lo que a infraestructuras se refiere, la provincia presenta un total de 5048,86 km de carreteras y autovías, la cual da lugar a una densidad de 0,34 km/km² de red viaria por unidad de superficie (considerando que la provincia de Teruel tiene 14809,08 km²). En concreto, 322,5 km corresponden a la autovía A-23, que atraviesa diagonalmente el sector Oeste y Sur de la provincia a la par que la línea de ferrocarril; la cual, pese a no constituir una línea de alta velocidad, una tercera parte de la línea se encuentra vallada. Los parques eólicos ocupan actualmente unos 154,58 km², y se concentran en las comarcas de las Cuencas Mineras y de la Comunidad de Teruel.

Estas infraestructuras aparecen representadas en la Figura 8, junto a algunos valores numéricos. En el mismo mapa aparecen los parques eólicos en funcionamiento, y también los proyectados, en los que se incluyen tanto los autorizados como los sometidos a trámite.

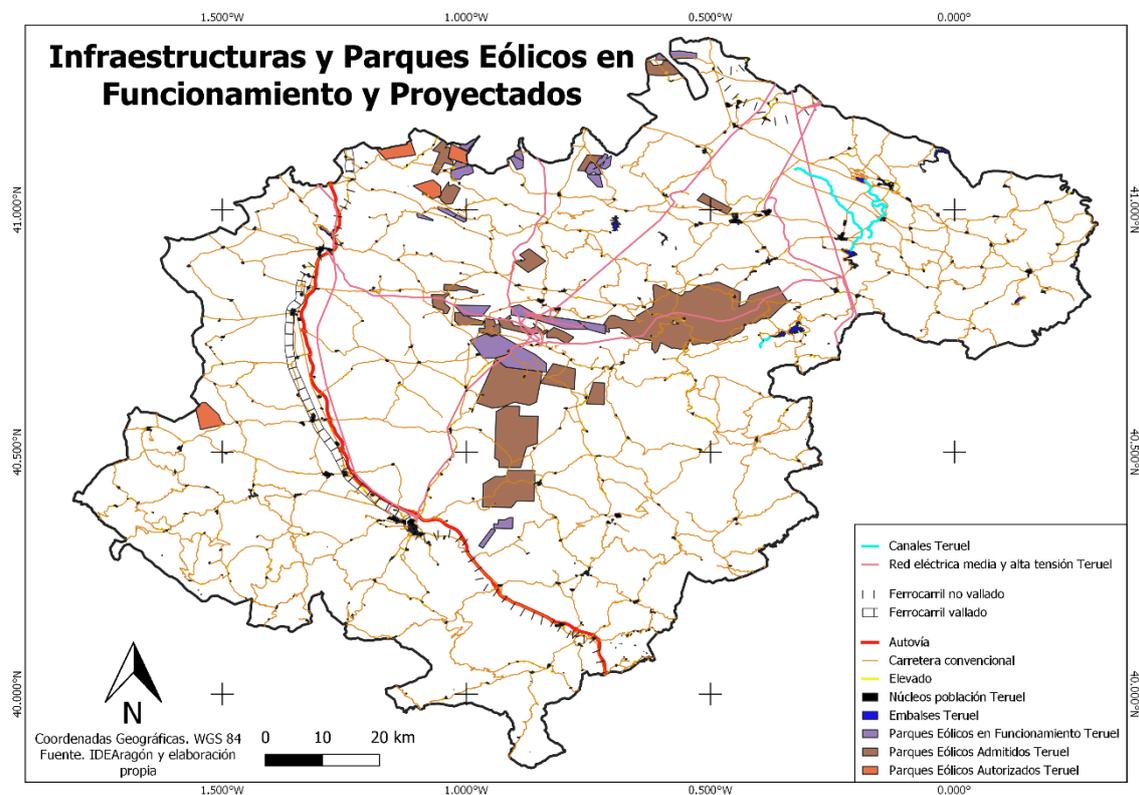


Figura 9. Infraestructuras y parques eólicos en funcionamiento y proyectados

4.2.- Evaluación resultados *Linkage mapper* para la situación actual

Los resultados individuales para cada grupo se muestran en las Figuras 12 a 16, los resultados globales en la Figura 10, y para facilitar la comparación entre grupos se presenta el valor de corredor combinado para cuatro grupos en la Figura 11. Debajo de los mapas aparecen los comentarios más destacables para cada grupo.

Empezando por los resultados globales, se puede observar (según el menor coste de desplazamiento normalizado) que hay áreas de la provincia que a priori no son usadas como corredores, de forma preferente, por los grupos estudiados (o al menos por la mayor parte) para conectar la RN. Estas áreas a considerar son:

1. El entorno de los cultivos extensivos entre Teruel y Torrelacárcel, y entre Calamocha y Fuentes Claras.
2. El entorno de Mezquita de Jarque y Escucha. Cabe destacar la segunda área indicada, ya que constituye el área con la distancia más corta que separa los polígonos de la RN correspondientes a los ZECs de Sierra Palomera, Sabinar de El Villarejo, Montes de la Cuenca de Gallocanta, y Parameras de Blancas.
3. El área que separa el extremo norte del ZEC/ZEPA del río Martín y la comarca del Matarraña que, aunque muestra algún corredor, el área en general supone un área de gran coste.

El resto de áreas, especialmente las más cercanas distribuidas entre los perímetros de la Red Natura 2000, sí parecen ser las superficies de menor coste. Estos resultados pueden corroborarse también con el valor de importancia de corredores.

En lo que a valor de corredores y valores de menor coste se refiere, las áreas más estrechas que separan la RN del extremo sur, centro y este de la provincia son las que mayor valor tienen. Parece haber un área de menor valor relativo entre la capital de provincia y Calamocha, coincidiendo con el área de cultivos extensivos, y también al área correspondiente al sector oriental de la comarca del Bajo Aragón, tal y como indica el resultado de rutas de mayor coste. Llama la atención que, pese a que estos son los resultados globales, esta primera área resulta ser de gran importancia para las aves esteparias.

En cuanto a “corredores prioritarios” se observa que las áreas más estrechas que conectan la RN, en el sur y centro de la provincia, son las que tiene más valor para todos los grupos a excepción de las aves esteparias. También destaca el valor que tiene el área al norte del Maestrazgo (Sur y oeste de Alcorisa-Calanda, y montañas entre Aliaga y Ejulve), ya que conecta los ZECs Maestrazgo y Sierra de Gúdar, Rambla de las Truchas, y ZEPA Río Guadalupe-Maestrazgo con los ZECs relativos a las Cuevas de la Solana, Baticambras, y del Recuenco y seguidamente con la ZEC/ZEPA del Río Martín. También tiene cierto valor la conexión que se genera entre los polígonos de la RN del centro y el sector nordeste de la provincia. Por otro lado, se observa como el programa le asigna menor importancia, en general, a la conexión de la ZEPA de los Puertos de Beceite (Comarca del Matarraña) con el resto de la RN. En concreto, se ve como esta área tiene gran importancia para la conexión en el caso de las aves forestales y mamíferos, pero no tanto para el resto de grupos estudiados.

Finamente, las conexiones con la RN de las inmediaciones de la provincia de Zaragoza, al Norte, son las que menor valor tienen del conjunto, salvo para el caso de las aves esteparias.

Analizando los resultados de coste de desplazamiento, se puede observar que los grupos pueden ordenarse de los corredores más estrechos a los más anchos en: aves forestales, planeadoras, esteparias (según las áreas), mamíferos y rapaces.

Por lo general la inmensa mayoría de los cuellos de botella corresponden a los sotos de ribera, al menos para las aves forestales y mamíferos.

Los resultados de barreras responden a múltiples razones, y más allá de infraestructuras viarias de importancia, como el ferrocarril y ciertos tramos de la autovía, es necesario revisar los resultados de forma individual para cada grupo de especies. No obstante, hay que destacar el efecto barrera de los parques eólicos de las Cuencas Mineras que supone para la conexión en el centro de la provincia para todas las aves, aunque este efecto sea más notorio para las rapaces y las planeadoras.

A continuación, aparecen los resultados para cada grupo, explicándose las particularidades que se puede observar para cada uno de ellos.

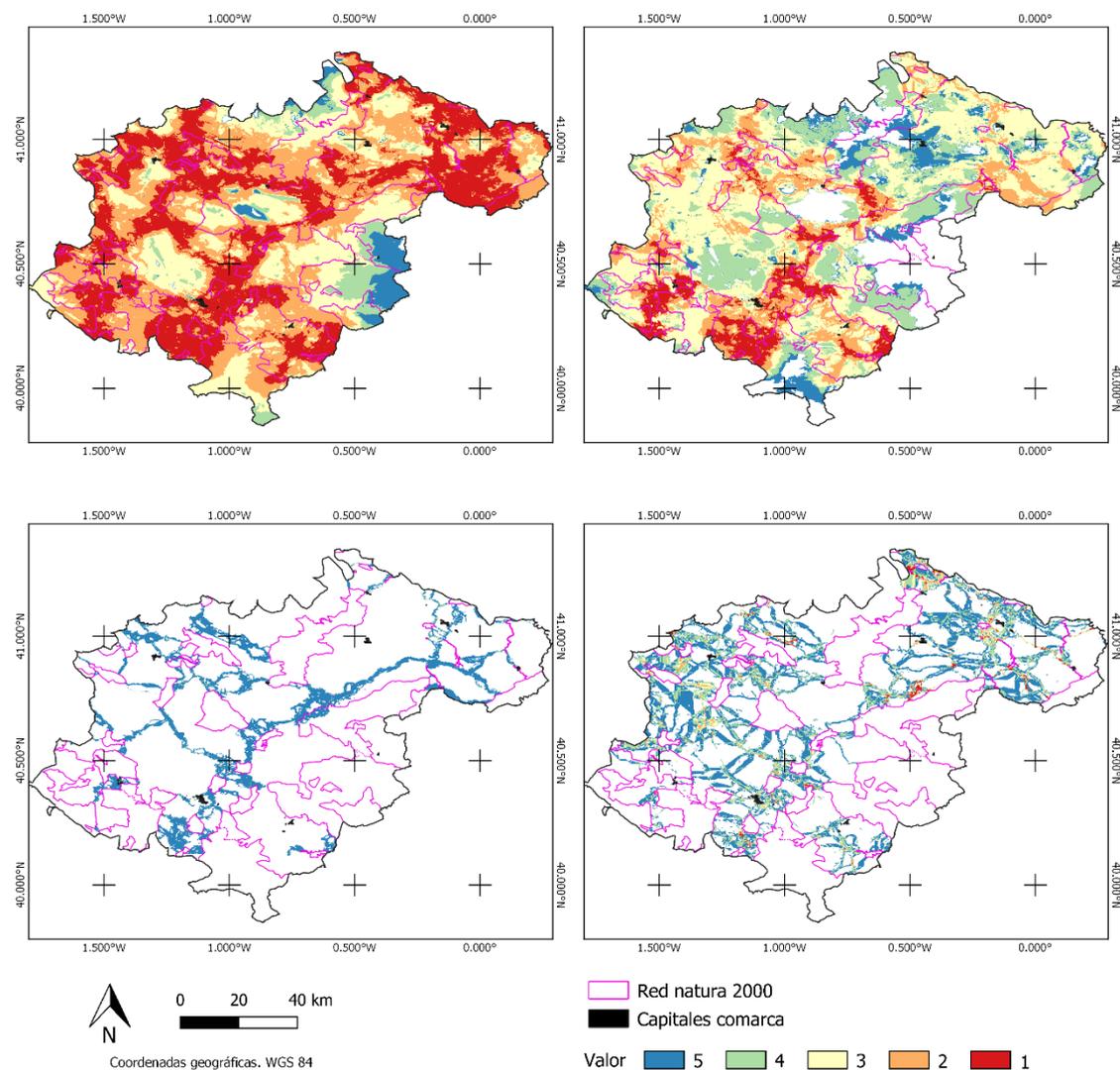


Figura 10. Resultados globales. Rutas de menor coste (arriba-izquierda), corredores prioritarios (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

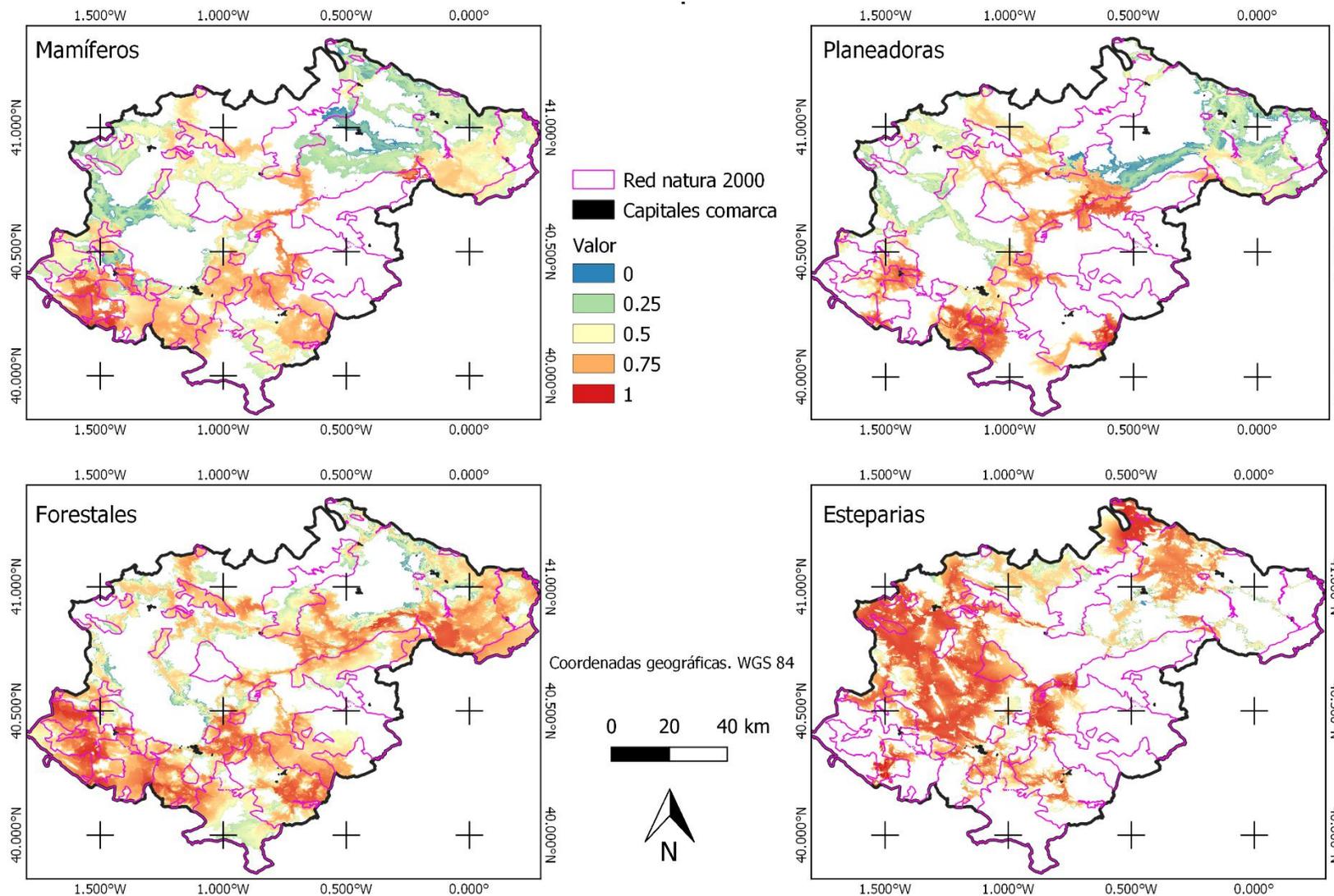


Figura 11. Resultados valor combinado de corredores

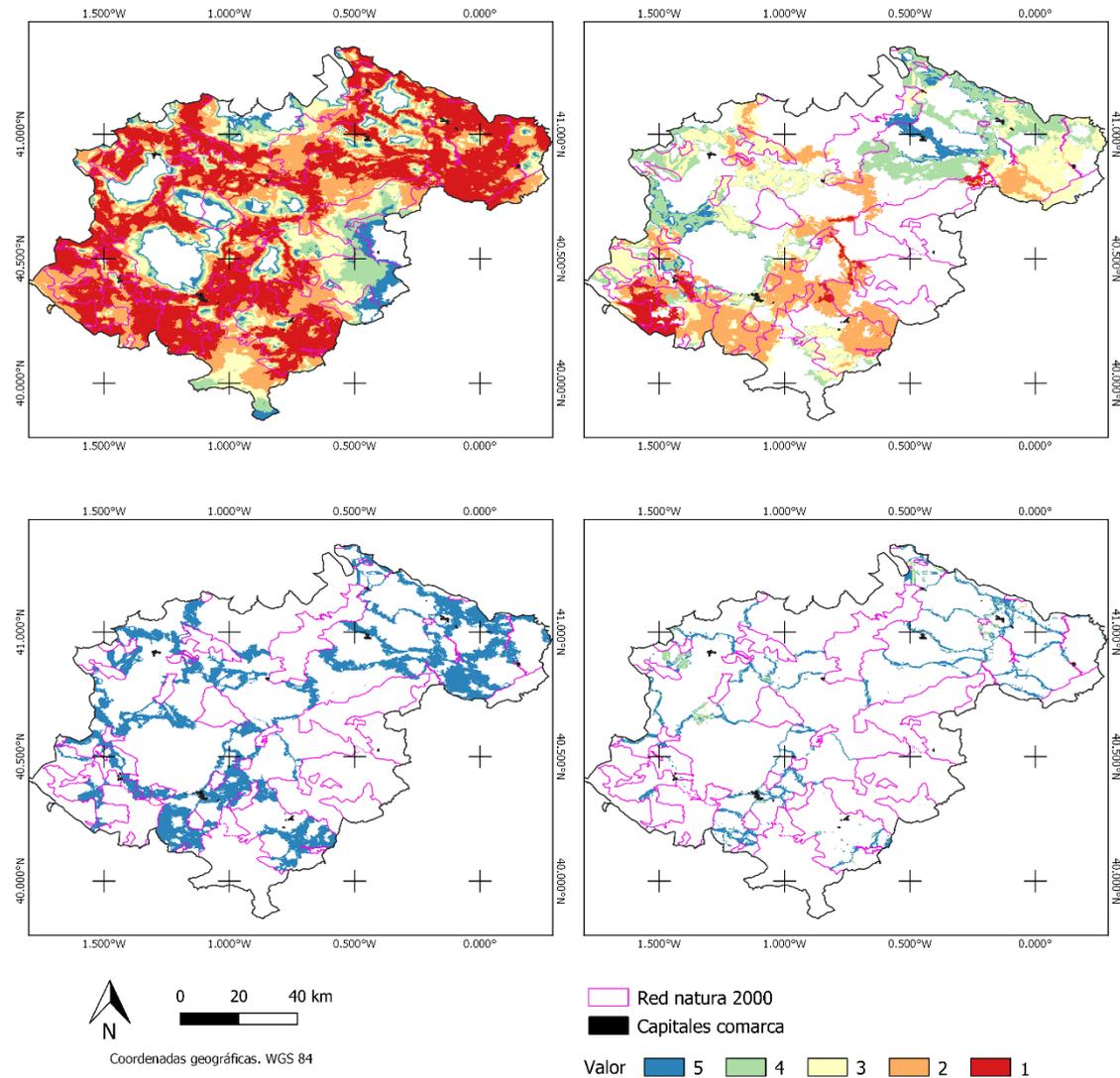


Figura 12. Resultados mamíferos. Rutas de menor coste (arriba-izquierda), corredores prioritarios (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

Las barreras más importantes para los mamíferos terrestres, además de cuellos de botella, corresponden a múltiples tramos de la autovía y de la línea ferroviaria: entorno de Villafranca del Campo y Singra, entorno de Teruel (donde se suma también el efecto de la urbanización) y el extremo sureste de la provincia, justo al sur de la localidad de Venta del Aire. Aparecen otras barreras en entornos donde la presencia de mamíferos forestales es menor como la laguna de Gallocanta, o las zonas esteparias del nordeste. Por otro lado, los cuellos de botella son debidos principalmente a los pasos bajos que atraviesan la autovía y carreteras, y al bosque de ribera de los ríos, que son estrechos.

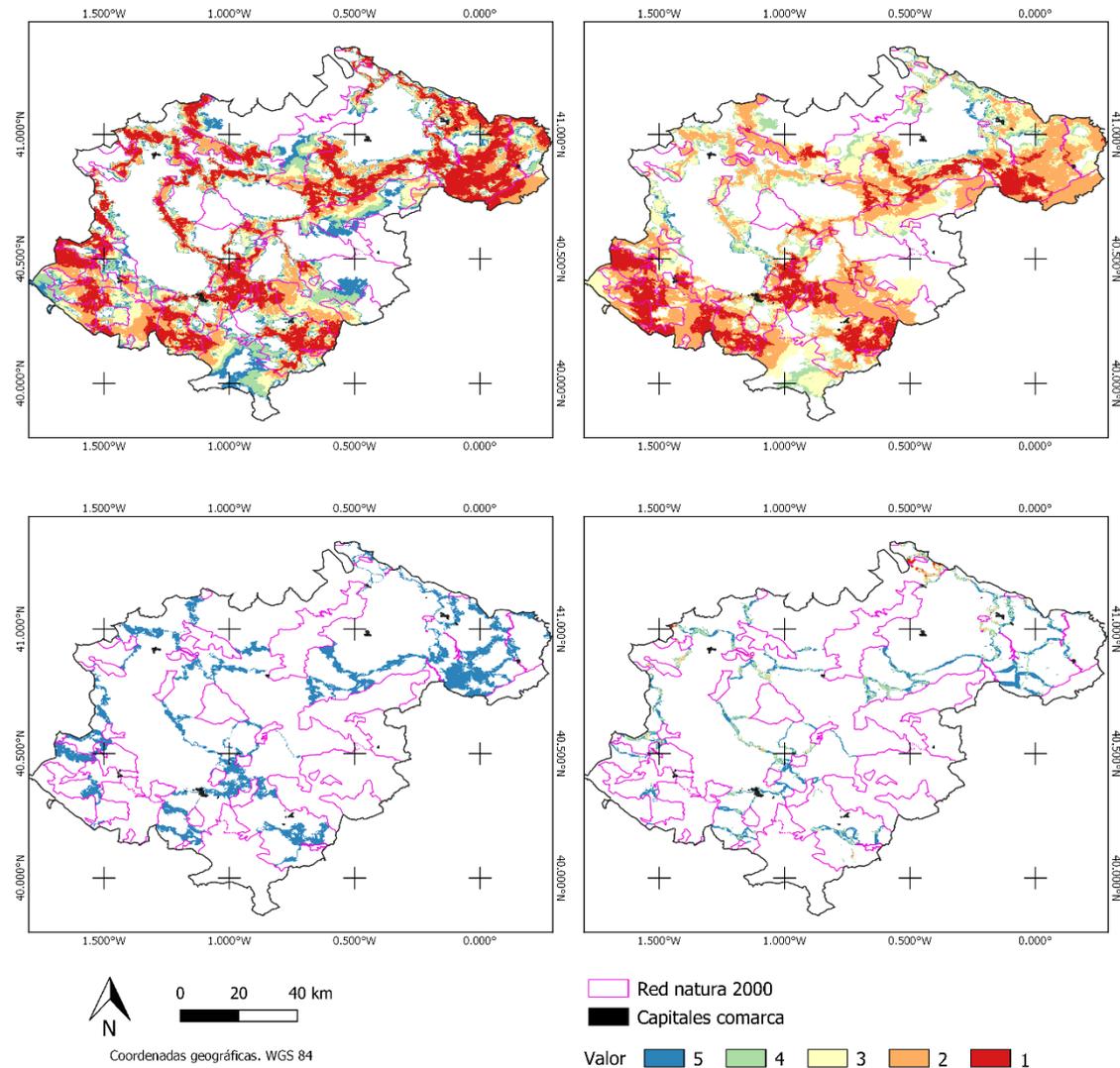


Figura 13. Resultados aves forestales. Rutas de menor coste (arriba-izquierda), corredores prioritarios (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

Las barreras artificiales para aves forestales, están bien representadas en los alrededores de Teruel, y una vez más la autovía al Este de la ciudad, así como en el entorno de Venta del Aire. El resto de barreras corresponden o bien a extensiones de cultivos, o bien a áreas con superficie no arbolada, que en cualquier caso conectan superficies de RN sin vegetación donde presumiblemente sus objetivos de conservación no son ni estas especies ni hábitats forestales.

Las áreas de menor coste, y por tanto los corredores, se ciñen a las superficies arboladas o de matorral.

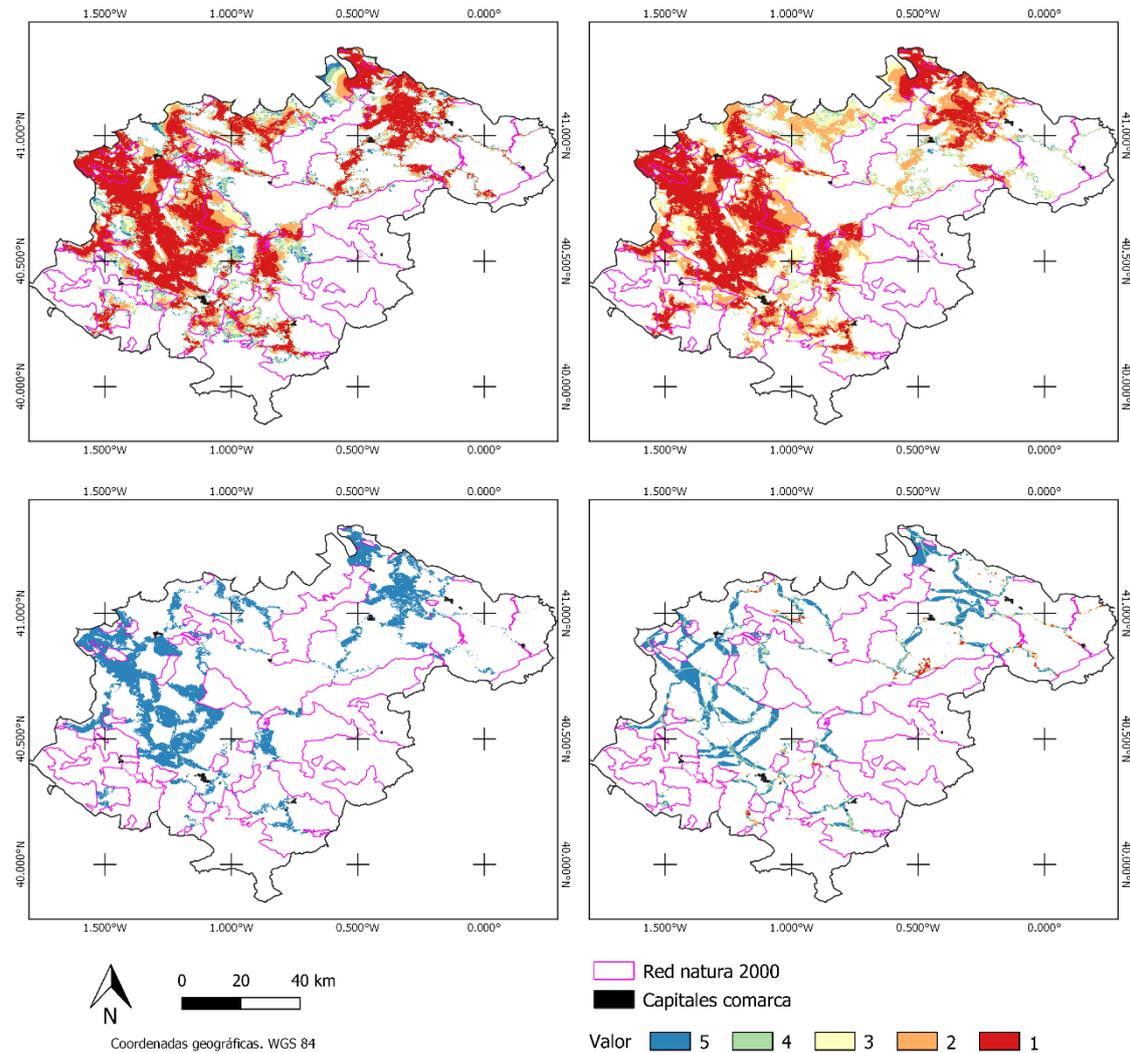


Figura 14. Resultados aves esteparias. Rutas de menor coste (arriba-izquierda), corredores prioritarios (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

En el caso de las aves esteparias los únicos cuellos de botella artificiales a destacar serían aquellos generados por los campos de cultivo de regadío en el entorno de las saladas de Alcañiz, así como los campos que conectan esas saladas con la ZEC Sierra de Vizcuerno, al nordeste de la provincia. En general el resto de cuellos de botella lo son por motivos naturales, y lo mismo sucede con las barreras, aunque dentro de éstas también parece estar indicada la autovía en el entorno de Calamocha.

En el sector nororiental de la provincia existen cuellos de botella formados por áreas muy antropizadas con presencia de cultivos leñosos, por ejemplo. El sector occidental de la provincia presenta áreas de desplazamiento para este grupo.

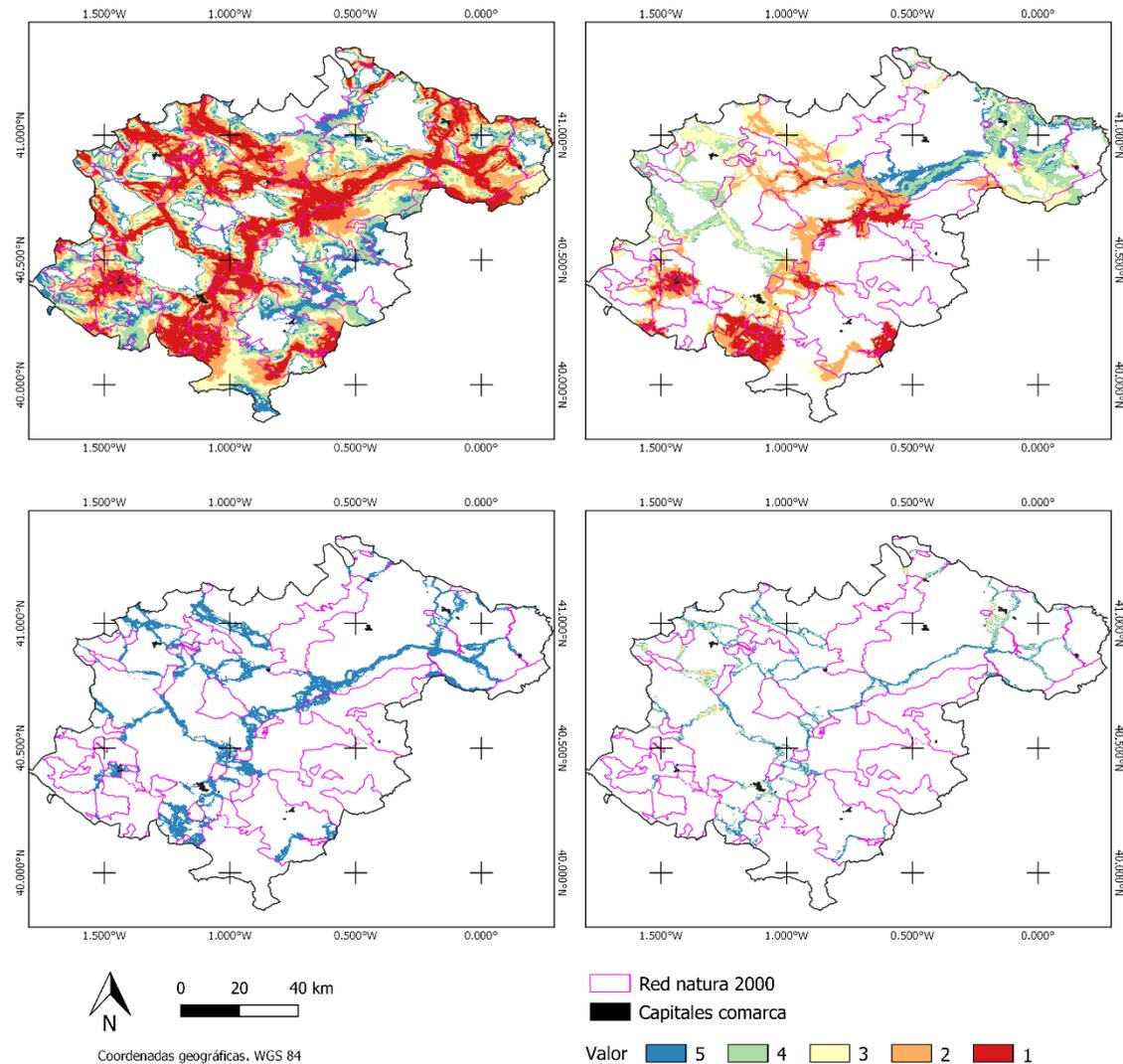


Figura 15. Resultados aves planeadoras. Rutas de menor coste (arriba-izquierda), corredores prioritarios (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

Observándose los resultados obtenidos para las aves planeadoras se deduce que, si bien el territorio ofrece mayor resistencia que en el caso de las rapaces, éstas no presentan ni cuellos de botella, ni barreras concentradas a destacar a una escala igual que para el resto de grupos. En cualquier caso, pueden considerarse como barreras para estas aves la presencia de la autovía, y de cultivos extensivos en las áreas que conectan la RN 2000. De todos modos, estas barreras presentan menos valor que para otros grupos.

Los corredores se localizan en áreas montañosas, y ante su ausencia, se distribuyen rectilíneamente atravesando los valles perpendicularmente.

En los mismos mapas, aparecen representados muchos cuellos de botella, y buena parte de ellos coinciden con laderas de mesas y colinas.

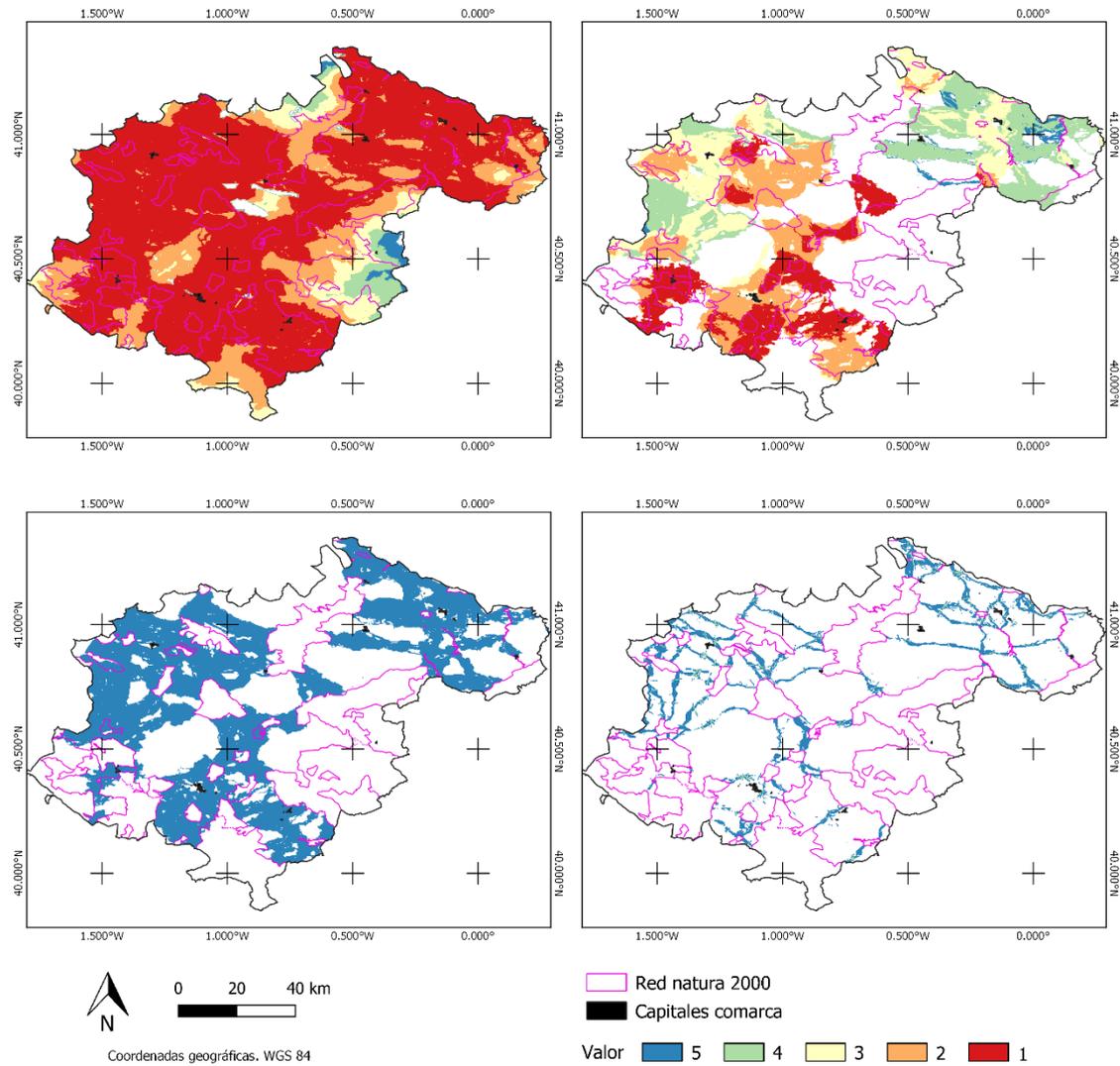


Figura 16. Resultados aves rapaces. Rutas de menor coste (arriba-izquierda), corredores prioritarios (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

A priori, en el caso de las aves rapaces, la provincia ofrece poca resistencia a este grupo, a excepción de aquellas áreas altamente alteradas, como núcleos urbanos, y las que albergan los parques eólicos existentes. Aunque en la Figura 16 aparecen las infraestructuras viales como barreras, lo son a escala mucho menor que en el caso de los mamíferos entre otros.

4.3.- Valor de la Red Natura 2000. Situación actual y posterior

En este apartado se valoran los valores de los núcleos (CAV) para los distintos grupos, y la diferencia entre la situación posterior a la instalación de los parques eólicos y la actual por polígonos. Los resultados aparecen representados en la Tabla 6 (los valores altos y bajos aparecen en negrita), y mostrados además en la Figura 16, donde la opacidad alta implica valor de CAV alto, y la escala de colores implica aumento o disminución del valor tras la instalación de parques eólicos. La Tabla 5 muestra la correspondencia entre el número de cada polígono con el nombre y la figura de protección concreta a la que corresponde.

Como se puede observar, los polígonos que mayor valor tienen son los números 26 y 23: ZEC Maestrazgo y Sierra de Gúdar y Rambla de las Truchas; y ZEC Sabinars del Puerto de Escandón, Sierra de Javalambre I y II respectivamente. Por otro lado, los polígonos que menor valor aportan a la red son dispares para los distintos grupos, pero los números 34 (Salada de Calanda), 32 (Río Bergantes), 37 (Río Matarraña, parte baja) y 39 (Río Algars) son por lo general los polígonos con menor valor para la red; todos ellos están ubicados en el sector nordeste de la provincia.

Con la inclusión de los parques eólicos, se aprecian cambios dispares para los distintos grupos. Atendiendo a los polígonos más grandes, el relativo al número 26 se vería afectado negativamente para las aves forestales, rapaces y planeadoras. Además, para las aves algunos polígonos del sector central (números 21 y 24) resultarían severamente afectados, con una pérdida de valor ligeramente superior al 15% en el caso de rapaces y planeadoras para el polígono 24.

En referencia a las cuevas y sima, para el caso de especies forestales se verían severamente afectadas, a excepción de la Cueva de la Solana, que no mostraría cambio alguno. Las cuevas mostrarían una degradación para los números 43 y 44, pero un aumento para la 40 y 42.

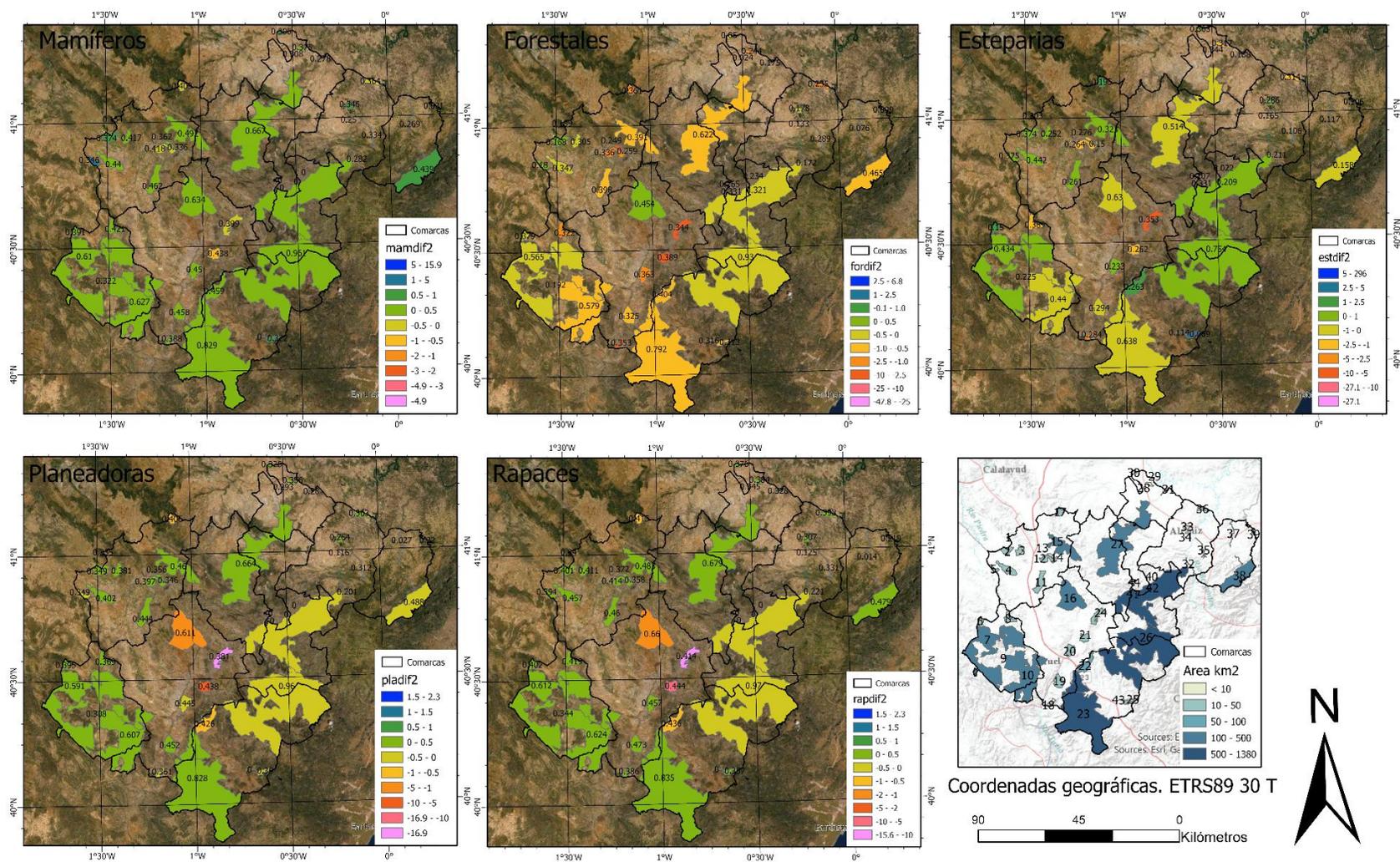


Figura 17. Valor de áreas núcleo. Valor actual (etiquetas) y cambio en porcentaje (color) con instalación parques eólicos. Mapa abajo a la derecha numeración polígonos. De izquierda a derecha y arriba abajo: mamíferos, aves forestales, esteparias, planeadoras, rapaces y correspondencia entre polígono y número (etiquetas)

Tabla 5. Número polígonos RN 2000 y correspondencias a ZECs y ZEPAs

Número	ZECs	ZEPAs
1	Montes de la Cuenca de Gallocanta	
2	Laguna de Gallocanta	Cuenca de Gallocanta
3	Sierra de Javalambre II	
4		Parameras de Blancas
5	Parque Cultural del Río Martín	Desfiladeros del río Martín
6	Tremedales de Orihuela	
7	Montes de la Cuenca de Gallocanta, Sabinar de Monverde de Albarracín, Tremedales de Orihuela, Estrechos del Guadalaviar, Alto Tajo y Muela de San Juan, Valdecabriel-Las Tejas	Montes Universales-Sierra Tremedal
8		Parameras de Pozondón
9	Los Cuadrejones-Dehesa del Saladar	
10	Salada de Azaila; Sabinas de Saldón y Valdecuenca; Rodeno de Albarracín; Cuenca del Ebrón; Sabinar de San Blas	
11	Sierra Palomera	
12	Yesos de Barrachina y Cutanda; Sabinar de El Villarejo	
13	Yesos de Barrachina y Cutanda	
14	Yesos de Barrachina y Cutanda	
15	Sierra de Fonfría	
16		Parameras de Campo Visiedo
17	Alto Huerva-Sierra de Herrera	
18	Loma de Centellas	
19	Muelas y Estrechos del río Guadalupe	Río Guadalupe-Maestrazgo
20	Los Yesares y Laguna de Tortajada	
21	Castelfrío - Mas de Tarín	
22	Sabinas del Puerto de Escandón	
23	Sabinas del Puerto de Escandón, Sierra de Javalambre I y II	
24		Parameras de Alfambra
25	Estrechos del río Mijares	
26	Maestrazgo y Sierra de Gúdar; Rambla de las Truchas	
27	Sierra de Javalambre	
28	Montes de la Cuenca de Gallocanta	
29	Barranco de Valdemesón - Azaila	
30	Planas y estepas de la margen derecha del Ebro	
31	Bajo Martín	
32	Río Bergantes	
33	Saladas de Alcañiz	
34	Salada de Calanda	
35	Río Mezquín y Oscuros	
36	Sierra de Vizcuerno	
37	Río Matarraña	
38	Río Matarraña, Río Algars, Puertos de Beceite	Matarraña, Puertos de Beceite
39	Río Algars	
40	Cueva de Baticambras	
41	Cueva de la Solana	
42	Sima del Polo	
43	Cueva de la Humera	
44	Cueva del Recuenco	

Tabla 6. Polígonos RN 2000, área, CAV y diferencia por grupos

Polígono RN2000		Mamíferos		Planeadoras		Rapaces		Esteparias		Forestales	
Nº	Área (km ²)	CAV	Dif %	cav	Dif %	cav	Dif %	cav	Dif %	cav	Dif %
1	0.82	0.15	15.9	0.33	-0.10	0.34	0.09	0.20	-4.02	0.19	-1.93
2	21.53	0.37	0.54	0.35	0.07	0.40	0.02	0.37	0.20	0.17	0.01
3	16.32	0.42	0.03	0.38	0.03	0.41	0.07	0.25	0.65	0.31	-0.11
4	40.33	0.44	0.24	0.40	0.04	0.46	0.07	0.44	0.21	0.35	-0.23
5	11.08	0.35	1.83	0.35	-0.02	0.39	0.06	0.38	0.35	0.18	0.44
6	12.05	0.39	0.16	0.40	0.01	0.40	0.07	0.15	2.37	0.38	-0.26
7	470.74	0.61	0.14	0.59	0.01	0.61	0.04	0.43	0.38	0.57	-0.34
8	24.61	0.42	0.02	0.37	0.03	0.42	0.07	0.39	-1.64	0.32	-2.24
9	0.55	0.32	0.39	0.31	0.03	0.34	0.08	0.22	0.67	0.19	-0.20
10	393.13	0.63	0.06	0.61	0.01	0.62	0.05	0.44	-0.10	0.58	-0.53
11	44.09	0.46	0.05	0.44	0.01	0.46	0.06	0.26	0.86	0.40	-0.88
12	24.30	0.42	0.00	0.40	0.02	0.41	0.07	0.26	-1.20	0.34	-1.47
13	4.85	0.36	0.23	0.36	0.00	0.37	0.07	0.28	-1.87	0.25	-2.56
14	1.20	0.34	0.43	0.35	0.04	0.36	0.07	0.15	-0.28	0.26	-0.53
15	113.39	0.49	0.02	0.46	0.02	0.48	0.06	0.32	0.19	0.39	-0.52
16	177.72	0.63	0.27	0.61	-1.74	0.66	-1.60	0.63	-0.19	0.45	0.12
17	13.33	0.41	-0.04	0.41	-0.96	0.41	-0.88	0.19	1.21	0.36	-1.11
18	9.17	0.39	0.30	0.36	-0.01	0.39	0.09	0.28	-4.42	0.35	-3.61
19	32.72	0.46	0.22	0.45	0.02	0.47	0.06	0.29	-0.41	0.32	-0.85
20	27.72	0.45	0.12	0.44	0.00	0.46	0.06	0.23	0.20	0.36	-1.20
21	22.06	0.44	-0.72	0.44	-9.26	0.44	-9.17	0.26	-2.26	0.39	-6.16
22	51.79	0.46	0.01	0.43	-0.64	0.44	-0.62	0.26	1.23	0.40	-0.57
23	712.05	0.83	0.10	0.83	0.01	0.84	0.03	0.64	-0.31	0.79	-0.59
24	32.72	0.40	-0.22	0.38	-16.9	0.41	-15.60	0.35	-5.83	0.34	-9.54
25	12.55	0.32	0.83	0.36	0.00	0.36	0.07	0.07	3.79	0.31	-0.51
26	1379.9	0.96	0.05	0.96	-0.38	0.97	-0.36	0.75	0.12	0.93	-0.40
27	474.15	0.67	0.18	0.66	0.01	0.68	0.04	0.51	-0.63	0.62	-0.73
28	0.56	0.31	0.78	0.29	0.06	0.34	0.08	0.34	0.02	0.02	0.51
29	6.17	0.37	0.19	0.36	0.11	0.38	0.09	0.32	-1.14	0.24	-1.76
30	4.89	0.31	0.86	0.33	0.02	0.38	0.08	0.36	0.15	0.05	0.00
31	1.41	0.28	0.84	0.28	0.13	0.33	0.10	0.19	0.90	0.18	-0.26
32	2.41	0.28	1.44	0.20	-0.25	0.22	-0.73	0.21	0.11	0.17	1.61
33	6.51	0.35	0.61	0.26	0.16	0.31	0.04	0.29	0.41	0.18	-0.35
34	0.33	0.25	2.93	0.12	2.32	0.13	-1.78	0.16	2.11	0.13	6.84
35	4.536	0.33	0.17	0.31	-0.02	0.33	0.03	0.11	0.15	0.29	-0.87
36	12.540	0.36	-0.16	0.36	0.03	0.40	0.07	0.31	-1.13	0.23	-1.93
37	3.715	0.27	1.32	0.03	-0.17	0.01	2.28	0.12	1.83	0.08	-2.09
38	149.96	0.44	0.72	0.49	0.00	0.48	0.05	0.16	0.00	0.47	-0.83
39	1.496	0.03	-4.90	0.22	1.77	0.22	0.28	0.11	-1.34	0.10	-0.74
40	0.005							0.02	296.1	0.23	-27.87
41	0.001							0.33	0.00	0.33	0.00
42	0.001							0.21	29.39	0.32	-47.79
43	0.010							0.11	-13.38	0.32	-5.16
44	0.00							0.21	-27.10	0.27	-36.88

4.4.- Evaluación de resultados *Linkage mapper* situación para la fase posterior a instalación de los parques eólicos proyectados

Los resultados globales relativos a la situación posterior a la implantación de las centrales eólicas proyectadas aparecen representados en las Figura 18, en esta misma página; y los resultados individuales en la Figuras 19-24. Los comentarios se reservan para el apartado 4.5, con la visualización de la diferencia entre la situación posterior y anterior.

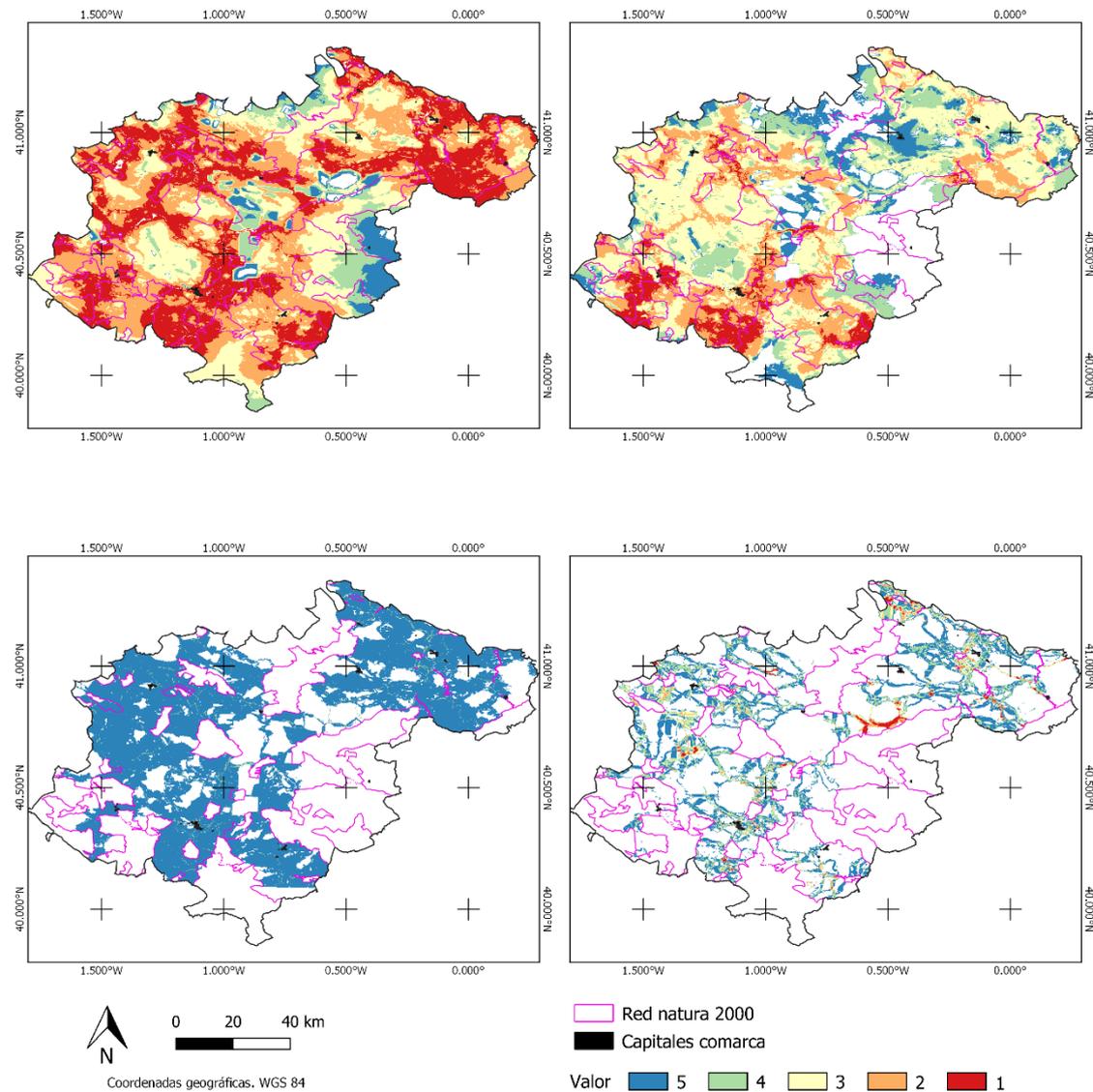


Figura 18. Resultados posteriores globales. Rutas de menor coste (arriba-izquierda), corredores prioritarios (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

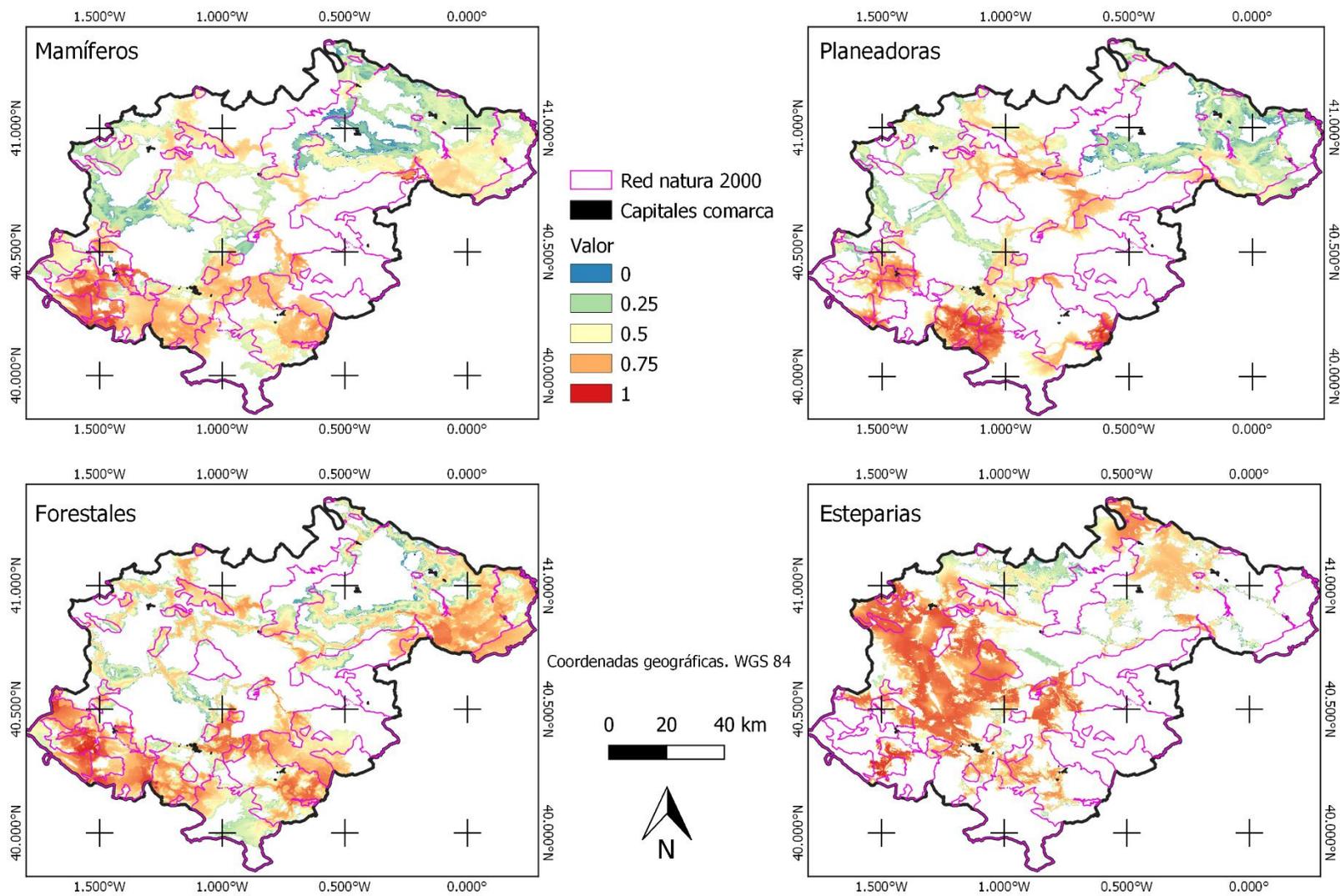


Figura 19. Resultados posteriores valor combinado corredores

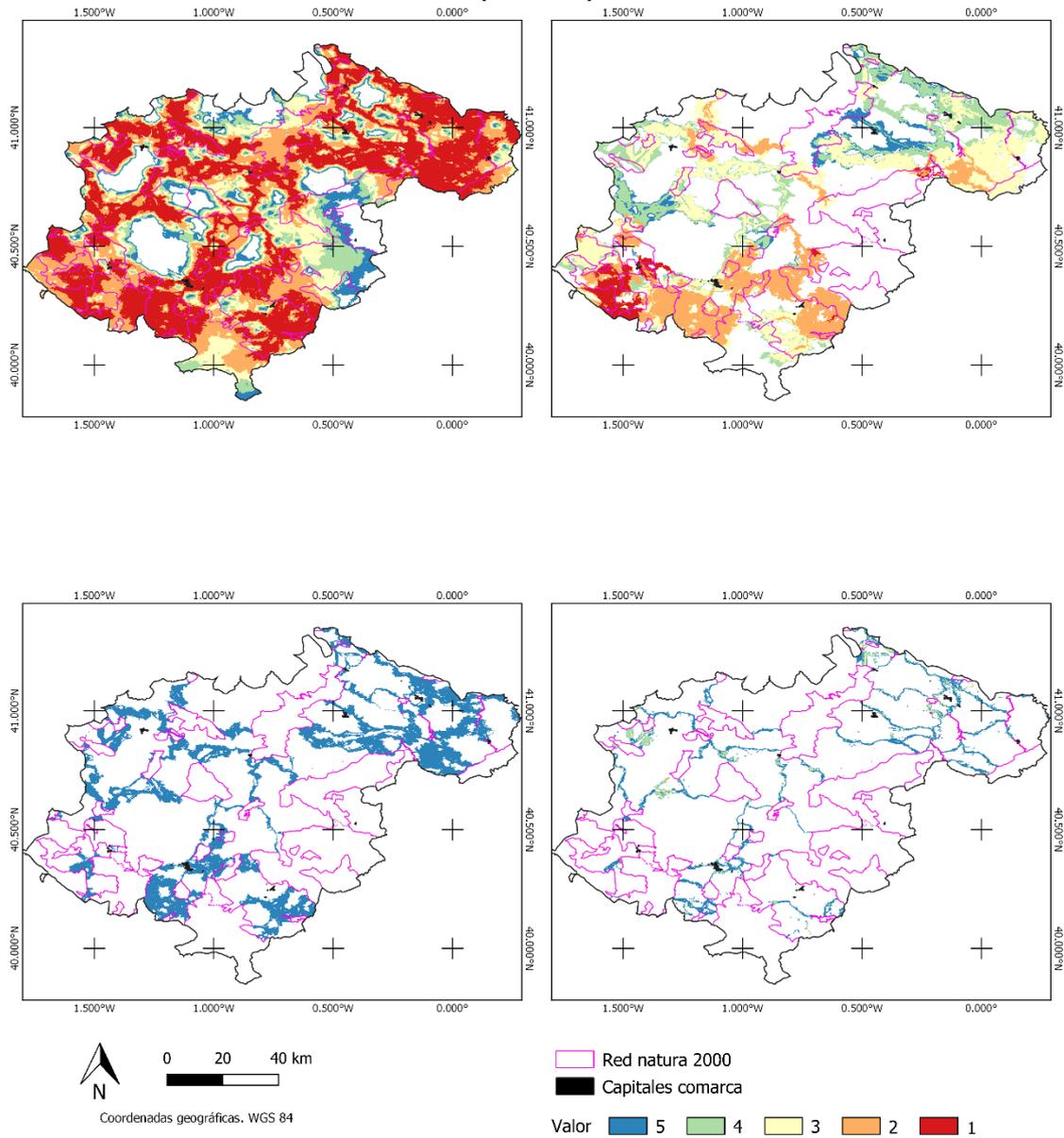


Figura 20. Resultados posteriores mamíferos. Rutas de menor coste (arriba-izquierda), corredores prioritarios (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

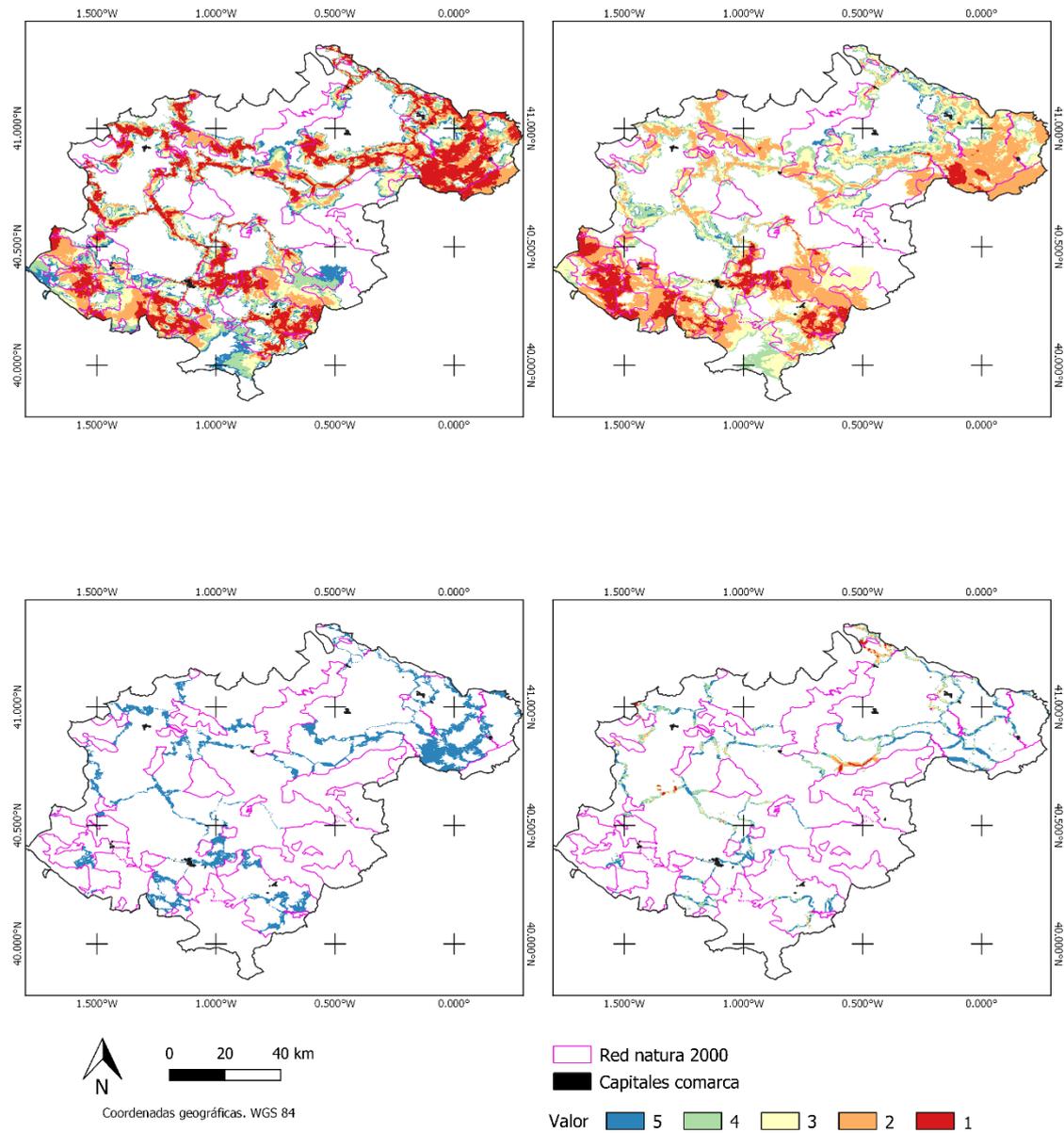


Figura 21. Resultados posteriores aves forestales. Rutas de menor coste (arriba-izquierda), corredores prioritarios (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

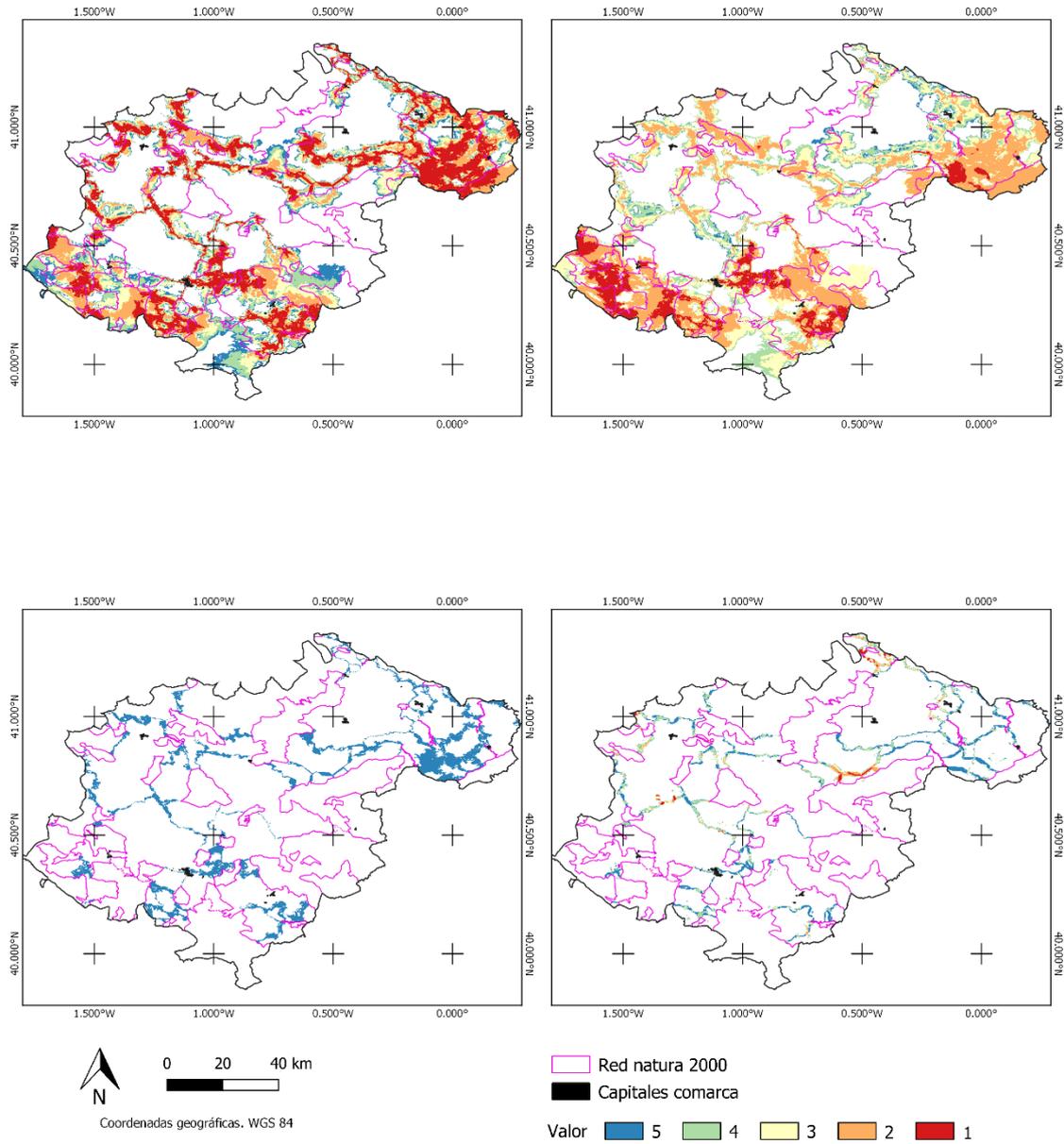


Figura 22. Resultados posteriores aves esteparias. Rutas de menor coste (arriba-izquierda), corredores prioritarios (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

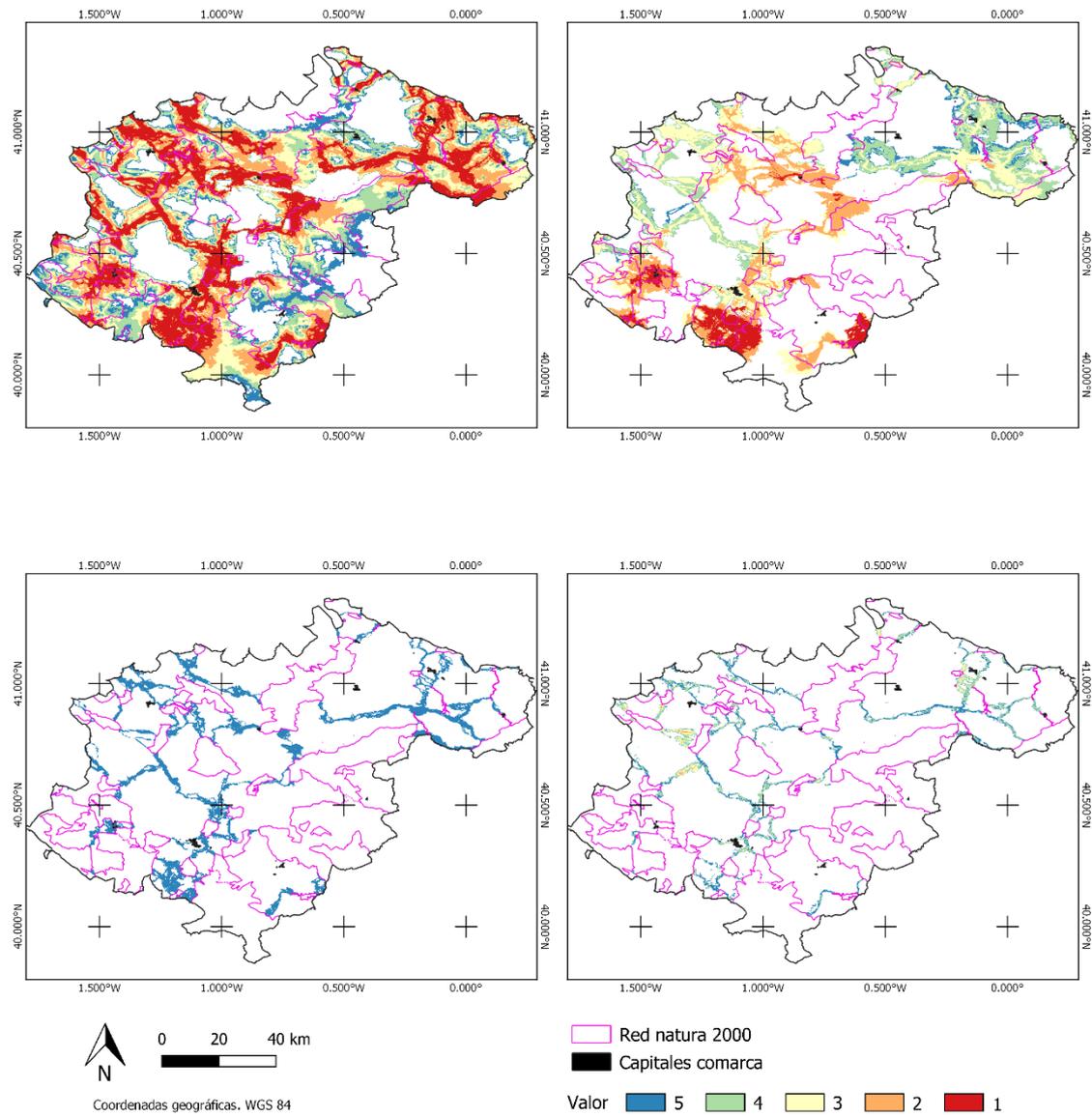


Figura 23. Resultados posteriores aves planeadoras. Rutas de menor coste (arriba-izquierda), corredores prioritarios (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

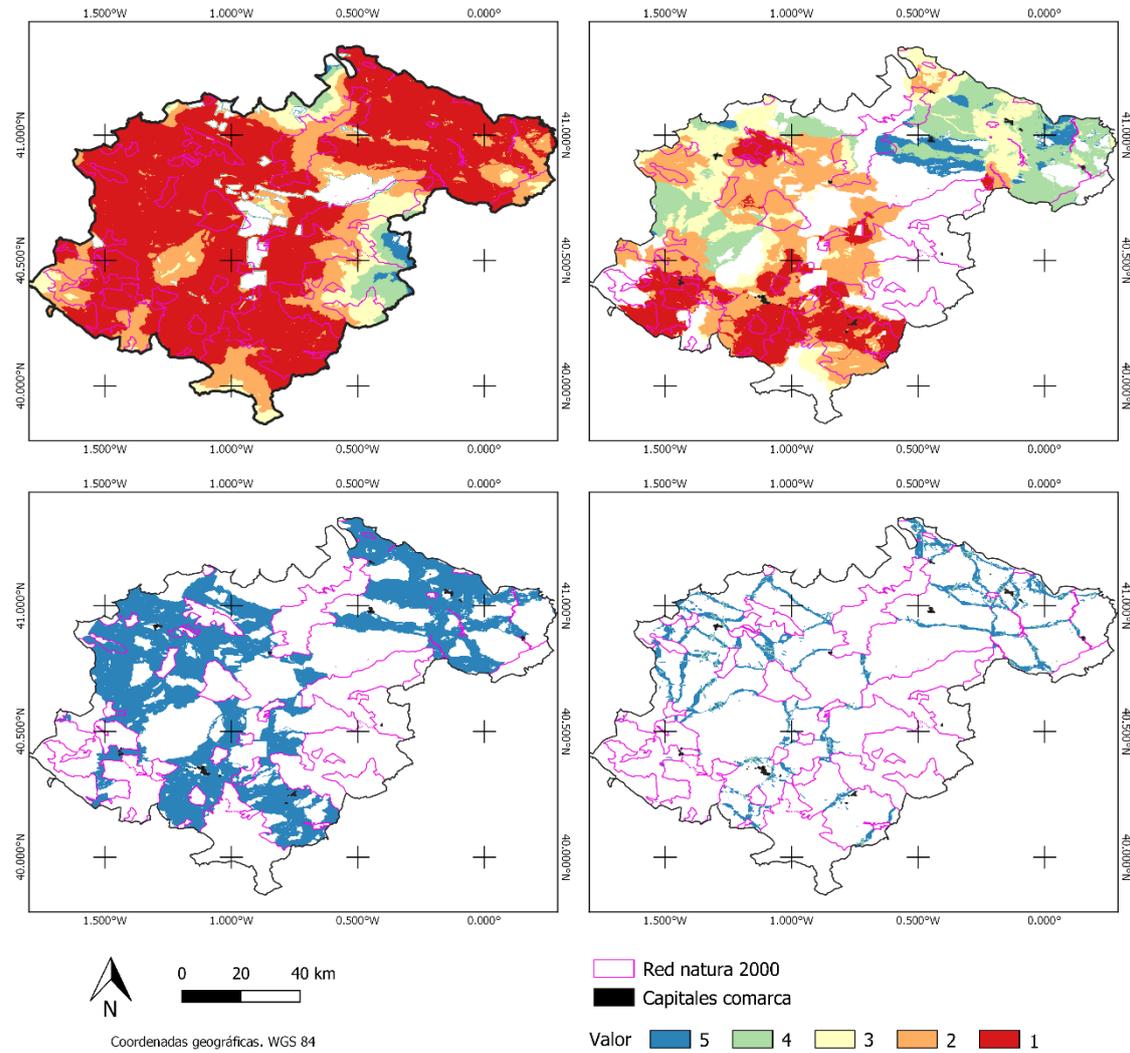


Figura 24. Resultados posteriores aves rapaces. Rutas de menor coste (arriba-izquierda), corredores prioritarios (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

4.5.- Comparativa entre la situación posterior y actual a la instalación de parques eólicos

Los resultados de las diferencias para cada grupo se muestran en las Figuras 30-34, y los resultados globales aparecen en las Figuras 26-29.

Como se puede observar, en las áreas en las que se ubicarían los parques eólicos proyectados se produce un aumento en el coste de desplazamiento, una disminución del valor del corredor ecológico (áreas negativas de diferencia de menor coste y diferencia del valor corredor ecológico respectivamente), y resultados dispares del efecto barrera. En lo que respecta a los cuellos de botella se observa una disminución de los mismos, salvo en el corredor localizado al Norte del Maestrazgo-Sur de Cuencas Mineras, donde aumentan.

En las áreas situadas alrededor de los parques eólicos proyectados, no se producen los efectos descritos anteriormente. En concreto, se produce:

- Un aumento de valor como ruta de menor coste.
- Una disminución del valor del corredor en las áreas de menor distancia entre los polígonos de la RN, donde los parques eólicos se ubicarían interfiriendo. En el caso de que estas áreas estén en los laterales de los corredores originales, se produce un aumento del valor en las mismas.
- En el caso de cuellos de botella se producen ambos efectos. Por un lado, un aumento en las áreas que constituyen los nuevos corredores, y en aquellos que siguen manteniendo el mismo recorrido original o parecido al atravesar los parques eólicos; y, por otro lado, una disminución de los mismos en aquellos lugares en los que el corredor dejaría de existir.
- Un aumento de las barreras en aquellos lugares donde se generan nuevos corredores, debido a la amenaza de los parques eólicos; o una disminución de las mismas en aquellos lugares donde los corredores desaparecen.

Analizando en detalle los cuellos de botella, se observa que los nuevos son ubicados, una vez más, en estrechas franjas de arbolado como bosques riberas en el caso de mamíferos y aves forestales (ver Figura 25); en áreas deforestadas con pendiente para las planeadoras; y en áreas poco forestadas para el caso de las esteparias.

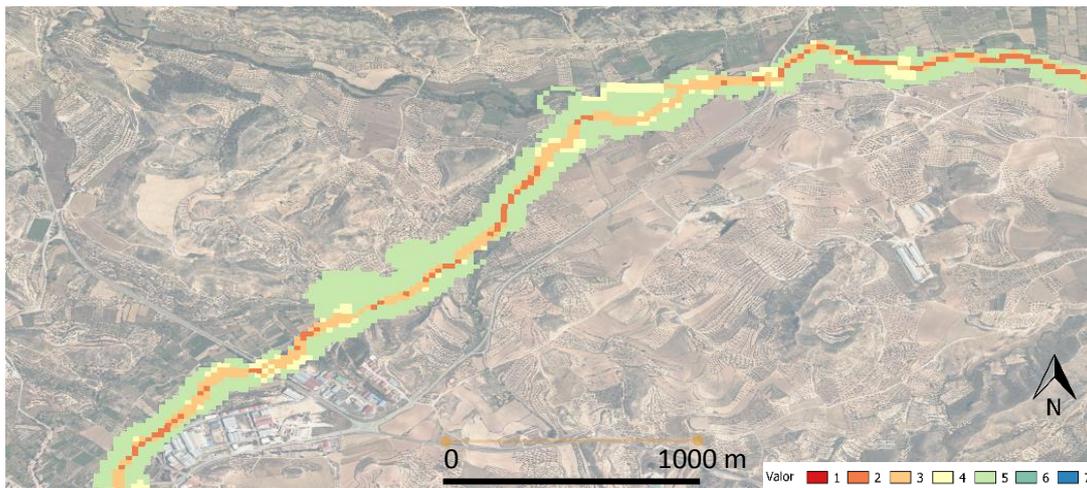
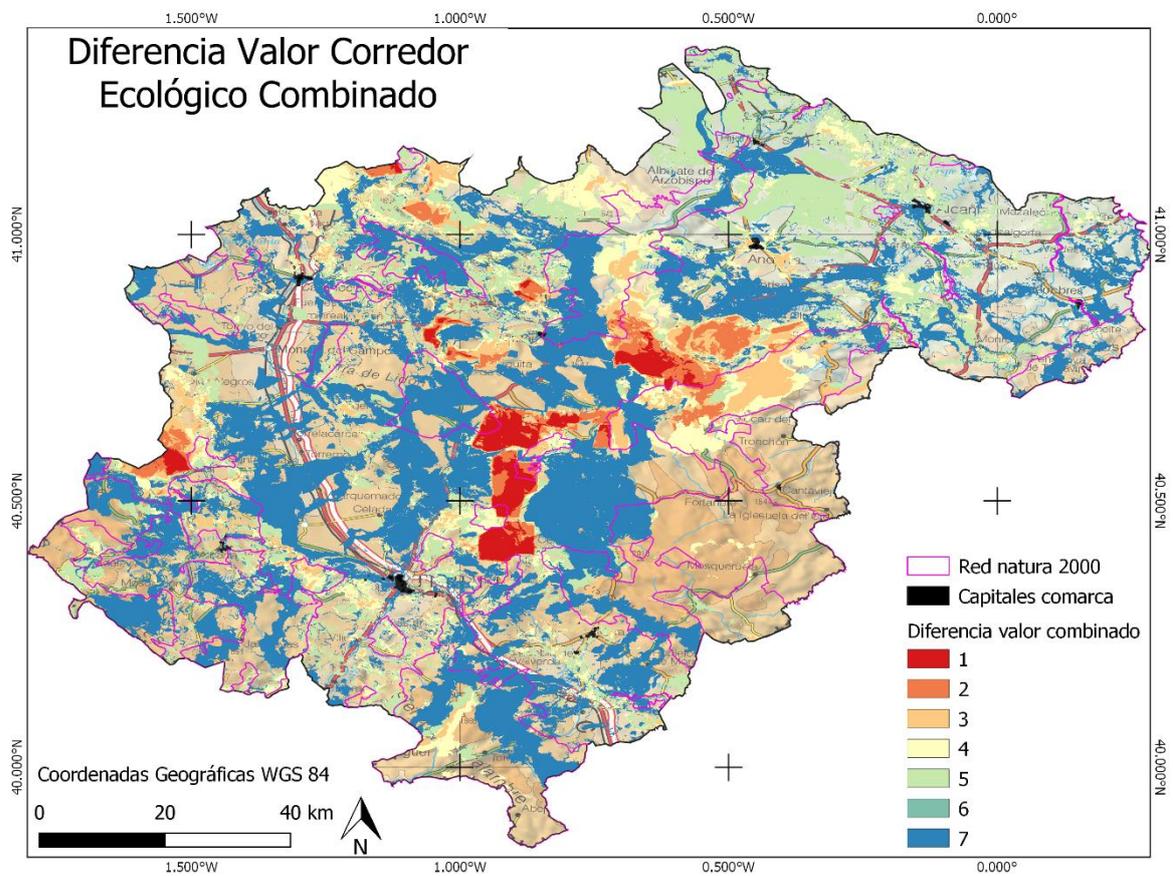
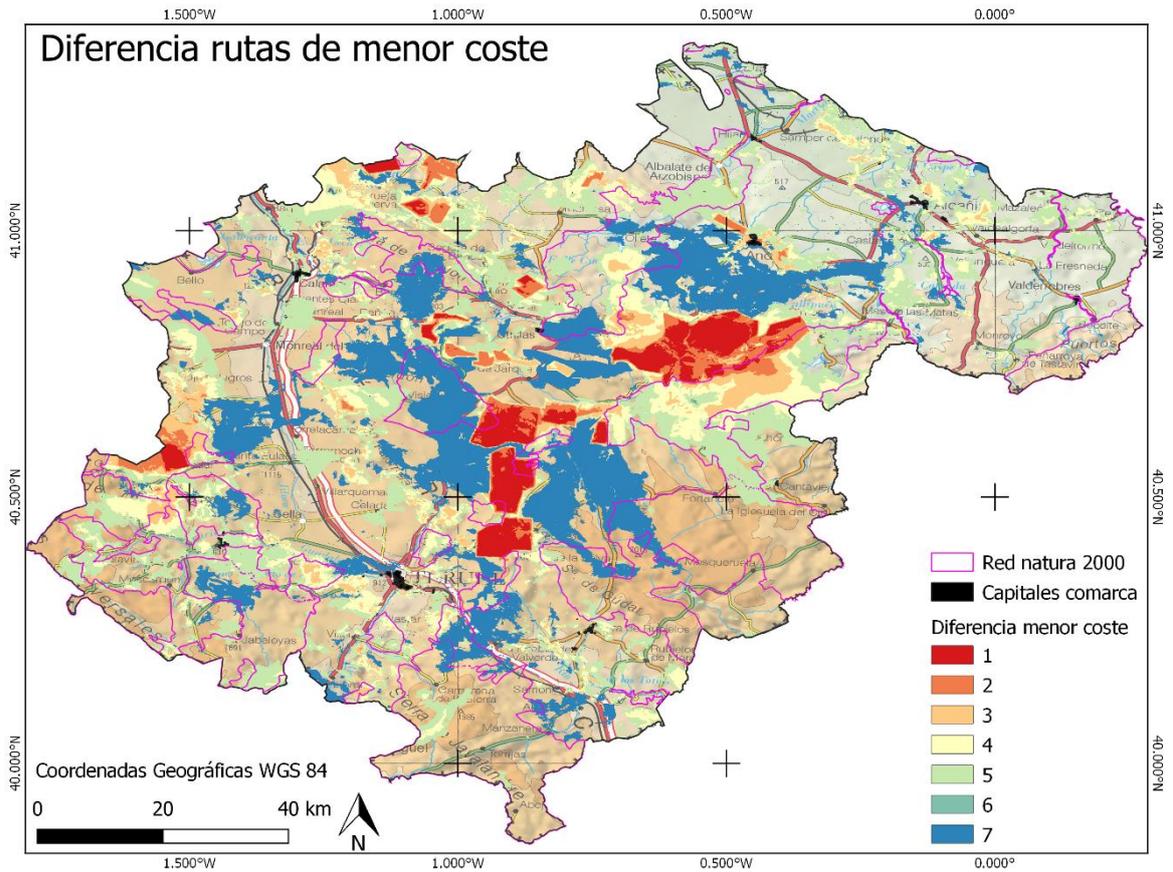


Figura 25. Resultados de diferencia cuellos de botella para las aves forestales en el entorno de Alcorisa. El río Guadalopillo ganaría importancia como corredor para aves forestales, constituyendo así un cuello de botella por ser estrecho

Las nuevas barreras generadas, o bien corresponden a los nuevos parques eólicos, o bien a distintos elementos, ya presentes en la actualidad, que ya funcionan como barreras en los nuevos corredores. Destacan entre otras: el ferrocarril; la autovía y los cultivos en el entorno de Singra-Torrelacárcel; y el área arbolada del extremo occidental de la ZEC/ZEPA del río Martín para el caso de las esteparias.

Así pues, a nivel global, se puede ver como los corredores del centro, el extremo oriental, y nororiental son los sectores que mayores resultados negativos presentan. Los corredores de la mitad sur de la provincia tienen pérdida de valor para los mamíferos y aves forestales, pero no lo tienen para el resto de grupos.



Figuras 26 y 27. Resultados globales. Diferencia rutas de menor coste y valor corredor ecológico

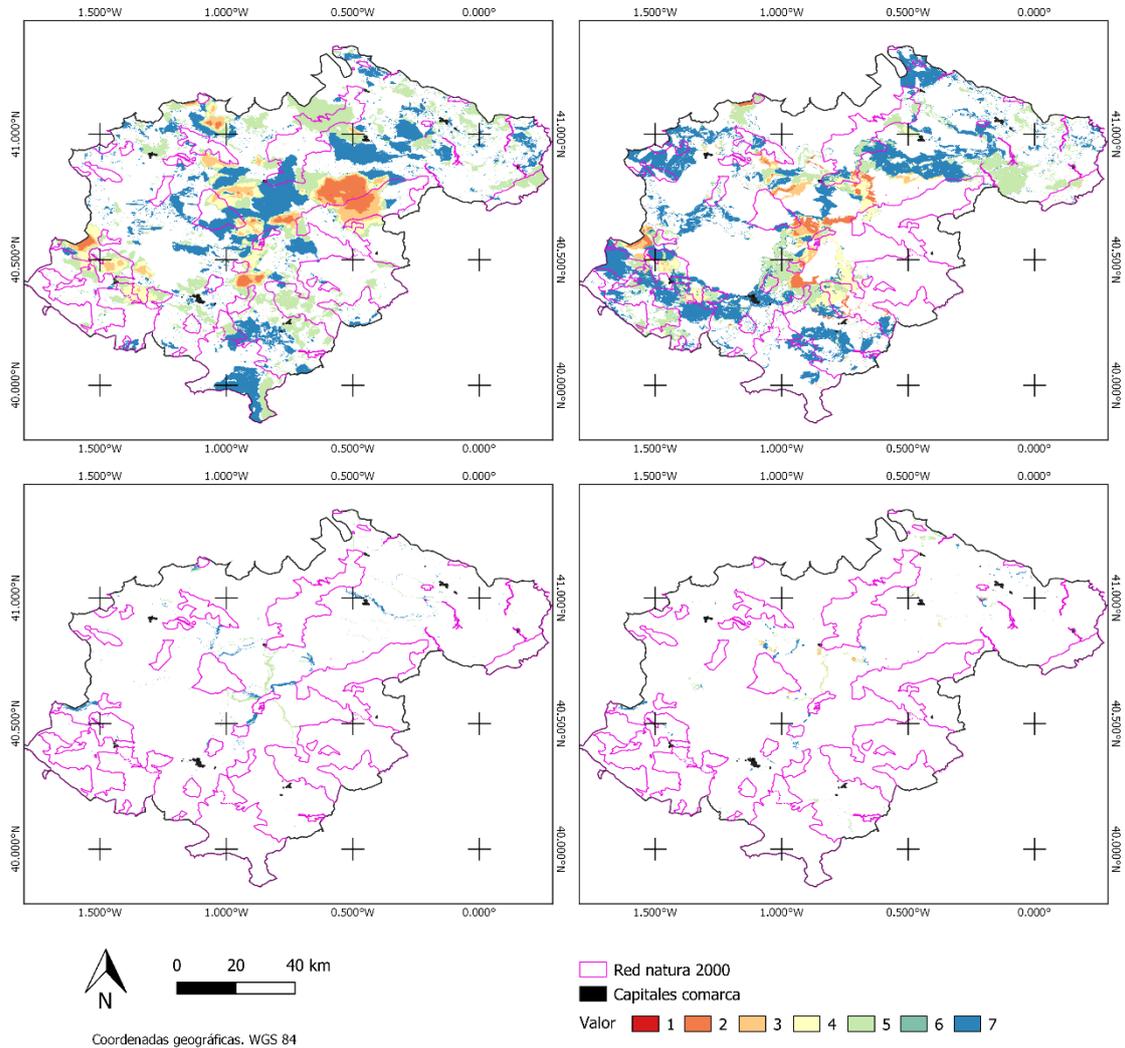


Figura 30. Resultados diferencias mamíferos. Diferencia menor coste (arriba-izquierda), valor corredor (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

Aunque la diferencia del coste normalizado que se obtiene es del 100% (valor de -1) en el caso de los mamíferos pese a ser resultado muy negativo, hay que tener en cuenta que se trata de un valor “truncado”, limitado y comprendido entre el 0 y 1. Por debajo del 0 cabe un rango muy amplio de valores, y por tanto la diferencia en valores relativos no es comparable con los resultados obtenidos para otros grupos, como las rapaces.

En concreto el parque eólico de Cabigordo, dispuesto entre los ZECs de Castelfrío-Mas de Tarín y Sabinars del Puerto de Escandón, genera un aumento y disminución total del coste de desplazamiento y del valor del corredor, lo que implica una desaparición del mismo.

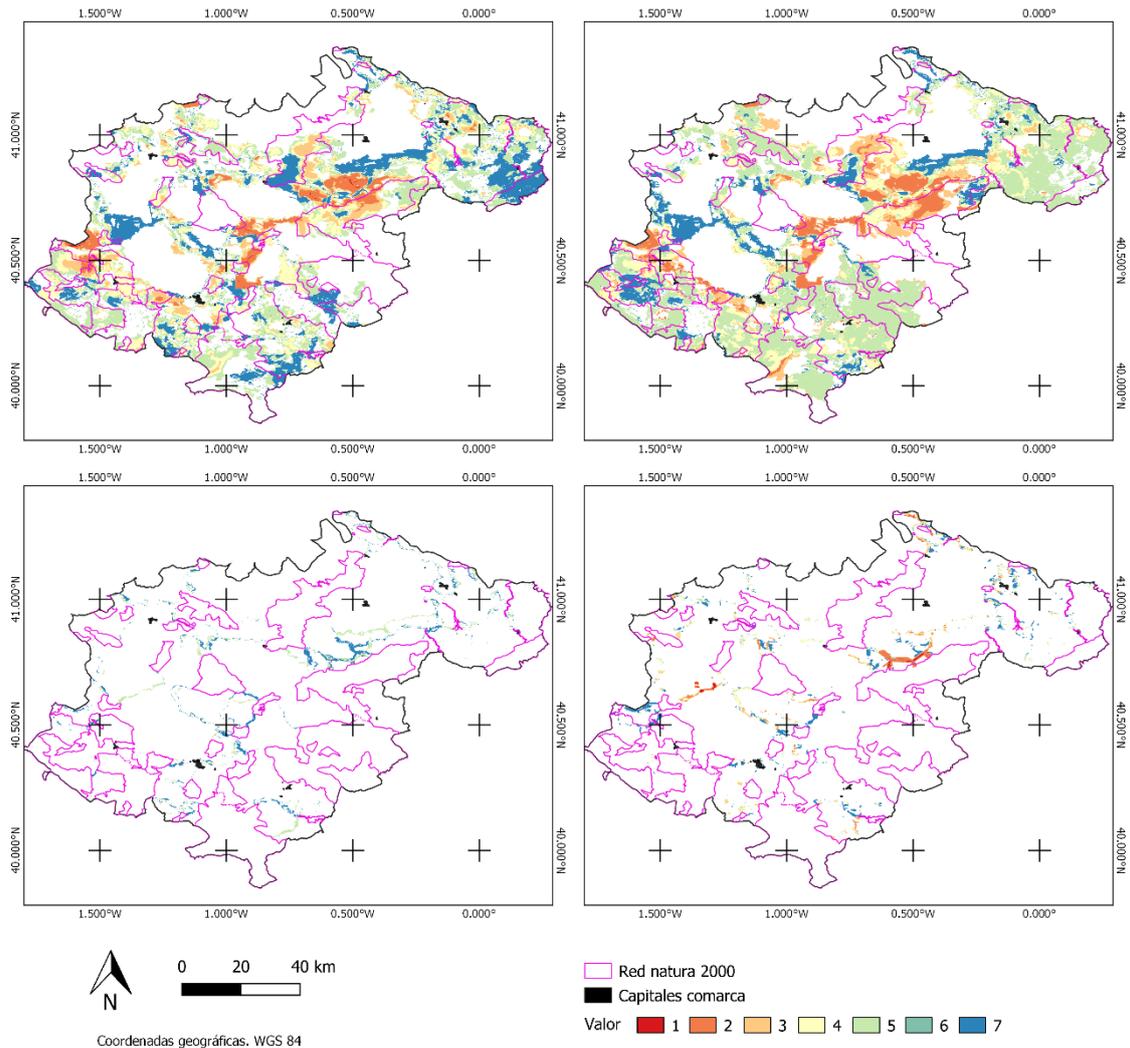


Figura 31. Resultados diferencias aves forestales. Diferencia menor coste (arriba-izquierda), valor corredor (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

Las diferencias entre la situación anterior y posterior a la construcción de parques eólicos para las aves forestales son un poco más significativas que las de los mamíferos terrestres. Se observa que el aumento del valor para los cuellos de botella es el doble, y para las barreras es de hasta 8 veces mayor. Además del entorno del Maestrazgo-Cuencas Mineras, destacan como nuevas barreras la autovía, el ferrocarril y los cultivos del entorno de Torrelacárcel y Singra; de hecho, este es el principal grupo que aporta un gran efecto barrera en la diferencia de resultados globales del área.

Prácticamente todos los corredores pierden valor, salvo dos casos principales que cobran importancia, los que conectan la ZEPA Parameras de Pozondón y la de Campo Visiedo en el Oeste (de ahí que se generen las barreras citadas en el párrafo anterior); y el que conecta, de forma directa, la ZEC/ZEPA del río Martín con la RN del Maestrazgo de forma directa.

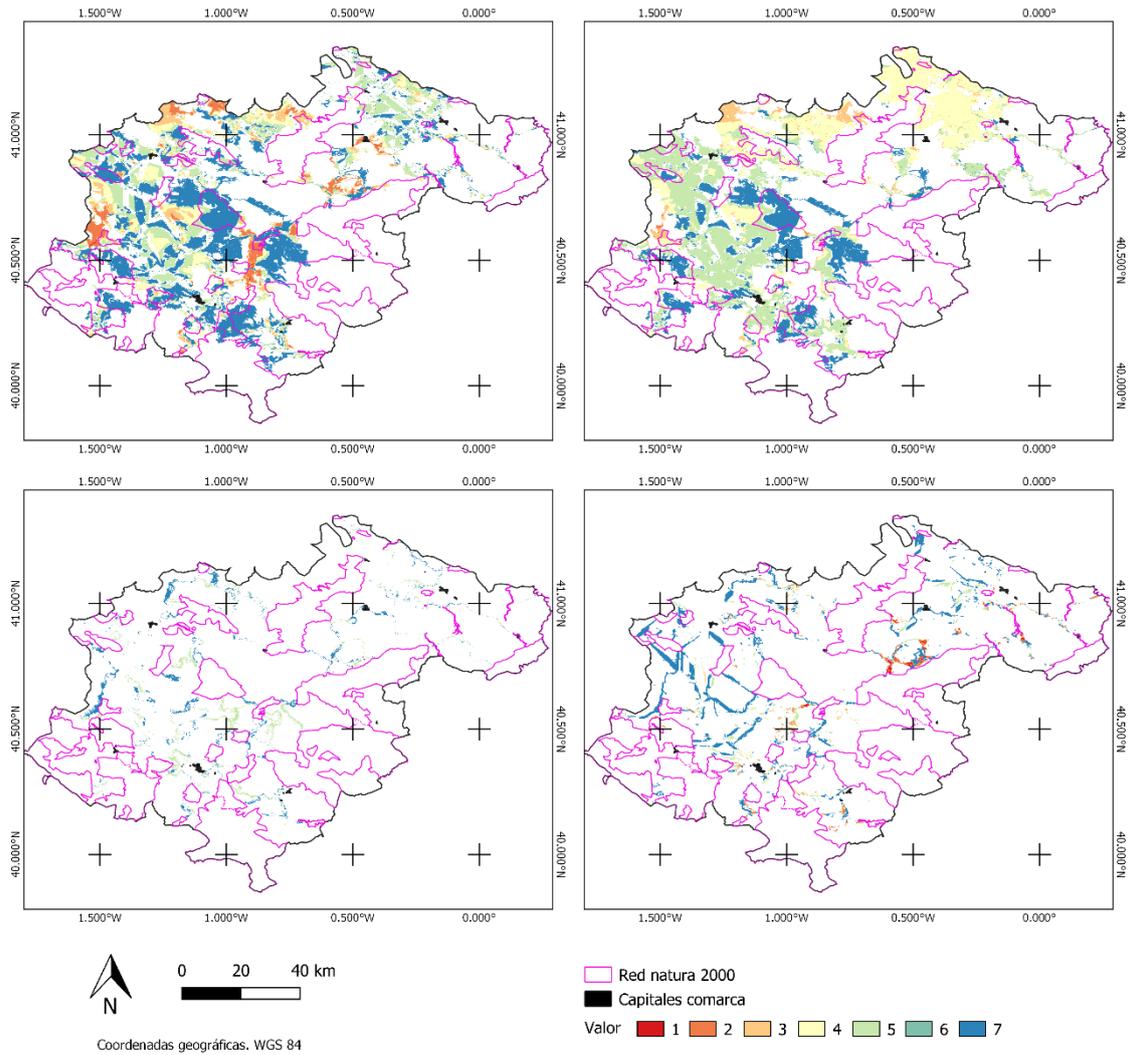


Figura 32. Resultados diferencias aves esteparias. Diferencia menor coste (arriba-izquierda), valor corredor (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

Este grupo se ve especialmente afectado en el sector oriental, que conecta la ZEPA de las Parameras de Pozondón con el área de Gallocanta, y en el extremo norte de la provincia.

El extremo occidental de la provincia, el norte de la ZEPA de Parameras de Pozondón, constituye hasta la actualidad un corredor; no obstante, tras la instalación del polígono eólico, ya autorizado, de “Santos de la Piedra”, esta área dejará de tener valor como tal para las aves forestales, planeadoras, rapaces y mamíferos. Las aves esteparias escasamente utilizan este corredor, predominantemente forestal, desde la ZEPA de los Montes Universales y los ZECs de los alrededores y, por lo tanto se considera que el efecto sobre este grupo no es relevante.

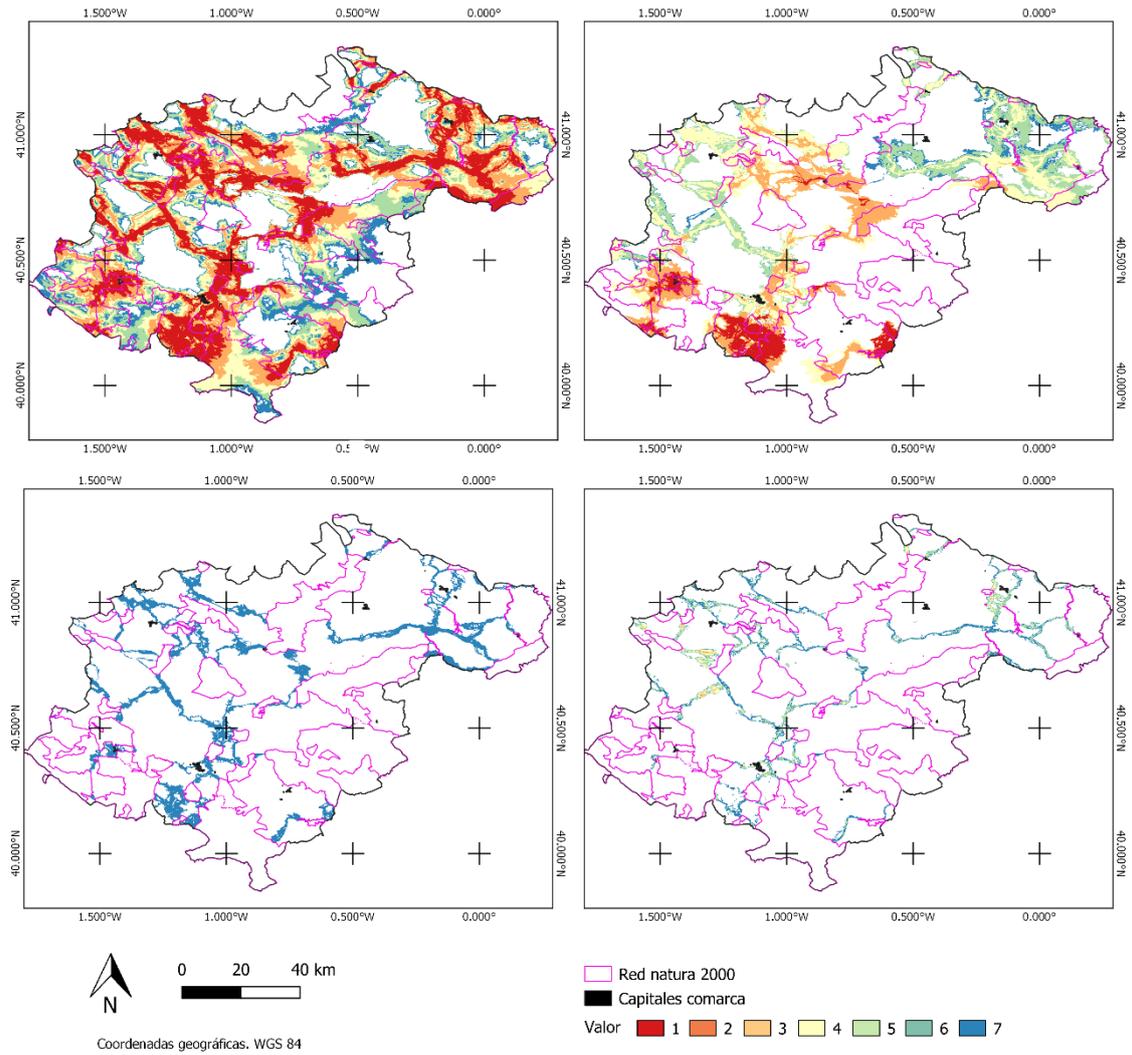


Figura 33. Resultados diferencias aves planeadoras. Diferencia menor coste (arriba-izquierda), valor corredor (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

El grupo de las aves planeadoras es el que presenta diferencias más “concentradas” en el espacio. Es decir, el aumento de las superficies de fricción es debido exclusivamente a la construcción de los parques eólicos, y los nuevos corredores se reajustan ocupando una superficie relativamente pequeña.

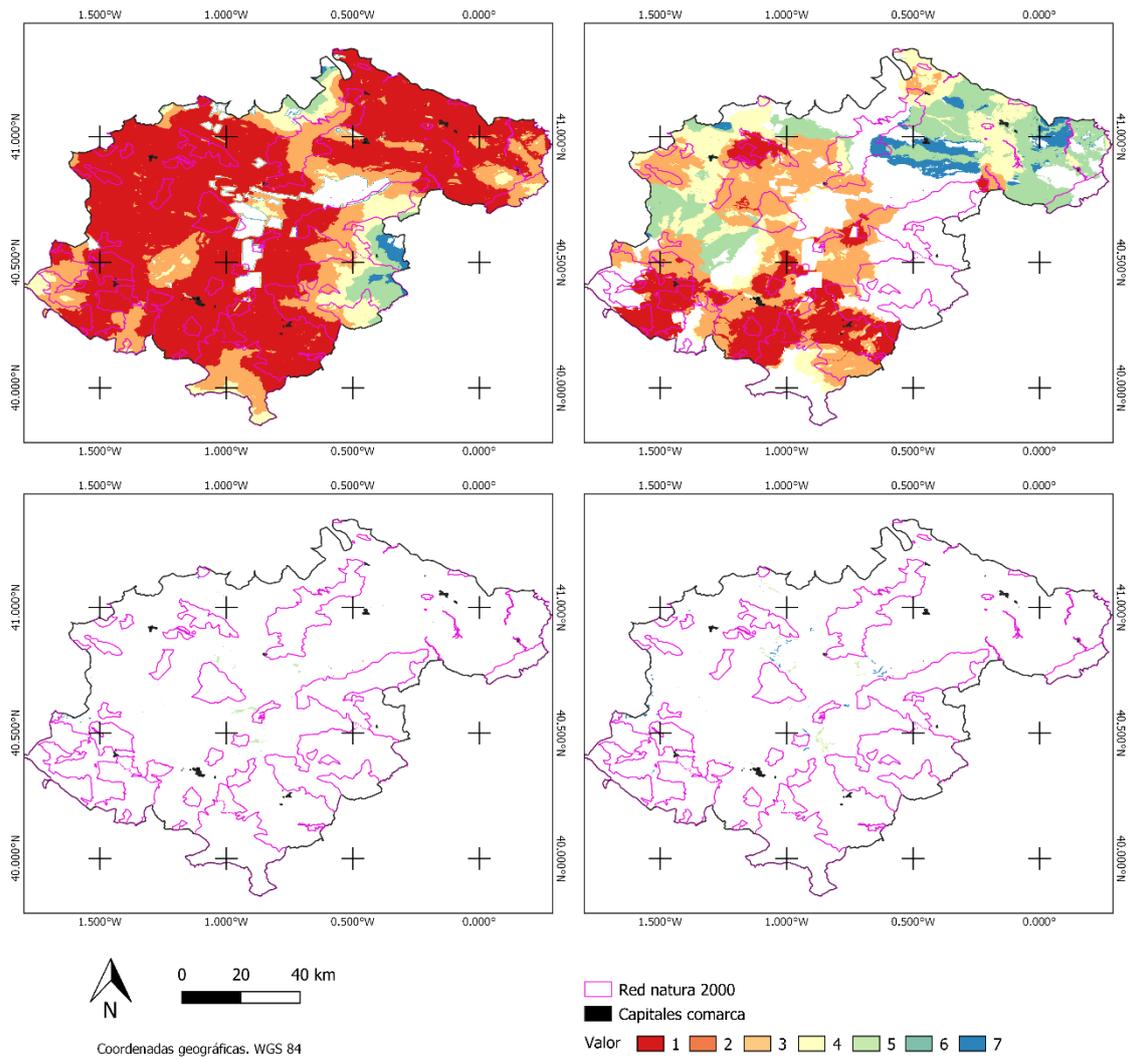


Figura 34. Resultados diferencias aves rapaces. Diferencia menor coste (arriba-izquierda), valor corredor (arriba-derecha), cuellos de botella (abajo-izquierda), y barreras (abajo-derecha)

Los resultados son semejantes a los obtenidos para las aves planeadoras, no obstante, atendiendo a la ganancia de valor de corredores, se observa que la cantidad de nuevos corredores generados es mucho mayor, y de tamaño variable.

5.- Discusión

5.1.- Situación actual

La situación actual para la provincia de Teruel muestra que la red de espacios de la Red Natura 2000 puede permitir por sí misma la conexión relativamente eficaz para los distintos grupos estudiados. Por supuesto, esta conexión viene a ser diferente según el grupo de estudio, así como los cuellos de botella y barreras.

El área sur de la provincia (desde el Sur del río Turia) tiene buen valor como corredor, y las áreas más estrechas entre los polígonos de la RN se constituyen por lo general como los corredores de mayor importancia para la provincia. Así se indica en Rodríguez *et al.* (2018) no sólo para la provincia, sino también para el territorio nacional.

En el resto de la provincia, hay una red de conectores en dirección S-N que conectan el área sur con los distintos polígonos de la RN del Maestrazgo, del río Martín, y Parameras de Campo Visiedo; áreas a partir de las cuales se conectan el resto de polígonos de la RN con los extremos Oeste, Norte y Este de la provincia. No obstante, el oeste puede conectarse también con el sur a través de un corredor que es de gran importancia para las esteparias, que no es más que seguir los campos de cultivo dispuestos alrededor del río Jiloca.

La autovía en el entorno de Singra-Torrelacárcel supone una barrera destacable. Esto es porque no sólo porque supone una barrera actual para las aves forestales y mamíferos, y así se muestra en Rodríguez *et al.* (2018); sino porque, en caso de que los corredores del sector central se vean comprometidos por los nuevos parques eólicos, este corredor teóricamente cobraría importancia (especialmente para las aves forestales), y por lo tanto se agravaría el efecto barrera que se produce en el mismo.

Las infraestructuras viarias, a excepción de la autovía y el ferrocarril, no parecen constituir un problema importante para la conectividad ecológica. Esto se debe a:

- Presentar un valor relativamente bajo de superficie de fricción (valor de 100), como consecuencia del aforo medio que estas carreteras tienen.
- La provincia tiene una densidad de 0,34 km/km² de red viaria, y se encuentra relativamente lejos del umbral crítico de densidad de infraestructuras, de 0,6 km/km² (Forman y Alexander, 1998).

Los corredores ecológicos en la actualidad constituyen, en general, las áreas más estrechas que separan unos polígonos de otros de la RN, a no ser que entre ellos haya barreras destacables como parques eólicos, grandes superficies de campos de cultivo intensivo e infraestructuras. A estas áreas se suman los bosques de ribera para aves forestales y mamíferos, y las laderas para las planeadoras. Estas áreas, sobre todo los bosques de ribera, y pasos bajos para mamíferos constituyen cuellos de botella sobre los cuales resultaría beneficioso actuar, por ejemplo ensanchando los corredores en los puntos más críticos, o “naturalizando” los pasos bajos transformándolos en pasos de fauna, para facilitar así el tránsito de los animales. También se debe considerarse llevar a cabo estas mismas acciones en las barreras de mayor entidad detectadas.

A este respecto, la relativa escasez de superficies completamente arboladas, especialmente en el sector central y norte de la provincia, hace que los corredores ecológicos para mamíferos y aves forestales sean poco numerosos. Estos grupos tratan de aprovechar las áreas más adecuadas para desplazarse, aunque éstas no sean muy favorables y así podemos ver como los alrededores de la ciudad de Teruel aparecen como corredor para estas especies. No obstante, este resultado es discutible, pues en este trabajo no se tiene en cuenta que los alrededores de los núcleos urbanos pueden tener un efecto de rechazo para estos grupos, aumentándose el valor de fricción.

En el caso concreto de las aves esteparias sabemos que, al tener unos requerimientos para el desplazamiento muy específicos, son muchas las dificultades que encuentran para desplazarse a lo largo de la provincia. En el extremo norte y centro-occidental, con grandes extensiones de cultivos de secano, se encuentran las mejores áreas o hábitats que permiten la conservación de estas especies. Por ello, conviene conservar estas áreas, y procurar que las prácticas agrícolas seguidas sean las menos nocivas posibles para este grupo.

Por último, señalar que en el caso de las cuevas y simas del norte del área de la RN del Maestrazgo y Gúdar, si bien pueden constituir unos nodos de conexión entre estos polígonos y el correspondiente al río Martín, los resultados para mamíferos, planeadoras y rapaces indican que esta área constituye igualmente un corredor de cierta entidad.

Finalmente, los valores de área núcleo indican que los polígonos de mayor tamaño, y que conectan a mayor cantidad de superficies, tienen valor para la red de corredores ecológico en la provincia.

En definitiva, los corredores identificados en el trabajo deberían ser en primer lugar protegidos con alguna figura de protección; entonces, se procedería a confirmar que estos corredores están siendo usados efectivamente por animales (usándose fototrampeo, emisores de radiofrecuencia, etc.). Finalmente, una vez corroborado, deberían ser integrados en una infraestructura verde que conecte la RN en la provincia.

5.2.- Efectos de instalación de parques eólicos

Desde el punto de vista teórico la instalación de nuevos parques eólicos no solo genera efectos negativos para la conectividad ecológica en el área en el que se ubican, sino también en los alrededores. Y si estos polígonos están dispuestos interfiriendo un corredor de cierta importancia, se generan cambios en el mismo, y en la red inmediata. Más adelante en este apartado se explica esta última afirmación.

A la vista de los resultados de las diferencias entre la situación posterior a la construcción de los parques eólicos proyectados y la actual, se puede interpretar que en el momento en que aparecen nuevas “barreras”, tales como estas infraestructuras, pueden surgir dos casuísticas:

1. El corredor sigue transcurriendo por el mismo lugar y, por ende, esta área aparece con un aumento del efecto barrera en los resultados, debido al aumento del coste de desplazamiento. Dentro de esta misma área, los animales seleccionarían como corredores aquellas áreas en las que estas barreras estén menos presentes. Si estos corredores no tienen la suficiente amplitud, constituyen cuellos de botella.

2. El corredor es desplazado a otra área, de tal manera que ésta gana valor como superficie de menor fricción, de corredor prioritario, y aparecen barreras y cuellos de botella en mayor o menor medida (dependiendo de las particularidades del terreno). Al mismo tiempo, el área que deja de ser corredor pierde valor en los cuatro parámetros: barrera, cuellos de botella, de corredor prioritario, y ruta de mínimo coste.

Atendiendo a los resultados de valor del corredor y barreras, se puede concluir que en todos los casos, salvo en el caso de los polígonos eólicos del Maestrazgo-Cuencas mineras (que generan la primera situación), los polígonos eólicos van a suponer una barrera total, obligando a las especies estudiadas a desplazarse de un polígono de la RN a otro por otros entornos.

Observando, mediante un rápido análisis visual, el resultado para la situación actual se puede decir que los parques eólicos que mayor repercusión negativa van a presentar a la conectividad de la RN en Teruel son aquellos dispuestos en el extremo norte de la provincia. El impacto de los situados en el área dispuesta justo al norte de la ZEC de la Sierra de Fonfría es especialmente importante para las aves esteparias, planeadoras y rapaces. Los parques eólicos anexos a la provincia de Zaragoza únicamente afectarían a los corredores utilizados por las aves esteparias. No obstante, el corredor para este grupo comprendido entre las Cuencas mineras y el Jiloca tiene un valor intermedio con respecto al resto grupos (ver Figura 19).

Los cambios en el valor y ubicaciones de los corredores ecológicos se traducen en un detrimento del valor de distintos polígonos de la RN. Así, por ejemplo, los polígonos 21 y 24, correspondientes a los ZECs de Castelfrío - Mas de Tarín, y la ZEPA Parameras de Alfambra respectivamente, son los que más valor van a perder al estar ubicados entre zonas que se verían ocupadas por parques eólicos.

Con respecto a la afirmación que se hace al principio de este apartado, los resultados para las aves forestales muestran que la implantación en grandes superficies de nuevos parques eólicos entre los polígonos de la RN en el eje N-S de la provincia, produce que dicho eje mantenga menor importancia como corredor, y nuevas áreas subóptimas, con peores condiciones para las aves forestales que el corredor original, ganen importancia y lo reemplacen. Este es el caso indicado en las Figura 31 y Figura 35.

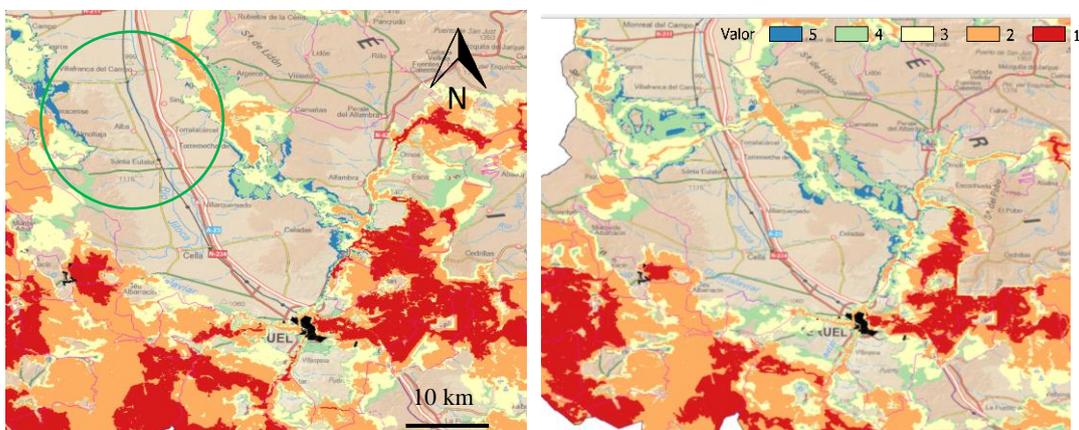


Figura 35. Cambio en la red de corredores para aves forestales (izquierda situación actual, y derecha situación posterior a instalación parques eólicos). Destaca el cambio en el área indicada

Finalmente, teniendo en cuenta que los aerogeneradores generan efecto barrero a las aves, y que estas instalaciones son además un elemento causante de mortalidad por colisión con las aspas, resulta conveniente tener en cuenta cuál es la red de corredores ecológicos en la actualidad, para así minimizar el impacto que tengan los parques eólicos en la avifauna. Desde el punto de vista teórico, este trabajo evidencia el riesgo que suponen los parques eólicos proyectados para la avifauna en la provincia de Teruel.

6.- Conclusiones

En el presente trabajo se ha podido evaluar desde el punto de vista teórico la conectividad ecológica actual para los grupos de mamíferos y aves en la provincia de Teruel en base a la Red Natura 2000. En este sentido se ha comprobado que:

1. El extremo sur y este de la provincia constituye un área que facilita el desplazamiento de las especies afines al ámbito forestal, tales como mamíferos terrestres y aves forestales. Por otro lado, las aves esteparias se desplazarían de forma más eficaz en el extremo norte y oeste de la provincia.
2. Las barreras antropogénicas a destacar son los parques eólicos ubicados entre los polígonos de la Red Natura 2000, y los distintos tramos de la autovía A-23, en combinación además con la línea ferroviaria y las amplias extensiones de cultivos de secano.
3. Los cuellos de botella son diferentes para cada grupo, y coinciden con los pasos bajos de las infraestructuras para los mamíferos, los bosques de ribera para aves forestales y mamíferos, y las laderas deforestadas para las aves planeadoras.

Por otra parte, se ha podido demostrar el efecto que supondría la instalación de nuevas infraestructuras eólicas sobre la conectividad de la Red Natura 2000 en la provincia de Teruel, pues la construcción de estas nuevas plantas de generación de energía renovable, ocasionarían un importante efecto negativo en aquellos lugares que en la actualidad se muestran como buenos corredores ecológicos. Este impacto negativo, puede dar lugar a:

- Un desplazamiento del corredor a los alrededores del parque eólico, obligando a los animales a desplazarse por áreas menos favorables
- El mantenimiento del corredor, ocasionando un mayor coste de desplazamiento.

Se ha observado, que estos efectos pueden ser locales o bien pueden causar un impacto en la red global de corredores, añadiendo nuevos en áreas menos favorables en detrimento de unos corredores previos ubicados en áreas favorables que dejan de serlo.

7.- Bibliografía

Alcántara de la Fuente, M. -coord- (2007). Catálogo de Especies Amenazadas en Aragón. Fauna (Gobierno de Aragón. Departamento de Medio Ambiente (ed.)).

Ambiente, M., Rural, M., Nacionales, P., La, I., Outlook, O. E., Fragmentation, L., Europea, A. y Espa, E. (2013). Indicador de fragmentación de hábitat por infraestructuras lineales de transporte. 2009–2011.

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

Bennett, A.F. (1998, 2003). Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. xiv + 254 pp.

Bravo, M., Tarrero, A., Bravo, D., Copete, M., Gonzáles, J., Machimbarrena, M. y García, L. (2008). Impacto acústico de los parques eólicos y su evolución. *Acústica*.

Brazuelo Núñez, J. (2020). Evaluacion de la conectividad ecologica y priorizacion de áreas para la gestión de hábitats en el parque regional del sureste (Madrid).

Campedelli, T., Londi, G., Gioia, G. La, Frassanito, A. G. y Florenzano, G. T. (2015). Steppes vs. crops: Is cohabitation for biodiversity possible? Lessons from a national park in southern Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 213, 32–38.

Cao, Y., Yang, R. y Carver, S. (2020). Linking wilderness mapping and connectivity modelling: A methodological framework for wildland network planning. *Biological Conservation*, 251, 108679.

Collinge, S. K. (1996). Ecological consequences of habitat fragmentation: Implications for landscape architecture and planning. *Landscape and Urban Planning*, 36(1), 59–77.

Colyn, R. B., Ehlers Smith, D. A., Ehlers Smith, Y. C., Smit-Robinson, H. y Downs, C. T. (2020). Predicted distributions of avian specialists: A framework for conservation of endangered forests under future climates. *Diversity and Distributions*, 26(6), 652–667.

Consejería del medio ambiente y ordenación del territorio. (2018). Plan Director Para La Mejora De La Conectividad Ecológica En Andalucía. *Áreas Estratégicas Para La Mejora De La Conectividad Ecológica*, 3–4.

Crego, R. D., Wells, H. B. M., Ndung'u, K. S., Evans, L., Njeri Nduguta, R., Chege, M. A., Brown, M. B., Ogutu, J. O., Ojwang, G. O., Fennessy, J., O'Connor, D., Stacy-Dawes, J., Rubenstein, D. I., Martins, D. J., Leimgruber, P. y Stabach, J. A. (2021). Moving through the mosaic: identifying critical linkage zones for large herbivores across a multiple- use African landscape. *Landscape Ecology*, 36(5), 1325–1340.

Davy, C. M., Ford, A. T. y Fraser, K. C. (2017). Aeroconservation for the Fragmented Skies. *Conservation Letters*, 10(6), 773–780.

de Lucas Castellanos, M. (2007). *Aves y parques eólicos. Efectos e interacciones*. Universidad Autónoma de Madrid.

Drewitt, A. L. y Langston, R. H. W. (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis*, 148, 29–42.

entsoe. (2019). *Interconnected network of Continental Europe 2019*. <https://www.entsoe.eu/data/map/downloads/>

- Eycott, A. E., Stewart, G. B., Buyung-Ali, L. M., Bowler, D. E., Watts, K., y Pullin, A. S. (2012). A meta-analysis on the impact of different matrix structures on species movement rates. *Landscape Ecology*, 27, 1263–1278.
- Fahrig, L.; Merriam, G. (1985). Habitat patch connectivity and population survival. *Ecology*, 66, 1762–1768.
- Feng, H., Li, Y., Li, Y. Y., Li, N., Li, Y., Hu, Y., Yu, J., y Luo, H. (2021). Identifying and evaluating the ecological network of Siberian roe deer (*Capreolus pygargus*) in Tieli Forestry Bureau, northeast China. *Global Ecology and Conservation*, 26, e01477.
- Fischer, J., Lindenmayer, D. B. y Manning, A. D. (2006). Biodiversity, ecosystem function, and resilience: Ten guiding principles for commodity production landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(2), 80–86.
- Fňukalová, E., Zýka, V. y Romportl, D. (2021). The network of green infrastructure based on ecosystem services supply in central Europe. *Land*, 10(6).
- Forman, R. T. T. y Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 207–231.
- Gobierno de Aragón. (n.d.). *Plan de gestión de la Red Natura 2000. “Listado de espacios naturales.”* Recuperado el 20 de septiembre de 2021 de <http://aplicaciones.aragon.es/prw/pages/planes/menuEspacio.xhtml>
- Gómez Catasús, J., Garza, V., Morales, M. B. y Traba, J. (2019). Hierarchical habitat-use by an endangered steppe bird in fragmented landscapes is associated with large connected patches and high food availability. *Scientific Reports*, 9(1), 1–12.
- Gómez Catasús, J., Garza, V. y Traba, J. (2018). Wind farms affect the occurrence, abundance and population trends of small passerine birds: The case of the Dupont’s lark. *Journal of Applied Ecology*, 55, 2033–2042.
- Gray, M., Micheli, E., Comendant, T. y Merenlender, A. (2020). Quantifying climate-wise connectivity across a topographically diverse landscape. *Land*, 9(10), 1–18.
- Gurrutxaga, M. (2012). Red de corredores ecológicos de Euskadi: 7 años de integración en la planificación territorial. *Ecosistemas*, 21(3), 113–114.
- Gurrutxaga, M., Lozano, P. J. y del Barrio, G. (2010). GIS-based approach for incorporating the connectivity of ecological networks into regional planning. *Journal for Nature Conservation*, 18(4), 318–326.
- Gurrutxaga, Mikel. (2008). Evidencias sobre la eficacia de los corredores ecológicos: ¿Solucionan la problemática de fragmentación de hábitats? *Observatorio Medioambiental*, 11(0), 171-183–183.
- Gurrutxaga, Mikel. (2011). La gestión de la conectividad ecológica del territorio en España: Iniciativas y retos. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 225–244.
- Gurrutxaga, Mikel, Rubio, L. y Saura, S. (2011). Key connectors in protected forest area networks and the impact of highways: A transnational case study from the Cantabrian Range to the Western Alps (SW Europe). *Landscape and Urban Planning*, 101(4), 310–320.
- Gurrutxaga San Vicente, M. y Lozano Valencia, P. J. (2010). Causas de los procesos territoriales de fragmentación de hábitats. *Lurralde: Investigacion y Espacio*, 33, 147–158.

- Gurrutxaga San Vicente, M. (2004). *Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad. Nuevas perspectivas en Ecología del Paisaje y Ordenación territorial*.
- Gurrutxaga San Vicente, Mikel. (2007). *La conectividad de redes de conservación en la planificación territorial con base ecológica. Fundamentos y aplicaciones en la Comunidad Autónoma del País Vasco*.
- Gurrutxaga San Vicente, Mikel. (2014). Categorización de corredores ecológicos en función de su contribución a la conectividad de la red Natura 2000. Implicaciones para la ordenación del territorio. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología*, 68–84.
- Gurrutxaga San Vicente, Mikel, y Lozano Valencia, P. (2009). La integración de la conectividad ecológica en los instrumentos de ordenación y planificación territorial: una revisión. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 49, 45–66.
- Gurrutxaga San Vicente, Mikel, y Lozano Valencia, P. J. (2007). Criterios para contemplar la conectividad del paisaje en la planificación territorial y sectorial. *Investigaciones Geográficas*, 44, 75.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., Lovejoy, T. E., Sexton, J. O., Austin, M. P., Collins, C. D., Cook, W. M., Damschen, E. I., Ewers, R. M., Foster, B. L., Jenkins, C. N., King, A. J., Laurance, W. F., Levey, D. J., Margules, C. R., ... Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), 1–10.
- Hernández Galvez, G., Pampillón González, L. y Hernández Almenares, L. (2019). Impactos Ambientales De La Energía Eólica. *Kuxulkab*, 24(50), 15.
- Hötker, H., Thomsen, K.-M. y Jeromin, H. (2006). Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats - facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation. In Michael-Otto-Institut im NABU (Ed.), *Michael-Otto-Institut im NABU, Berghusen*.
- Iuell, B., Bekker, G. J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., Hlaváček, V., Keller, V. B., Rosell, C., Sangwine, T., Tørsløv, N. y Wandall, B. le M. (2003). *COST 341. Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure. Wildlife and traffic. A European Handbook for identifying conflicts and designing solutions (COST 341)*. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Road and Hydraulic Engineering division. <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/conectividad-fragmentacion-de-habitats-y-restauracion/default.aspx>
- Knaapen, J. P., Scheffer, M. y Harms, B. (1992). Estimating habitat isolation in landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 23(1), 1–16.
- Kwon, O. S., Kim, J. H. y Ra, J. H. (2021). Landscape ecological analysis of green network in urban area using circuit theory and least-cost path. *Land*, 10, 847.
- Lacadena Arzac, M. (2019). *Evaluación y análisis de la conectividad ecológica de bosques maduros aplicado a la marta (Martes martes) como especie de interés en la provincia de Álava*.
- Laforteza, R., Davies, C., Sanesi, G. y Konijnendijk, C. C. (2013). Green infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. *IForest*, 6(1), 102–108.

- Langston, R. H. W. y Pullan, J. D. (2003). Windfarms and Birds: an analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. *Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, CONVENTION*, 58.
- Leibenath, M., Blum, A. y Stutzriemer, S. (2010). Transboundary cooperation in establishing ecological networks: The case of Germany's external borders. *Landscape and Urban Planning*, 94(2), 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.08.002>
- Lim, H. Y., Gardner, P. C., Abram, N. K., Yusah, K. M. y Goossens, B. (2021). Identifying habitat and understanding movement resistance for the Endangered Bornean banteng *Bos javanicus lowi* in Sabah, Malaysia. *Oryx*, 55(1), 122–130.
- Marques, A. T., Santos, C. D., Hanssen, F., Muñoz, A. R., Onrubia, A., Wikelski, M., Moreira, F., Palmeirim, J. M. y Silva, J. P. (2020). Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds. *Journal of Animal Ecology*, 89(1), 93–103.
- Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008). Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte). *Geofocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 0(8), 44–60.
- Martínez Vega, J. y Echevarría Daspel, P. (2013). Propuesta inicial de una red ampliada de Áreas Protegidas en España peninsular bajo el enfoque de su conexión con la matriz territorial. *Investigaciones Geográficas*, 60, 53.
- Marull, J. y Mallarach, J. M. (2002). La conectividad ecológica en el Área Metropolitana de Barcelona. *La Conectividad Ecológica En El Área Metropolitana de Barcelona*, 11(2), 8.
- McRae, B. H., y Kavanagh, D. M. (2011). Linkage mapper connectivity analysis software. *The Nature Conservancy*.
- Medina Ibáñez, R. y Ballarín Ferrer, D. (2018). La conectividad ecológica de los espacios protegidos. Estudio de caso: Lugares de Importancia Comunitaria en la comarca del Bajo Aragón. *Zaragoza*, 2018–2019. <https://pdfs.semanticscholar.org/def5/7d1f16f271995bfb5fdc085165b76d5a3677.pdf>
- Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. (2013a). Desfragmentación de hábitats. Orientaciones para reducir los efectos de las infraestructuras de transporte en funcionamiento. In *Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte* (p. 159). <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/conectividad-fragmentacion-de-habitats-y-restauracion/default.aspx>
- Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. (2013b). Identificación de áreas a desfragmentar para reducir los impactos de las infraestructuras lineales de transporte en la biodiversidad. In *Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte* (Documentos, p. 260). Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/conectividad-fragmentacion-de-habitats-y-restauracion/default.aspx>

- 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. In *Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte* (p. 149). <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/conectividad-fragmentacion-de-habitats-y-restauracion/default.aspx>
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Agencia Estatal de Meteorología, y Instituto de Meteorología de Portugal. (2011). Atlas climático ibérico: temperatura del aire y precipitación (1971-2000). In *Atlas climático ibérico: temperatura del aire y precipitación (1971-2000)*.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Estrategia nacional de infraestructura verde y de la conectividad y restauración ecológicas* (p. 249). https://www.miteco.gob.es/images/es/borradoreivcre_infopublica_tcm30-497133.PDF
- Múgica de la Guerra y Marta Gómez-Limón García, J., -coord-. (2002). *Plan de Acción para los Espacios Naturales Protegidos del Estado español*. EUROPARC-España.
- Mullu, D. (2016). A Review on the Effect of Habitat Fragmentation on Ecosystem. *Journal of Natural Sciences Research*, 6(15).
- Nikolakaki, P. (2004). A GIS site-selection process for habitat creation: Estimating connectivity of habitat patches. *Landscape and Urban Planning*, 68(1), 77–94.
- Pascual Hortal, L., y Saura Martínez de Toda, S. (2008). Integración de la conectividad ecológica de los bosques en los instrumentos de planificación forestal a escala comarcal y regional. *Revista Montes*, 94, 31–37.
- Percival, S. (2005). Birds and windfarms: What are the real issues? *British Birds*, 98(1), 194–204.
- Ruiz-González, A., M, G., Madeira, M. J., Lozano, P. J., Fernández-García, J. M., y Gómez-Moliner, B. J. (2010). *Estudio de la conectividad ecológica en la CAPV. Genética del Paisaje aplicada sobre una especie-objetivo de la Red de Corredores Ecológicos: la marta europea (Martes martes)*.
- Sánchez Castilla, E., Báguena, G., Antor, R. J., Longares, L. A., y Espejo, F. (2006). *Análisis de viabilidad de la reintroducción del quebrantahuesos (Gypaetus barbatus) en el Parque Nacional de los Picos de Europa*.
- Santos, T.; Tellería, J. L. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat : efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 2, 3–12.
- Sastre, P., de Lucio, J. V. y Martínez, C. (2002). Modelos de conectividad del paisaje a distintas escalas. Ejemplos de aplicación en la Comunidad de Madrid. *Modelos de Conectividad Del Paisaje a Distintas Escalas. Ejemplos de Aplicación En La Comunidad de Madrid*, 11(2), 7.
- Saunders, D. A., Hobbs, R. J., y Margules, C. R. (1991). Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. *Conservation Biology*, 5(1), 18–32.
- Saura, S., Bertzky, B., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A. y Dubois, G. (2019). Global trends in protected area connectivity from 2010 to 2018. *Biological Conservation*, 238(August), 108183.

Shi, J., Li, X., Dong, S., Zhuge, H. y Mu, Y. (2018). Trans-boundary conservation of Chiru by identifying its potential movement corridors in the alpine desert of Qinghai-Tibetan Plateau. *Global Ecology and Conservation*, 16.

Singleton, P. H., Gaines, W. L. y Lehmkuhl, J. F. (2002). Landscape permeability for large carnivores in Washington: A geographic information system weighted-distance and least-cost corridor assessment. *USDA Forest Service - Research Papers RMRS*, 549, 1–89.

Su, X., Liu, S., Dong, S., Zhang, Y., Wu, X., Zhao, H., Zhao, Z. y Sha, W. (2015). Effects of potential mining activities on migration corridors of Chiru (*Pantholops hodgsonii*) in the Altun National Nature Reserve, China. *Journal for Nature Conservation*, 28, 119–126.

Sus, R. (2018). *AEROGENERADORES: puntos negros en Aragón, especies de aves más afectadas y análisis de diferentes variables relacionadas con las colisiones de la avifauna*.

Terrones, B. y Bonet, A. (2014). Diseño de una red de corredores ecológicos para carnívoros forestales en la Comunidad Valenciana. *XVI Congreso Nacional de Tecnologías de La Información Geográfica*.

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.

Van Der Sluis, T., Bloemmen, M. H. I., Baveco, H., Bouwman, I. M., Van Der Gref, J., Groot Bruinderink, G., Higler, B., Kuipers, H., Lammertsma, D., Ottburg, F. G. W. A., Smits, N., Van Swaay, C. y Van Wingerden, W. K. R. E. (2004). European corridors : example studies for the Pan-European Ecological Network : background document. *Alterra-repport 1087*.

Vidal Vallés, D. (2014). Análisis de los atropellos de fauna silvestre producidos en la Comunidad Autónoma de Aragón (2012–2014). *Zaguan.Unizar.es*, 157.

Wilson, M. C., Chen, X. Y., Corlett, R. T., Didham, R. K., Ding, P., Holt, R. D., Holyoak, M., Hu, G., Hughes, A. C., Jiang, L., Laurance, W. F., Liu, J., Pimm, S. L., Robinson, S. K., Russo, S. E., Si, X., Wilcove, D. S., Wu, J., y Yu, M. (2016). Habitat fragmentation and biodiversity conservation: key findings and future challenges. *Landscape Ecology*, 31(2), 219–227.

Rodríguez, G., Mateo Sánchez, M. C., de la Fuente Martín, B., Gastón González, A., Saura Martínez, S. Gurrutxaga, M. (2018). *Autopistas salvajes*. Madrid

Zhang, Y. y Song, W. (2020). Identify ecological corridors and build potential ecological networks in response to recent land cover changes in Xinjiang, China. *Sustainability (Switzerland)*, 12(21), 1–23.

Zhou, D. y Song, W. (2021). Identifying ecological corridors and networks in mountainous areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18.