



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Propuesta metodológica para el análisis de la pérdida de conectividad debido a planes y proyectos en un espacio de la Red Natura 2000: La propuesta ZEPA “Campiñas de Sevilla”.

Autor: Juan José González López

Institución: Consultor en Espacios Naturales Protegidos.
E-mail: natura2m@hotmail.com



RESUMEN:

En el documento se expondrá la metodología necesaria para generar un modelo predictivo que permita evaluar, a los efectos del artículo 6 de la directiva Hábitats, la pérdida de conectividad y calidad del hábitat debido a la ejecución de determinados planes o proyectos, así como su impacto acumulativo con los ya existentes, con el propósito de aportar resultados cuantitativos que fundamenten la decisión por parte de la Consejería de Medio Ambiente. Para cuantificar objetivamente los distintos escenarios a los que se enfrentan los hábitats de Natura 2000, se parte de experiencias previas en el análisis de la incidencia de la implantación de infraestructuras en el territorio, la delimitación de corredores ecológicos, modelos estadísticos de distribución de especies, modelos estadísticos de distribución de hábitats y, en nuestro caso, de la abundante información de la avutarda. Los modelos de conectividad proporcionan mapas de distancias de coste o resistencia que representan el esfuerzo o la dificultad (resistencia al paso de los organismos o de las especies) que supone para una especie alcanzar cada punto del territorio desde los puntos de origen. Para lograr el mapa de resistencia o conectividad se utiliza la aplicación ARCGIS 'Cost Distance', basada en los análisis de mínimo coste (least-cost analysis) derivado de la teoría de grafos. El modelo se alimenta con dos capas: un mapa de coberturas en formato raster con un valor de resistencia para cada cuadrícula (mapa de cobertura final) y un mapa con los puntos de análisis objeto de estudio (avistamientos de avutarda). El resultado es una capa en formato raster en la que cada cuadrícula muestra el valor del coste de resistencia al desplazamiento acumulado desde los puntos de análisis. Como caso de estudio, se analizará la viabilidad de la población de avutarda de la futura ZEPA 'Campiñas de Sevilla', situada en la parte suroriental de la provincia, frente a distintas actividades con incidencia en el territorio cuya creciente demanda genera notables incertidumbres acerca de la influencia en la capacidad de acogida del medio.

1. INTRODUCCIÓN

A. RED NATURA 2000

Natura 2000 es la red de espacios naturales protegidos a escala de la Unión Europea creada en virtud de la Directiva 92/43/CEE sobre Hábitats con objeto de salvaguardar los parajes silvestres más importantes de Europa. Se compone de Zonas Especiales de Conservación (ZEC) declaradas por los Estados miembros con arreglo a la Directiva Hábitats y, además, de Zonas Especiales de Protección para las Aves (ZEPA) que se designan de acuerdo con la Directiva 79/409/CEE sobre Aves. La culminación de la transposición de estas Directivas al ordenamiento jurídico español se plasma en la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

Las listas de LIC y ZEPA están en constante proceso de actualización para adaptarse a la evolución de las necesidades de conservación de hábitat y especies, pero también para solventar la insuficiente representación de algunos hábitats y especies de interés comunitario en la red existente (MMA, 2008). En este sentido, destacan por la baja atención que han recibido hasta el momento los medios abiertos o pseudoesteparios, probablemente debido a su escasa consideración desde el punto de vista tradicional de paisaje y al estar tan ligados a distintas actividades económicas (Bernáldez, Abelló & Gallardo, 1989; CMA, 2006).

Consciente de estas carencias, se inició el procedimiento de la Comisión de las Comunidades Europeas contra el Reino de España, sobre el asunto C-235/04, recogiendo que “*El Reino de España ha incumplido las obligaciones que le incumben (...) de la Directiva 79/409/CEE, al no haber declarado como ZEPA territorios suficientes en superficie en las CCAA de Andalucía, Baleares y Canarias, y territorios suficientes en número en las CCAA de Andalucía, Baleares, Canarias, Castilla-La Mancha, Cataluña, Galicia y Valencia para ofrecer una protección a todas las especies de aves enumeradas en el anexo I de esta Directiva, así como para las especies migratorias no contempladas en dicho anexo*”. En el caso de Andalucía, la Comisión alega que no ha designado Zonas suficientes para diversas especies, entre las que destaca la avutarda (*Otis tarda*), sisón (*Tetrao tetrix*), aguilucho cenizo (*Circus pygargus*) y cernícalo primilla (*Falco naumanni*).

De este modo, con fecha 26 de diciembre de 2006 se inicia el procedimiento de designación de dos Zonas de Especial Protección para las Aves denominadas “Campiñas de Sevilla” y “Alto Guadiato” (Córdoba), que cubrían las deficiencias observadas por la Comisión, emplazando a los interesados a la consulta y participación en el proceso de declaración. Tras un prolongado proceso, el 1 de septiembre de 2008 se publicó el Decreto 429/08, de 29 de julio, por el que se declaran las ZEPA “Campiñas de Sevilla” y “Alto Guadiato”, cuya delimitación es fruto de los trabajos llevados a cabo por el Museo Nacional de Ciencias Naturales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas¹, dentro del programa de conservación y seguimiento de las aves esteparias en Andalucía, puesto en marcha por la Consejería de Medio Ambiente en el año 2003.

¹ El equipo del Doctor Juan Carlos Alonso delimitó en su estudio “La población de avutardas de Andalucía: análisis de su estado de fragmentación, capacidad dispersiva y plan de recuperación” (MNCN-CSIC, 2005) una serie de nueve Áreas Importantes, zonas con hábitat adecuado en las que sobreviven ejemplares adultos, una de ellas, denominada “Campiñas de Écija-Osuna” sirvió como base para la delimitación actual de la ZEPA.



Estas ZEPAs recogen los dos territorios más importantes de la Comunidad Autónoma, tanto para avutarda común como para sisón, a la vez que incluyen poblaciones importantes de aguilucho cenizo y cernícalo primilla.

Durante este proceso, el hábitat ocupado por estas aves en las campiñas sevillanas de Osuna, Écija y Marchena ha sufrido importantes transformaciones agrícolas, anticipándose a posibles restricciones que en este sentido pudiera acarrear su declaración, y con el trasfondo de la progresiva pérdida de rentabilidad de los cultivos herbáceos de secano (González, 2007). A este fenómeno de implantación de cultivos intensivos, sobre todo, de olivar en regadío, se han unido numerosas propuestas de tendidos eléctricos, líneas férreas de alta velocidad, instalaciones de energía solar y eólica, carreteras e industrias de varios tipos, cuya afección se ha evaluado atendiendo a los objetivos de conservación del Espacio Natural. Conscientes de esta realidad, la confección final del Decreto advierte entre sus objetivos que se procurará evitar la fragmentación del hábitat de forma que no se vea comprometida la viabilidad de las poblaciones de aves esteparias objeto de conservación y entre otros conceptos establece una serie de zonas sensibles, cuyo papel se evalúa más adelante.

B. MARCO PREVENTIVO EN LUGARES NATURA 2000

Para evitar el deterioro de los Lugares o la alteración de las especies que los habitan, los Espacios Natura 2000 requieren una consideración especial cuando se aborda en su entorno cualquier plan o proyecto. El enunciado del artículo 6, apartados 3 y 4, de la Directiva Hábitats, establece las necesidades específicas que son de aplicación en el proceso de planificación y aprobación de actuaciones en el entorno de todos los lugares Natura 2000. De esta forma, la Administración Ambiental está obligada a evaluar de una manera apropiada las actuaciones y decidir sobre la idoneidad de su ejecución en función de los posibles efectos en estos lugares y en la coherencia global de la red ecológica que conforman (MMA, 2008).

La Ley 42/2007 recoge en los artículos 45.4 y 45.5 el contenido del 6.3 y 6.4 de la Directiva Hábitats, ampliando algunas cuestiones referidas al interés público de primer orden, de la siguiente forma:

4. Cualquier plan, programa o proyecto que, sin tener relación directa con la gestión del lugar o sin ser necesario para la misma, pueda afectar de forma apreciable a los citados lugares, ya sea individualmente o en combinación con otros planes o proyectos, se someterá a una adecuada evaluación de sus repercusiones en el lugar, que se realizará de acuerdo con las normas que sean de aplicación, de acuerdo con lo establecido en la legislación básica estatal y en las normas adicionales de protección dictadas por las Comunidades autónomas, teniendo en cuenta los objetivos de conservación de dicho lugar. A la vista de las conclusiones de la evaluación de las repercusiones en el lugar y supeditado a lo dispuesto en el apartado 5 de este artículo, los órganos competentes para aprobar o autorizar los planes, programas o proyectos solo podrán manifestar su conformidad con los mismos tras haberse asegurado de que no causará perjuicio a la integridad del lugar en cuestión y, si procede, tras haberlo sometido a información pública.

5. Si, a pesar de las conclusiones negativas de la evaluación de las repercusiones sobre el lugar y a falta de soluciones alternativas, debiera realizarse un plan, programa o proyecto por razones imperiosas de interés público de primer orden, incluidas razones de índole social o económica, las Administraciones Públicas competentes tomarán cuantas medidas compensatorias sean necesarias para garantizar que la coherencia global de Natura 2000 quede protegida. La concurrencia de razones imperiosas de interés público de primer orden sólo podrá declararse para cada supuesto concreto mediante una ley o mediante acuerdo del Consejo de Ministros, cuando se trate de planes, programas o proyectos que deban ser aprobados o autorizados por la Administración General del Estado, o del órgano de Gobierno de la Comunidad autónoma.

En el caso de que sea probable la interferencia entre las actuaciones proyectadas y las funciones ecológicas que confieren a los lugares Natura 2000 su valor especial, el procedimiento de EIA deberá adaptarse para cubrir los requisitos específicos que marca el artículo 6(3) de la Directiva Hábitats (Art. 45.4 de la Ley de Patrimonio Natural) para la evaluación (MMA, 2008). Si finalmente es así, la noción de «apreciable», especificado en el artículo 45.4 de la Ley de Patrimonio Natural, debe interpretarse con objetividad, teniendo en cuenta la situación actual del espacio afectado. Además, a la hora de determinar la probabilidad de efectos apreciables, debe considerarse también la combinación de otros planes o proyectos para tener en cuenta los impactos acumulativos (Comisión Europea, 2000).

Por todo lo expuesto, desde el momento en que se confirma que no hay certeza de que no se produzcan efectos negativos y significativos apreciables se deberá realizar obligatoriamente una evaluación adecuada, con su correspondiente Estudio Específico de Afecciones a la RN2000, aplicando por tanto, el principio de cautela o precaución², puesto que los objetivos de conservación de deben prevalecer en caso de incertidumbre.

Una vez explicados los conceptos clave en el contexto de la evaluación adecuada a los objetivos de los apartados 3 y 4 del artículo 6 de la Directiva Hábitats, para establecer de manera apropiada la afección y determinar si es apreciable, han de ser considerados los siguientes aspectos (MMA, 2008):

- Elección de los métodos más avanzados de evaluación y de predicción, así como las mejores fuentes de información.
- Identificación de todas las actividades del plan/proyecto y sus posibles efectos (directos, indirectos e inducidos) sobre los objetivos del lugar y sobre las estructuras y funciones que determinan su integridad.
- Cuantificación de la pérdida de superficie del lugar, de la reducción de las poblaciones de especies, y del impacto sobre los hábitats y las especies clave.
- Impactos posibles sobre el lugar a causa de perturbaciones, fragmentación, cambios químicos, y otros factores de impacto indirecto.

La descripción de los cambios posibles, causados o inducidos por la ejecución del plan/proyecto, y que pudieran derivar en efectos negativos y significativos en un Lugar

² Comunicación de la Comisión, de 2 de febrero de 2000, sobre el recurso al principio de precaución [COM (2000) 1 final - no publicada en el Diario Oficial]. El principio de precaución puede invocarse cuando es urgente intervenir ante un posible peligro para la salud humana, animal o vegetal, o cuando éste se requiere para proteger el medio ambiente en caso de que los datos científicos no permitan una determinación completa del riesgo. (Fuente: <http://europa.eu/scadplus/leg/es/lvb/l32042.htm>)

Natura 2000, deberá realizarse de acuerdo con las siguientes variables (MMA, 2008):

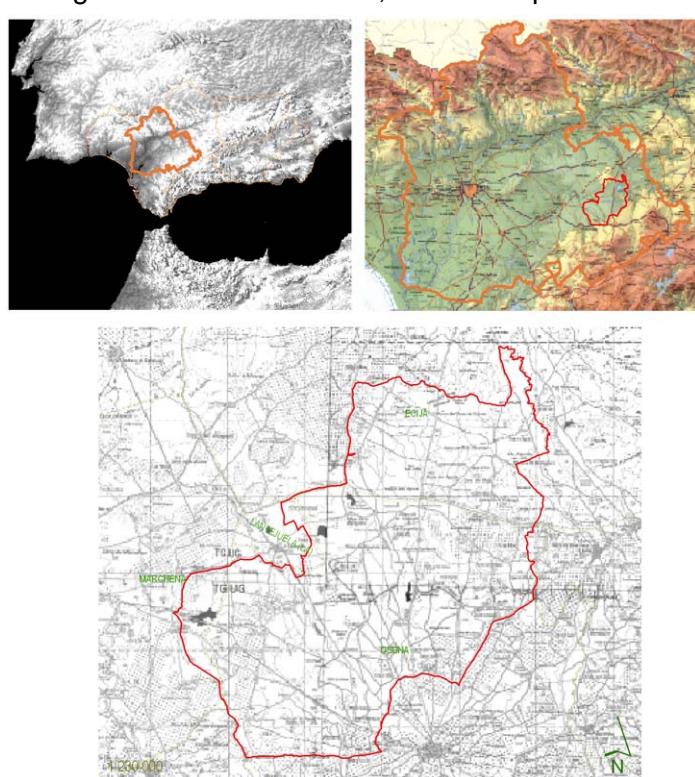
- Reducción de la superficie de los hábitats.
- Perturbación de las especies de fauna y flora clave.
- Fragmentación de los hábitats o de las comunidades y/o poblaciones de especies.
- Reducción de la densidad de las poblaciones de especies.
- Identificación de Indicadores clave de conservación que permitan determinar estado y evolución de la situación.
- Interferencias con las relaciones clave que determinan la estructura y la función del sitio.

De los aspectos considerados, aquéllos que presentan mayor dificultad de análisis están relacionados con la fragmentación, puesto que su apreciación no es fácil de determinar, pues dependen de las especies y poblaciones a conectar, pueden ser lineares y continuas: ríos, riberas, sotos; o discontinuas: pequeños estanques, fragmentos de áreas arboladas o pueden producirse a través de una matriz territorial heterogénea y permeable, como es el caso de las campiñas para las aves esteparias.

C. CASO DE ESTUDIO: LA ZEPA “CAMPÍAS DE SEVILLA”

La Zona de Especial Protección para las Aves “Campiñas de Sevilla” se encuentra en la parte sur-oriental de la provincia de Sevilla. Las 35.735 hectáreas protegidas pertenecen a los Términos Municipales de Osuna (67,64 % de la superficie total), Écija (26,88 %), Marchena (4,12 %) y La Lantuejuela (1,36 %), e incluye al Complejo Endorreico de La Lantuejuela, declarado como Reserva Natural, y clasificada como Zona de Especial de Protección para las Aves (Código ES 6180002). Asimismo, esta Zona también alberga la Laguna de Ruiz Sánchez, humedal que alcanzaba una superficie aproximada de 360 ha

antes de ser desecada en los años 60 para su puesta en cultivo, y que ha sido adquirida recientemente por la Junta de Andalucía para su restauración.



El hábitat que predomina en la zona de estudio es la pseudoestepa cerealista. Éstas constituyen un modelo de paisaje que engloba a aquellos territorios llanos o levemente ondulados, dedicados en su mayoría a cultivos herbáceos en secano, en los que el cereal es predominante en la alternancia de cultivos (González, 2007).

Figura 1: Localización de la ZEPA “Campiñas de Sevilla”

Los elementos por los que se ha declarado la ZEPA son las especies de aves incluidas en el anexo I de la Directiva Aves. De este modo, cuenta con el principal núcleo reproductor de avutarda (*O. tarda*) de Andalucía, con unos 80-100 individuos reproductores, sobre un total de 350-360 estimado para Andalucía, así como, importantes poblaciones reproductoras de sisón (*T. tetraz*) con 80-100 individuos reproductores, ganga ortega (*P. orientalis*), alcaraván (*B. oedicnemus*), aguilucho cenizo (*C. pygargus*) y cernícalo primilla (*F. naumannii*), lo que completa un espacio muy notable en cuanto a la representación de aves esteparias, con representación de la práctica totalidad de las especies propias del ecosistema en el occidente andaluz.

En la tabla 1, se muestran los censos aproximados de las especies más significativas de la ZEPA “Campiñas de Sevilla”, de las que sólo la avutarda (En peligro de extinción) y el aguilucho cenizo (Vulnerable) se desmarcan de la categoría De Interés Especial en la que se clasifican el resto según el Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas aprobado por la Ley 8/2003, de 28 de octubre, de la Flora y la Fauna Silvestres de Andalucía:

Código	ESPECIE ESTEPARIA	REPR	INV
A129	Avutarda común	<i>Otis tarda</i>	80-100 i
A128	Sisón común	<i>Tetraz tetrax</i>	80-100 i
A084	Aguilucho cenizo	<i>Circus pygargus</i>	25-30 p
A095	Cernícalo primilla	<i>Falco naumanii</i>	30-35 p
A133	Alcaraván común	<i>Burhinus oedicnemus</i>	>1000 i
A420	Ganga ortega	<i>Pterocles orientalis</i>	>10 p
A231	Carraca europea	<i>Coracias garrulus</i>	5-10 p
A242	Calandria	<i>Melanocorypha calandra</i>	C 500-1000 i
A245	Cogujada montesina	<i>Galerida theklae</i>	P -
A279	Collalba negra	<i>Oenanthe leucura</i>	P -
A255	Bisbita campestre	<i>Anthus campestris</i>	P -
A135	Canastera común	<i>Glareola pratincola</i>	>50-60 p -
A399	Elanio azul	<i>Elanus caeruleus</i>	15-20 p -
A082	Aguilucho pálido	<i>Circus cyaneus</i>	- P
A127	Grulla común	<i>Grus grus</i>	- 25-50 i

Tabla 1. Análisis de los elementos clave para la gestión del espacio, indicando el código asignado a cada especie en el Anexo I de la Directiva Aves, así como el censo reproductor e invernal de cada una.

Por último, se considera interesante hacer referencia a la invernada de un pequeño número de grullas comunes (*Grus grus*), así como la utilización del espacio por individuos jóvenes en fase de dispersión pertenecientes a las tres especies de grandes águilas ibéricas: perdicera (*Hieraaetus fasciatus*), real (*Aquila chrysaetos*) e imperial (*A. adalberti*).

Hasta el momento, el futuro de las aves esteparias, protagonistas de esta Zona, era bastante incierto. Aunque con la Declaración de la ZEPA, muchas amenazas van a remitir, la separación entre el ciclo agrícola y su fenología, unido a la elevada dependencia que presentan a las actividades agrícolas, les sigue situando en una posición muy peligrosa, en cuanto a lo que su conservación a medio-largo plazo se refiere (González, 2007). A ello se le añaden los cambios de cultivos herbáceos de secano, dada su menor rentabilidad frente a los cultivos de olivar en regadío en un cercano escenario no subvencionado.

De los factores analizados en la tabla 2, uno de los más importantes son los tendidos eléctricos. Su efecto negativo sobre las especies de la ZEPA, especialmente sobre la avutarda, es evidente. De hecho, en la actualidad, la causa más importante de mortalidad no natural de avutardas adultas, debido a su reducida maniobrabilidad en vuelo, son las colisiones con tendidos eléctricos (Alonso, 2004). Por ello, la señalización de los tendidos existentes, el soterramiento de los tendidos en proyecto y el análisis de alternativas en cuanto a la electrificación rural se refiere, son uno de los ejes fundamentales para la gestión del Espacio.

En cuanto al efecto derivado de las instalaciones de aprovechamiento de la energía renovable, podemos añadir a la pérdida directa de hábitat que suponen, las posibles perturbaciones a ejemplares reproductores causadas por las obras de construcción de las plantas, carreteras y líneas de evacuación y, en el caso de las eólicas, por el funcionamiento de los aerogeneradores; la posibilidad de mortalidad, de especies de aves en ciertas condiciones, por colisión contra aerogeneradores y placas solares, o por incineración con el haz de luz de las torres solares (Mcgrary, 1986).

Amenazas	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración parcelaria	x	x	x		x		x	x
Recolección temprana	x			x				
Regadío			x	x	x		x	x
Roturación				x			x	
Cultivos leñosos			x				x	
Biocidas	x	x	x	x	x	x		x
Plantaciones forestales						x		x
Caza ilegal				x			x	
Drenaje humedales							x	
Eliminación construcciones			x					x
Tendidos eléctricos				x		x		
Atropellos						x		
Presión urbanística / industrial	x		x	x		x	x	
Depredación de nidos				x	x	x	x	

Tabla 2. Principales amenazas con las que se enfrentan las aves esteparias en la actualidad. 1.– Aguilucho cenizo; 2.– Cernícalo primilla; 3.– Sisón común; 4.– Avutarda común; 5.– Alcaraván común; 6.– Canastera común; 7.– Ganga ortega; 8.– Carraca común.

En el Decreto 429/08 mencionado anteriormente se delimitan las zonas sensibles para la conservación de las aves esteparias (ver figura 2) por abarcar las áreas de exhibición, apareamiento, nidificación y cría. Por lo tanto, en el régimen de autorizaciones establecido, la atención sobre estas zonas es todavía mayor, por lo que deben estar presentes en la evaluación en todo momento.

Figura 2: Zonas sensibles de la ZEPA “Campiñas de Sevilla”



2. OBJETIVOS

El objetivo final de este trabajo consiste en la elaboración de una herramienta relativamente sencilla que permita a la Administración ambiental aproximarse, en los plazos establecidos, a una evaluación objetiva de la fragmentación que sufriría un Lugar Natura 2000 debido a la implantación de determinados proyectos, con el propósito de contribuir a la adecuada evaluación de sus repercusiones.

Como caso de estudio, se analizará la pérdida de conectividad de la ZEPA “Campiñas de Sevilla” frente a distintas actividades con incidencia territorial. Para lograrlo, es necesario:

- Generar el Mapa de Fragmentación Actual, como punto de partida para la determinación como apreciable del efecto que pretendemos cuantificar, que determine la capacidad de desplazamiento de las especies en la matriz territorial de partida.
- Elaborar distintos Modelos de Situación Futura del Hábitat como análisis demostrativos de la pérdida de conectividad del hábitat debido a las actividades que se pretenden implantar en el territorio teniendo en cuenta el escenario actual.

3. METODOLOGÍA

Los cambios de uso de suelo pueden afectar en gran medida a la capacidad de dispersión de las especies, dando lugar a procesos de fragmentación de las poblaciones y los consiguientes problemas para su conservación (Sastre, De Lucio y Martínez, 2002).

Para cuantificar objetivamente los distintos escenarios a los que se enfrentan los hábitats de Natura 2000 frente a determinados planes y proyectos, se parte de experiencias previas en el análisis de la incidencia de la implantación de infraestructuras en el territorio (Malo, Suárez & Díez, 2004; Pellet, Guisan & Perrin, 2004; Mallarach, J. M., 2004; Sastre, de Lucio & Martínez, 2002), la delimitación de corredores ecológicos (Pascual-Hortal & Saura, 2006; Gurrutxaga, M., 2005; CMA, 2003), modelos estadísticos de distribución de especies (Brotons et al, 2004; Bustamante & Seoane, 2004; Ferreras et al, 2001; Edith et al, 2006; Guisan et al, 2006; Lobo & Hortal, 2003; Osborne & Suárez-Seoane, 2002; Seoane & Bustamante, 2001; Seoane & Carrascal, 2007), modelos estadísticos de



distribución de hábitats (Barry & Edith, 2006; Seoane et al, 2006; Suarez-Seoane & Baudry, 2002) y, en nuestro caso, de la abundante información sobre la avutarda y otras aves esteparias de la ZEPA (MNCN-CSIC, 2005; Osborne, Alonso & Bryant, 2001; Suárez-Seoane, Osborne & Alonso, 2002, Basoalto & González, 2008).

La aplicación de modelos de conectividad para el estudio de los procesos ecológicos y la dispersión de las especies constituye una herramienta de gran utilidad para la planificación y gestión de los recursos naturales, dado que ponen de manifiesto las áreas críticas de conexión entre las teselas de mayor calidad (*Borja, 2006*).

Los modelos de conectividad proporcionan mapas de distancias de coste o resistencia que representan el esfuerzo o la dificultad (resistencia al paso de los organismos o de las especies) que supone para una especie alcanzar cada punto del territorio desde los puntos de origen. (*Villalba et al, 1998; With, 1997; Gustafson & Gardner, 1996; With &*

Crist, 1995; Ims, 1995). Con diferentes versiones, el método ha sido utilizado en diversos estudios y trabajos de diseño de corredores faunísticos (*Borja, 2006*) y su idoneidad en la modelización de la conectividad del paisaje ha sido destacada por diversos autores (*Ferreras, 2001; Adriaensen et al, 2003*).

Para lograr el mapa de resistencia se utiliza la aplicación ARCGIS “Cost Distance”, basada en los análisis de mínimo coste (*least-cost analysis*). El modelo se alimenta con dos capas: un mapa de coberturas en formato raster con un valor de resistencia para cada cuadrícula (mapa de cobertura final) y una serie de puntos de análisis objeto de estudio (ver figura 4). El resultado es una capa en formato raster en la que cada cuadrícula muestra el menor valor del coste de resistencia al desplazamiento acumulado desde los puntos de análisis.

Uno de los retos más importantes del proyecto ha sido recopilar la información disponible sobre las variables que caracterizan el sistema (variables predictoras o independientes). En la elección de estas variables (ver tabla 3) se ha tenido en cuenta la disponibilidad de capas digitales susceptibles de análisis con SIG y el grado de homogeneización de las mismas.

Tras recopilar la información relevante, debemos procesarla para poder alimentar el modelo. Para ello es preciso intersectar las capas a la zona de estudio, fijar la proyección de trabajo (*European Datum 1950 UTM 30N*) y homogeneizar la información poligonal. Para convertir la cartografía lineal en poligonal se establecieron áreas de influencia o buffers con distinta extensión según su influencia en los valores del espacio. En este sentido, se asumió que el efecto de los tendidos eléctricos (20m) era mayor que el de los caminos (2,5 m) y carreteras (5 m) (*Gaea & Gerald, 2003*).

Para el análisis es necesario, por un lado, estructurar las distintas variables atendiendo a la función que desarrollan en el modelo y, por otro, actualizar la información de la capa de usos y coberturas de 2003 con las infraestructuras lineales cartografiadas en detalle en el mapa topográfico 1:10.000 y las nuevas actividades implantadas en el territorio desde su edición, para fijar el mapa de fragmentación actual (*Ferreras, 2001*). De esta forma, se modificaron las extensiones originales de los usos y coberturas, intersectando las capas vectoriales consideradas como parte del territorio (Carreteras, Caminos, nuevos olivares de regadío, entre otros).

Los valores de fricción o resistencia al desplazamiento (R) representan el coste o la dificultad que supone para una especie desplazarse por los distintos tipos de hábitat, de esta forma, aumentos en las distancias de coste suponen una reducción de la conectividad. Los valores de resistencia se han asignado a cada categoría del mapa en función de su afección sobre la avutarda, como especie paraguas de los requerimientos ecológicos del resto de aves esteparias de la zona, descrita en la información bibliográfica existente (Adriaensen et al, 2003; Seoane, Bustamante & Díaz-Delgado, 2005). El coste de desplazamiento a través de una cuadrícula determinada es igual a 1 unidad en los cultivos de herbáceos en secano, mientras que en las barreras (actividades urbanas) el desplazamiento tiene un coste de 99 unidades por cada cuadrícula (Sastre, De Lucio y Martínez, 2002; Osborne, Alonso & Bryant, 2001).

Los valores de resistencia (R), el porcentaje superficial de cada variable simplificada en la ZEPA así como la procedencia de los datos utilizados se presentan en la tabla 3:

CÓDIGO	R	SUP (%)	USOS Y COBERTURAS ORIGINALES (COD_UC)
v_1 Actividades humanas	99	2,14	Urbanizaciones residenciales (115), urbanizaciones agrícolas/residenciales (117), zonas industriales y comerciales (121), autovías, autopistas y enlaces varios (131), escombreras y vertederos (153), otras carreteras (buffer 5m) y líneas eléctricas (buffer 20m)
v_2 Cultivos herbáceos secano	1	69,71	Cultivos herbáceos en secano (411) y Cultivos herbáceos (461)
v_3 Cultivos leñosos secano	25	9,76	Olivar (415), Otros cultivos leñosos en secano (419), cultivos leñosos y vegetación natural leñosas (477) y olivar de nueva implantación.
v_4 Mosaico herbáceos secano	8	0,85	Cultivos herbáceos y leñosos en secano (441) y cultivos no regados (429)
v_5 Cultivos herbáceos regadio	20	3,72	Otros cultivos herbáceos regados (425), regados y no regados (427), parcialmente regados o no regados (430).
v_6 Cultivos leñosos regadio	30	10,42	Olivar intensivo de nueva implantación (Datos de campo)
v_7 Forestal	35	0,05	Formaciones arboladas densas de eucaliptos (530), matorral disperso arbolado otras frondosas (740), matorral disperso con pastizal (915), matorral disperso con pasto y roca o suelo (917) y roquedos y suelo desnudo (932)
v_8 Zonas adehesadas	5	0,59	Cultivos herbáceos arbolado quercíneas disperso (895), pastizal arbolado quercíneas disperso (815), Cultivos herbáceos arbolado quercíneas denso (891), pastizal arbolado quercíneas denso (811).

v_9 Pastizal	10	0,53	Pastizal con claros roca suelo (925) y pastizal continuo (921).
v_10 Cauces y humedales	12	1,93	Balsas de riego y ganaderas (345), ríos y cauces naturales otras formas riparias (317), ríos y cauces naturales bosques galería (315), canales artificiales (321), lagunas continentales (331)
v_11 Caminos y vías pecuarias	45	0,30	Vías pecuarias y caminos (buffer 2,5 m)

Tabla 3. Usos y coberturas que integran las variables simplificadas v_1,...v_11, en la que se indican los valores de resistencia (R) asignados para el análisis de conectividad, la procedencia de la variable (cod_uc) (CMA, 2005); en cursiva se muestran las variables que actualizan la información de los usos y coberturas.

La conectividad del paisaje depende no sólo de las especies consideradas y de los criterios de asignación de valores de resistencia, sino también de la escala espacial de análisis y de las fuentes de información utilizadas. Por ello es necesario que la escala de análisis del modelo permita diferenciar las teselas de menor tamaño, que suelen coincidir con infraestructuras lineales (Sastre, De Lucio y Martínez, 2002). Siguiendo este criterio, el tamaño seleccionado para cada celda ha sido de 5x5 m, de esta forma se podrán recoger al completo los matices de las variables que se expresan a escalas de detalle (Adriaensen *et al*, 2003; Seoane *et al*, 2005). (ver figura 3)

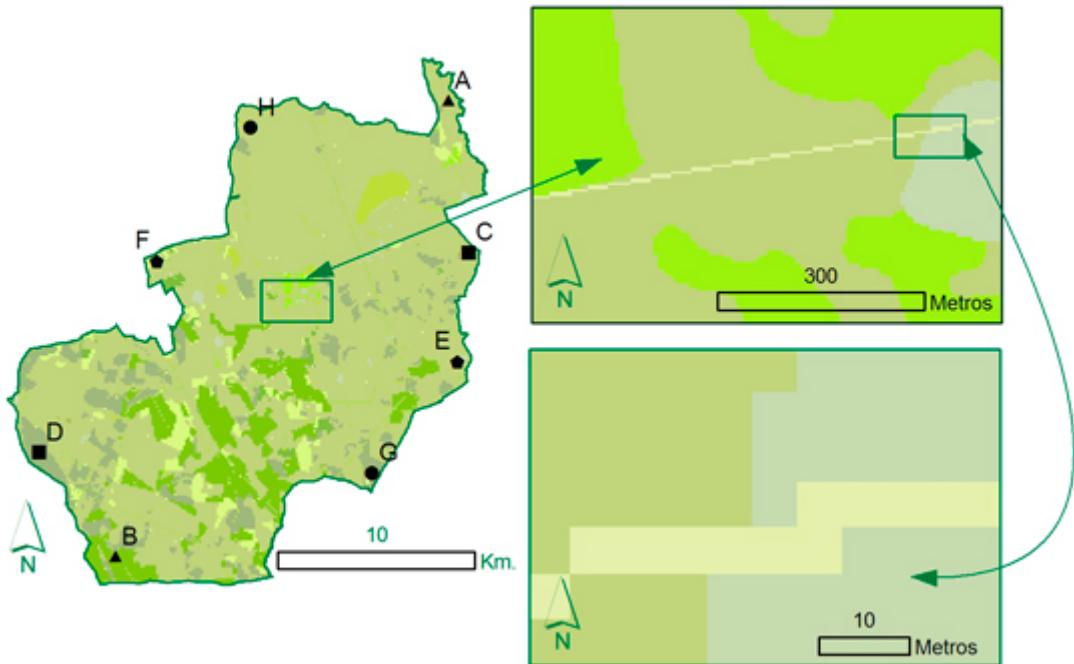
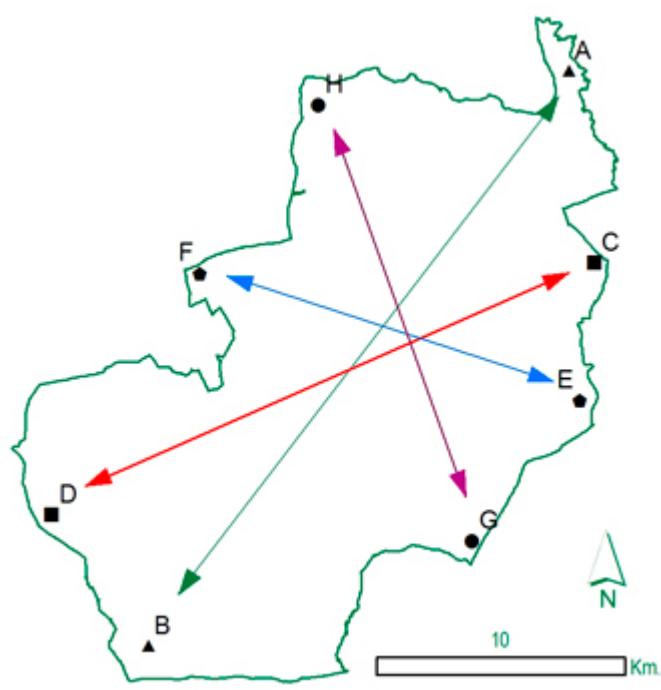


Figura 3: Ilustración de la escala de detalle seleccionada para el estudio (5x5 m).

I. Aplicación de “Cost Distance”.



Frente a la utilización de puntos al azar sobre la zona de estudio u otras alternativas descritas en la bibliografía (Sastre, De Lucio y Martínez, 2002; Basoalto & González, 2008), en esta ocasión se ha optado como puntos de origen y destino en el análisis de conectividad 8 puntos (A, B, C, D, E, F, G y H) que pudieran describir la heterogeneidad espacial de la ZEPA, sin estar relacionado directamente con ningún valor ambiental de zona. De este modo, se pretende no influir en los resultados finales, realizando cuatro análisis de distancia de coste, calculando posteriormente los valores medios para cada cuadrícula de los resultados obtenidos en cada modelización. Este proceso se expresa cartográficamente en la figura 5.

Figura 4: Selección de los puntos de origen - destino empleados en el estudio.

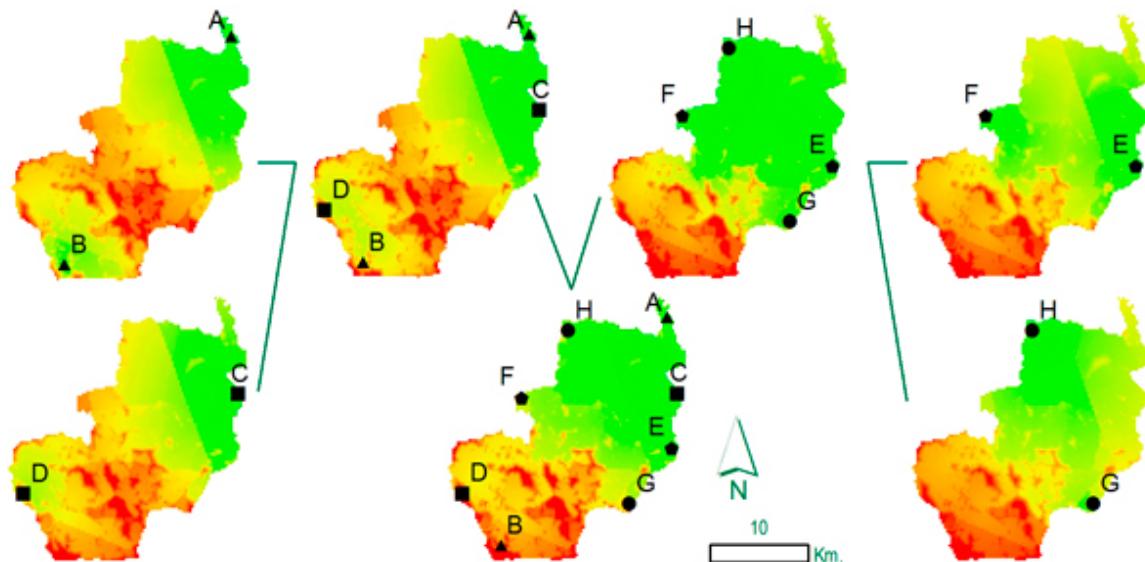
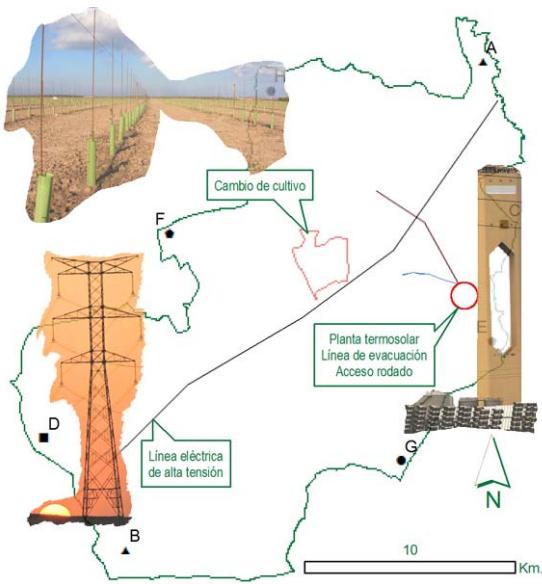


Figura 5: Procedimiento de análisis dos a dos realizado para la obtención del mapa de distancias de coste actual de la ZEPA “Campiñas de Sevilla” (Basoalto & González, 2008).

Una vez fijada la situación actual, mediante el mapa de fragmentación “actual”, se

procede a la inclusión de la información cartográfica correspondiente a supuestos que puedan suponer un deterioro en el hábitat. Concretamente se ha optado por incluir en el análisis el efecto sinérgico de la implantación de:



- **Supuesto 1.** Línea eléctrica de alta tensión de 27 kilómetros de longitud, que recorre en su mayor parte zonas sensibles.
- **Supuesto 2.** Planta termosolar de tecnología de torre, con una superficie a ocupar de 125 hectáreas, incluyendo 2,5 kilómetros de acceso asfaltado a la planta y 6 kilómetros de línea de evacuación hasta su conexión a la red. Fuerza de zona sensible.
- **Supuesto 3.** Cambio de cultivo a olivar intensivo, ocupando alrededor de 525 hectáreas de cultivos herbáceos de secano y zonas adehesadas. En zona sensible.

Figura 6: Ubicación de los casos de estudio analizados.

Esta nueva información se integrará en las variables correspondientes, según se ha establecido en el protocolo explicado anteriormente, es decir, las líneas eléctricas y el área afectado por la planta solar pasará a la variable 1 “actividades humanas” y el cambio de cultivo pasará a la variable 6 “cultivos leñosos en regadío” (Basoalto & González, 2008).

Una vez incluida se procede a su conversión en formato raster y a la cuantificación de las distancias de coste en los puntos seleccionados, obteniendo finalmente, el mapa de fragmentación “futura” para cada supuesto. Para obtener el mapa de incremento de fragmentación se deben restar (mediante la herramienta ArcGis “Minus”) los valores de cada cuadrícula en los distintos supuestos contemplados.

	“Minus” →		Pérdida →	
---	--------------	---	--------------	---

Figura 7: Resultado del proceso “Minus” para una matriz tipo.

4. RESULTADOS

Como producto del desarrollo metodológico expuesto con anterioridad, se han obtenido los siguientes resultados parciales y globales:

Intervalo		Escenario (Costes de desplazamiento)			
		Actual	Supuesto_1	Supuesto_2	Supuesto_3
A-B	Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0
	Máximo	58541,1	59018,2	76650,7	58541,1
	Media	23875,7	25750,1	24234,6	24086,0
	Desv_típica	9242,9	9590,9	9303,6	9367,0
C-D	Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0
	Máximo	66409,8	69882,0	66409,8	66409,8
	Media	19724,2	21004,7	19952,1	19910,7
	Desv_típica	9663,4	10112,7	9611,3	9708,2
E-F	Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0
	Máximo	77130,1	80594,9	77130,1	77130,1
	Media	19728,6	20869,9	19762,2	19865,7
	Desv_típica	11010,9	11812,9	10983,6	11016,0
G-H	Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0
	Máximo	83784,8	87249,6	83784,8	83784,8
	Media	23045,9	24172,6	23072,8	23157,8
	Desv_típica	12840,9	13570,3	12840,1	12800,0
GLOBAL	Mínimo	9374,4	10914,8	9374,4	9374,4
	Máximo	66458,1	69068,5	72240,6	66468,1
	Media	21173,2	22534,1	21401,5	21397,6
	Desv_típica	8674,3	8938,6	8630,6	8715,8
$\Delta FRAGM$	Mínimo	-	0,0	0,0	0,0
	Máximo	-	4827,3	61780,6	29973,0
	Media	-	1360,9	228,3	224,4
	Desv_típica	-	897,7	1421,3	1523,1

Tabla 4: Resultados estadísticos generados en las distintas etapas del estudio.

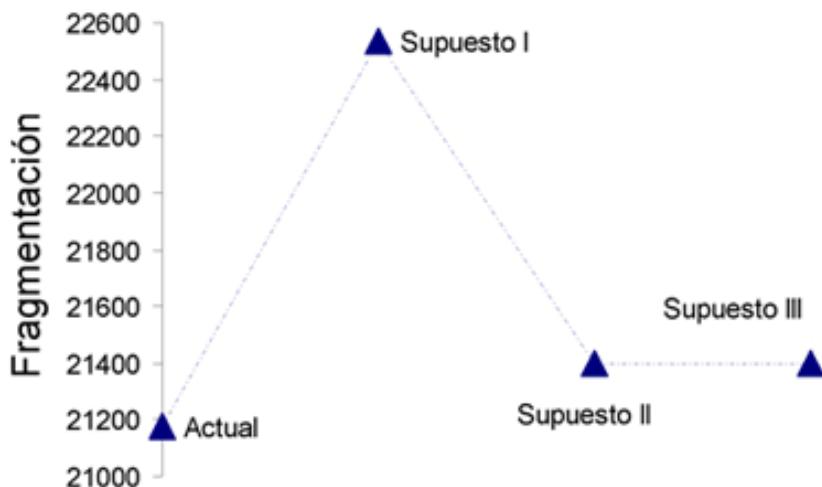


Figura 8: Representación gráfica de los valores medios para cada supuesto contemplado de las distancias de coste o fragmentación en la ZEPA “Campiñas de Sevilla”.

A continuación se muestran los valores obtenidos en el histograma de frecuencias de las cuadrículas analizadas para cada punto de origen-destino en los distintos supuestos. El histograma muestra en el eje de abcisas, los valores de las cuadrículas de entrada (eje x), estando los valores más altos de fragmentación a la izquierda, y el número de cuadrículas de cada valor en el eje de las ordenadas (eje y):

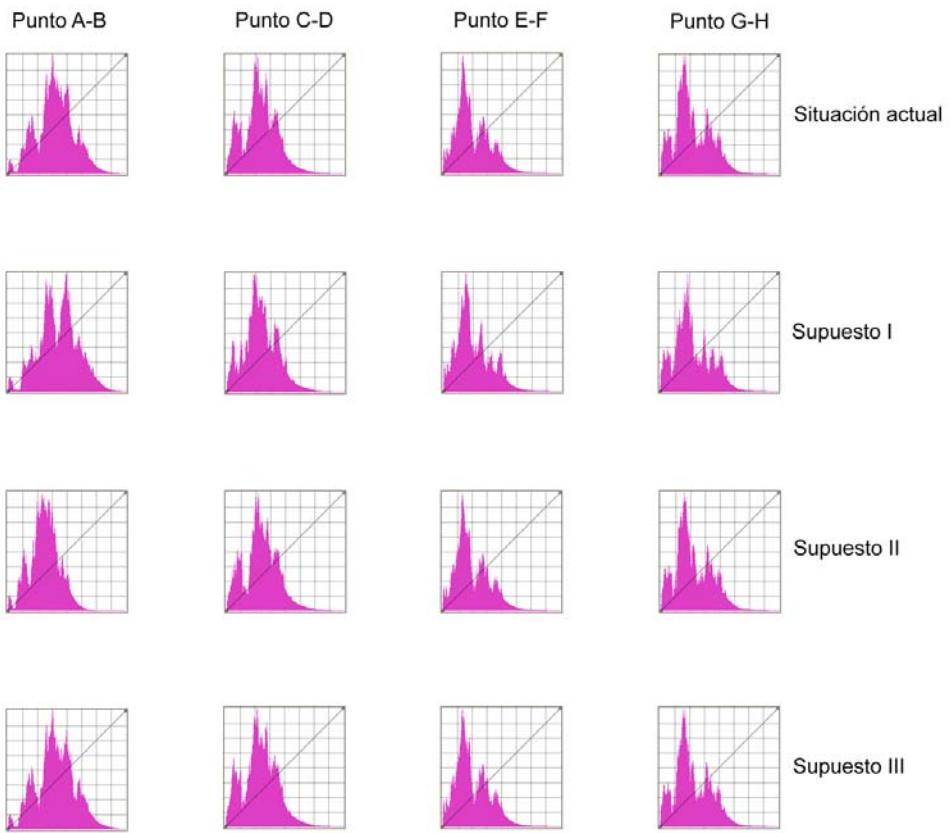


Figura 9: Histogramas de frecuencia de los valores parciales del análisis “cost distance”.

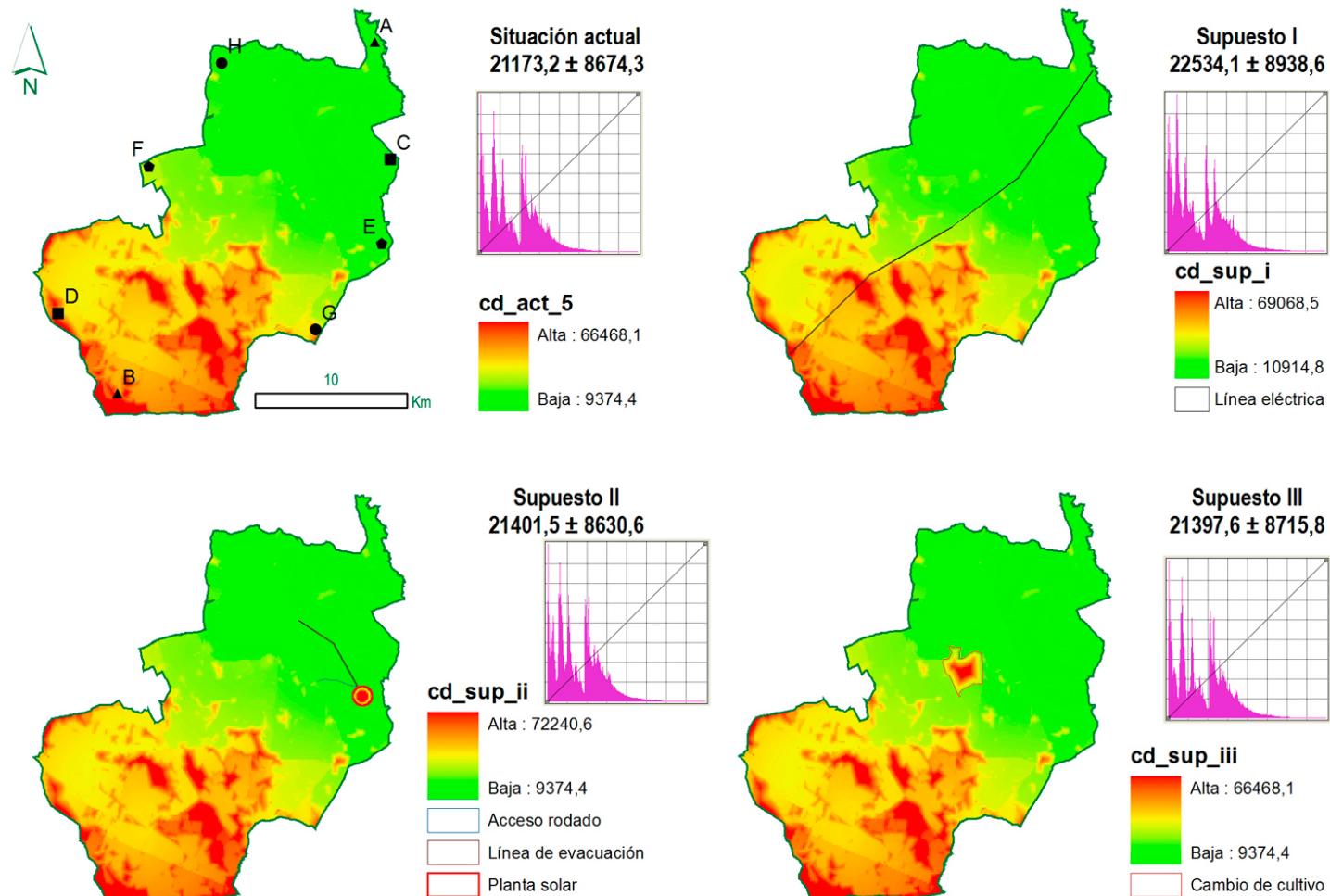


Figura 10: s de fragmentación (o distancia de coste) ante los supuestos contemplados
(I: Línea eléctrica de alta tensión; II: Central solar e infraestructuras asociadas; III: Cambio de cultivo)

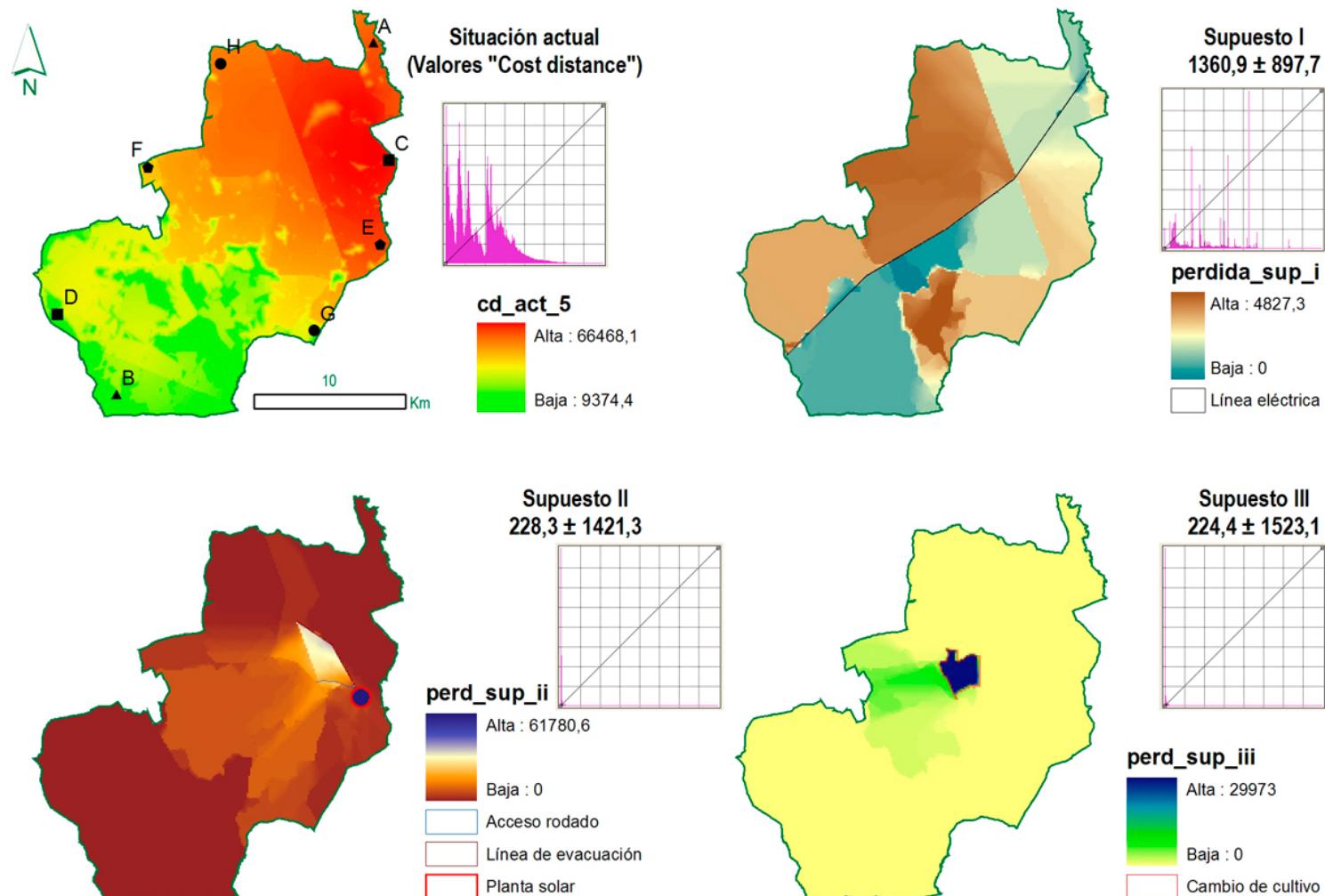


Figura 11: Mapas de incremento de fragmentación debido a la implantación de las actividades proyectadas.



5. DISCUSIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA

El presente trabajo pretende aportar una metodología, de elaboración simple y rápida, que permita verificar cuantitativamente la pérdida de conectividad en Lugares Natura 2000 debido a la posible implantación de planes y proyectos.

Con el propósito de facilitar la labor de análisis, se parte de bases de información estandarizadas y procesadas que facilitan enormemente su utilización, prescindiendo de otras fuentes que, si bien representan con mayor fidelidad la realidad territorial existente, se alejan del usuario medio en sistemas de información geográfica. Para mejorar nuestra base de partida, ha sido necesario completar, homogeneizar y seleccionar las coberturas utilizadas, con objeto de caracterizar el territorio de la manera más realista posible, complementándola con muestreos de campo, imprescindible en sistemas dinámicos como el que nos ocupa.

En cuanto a la *metodología* llevada a cabo en el análisis de conectividad, cabe decir que, la herramienta GIS “Cost-Distance” permite calcular los valores de resistencia al desplazamiento de la especie tipo entre los puntos de análisis, de una forma relativamente sencilla, que permitiría su uso común por parte de las Administraciones Ambientales.

En cuanto a la asignación de los valores de resistencia (R) mediante criterio de experto, pese a que se basa en decisiones parcialmente subjetivas, supone una asunción básica en el modelo, favoreciendo la simplificación que se pretende alcanzar con esta metodología.

Los resultados obtenidos en los mapas de distancia de coste varían notablemente dependiendo la elección de los puntos de origen – destino utilizados (Basoalto & González, 2008). Por este motivo, se ha optado por cubrir mediante cuatro diagonales la zona de estudio, para calcular posteriormente los valores medios para cada cuadrícula, comparando la información obtenida dos a dos. Se ha confirmado que de este modo se amortigua el papel de los puntos de análisis como zonas de elevada conectividad, que no tienen necesariamente que coincidir con la realidad.

Las escalas de análisis utilizadas han permitido contemplar aquellas variables que, pese a no tener una extensión considerable en el territorio, son claves para la selección del hábitat de la especie (p. e. tendidos eléctricos y carreteras).

La selección de los casos de estudio, tendido eléctrico y central solar, se ha basado en la necesidad de testar los modelos atendiendo a la naturaleza de la variable, lineal o poligonal, y a su pertenencia a un grupo determinado de variables, 1 “actividades humanas” y 6 “cultivos leñosos en regadío”.

6. CONCLUSIONES DE LOS VALORES OBTENIDOS EN LA ZONA DE ESTUDIO

Tras analizar los resultados obtenidos en el estudio se comprueba:

- El área de estudio seleccionado se presenta como un observatorio perfecto, dada la confluencia entre un elevado dinamismo socioeconómico y la presencia de especies de aves esteparias amenazadas, entre las que destaca la avutarda común (*Otis tarda*), como especie paraguas de la mayor parte de los requerimientos de las especies que lo acompañan en la ZEPA “Campiñas de Sevilla”.
- La predominancia de las herbáceas en secano en los usos y coberturas de la zona, posibilita la conectividad entre las zonas sensibles delimitadas en el Decreto 429/08, destacando como influencia negativa las zonas de regadío y de infraestructuras lineales. Asimismo, se confirma el avance que, en términos de fragmentación, ha sufrido la zona sur de la ZEPA debido al avance de los cultivos intensivos de olivar en regadío. Por su parte, la zona norte mantiene unos niveles altos de conectividad.
- En cuanto al supuesto I, la línea de alta tensión que recorre diagonalmente la zona de estudio, destaca el aumento moderado de la fragmentación en una superficie amplia (aproximadamente del 60 %), con patrones diferenciados en cuanto a su intensidad, al establecer sinergias con otras barreras existentes. La estructura del histograma resultante nos confirma este efecto heterogéneo. En términos cuantitativos, la fragmentación media de la ZEPA “Campiñas de Sevilla” asciende un 6,42 % por la implantación del tendido eléctrico.
- El supuesto II, la planta solar y sus infraestructuras asociadas, supone una pérdida directa de hábitat en la parcela afectada, que en términos de fragmentación se traduce en valores altísimos de fragmentación potenciados con la construcción de los accesos y del tendido eléctrico de evacuación de la energía generada, este efecto se proyecta con valores descendentes hacia el suroeste. A nivel global, supone un aumento medio de la fragmentación en la ZEPA del 1,08 %.
- Respecto al supuesto III, el cambio a cultivo intensivo, resaltar el importante aumento de la fragmentación en la finca en cuestión, que se traslada, a su vez, en gradiente descendente hacia el oeste. A nivel global, supone un avance de la fragmentación media del 1,06 %.

Por todo lo expuesto, cabe destacar que las zonas sensibles se ajustan perfectamente a las áreas de mayor importancia para las aves de la ZEPA “Campiñas de Sevilla” y, al mismo tiempo, facilitará el control de la fragmentación de la zona sur de la misma. Se confirma el efecto de fragmentación en la ZEPA “Campiñas de Sevilla” debido a los supuestos contemplados. Estos resultados deben acompañar al resto de parámetros evaluados en el contexto de afecciones a Red Natura 2000, motivando las decisiones que se tomen respecto a la viabilidad ambiental de los proyectos en este ámbito.



7. AGRADECIMIENTOS

Este estudio parte de la base de la Asistencia Técnica denominada “Modelo predictivo de conectividad y capacidad de acogida de Hábitats de la Red Natura 2000: Viabilidad de la Subpoblación de Avutarda (*Otis tarda*) de Gerena y su Entorno”, co-realizada por Marta Basoalto Palmero y dirigida por el Servicio de Fomento en Espacios Naturales de la Dirección General de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía y Servicios Ambientales.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Adriansen F. et al. 2003. **The application of “least cost” modelling as functional landscape model.** Landscape and Urban Planning 64 (2003) 233-247.
- Alonso, J.C. 2004. **Situación actual y problemas de conservación de la avutarda. En: Los retos medioambientales del siglo XXI. La conservación de la Biodiversidad en España.** Fundación BBVA-CSIC.
- Barry S. & Elith J. 2006. **Error and uncertainty in habitat models.** Journal of Applied Ecology 43, 413-423.
- Basoalto, M. & González, J.J. 2008. **Modelo Predictivo de Conectividad y Capacidad de Acogida de Hábitats de la Red Natura 2000: Viabilidad de la subpoblación de avutarda (*Otis tarda*) de Gerena y su entorno.** Dirección General de la RENPA, Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- Bernáldez, F. G., Abelló, R. P. & Gallardo, B. 1989. **Environmental chalange and environmental preference: age and sex effects.** J. of Environmental Management, 28, 53-70.
- Borja, F. (coord.) 2006. **SECOVER. Coordinación científica regionalización ecológica y caracterización hidro-geomorfológica del Guadiamar.** Plan de Seguimiento Ecorregional del Paisaje Protegido del Corredor Verde del Guadiamar.
- Brotons L., et al. 2004. **Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability.** Ecography 27, 437-448.
- Bustamante J. & Seoane J. 2004. **Predicting the distribution of four species of raptors (Aves: Accipitridae) in southern Spain: statitistical models work better than existing maps.**
- Comisión Europea. 2000. **Gestión de Espacios Natura 2000. Disposiciones del Artículo 6 de la Directiva 92/43/CEE sobre hábitats.** Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 2003. **Ciencia y Restauración del Río Guadiamar. PICOVER 1998-2002.**

- Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 2005. **Metodología para la elaboración de una cartografía de vegetación y usos del suelo a escala 1:25.000 de Andalucía.** Documento de trabajo.
- Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 2006. **Aves Esteparias en Andalucía. Bases para su conservación.** En: Manuales de Conservación de la Naturaleza. Nº 3.
- Edith J. et al. 2006. **Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data.** Ecography 29, 129-151.
- Ferreras, P. 2001. **Landscape structure and asymmetrical inter-patch connectivity in a metapopulation of the endangered Iberian Lynx.** Biological Conservation 100, 125-136.
- Gaea E. and Gerald J. 2003. **Using patch and landscape variable to model bird abundance in a naturally heterogeneous landscape.** Can J. Zool. 81, 441-452.
- Gaona, P. 2006. **Estudio de indicadores de sensibilidad para la evaluación del impacto de infraestructuras y vías de uso público en el Entorno de Doñana.** EGMASA, CMA.
- González, J.J. 2007. **Plan de Gestión de la Zona de Especial Protección para las Aves “Campiñas de Sevilla”.** Proyecto Fin de Master en Espacios Naturales Protegidos, Edición 2005. Europarc-España.
- Guisan A. et al. 2006. **Making better biogeographical predictions of species' distributions.** Journal of Applied Ecology 43, 386-392.
- Gurrutxaga, M. 2005. **Red de Corredores Ecológicos de la Comunidad Autónoma de Euskadi.** IKT.
- Gustafson, E.J. & Gardner, R.H. 1996. **The effect of landscape heterogeneity on the probability of patch colonization.** Ecology 77, 94-107.
- Ims, R.A. 1995. **Movement patterns related to spatial structures.** En Hansson, L., Fahrig, L. y Merriam, G. (eds.), *Mosaic landscapes and ecological processes* Chapman & Hall.
- Lobo, J.M. & Hortal, J. 2003. **Modelos Predictivos: Un atajo para describir la distribución de la diversidad biológica.** Ecosistemas 2003/1.
- McCrary, McKernan, Schreiber & Sciarrota. 1986. **Avian mortality at a solar energy power plant.** J. Field Ornithology, 57 (2): 135-141.
- Mallarach, J.M. 2004. **Ánálisis y diagnóstico de la conectividad ecológica y paisajística en el sector sur del Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz.** Estudio de opciones y alternativas para maximizar el beneficio social y ecológico de los enlaces potenciales del Anillo Verde con los Montes de Vitoria.

- Malo J.E., Suárez F. & Díez A. 2004. **Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models?** Journal of Applied Ecology 41, 701-710.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2008. **Guía interpretativa para la aplicación de medidas compensatorias en Red Natura 2000.** Documento de trabajo.
- Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC). 2005. **La población de avutardas de Andalucía: análisis de su estado de fragmentación, capacidad dispersiva y plan de recuperación.** Memoria Final. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Osborne P.E., Alonso J.C. & Bryant R.G. 2001. **Modelling landscape-scale habitat use using GIS and remote sensing: a case study with great bustards.** Journal of Applied Ecology 38, 458-471.
- Osborne P.E. & Suárez-Seoane S. 2002. **Should data be partitioned spatially before building large-scale distribution models?** Ecological Modelling 157, 249-259.
- Pellet J., Guisan A. & Perrin N. 2004. **A Concentric Analysis of the Impact of Urbanization of the Threatened European Tree Frog in an Agricultural Landscape.** Conservation Biology 6-18, 1599-1606.
- Sastre P., de Lucio J.V. & Martínez C. 2002. **Modelos de conectividad del paisaje a distintas escalas. Ejemplos de aplicación en la Comunidad de Madrid.** Ecosistemas 2002/2.
- Seoane J., Bustamante J. & Díaz-Delgado R. 2005. **Effect of Expert Opinion on the Predictive Ability of Environmental Models of Bird Distribution.** Conservation Biology, 2-19, 512-522.
- Seoane J. & Carrascal L. 2007. **Interespecific differences in population trends of Spanish birds are related to habitat and climatic preferences.** Global Ecology and Biogeography, 2007.
- Seoane J. & Bustamante J. 2001. **Modelos Predictivos de la distribución de especies: una revisión de sus limitaciones.** Ecología, 15, 9-21.
- Seoane J., et al. 2005. **Species-specific traits associated to prediction errors in bird habitat suitability modelling.** Ecological Modelling 185, 299-308.
- Seoane J., et al. 2006. **Habitat-suitability modelling to asses the effects of land-use on Dupont's lark *Chersophilus duponti*: A case study in the Layna Important Bird Area.** Biological Conservation 128, 241-252.
- Suárez-Seoane S., & Baudry J. 2002. **Scale dependence of spatial patterns and cartography on the detection of landscape change: relationships with species' perception.** Ecography 25, 499-511.



- Suárez-Seoane S., Osborne P.E. & Alonso J.C. 2002. **Large- Scale habitat selection by agricultural steppe birds in Spain: identifying species-habitat responses using generalized additive models.** Journal of Applied Ecology 39, 755-771.
- Villalba, S, Gulinck, H., Verbeylen, G. & Matthysen, E. 1998. **Relationship between patch connectivity and the occurrence of the European red squirrel, *Sciurus vulgaris*, in forest fragments within heterogeneous landscapes.** En Dover, J.W. & Bunce, R.G.H. (Eds.). *Key concepts in landscape ecology*. IALE (UK), Preston.
- With, K.A. & Crist, T.O. 1995. **Critical thresholds in species' response to landscape structure.** *Ecology* 76, 2446-2459.
- With, K.A. 1997. **The application of neutral landscape models in conservation biology.** *Conservation Biology* 11, 1069-1080.