

# Efectos del cambio climático sobre las interacciones entre las infraestructuras lineales de transporte y la biodiversidad

## *Effects of Climate Change on the Interactions Between Linear Transport Infrastructures and Biodiversity*

Manuel Ramón García Sánchez-Colomer<sup>1\*</sup>

---

### Resumen

Los cambios en el clima ejercen una presión sobre la biodiversidad adicional a la que causan las actividades humanas, acentuando los procesos de fragmentación de los territorios en los que se distribuyen las poblaciones y comunidades vegetales y animales, y las consecuencias negativas que se derivan de estos procesos.

La combinación del cambio climático con la fragmentación de los ecosistemas acelera los procesos de contracción de las áreas de distribución de las especies, como muestran numerosos casos estudiados tanto en organismos vegetales como en animales y también las predicciones de modelos de poblaciones.

La fragmentación de los ecosistemas, sea de origen natural o artificial, limita las posibles respuestas de los organismos al cambio climático, ya que al dificultar sus movimientos diarios y estacionales restringe la posibilidad de alcanzar áreas vitales para su desarrollo o colonizar nuevas áreas favorables. Por tanto, la fragmentación del territorio puede poner en riesgo la resistencia de las poblaciones naturales frente al cambio climático.

Como estrategia adaptativa de las infraestructuras lineales de transporte al cambio climático se proponen algunas medidas de mejora de la conectividad territorial y la funcionalidad de los ecosistemas, entre las cuales destacan la conservación de corredores que aseguren la conectividad ecológica (infraestructura verde), la protección de espacios con criterios específicamente derivados del cambio climático, la detección de áreas prioritarias para desfragmentar y el diseño de pasos de fauna adecuados para ser utilizados por las especies con requerimientos más exigentes.

**Palabras clave:** biodiversidad, cambio climático, infraestructuras lineales de transporte, áreas de distribución, pasos de fauna.

### Abstract

*Changes in climate and human activities multiply their impacts on biodiversity. Human activity accelerates climate change while producing an increase in the processes of fragmentation of the territories in which plant and animal populations and communities are distributed.*

*Fragmentation of ecosystems, either of natural or artificial origin, limits the possible responses of organisms to climate change by hindering their daily and seasonal movements, and reducing the possibility of colonizing new areas that could constitute favourable habitats in different climatic scenarios. Therefore, the combination of climate change with fragmentation of ecosystems represents an acceleration in the processes of contraction of species' distribution areas, several orders of magnitude higher than natural climate changes. This reflection is based on cases studied in both plant and animal organisms, and also on the predictions of population models.*

*This article proposes that the territory currently presents a level of fragmentation that puts at risk the resistance of natural populations to climate change. As an adaptive strategy of the linear infrastructures of transport to climate change, some measures to improve connectivity are proposed, among which are the protection of spaces with criteria specifically derived from climate change, the detection of priority areas to defragment and the design of steps to suitable fauna to be used by species with more demanding requirements.*

**Keywords:** biodiversity, climate change, linear transport infrastructures, distribution areas, wildlife passages.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La península ibérica se caracteriza por su variedad tanto morfoestructural como climática, su situación entre el mar Mediterráneo y el océano Atlántico, y ser término de enlace continental entre Europa y África. Este conjunto de factores provoca múltiples y complejas formaciones

vegetales (Hernández-Pacheco 1956) y, en general, una elevada biodiversidad<sup>1</sup>.

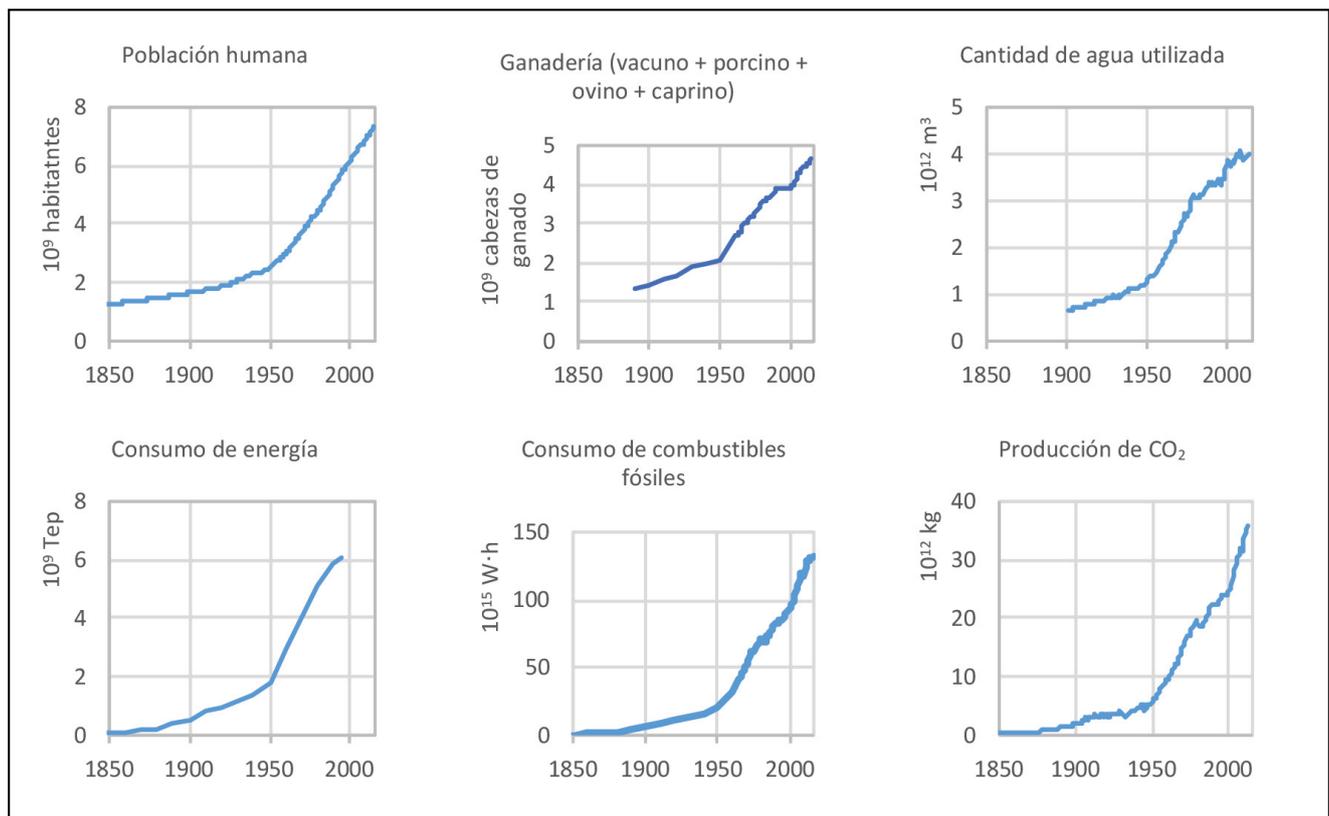
La riqueza vegetal y animal y la distribución de las especies obedecen inicialmente a la interacción de múltiples factores ambientales, tanto bióticos (sus propios condicionantes fisiológicos, la interacción con depredadores, competidores, parásitos, etc.) como abióticos (altitud, temperatura, precipitaciones, sustrato, presencia de agua, etc.). Estos factores en condiciones naturales y a escala global o regional suelen ir

---

\* Autor de contacto: [manuel.colomer@cedex.es](mailto:manuel.colomer@cedex.es)

<sup>1</sup> Doctor en Ciencias Biológicas, Jefe de Área de Ingeniería Ambiental del CEDEX.

<sup>1</sup> El término "biodiversidad" se utilizó por primera vez en 1986.



**Figura 1.** A partir de 1950 los indicadores socioeconómicos describen un funcionamiento a escala global conocido como la *Gran Aceleración* (modificado de Steffen et al. 2015. Todos los datos de las gráficas descargados de <https://ourworldindata.org/>).

cambiando muy lentamente, de modo que se establecen ecosistemas caracterizados por relaciones ecológicas continuadas y, en consecuencia, biotas<sup>2</sup> más o menos estables.

La actividad humana incide cada vez con mayor empuje sobre estos procesos ambientales, acentuando un estado de reequilibrio permanente. Dos de estos procesos, cambio climático y fragmentación de hábitats, a escalas diferentes y mediante mecanismos diversos, operan simultáneamente alterando el funcionamiento de la biosfera.

Son numerosos los estudios que se han realizado sobre los efectos que diferentes escenarios de cambio climático pueden generar en el área de distribución de innumerables especies. También son profusos los análisis de los efectos de las carreteras y vías de ferrocarril sobre la fragmentación de hábitats. Sin embargo apenas se cuenta con reflexiones que se centren en su acción conjunta sobre la biodiversidad.

Este trabajo analiza los posibles efectos que puede causar sobre la biodiversidad la combinación del cambio climático con la fragmentación de hábitats. También se proponen medidas como parte de la estrategia de adaptación de las infraestructuras lineales de transporte a los efectos del cambio climático.

## 2. EL CAMBIO GLOBAL: SIMULTANEIDAD DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS

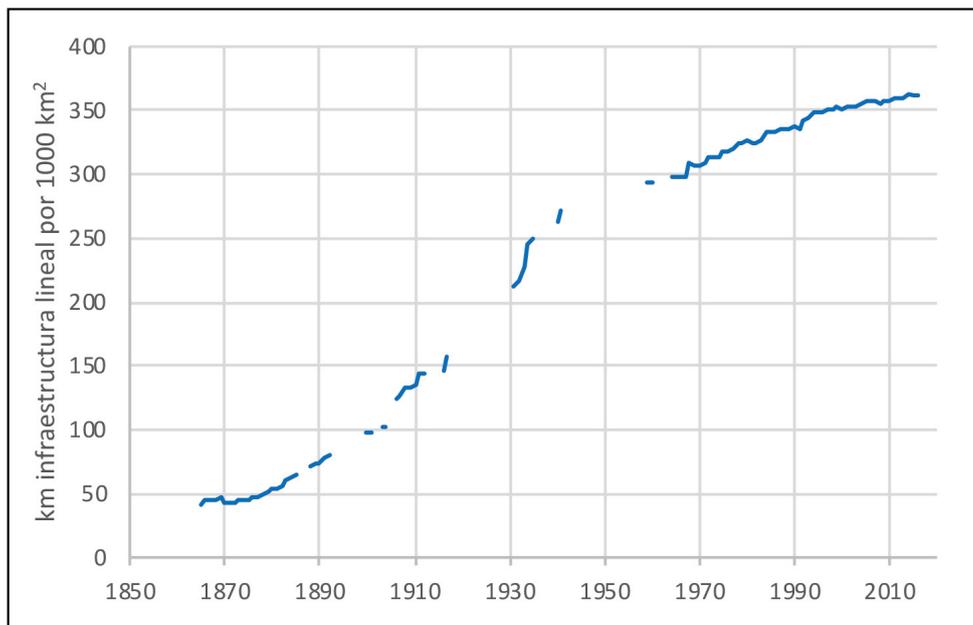
Es reconocido que a partir de 1950 los indicadores socioeconómicos describen un funcionamiento del sistema

Tierra inédito hasta ese momento, impulsado por la actividad humana. Este periodo se conoce como la *Gran Aceleración* (figura 1). Uno de sus efectos más notables es el cambio en la integridad de la biosfera, que produce la pérdida de biodiversidad (Steffen et al. 2015).

Esta aceleración en el consumo de recursos es coincidente con el cambio climático dando lugar al denominado *Cambio Global*. El cambio global es el conjunto de cambios ambientales impulsados por la actividad humana, con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema tierra. Incluye aquellas actividades que, aunque ejercidas localmente, tienen efectos que trascienden el ámbito local o regional alcanzando el funcionamiento global del sistema tierra (MAPAMA 2016). Entre los cambios más importantes se encuentran el cambio climático, los cambios en el uso del suelo, las alteraciones en la biodiversidad, los procesos de desertificación y degradación y las alteraciones en los ciclos biogeoquímicos, entre otros, y tienen un impacto mayor en conjunto que aisladamente (Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad 2016).

*Los impactos humanos en el sistema Tierra no operan en respuestas del tipo causa-efecto separadas y simples. Una sola tipología de actuación de origen humano, por ejemplo la deforestación o la combustión de combustibles fósiles, desencadena un gran número de respuestas en el sistema Tierra, que a su vez repercuten o se propagan a través de todo el sistema, a menudo fusionándose con patrones de variabilidad natural. Las respuestas rara vez siguen cadenas lineales, sino que generalmente interactúan entre sí, a veces amortiguando los efectos del impacto humano original y, en otras, amplificándolos* (Steffen et al. 2005).

<sup>2</sup> **Biota** es el conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área determinada.



**Figura 2.** Índice promedio de kilómetros de carreteras y vías de ferrocarril por cada 1.000 km<sup>2</sup> en España.

Por otra parte, uno de los impactos sobre la biodiversidad que alcanza gradualmente una extensión mayor es la fragmentación de los hábitats causada por las infraestructuras lineales de transporte. El cambio de usos del territorio, transformando superficies naturales en extensas plantaciones, intensificando sistemas agrícolas tradicionales o incrementado la urbanización, conlleva la construcción de nuevas infraestructuras lineales de transporte. De este modo, las áreas de distribución de las especies se van subdividiendo sucesivamente en espacios de menor extensión, incrementando el riesgo de desaparición de las poblaciones en los territorios que carecen de un tamaño suficiente.

En la figura 2 se puede observar cómo en España en siglo y medio se ha producido un salto de magnitud en la longitud media de carreteras y vías de ferrocarril en servicio por cada 1.000 km<sup>2</sup>, pasando de unos valores medios de alrededor de 40 km por cada 1.000 km<sup>2</sup> contabilizados en 1865, a unos 360 km en la actualidad (datos de km de carreteras y ferrocarriles tomados de Carreras y Tafunell 2005 y del Observatorio del Transporte y la Logística en España 2018).

Este incremento de la longitud de las vías de transporte (carreteras y ferrocarriles) repartidas por la superficie, genera territorios libres de infraestructuras lineales cada vez de menor tamaño. Paralelamente, las infraestructuras más modernas están diseñadas para soportar mayores cantidades de tráfico y velocidades también mayores, por lo que crecen en anchura y precisan de vallados perimetrales para evitar la entrada eventual de la fauna, ganado, etc. De este modo las áreas de distribución de las especies se encuentran progresivamente más fragmentadas y, por tanto, con mayor riesgo de incomunicación entre ellas, es decir, de aislamiento.

### 3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES Y LOS HÁBITATS

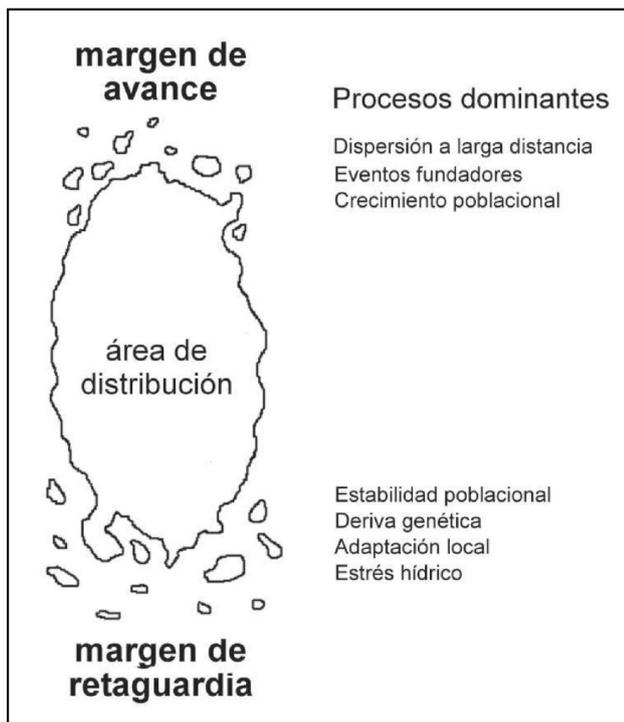
Las especies vegetales y animales condicionan su distribución a la de los parámetros ambientales más adecuados para completar sus ciclos vitales (alimentación, reproducción y desarrollo). Una aceleración del aumento de las temperaturas, el cambio en los patrones de las precipitaciones,

etc., como consecuencia del cambio climático, conllevará probablemente una redistribución de los ecosistemas según los conocemos actualmente. Esta redistribución se deberá producir en latitud hacia los Polos y en altitud hacia zonas más elevadas, es decir, manteniendo las temperaturas y las precipitaciones en las cantidades adecuadas. En la península ibérica esta tendencia se manifestará concretamente hacia el Norte y hacia las cumbres de las montañas.

Si se analizan con un cierto detalle los cambios de temperatura, se apreciará con más exactitud el alcance de estos cambios. En la “Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR4”, Morata (2014) explica que las predicciones para el periodo 2081-2100 arrojan incrementos de la temperatura peninsular durante el verano de hasta 5-6 °C, obteniendo resultados similares a los trabajos de Giorgi y Coppola 2007, Nikulin et al. 2011, Elguindi et al. 2013 (citados por Morata 2014). En verano los valores medios de la temperatura máxima alcanzan los 32/35 °C actualmente en el interior de la Península, principalmente en la región de Extremadura e interior de Andalucía (Atlas Climático Ibérico. Temperatura del aire y precipitación (1971-2000)). Esto significa que las temperaturas máximas que actualmente distinguen la cuenca del Guadalquivir, para el final del siglo XXI podrán ser características en las cuencas del Guadiana, Tajo, Segura y Júcar, y las zonas interiores del Ebro y Duero. Es decir, las isoterma que encontramos actualmente en el tercio Sur peninsular podrán desbordar hacia el Norte el Sistema Central, desplazándose unos 300 km respecto de sus posiciones actuales.

En la Sierra de Guadarrama, por ejemplo, es necesario ascender unos 225 m para tener en 1997-2003 unas condiciones térmicas similares a las de 1967-1973 (Wilson et al. 2015).

El movimiento del área de distribución de las especies hacia altitudes o latitudes superiores siguiendo el ambiente al cual están adaptadas es una de las principales repuestas al cambio. Esto configura en el espacio una red de “islas” con fragmentos de hábitat que supone el aislamiento de las poblaciones (figura 3) (Escudero et al. 2012).



**Figura 3.** Procesos dominantes en los márgenes de avance y retaguardia en un área de distribución en movimiento (tomado de Hampe 2015).

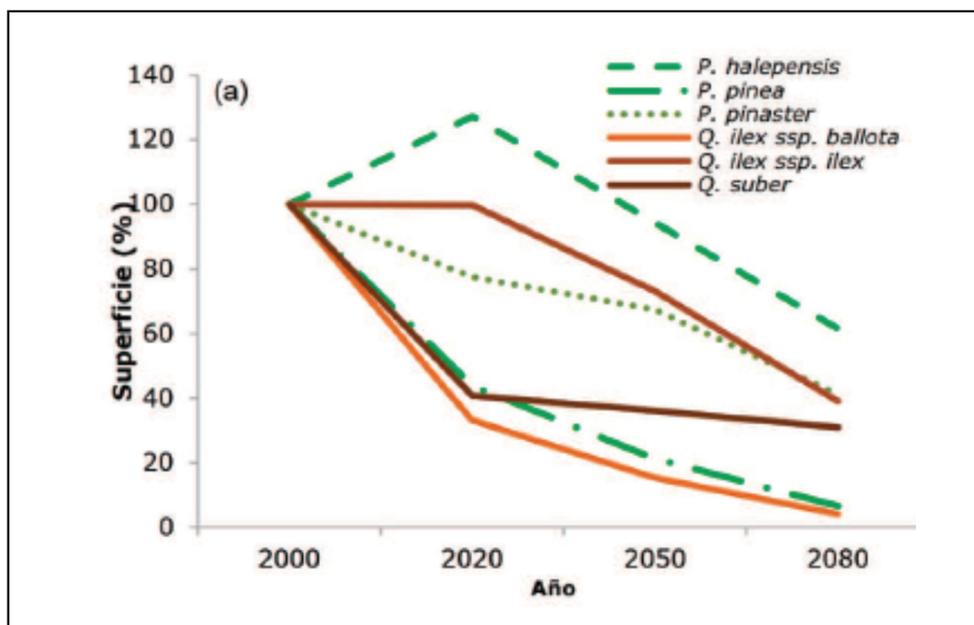
Según Lobo *et al.* (2011, citado en Arribas *et al.* 2012), las especies de vertebrados amenazados (según criterios de la UICN) de la península ibérica perderán las condiciones climáticas favorables en un 13 % de la superficie que ocupan actualmente. Las regiones climáticamente favorables para los vertebrados amenazados Ibéricos se desplazarán a zonas más elevadas, de las que buena parte se encuentran altamente fragmentadas. Los cambios estimados en las condiciones climáticas podrían suponer importantes

impactos en la futura viabilidad de las especies de vertebrados amenazados, incrementándose todavía más su grado de amenaza actual.

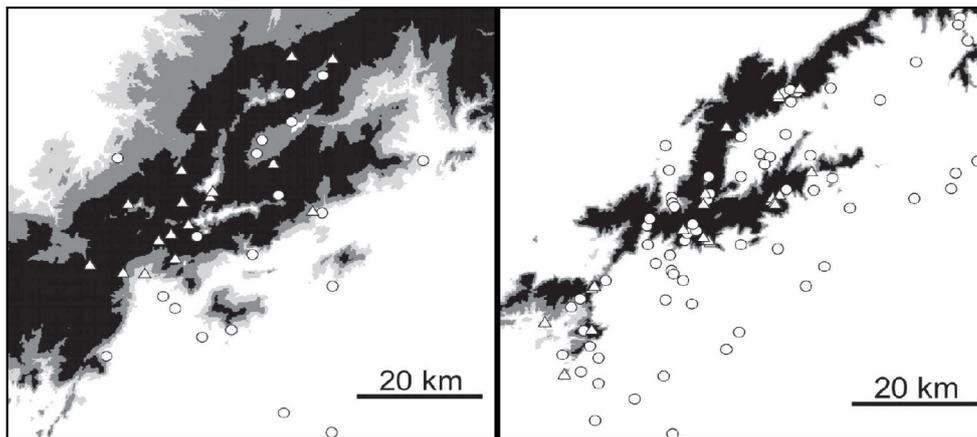
Por tanto, es predecible que las nuevas condiciones climáticas generarán cambios en la distribución de los hábitats y las especies que los habitan (figuras 4 y 5). Estos cambios podrán incrementar el riesgo de incendios, las dificultades para la restauración de los ecosistemas existentes, el aumento en la pérdida de suelo fértil, etc. Los ecosistemas ligados al agua (ríos, humedales) reducirán su extensión y frecuencia de inundación y, en general, una presión de origen humano mayor que la actual sobre la calidad y cantidad del agua.

La alteración de las características ambientales, llevando a las especies hacia los límites de su entorno fisiológico favorable, genera debilidad en las poblaciones naturales frente a enfermedades y estrés en las relaciones biológicas. Son casos conocidos, entre otros, el aumento de la incidencia de la procesionaria del pino como consecuencia del cambio climático (Hódar 2015) o el debilitamiento de poblaciones forestales a causa de la sequía como facilitador de la infestación con muérdago (Sangüesa-Barreda *et al.* 2015) y de invasiones biológicas (figura 6, Vilà *et al.* 2015). Zabala *et al.* (2015) explican, en el caso de las especies forestales, cómo el aumento del estrés hídrico podría causar reducciones en la vitalidad, crecimiento y mayores tasas de mortalidad que podrían derivar en retracciones en el rango de distribución de las especies.

Dado que algunos hábitats y especies encuentran en la península el extremo occidental de su área de distribución, el cambio climático condicionará su viabilidad (tabla 1). Muchas de estas poblaciones han persistido durante gran parte del Cuaternario aisladas en enclaves con condiciones ambientales favorables. El mayor riesgo climático para estas poblaciones consiste en un incremento de la aridez y el riesgo añadido de una elevada presión humana sobre sus hábitats (Hampe 2015).



**Figura 4.** Variación para el periodo 2000-2100 en la superficie ocupada por algunas de las principales especies arbóreas mediterráneas de la Península Ibérica, según el escenario de cambio climático CSRIO A2. Especies analizadas: Pino de Alepo (*Pinus halepensis*), pino piñonero (*Pinus pinea*), pino resinero (*Pinus pinaster*), encina (*Quercus ilex ssp. ballota* y *Q. i. ssp. ilex*) y alcornoque (*Quercus suber*) (tomado de Zabala *et al.* 2015).



**Figura 5.** Cambios en el área de distribución de la mariposa *Satyrus actea* entre el periodo 1967-1973 (izquierda) y 2004 (derecha). Se modelizó el área habitable con una probabilidad  $\geq 10\%$  (gris claro),  $\geq 20\%$  (gris oscuro) y  $\geq 50\%$  (negro) mediante regresión logística utilizando los registros de presencia (triángulos) y ausencia (círculos) frente a la altitud. En este caso, el límite inferior se desplazó desde 990 m de altitud hasta 1.450 m. La especie sufrió una disminución correspondiente a un 70 % de la extensión inicial (tomado de Wilson 2015).



**Figura 6.** Vulnerabilidad al cambio climático en las diferentes fases del proceso de invasión (tomado de Vilà *et al.* 2015).

**Tabla 1.** Hábitats y especies identificadas como sensibles al cambio climático en la encuesta realizada a 70 gestores de áreas protegidas españolas (Atauri et al. 2017)

Hábitats y especies en el límite de distribución altitudinal
Bosques y prados subalpinos, hábitats supraforestales
Hayedos calcícolas, robledales de <i>Quercus pyrenaica</i> , tejedas, matorrales.
Pastos psicroxerófilos, vegetación de ventisqueros (junciales)
Fauna: culebra lisa europea, perdiz nival, perdiz pardilla, urogallo, armiño, <i>Parnassius apollo</i>
Flora: <i>Leontopodium alpinum</i> , <i>Diphthasiastrum alpinum</i> , <i>Ranunculus amplexicaulis</i> , <i>Silene ciliata</i> , <i>Geranium cinereum</i> , <i>Nepeta tuberosa</i> , <i>Ramonda myconi</i> , <i>Dryopteris mindshelkensis</i>
Formaciones relictas ligadas a condiciones húmedas o frías
Tundra alpina, bosques mesófilos
Pinsapares
Laurisilva canaria
Especies ligadas a microhábitats húmedos en zonas secas o subhúmedas (ej.: <i>Pinguicula vallisneriifolia</i> , <i>Narcissus longispathus</i> )
Bosques en su límite de distribución
Encinares de <i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus rotundifolia</i>
Pinares (sud-)mediterráneos de pinos negros endémicos
Hábitats acuáticos o semiacuáticos
Prados inundables
Turberas
Bosques de ribera
Hábitats y especies de tipo estépico
Hábitats de origen antrópico
Pastos y prados de siega, praderas de diente subatlánticas
Dehesas
Hábitats y especies litorales
Marismas halófilas, lagunas litorales, áreas intermareales
Bosques litorales
Hábitats dunares
Hábitats y especies marinos
Praderas de <i>Posidonia</i> , Maërl, <i>Cladocora caespitosa</i> , arrecifes gorgonias, comunidades bentónicas

#### 4. EFECTOS DE LA FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS CAUSADA POR LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES

A diferencia de las anteriores épocas interglaciares, la actividad humana en las últimas seis décadas ha entretejido una tupida red de infraestructuras lineales de transporte. Un efecto de esta actividad, coincidente con la aceleración del cambio climático, ha sido la fragmentación de los hábitats en los que se asientan las comunidades naturales.

La fragmentación de hábitats tiene como efecto inmediato la pérdida de conectividad en el territorio, es decir, el incremento en los factores que dificultan el movimiento de las especies entre diferentes puntos del territorio. Por tanto, la fragmentación de hábitats produce una compartimentación del territorio en parcelas menores y el consiguiente fraccionamiento del área de distribución original de las especies en núcleos separados (más o menos incomunicados según las causas de la fragmentación).

Las causas de la fragmentación de hábitats pueden ser múltiples. Gurrutxaga & Lozano (2010) hacen una lista de las más comunes: Intensificación de la agricultura, intensificación del aprovechamiento forestal, urbanización del suelo, infraestructuras de transporte, infraestructuras y captaciones en los cursos fluviales, degradación de zonas húmedas, actividades extractivas, vallados cinérgicos, incendios forestales y otras causas (canales, tendidos eléctricos y alineaciones de aerogeneradores, principalmente). Por la temática de este artículo, se presta el interés principalmente a los efectos de las infraestructuras lineales de transporte.

Para reducir el impacto de la fragmentación de hábitats causada por las infraestructuras lineales de transporte, se construyen pasos transversales, superiores o inferiores a las mismas, con unos determinados condicionantes estructurales (altura, anchura, longitud, construcción de banquetas laterales, etc.) y funcionales (densidad y tipología según las especies, entorno de las embocaduras, adecuación interior y exterior, etc.) (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

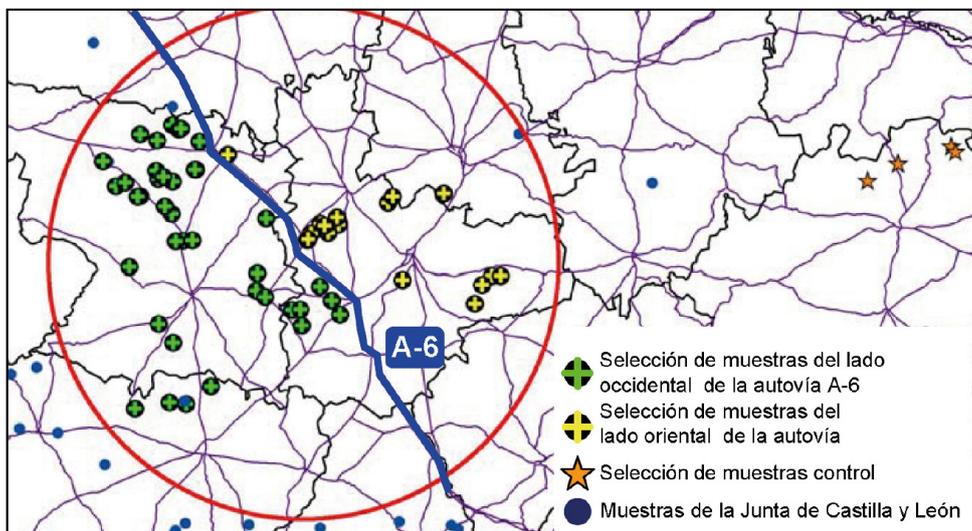
No obstante, la efectividad de estas estructuras transversales es variable ya que los animales no las utilizan aleatoriamente, sino que muestran algunas preferencias que guardan relación con el tipo y el diseño de las mismas y también con el medio donde se ubican.

A partir del análisis de las frecuencias de paso en 270 estructuras transversales de diferentes tipologías, recopiladas en los trabajos de seguimiento ambiental desarrollados en una serie de años años, García *et al.* (2014) comprobaron las preferencias que muestran las diferentes especies analizadas por distintas estructuras de paso. Así, la garduña y el tejón utilizan preferentemente los drenajes tipo marco de 2 m x 2 m, sin embargo, el resto de las especies muestra preferencia por los pasos de tipo específico. También se evidenció que los carnívoros utilizan mucho más los pasos de fauna que los ungulados. Estos últimos se muestran significativamente más exigentes con respecto a las dimensiones de estas estructuras (tabla 2).

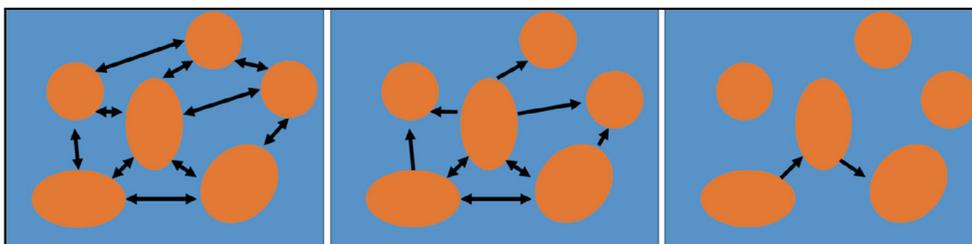
**Tabla 2.** Resultados de los tests de Kruskal-Wallis analizando diferencias de uso de las siete tipologías de paso en cada una de las seis especies analizadas (para todas las especies  $p < 0,05$ )

Especie	Kruskal-Wallis H (6 grados libertad, N=185)	Estructura de paso con mayor frecuencia
Ciervo	32,423	Paso específico superior
Corzo	40,327	Paso específico (superior e inferior)
Garduña	31,916	Drenaje tipo marco de 2 m x 2 m
Jabalí	17,646	Paso específico (superior e inferior)
Tejón	15,134	Drenaje tipo marco de 2 m x 2 m
Zorro	25,701	Paso específico inferior

En infraestructuras, por ejemplo las más antiguas, cuyos pasos son reducidos o se disponen con problemas de localización, se ha comprobado que su eficacia de uso llega a ser nula. En estos casos no se recupera la conectividad que existía antes de la construcción de la infraestructura (parcial o completamente), comenzando a producirse efectos sobre las poblaciones naturales afectadas.



**Figura 7.** Distribución geográfica de las muestras de sangre de jabalíes en el área de estudio (círculo rojo) y de las muestras de sangre seleccionadas.



**Figura 8.** Esquema de grados de interconexión entre poblaciones de una misma especie. En el tercer caso, las poblaciones de las áreas de distribución aisladas están sujetas a un mayor riesgo de desaparición (modificado de Maciel Mata *et al.* 2015).

Uno de los primeros síntomas de la fragmentación de poblaciones es la diferenciación genética entre las poblaciones que dejan de estar en contacto. En cuanto se produce la fragmentación, los caracteres genéticos más inestables comienzan a diferenciarse entre las poblaciones separadas.

Siguiendo esta línea de trabajo, el CEDEX desarrolló entre 2006 y 2008, en colaboración con investigadores del departamento de Ecología de la Universidad Autónoma de Madrid, un estudio genético que pretendería evaluar el potencial aislamiento de dos subpoblaciones de jabalí separadas por la autopista A-6 desde unos 18 años en un tramo entre las provincias de Valladolid y Zamora (figura 7).

Los resultados obtenidos deben ser considerados con cautela al tratarse de un primer ensayo con un bajo número de marcadores. No obstante parecen reflejar un efecto fragmentador de la autopista sobre las poblaciones de jabalí. No se detectaron diferencias entre la subpoblación control y ninguna de ambas subpoblaciones, pero sí se han obtenido diferencias significativas en la distancia genética entre los individuos capturados al este y oeste de la autopista A-6 ( $F_{ST} = 0,013$ ;  $p = 0,021$ ).

## 5. LOS EFECTOS DE LA MODIFICACIÓN DEL TAMAÑO DEL TERRITORIO Y DEL AISLAMIENTO EN LAS ESPECIES

En general, los animales de mayor tamaño requieren de dominios vitales más extensos que los de menor, los carnívoros más amplios que los herbívoros, los endotermos

mayores que los ectotermos y los gregarios superiores a los solitarios. De esta manera, la reducción de los fragmentos de territorio provoca procesos de extinción local en cadena, comenzando por las especies que presentan menor densidad poblacional. Además, la respuesta de las especies a la pérdida del hábitat no suele ser lineal sino que cambia abruptamente a partir de un *umbral crítico*. Es conocido también que la densidad de individuos de las especies asociadas a un hábitat disminuye a medida en que el tamaño de sus fragmentos se reduce, de modo que la densidad de una población no se mantiene constante (Gurrutxaga 2006).

En raras ocasiones las especies presentan una distribución continua en la totalidad de su área de distribución. La mayoría de las especies están constituidas por una serie de poblaciones discontinuas (*metapoblaciones*) con gradientes de interconexión, que van desde poblaciones completamente aisladas hasta poblaciones panmíticas, donde todos los individuos tienen la capacidad de entrecruzarse dentro y entre poblaciones (Maciel Mata *et al.* 2015). En general, una mayor interconexión favorece la pervivencia de las poblaciones y, al contrario, las poblaciones aisladas corren un riesgo mucho mayor de desaparecer por sucesos accidentales como un incendio, una inundación, la desecación de un hábitat acuático, la pérdida de variabilidad genética, enfermedades, competencia con especies invasoras, etc. Entonces, puede perderse la totalidad de los efectivos sin la posibilidad de reemplazarlos. La figura 8 representa una secuencia de diferentes grados de interconexión (espacial o temporal) entre poblaciones.

Las causas del aislamiento pueden ser múltiples, desde una capacidad reducida de movimiento de la especie, la amplitud de sus requerimientos fisiológicos, etc., hasta causas externas a los organismos. Entre éstas sobresale la fragmentación causada por las infraestructuras lineales de transporte.

## 6. LA INTERACCIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DE POBLACIONES CON EL CAMBIO CLIMÁTICO

El estudio de los efectos sinérgicos del cambio climático y de la fragmentación es de gran importancia, ya que se trata de dos de los motores del cambio global en la región mediterránea.

En general el cambio climático provoca efectos interactivos y complejos en un abanico de procesos que operan sobre la fisiología y el comportamiento de las especies implicadas. La fragmentación de los hábitats, actuando en este contexto, agudiza la pérdida de calidad de los hábitats y el estrés sobre las especies dependientes de ellos. Por tanto, la fragmentación podría incrementar la susceptibilidad de las especies al cambio climático, reduciendo su capacidad para afrontar cambios sucesivos e incrementando las posibilidades de extinción (Valladares et al. 2014).

Por otra parte, al efecto borde, las infraestructuras de transporte añaden otros efectos singulares, como organizar vías de dispersión de especies (vegetales y animales) o también constituir potenciales sumideros de biodiversidad a causa de los atropellos. Estos efectos se añaden a los impactos que de por sí genera la fragmentación de hábitats sobre las poblaciones originales.

La predicción de los efectos concretos del cambio climático y la fragmentación en combinación sobre especies y poblaciones singulares es compleja. Las especies no se encuentran solas ni aisladas en sus hábitats, sino que forman parte de una intrincada malla en la que la desaparición de una especie puede repercutir sobre otras. También, para que una especie pueda colonizar una zona nueva, precisa que se trasladen paralelamente otras especies de las que depende en determinados momentos para su desarrollo.

Las especies más sensibles a la reducción y fragmentación de su hábitat y por tanto las más propensas a sufrir extinciones a diferentes escalas espaciales y temporales dependen, entre otras características, de hábitats particularmente vulnerables al cambio climático. Este es el caso de los anfibios. Además, frecuentemente se trata de especies cuya distribución se limita a zonas elevadas en altitud o en latitud, de forma que dicha distribución puede tender al acantonamiento como consecuencia del cambio climático (Gurrutxaga 2006).

Por tanto, debido a la creciente fragmentación de hábitats en Europa y a la complejidad de las respuestas de las distintas especies y de sus interacciones, es poco realista modelar la posibilidad de que los ecosistemas cambien globalmente en latitud, aunque sí se comprueban cambios en altitud. En ambos casos será a costa de una reducción significativa de su extensión. Sólo en los ríos parece que existe esta posibilidad de desplazamiento de las biocenosis, aunque limitados por una disminución de la extensión de estos ecosistemas y de los caudales y calidad del agua (Moreno et al. 2005).

## 7. MEDIDAS PARA LA CORRECCIÓN DE LOS IMPACTOS CAUSADOS POR LA COMBINACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO Y FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS SOBRE HÁBITATS Y POBLACIONES NATURALES

Tanto la literatura técnica como la científica recomiendan, mientras no se tenga un conocimiento más concreto de la evolución de los ecosistemas y la readaptación de las especies, incorporar diferentes medidas desde una perspectiva de adaptación: mejorar la resistencia<sup>3</sup> y la resiliencia<sup>4</sup> de los hábitats (Lindenmayer et al. 2008), conservar la diversidad genética, eliminar especies exóticas invasoras, preservación de los bordes de los espacios protegidos, incrementar la conectividad (Loss, S.R. et al. 2010), hacer más extensa la red de espacios protegidos (Smulders, M.J.M. et al. 2009), etc.

Las principales soluciones adaptativas deben incluir el diseño de reservas y parques naturales que permitan la posibilidad de migración y cambios de distribución mediante la inclusión de corredores biológicos entre ellas. La red de áreas protegidas debería incorporar gradientes latitudinales y altitudinales que permitieran proteger a poblaciones con distribuciones geográficas en vías de desplazamiento geográfico debido al cambio climático (figura 9). Sería interesante valorar el establecimiento de “zonas especialmente sensibles al cambio climático” para aquellas áreas con ecosistemas originales únicos o especies amenazadas o endémicas que no tengan opción para desplazar su hábitat y puedan sufrir extinción. Son ejemplos de estas zonas los territorios de alta montaña o los que están ligados al agua con presencia de especies en peligro de extinción o vulnerables (Moreno et al. 2005).

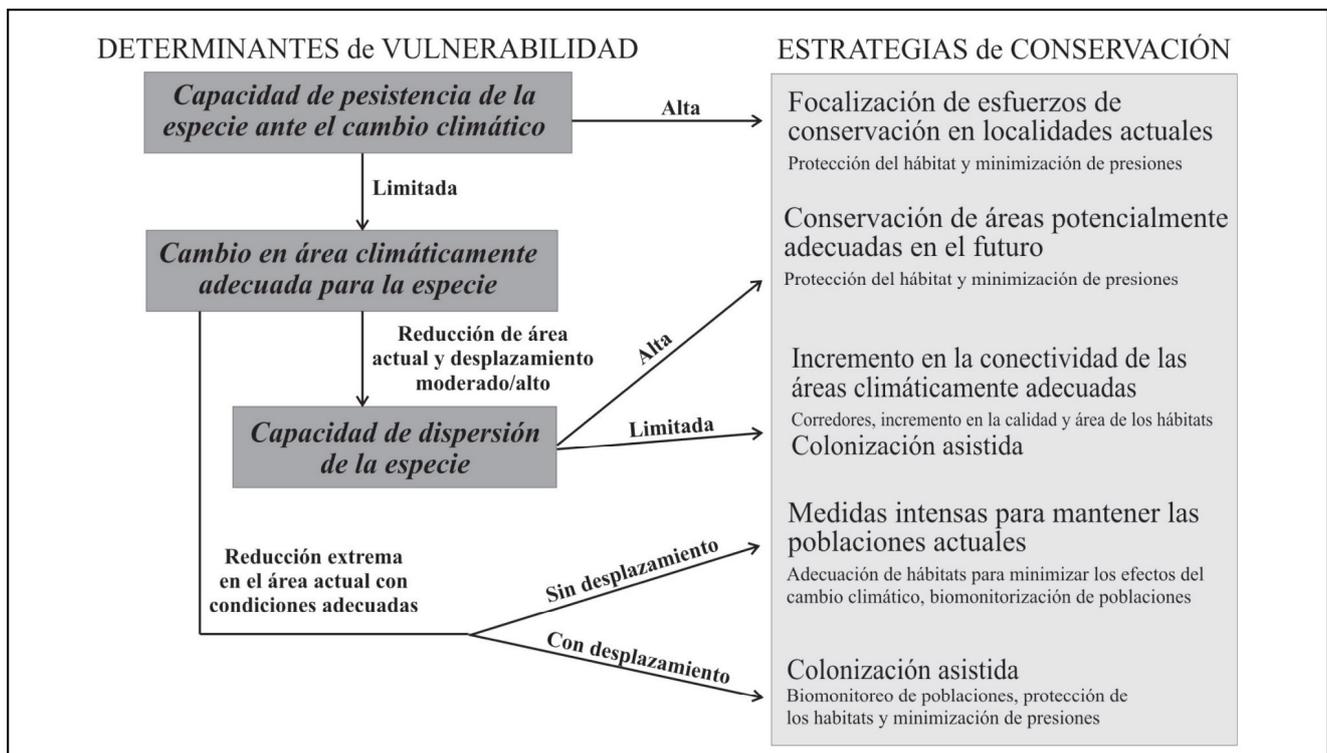
La conservación de la biodiversidad debe prestar atención no sólo a las áreas protegidas, sino de modo muy especial a la promoción con carácter general de usos del territorio compatibles con la conservación y con capacidad de contrarrestar efectos del cambio climático, especialmente de las zonas conocidas como corredores de fauna.

Entre las medidas adaptativas, destacan aquéllas dirigidas a restablecer la conectividad de hábitats fragmentados y reducir los atropellos. Se pueden establecer los siguientes objetivos (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013 a):

- Identificar las zonas prioritarias a desfragmentar.
- Reducir la mortalidad de fauna y los accidentes causados por fauna silvestre.
- Reducir el efecto barrera de las infraestructuras en funcionamiento facilitando el paso de fauna.
- Restablecer la continuidad física entre los fragmentos de hábitats seccionados por las infraestructuras.
- Restablecer la conectividad ecológica entre hábitats o áreas de especial interés de conservación.

<sup>3</sup> **Resistencia ambiental:** Capacidad del sistema de soportar perturbaciones sin cambiar su estructura o funcionamiento. Generalmente se trata de perturbaciones leves.

<sup>4</sup> **Resiliencia ambiental:** Capacidad del sistema de recuperar su estado original al cesar una perturbación. Generalmente se trata de perturbaciones graves.



**Figura 9.** Marco teórico para guiar la selección de estrategias de conservación en función de los determinantes de vulnerabilidad de cada especie. Tomado de Arribas *et al.* (2012).

- Mitigar las perturbaciones que afectan a la composición y calidad de los hábitats de los márgenes.
- Eliminar el conjunto de impactos de la vía.

La identificación de las zonas prioritarias a desfragmentar se revela como un paso necesario para optimizar la consecución de los objetivos restantes. Las actuaciones que mejoran la conectividad de los hábitats incrementan la resistencia de las especies y poblaciones naturales al cambio climático. Entre las zonas prioritarias se deben considerar los grandes corredores ecológicos y también los corredores específicamente diseñados para la recuperación de especies en peligro, los tramos de concentración de atropellos de fauna, de atropellos de especies en peligro o especies muy vulnerables a los atropellos (anfibios, por ejemplo), los espacios naturales protegidos y, finalmente, entre núcleos de población de especies en peligro. Localmente pueden resultar esenciales los corredores hacia zonas reproductivas o de caza o de consumo de agua.

También se recomienda la elección de áreas prioritarias a desfragmentar que contiene el documento de “Identificación de áreas a desfragmentar para reducir los impactos de las infraestructuras lineales de transporte en la biodiversidad” (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013 b). El objetivo básico de este documento es identificar áreas prioritarias para desarrollar acciones de desfragmentación de hábitats en infraestructuras lineales de transporte y su entorno. Estas áreas prioritarias se seleccionan a partir de un análisis de su vulnerabilidad a las infraestructuras lineales de transporte y en función del grado de fragmentación del territorio. A la metodología aplicada se le podría añadir un criterio de priorización en función de la vulnerabilidad de las áreas seleccionadas al cambio climático e igualmente con respecto a la sensibilidad de las especies objetivo.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Este estudio se enmarca en un Acuerdo para la Encomienda de Gestión suscrito por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, DG-CEAMN) y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) para el periodo 2009 a 2013. Con este motivo se constituyó un grupo de trabajo con personal de la Oficina Española de Cambio Climático y del CEDEX, para la definición del alcance del informe y la reflexión conjunta desde diferentes perspectivas.

## 9. REFERENCIAS

Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D.T., Lobo, J.M., Millán, A., y Sánchez-Fernández D. (2012). La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas* 21(3): pp. 79-84. Doi: 10.7818/ECOS.2012.21-3.10.

Atauri, J.A., Muñoz, M., y Múgica M. (2017). Las áreas protegidas en el contexto del cambio global: incorporación de la adaptación al cambio climático en la planificación y gestión. Serie de manuales *EUROPARC-España: Manual 13*. Madrid: Ed. Fundación Interuniversitaria Fernando González Bernáldez para los espacios naturales.

*Atlas Climático Ibérico – Temperatura del Aire y Precipitación (1971-2000)* (2011). Departamento de Producción de la Agencia Estatal de Meteorología de España (Área de Climatología y Aplicaciones Operativas) y por el Departamento de Meteorología e Clima, Instituto de Meteorología de Portugal (División de Observação Meteorológica e Clima). Agencia Estatal de Meteorología Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino & Instituto de Meteorología de Portugal. En [http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos\\_en\\_linea/pu](http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/pu)

blicaciones y estudios/publicaciones/Atlas-climatologico/Atlas.pdf

Carreras, Albert., y Tafunell, Xavier (coords.) (2005). *Estadísticas históricas de España: siglos XIX-XX*. Bilbao: Fundación BBVA (2ª ed. rev. y aum). Disponible en

[https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/DE\\_2006\\_estadisticas\\_historicas.pdf](https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/DE_2006_estadisticas_historicas.pdf)

Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad (2016). *¿Qué es el cambio global?* En

<http://ccgss.org/que-es-cambio-global/>

Elguindi, N., Rauscher, S.A., y Giorgi, F. (2013). Historical and future changes in maximum and minimum temperature records over Europe, *Climate Change*, 117(1-2): pp. 415-431.

Escudero, A., García-Camacho, R., García-Fernández, A., Gavilán, R.G., Giménez-Benavides, L., Iriondo, J.M., Lara-Romero, C., Morente, J., y Pescador, D.S. (2012). Vulnerabilidad al cambio global en la alta montaña mediterránea. *Ecosistemas* 21(3): pp. 63-72. Doi: 10.7818/ECOS.2012.21-3.08.

García Sánchez-Colomer, M.R., García García, A.V., Juárez Sanz E., y Espigares Pinilla, T. (2014). Efecto de la tipología de las estructuras transversales de paso sobre el uso por la fauna en diferentes tramos de carreteras y líneas de ferrocarril de alta velocidad en España. *Ingeniería Civil*, 176, pp. 49-55.

Giorgi, F., y Coppola E. (2007). European climate-change oscillation (ECO). *Geophysical Research Letters*, L21703.

Gurrutxaga, M., y Lozano, P.J. (2006). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Polígonos. Revista de Geografía*, 16, pp. 35-54. <http://dx.doi.org/10.18002/pol.v0i16.410>

Gurrutxaga, M., y Lozano, P.J. (2010). Causas de los procesos territoriales de fragmentación de hábitats. *Lurralde: Investigación y Espacio*, 33, pp. 147-158. En

<http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur33/33gurrutxaga/33gurrutxaga.pdf>

Hampe, A. (2015). Vulnerabilidad y conservación de los relictos climáticos de larga duración. En: Herrero, A., y Zavala, M.A., editores. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En

[http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap3-vulnerabilidadyconservaciondelosrelictosclimaticosdelargaduracion\\_tcm30-70205.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap3-vulnerabilidadyconservaciondelosrelictosclimaticosdelargaduracion_tcm30-70205.pdf)

Hernández-Pacheco, E. (1956). *Fisiografía del Solar Hispano*. Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Memorias, Serie de Ciencias Naturales. Tomo XVI (segunda parte).

Hódar, J.A. (2015). Incidencia de la procesionaria del pino como consecuencia del cambio climático: previsiones y posibles soluciones. En: Herrero A & Zavala MA, editores. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En

[http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap22-incidenciadelaprocesionariadelpinocomoconsecuenciadelcc\\_tcm30-70224.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap22-incidenciadelaprocesionariadelpinocomoconsecuenciadelcc_tcm30-70224.pdf)

Lindenmayer, D., Hobbs, R.J., Montague-Drake, R., Alexandra, J., Bennett, A., Burgman, M., Cale P., Calhoun, A., Cramer, V., Cullen, P., Driscoll, D., Fahrig, L., Fischer, J., Franklin J., Haila, Y., Hunter, M., Gibbons, P., Lake, S., Luck, G., MacGregor, C., McIntyre, S., Nally, R.M., Manning, A., Miller, J., Mooney, H., Noss, R., Possingham, H., Saunders, D., Schmiegelow, F., Scott, M., Simberloff, D., Sisk, T., Tabor, G., Walker, B., Wiens, J., Woinarski, J.,

y Zavaleta E. (2008). A checklist for ecological management of landscapes for conservation. *Ecology Letters*, 11, pp. 78-91. Doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01114.x

Lobo, J.M., Aragón, P., y Sánchez-Fernández, D. (2011). Las Especies. En: Álvarez-Uría, P. & De la Cruz, J.L. (coords.). *Biodiversidad en España. Base de la Sostenibilidad ante el Cambio Global*, pp. 323-333. Observatorio de la Sostenibilidad de España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Loss, S.R., Terwilliger, L.A., y Peterson, A.C. (2010). Assisted colonization: Integrating conservation strategies in the face of climate change. *Biological Conservation*. Doi:10.1016/j.biocon.2010.11.016

Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., y Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta universitaria* 25(2). <http://dx.doi.org/10.15174/au.2015.690>

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013a). *Desfragmentación de hábitats. Orientaciones para reducir los efectos de las infraestructuras de transporte en funcionamiento*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 5. O.A. Parques Nacionales. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En [http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/5\\_orientac\\_reducir\\_efectos\\_ctras\\_ferrocarril\\_tcm30-195796.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/5_orientac_reducir_efectos_ctras_ferrocarril_tcm30-195796.pdf)

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*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 6. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En [http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/6\\_identificac\\_areas\\_a\\_defragmentar\\_tcm30-195797.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/6_identificac_areas_a_defragmentar_tcm30-195797.pdf)

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2015). *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales (segunda edición, revisada y ampliada)*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 1. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En [http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/prescripciones\\_pasos\\_vallados\\_2a\\_edicion\\_tcm30-195791.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/prescripciones_pasos_vallados_2a_edicion_tcm30-195791.pdf)

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2016. *Programa de Seguimiento del Cambio Global*. En <http://www.mapama.gob.es/es/red-parques-nacionales/red-seguimiento/cambio-global.aspx>

Morata, A. (2014). *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR4*. Madrid: AEMET.

Moreno, J., Galante E., y Ramos, M.A. (2005). *Impactos sobre la biodiversidad animal. En Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático - Proyecto ECCE - informe final*. Director/Coordinador José Manuel Moreno Rodríguez. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

Nikulin, G., Kjellström, E., Hansson, U., Strandberg, G., y Ullerstig, A. (2011). *Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations*. *Tellus A*, 63, pp. 41-55.

Observatorio del Transporte y la Logística en España (OTLE) (2018). Ministerio de Fomento. En <http://observatoriotransporte.fomento.es/BDOTLE/inicioBD.aspx?s=3>

Sangüesa-Barreda, G., Linares, J.C., y Camarero J.J. (2015). La sequía y el muérdago actúan como factores de estrés combinados en el decaimiento de bosques de pino silvestre. En: Herrero, A., y Zavala M.A., (eds.). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En [http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap23-lasequiayelmuerdagoactuancomofactoresdeestres\\_tcm30-70225.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap23-lasequiayelmuerdagoactuancomofactoresdeestres_tcm30-70225.pdf)

Smulders, M.J.M., Cobben, M.M.P., y Verboom, J. (2009). Landscape genetics of fragmented forests: anticipating climate change by facilitating migration. *iForest Biogeosciences and Forestry*, vol. 2, pp. 128-132. Doi: 10.3832/ifer0505-002

Steffen, W., Sanderson, A., Tyson, P.D., Jäger, J., Matson, P.A., Moore III B., Oldfield, F., Richardson, K., Schellnhuber, H.J., Turner II, B.L., y Wasson, R.J. (2005). *Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure*. Global Change, The IGBP Series. Berlín: Springer. Disponible en [http://www.igbp.net/download/18.56b5e28e137d8d8c09380001694/1376383141875/SpringerIGBPSynthesisSteffenetal2004\\_web.pdf](http://www.igbp.net/download/18.56b5e28e137d8d8c09380001694/1376383141875/SpringerIGBPSynthesisSteffenetal2004_web.pdf)

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., y Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1): pp. 81-98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>.

Valladares, F., Flores Rentería, D., Forner, A., Morán-López, T., y Díaz, M. (2014). Influencia de la fragmentación y el clima en procesos clave para la regeneración del encinar. *Ecosistemas* 23(2): pp. 37-47. Doi: 10.7818/ECOS.2014.23-2.06

Vilà, M., González-Moreno, P., y Montero-Castaño A. (2015). Las invasiones biológicas bajo un escenario de cambio climático. En: Herrero, A., y Zavala, M.A., editores. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En [http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap24-lasinvasionesbiologicasbajounescenariodecc\\_tcm30-70226.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap24-lasinvasionesbiologicasbajounescenariodecc_tcm30-70226.pdf)

Wilson, R.J., Gutiérrez Illán, J., y Gutiérrez D. (2015). Cambios experimentados por los lepidópteros de la Sierra de Guadarrama entre los periodos 1967-1973 y 2004-2005. En: Herrero, A., y Zavala, M.A., editores. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En [http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap12-cambioexperimentadosporloslepidopterosdelasierradeguadarrama\\_tcm30-70214.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap12-cambioexperimentadosporloslepidopterosdelasierradeguadarrama_tcm30-70214.pdf)

Zavala, M.A., Ruiz-Benito, P., Benito-Garzón, M., y García-Valdés, R. (2015). Aplicación de los Modelos de Distribución de Especies (MDE) para el análisis de los efectos del cambio climático en los bosques ibéricos. En: Herrero, A., y Zavala, M.A., (eds.). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En [http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap36-aplicaciondelosmodelosdedistribuciondeespeciesmde\\_tcm30-70238.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap36-aplicaciondelosmodelosdedistribuciondeespeciesmde_tcm30-70238.pdf)