



MONITORIZACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN VERTEBRADOS AMENAZADOS UTILIZANDO MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

Oficina Técnica Comité Español UICN, septiembre de 2021

Con el apoyo de:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



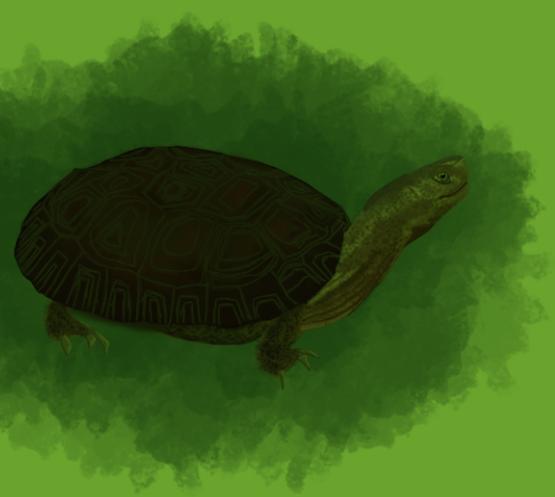
Fundación Biodiversidad



PIMA
Plan de Investigación sobre el Impacto del Cambio Climático



oecc
Oficina Española de Cambio Climático



INTRODUCCIÓN

En mayo de 2020 publicábamos el informe “Análisis del efecto del Cambio Climático sobre vertebrados terrestres amenazados incluidos en la Lista Roja de UICN, mediante modelos de distribución de especies”. En dicho trabajo se analizaron diez especies (desmán ibérico, lagartija batueca, lagartija de Valverde, rana pirenaica, rata de agua, salamandra rabilarga, sapo partero bético, sapo partero ibérico, tritón de Montseny y víbora hocicuda) y se obtuvieron resultados y conclusiones relevantes, útiles para mejorar el manejo de éstas especies con fines de conservación¹.

Un año después, enriquecemos ese primer informe con el análisis de otras diez especies. Este esfuerzo de investigación amplía aún más nuestro conocimiento sobre los efectos del cambio climático en estas especies en particular, pero también abre nuevos cauces para delimitar los efectos posibles de estas alteraciones sobre la biodiversidad y, por ende, sobre los ecosistemas y sus servicios.

Durante el tiempo transcurrido, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha publicado un nuevo informe, el VI, en el que hace un nuevo llamamiento a la acción y advierte sobre los efectos del cambio climático, ya palpable, y del escaso tiempo de respuesta que nos queda². Este informe advierte que:

- El calentamiento global de la superficie terrestre se está acelerando (0,2°C en la última década frente a una media de 0,12°C por década entre 1950-2011);
- Un comportamiento similar se observa en otros factores climáticos (aumento global medio de las precipitaciones, reducción de la cubierta continental de hielo y nieve, y elevación del nivel medio del mar),
- Los eventos climáticos extremos (olas de calor, lluvias torrenciales, periodos de sequía) han aumentado tanto en frecuencia e intensidad que en varias regiones del planeta ya no permiten explicación posible sin la influencia humana.

Por lo tanto, es esencial que se actúe de modo decidido en todos los campos. En este caso, la presente publicación pretende seguir aportando herramientas y conocimientos aplicados, para facilitar las tareas de conservación de estas especies de vertebrados y los ecosistemas de los que son parte.

El objetivo principal de este trabajo es analizar y evaluar el efecto potencial de distintos escenarios de cambio climático sobre la distribución de diez especies de vertebrados terrestres amenazados (según la Lista Roja de la UICN) de la península ibérica, islas Baleares e Islas Canarias. Finalmente, para las especies que se determinen sensibles al cambio climático en un futuro a medio-largo plazo, proponer medidas específicas para su correcta gestión y conservación.

METODOLOGÍA

Nota: En este informe se muestra una metodología resumida debido al límite de páginas. Si desea leer la metodología ampliada, por favor, consulte el Anexo 2 en la web: <https://www.uicn.es/ccylistaraja/>

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde al territorio español de la Península Ibérica (coordenadas 40°14'24"N 4°14'21"O), Islas Baleares (39°30'0"N3°0'0" E) e Islas Canarias (28°32'10"N15°44'56"O).

España peninsular comprende el 84% de la península y es un área biogeográficamente relevante para la conservación de la biodiversidad³. De manera similar, los archipiélagos canario y balear presentan una notoria diversidad de hábitats ecológicos y endemismos insulares^{4 5 6}.

Más del 54% de las especies que habitan en Europa se encuentran en España; 14% de ellas amenazadas⁷.

ESPECIES SELECCIONADAS

Se han seleccionado diez especies de vertebrados de acuerdo a las siguientes directrices: 1º que las especies se encuentren amenazadas según la Lista Roja de la UICN europea⁸ y, 2º que la distribución de las especies fuera predominantemente española, con preferencia especies endémicas. A fecha de este informe, para el 30% de las especies seleccionadas se encuentra desactualizada su información según las directrices de la UICN; es decir, que han pasado más de 10 años desde que fueron evaluadas^{7 8}.



A continuación se enumeran las especies objeto de estudio:

Águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*)

Conejo (*Oryctolagus cuniculus*)

Galápago leproso (*Mauremys leprosa*)

Lagartija serrana (*Iberolacerta monticola*)

Lagartija palleasa (*Iberolacerta aurelioi*)

Liebre de piornal (*Lepus castroviejoi*)

Musaraña canaria (*Crocidura canariensis*)

Quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*)

Sapillo balear (*Alytes muletensis*)

Tortuga mora (*Testudo graeca*)

SELECCIÓN DE VARIABLES

Para realizar los modelos de distribución de especies se han seleccionado 29 variables predictoras divididas en cuatro factores: climático, espacial, topográfico y antrópico (ver Anexo 2; tabla 1). Es importante considerar factores no climáticos, ya que un modelo puramente climático sin considerar otros factores que pueden estar infiriendo en la explicación de las distribuciones actuales, podrían sobre- o infra-predecir el efecto del clima, y por lo tanto del cambio climático sobre éstas^{9 10}.

De esta forma: el factor climático aporta la explicación de la distribución atribuible a las temperaturas y o precipitaciones, y, el efecto de ambas sobre los requerimientos fisiológicos de las especies; el factor espacial daría cuenta de las tendencias geográficas de las distribuciones respondiendo a los acontecimientos históricos que generaron la distribución de estudio así como a su capacidad de dispersión actual^{12 13}; el factor topográfico permite evaluar si hay relación entre la topografía de una zona determinada y la distribución de una especie; mientras que el factor humano explicaría la disponibilidad y la calidad de hábitats de muchas especies, y el efecto de la actividad humana sobre las distribuciones^{11 14}.

CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS

A partir de las variables predictoras organizadas en los factores descritos, se pasó a la elaboración de los modelos de distribución. Se aplicó para ello la función de favorabilidad, un tipo de Modelo Lineal Generalizado (GLM, por siglas en inglés), ampliamente utilizado para inferir la relación entre las distribuciones de las especies y el ambiente que ocupan (ver más información en Anexo 1).

Aunque lo más común es encontrar que las zonas con mayor favorabilidad coinciden con presencias detectadas de la especie, es importante aclarar que una zona con un alto valor de favorabilidad no es sinónimo de la presencia de la especie. Ya que la favorabilidad señala cuales son los territorios que albergan las condiciones ambientales favorables para que la especie pueda habitar dicho territorio, independientemente de que alguna vez lo ocupe. Es decir, es posible encontrar que la mayor parte de la distribución actual de una determinada especie no se encuentre en las zonas de mayor favorabilidad e, incluso, ser las zonas menos favorables pero por diversos motivos (históricos, antropogénicos...) la especie ha podido acabar reducida a esas zonas¹⁷.

EVALUACIÓN DE LOS MODELOS

Finalmente, se realizó la evaluación de los modelos, basándose en su capacidad de discriminación y de clasificación. Se ha utilizado el área bajo la curva ROC, o AUC, para evaluar la capacidad de discriminación¹⁸. Por otro lado, la capacidad de clasificación se cuantificó utilizando cuatro índices diferentes: sensibilidad (proporción de presencias correctamente clasificadas), especificidad (proporción de ausencias correctamente clasificadas), tasa de clasificación correcta o TCC (proporción de presencias y ausencias correctamente clasificadas) y el coeficiente Kappa de Cohen (que tiene en cuenta las posibilidades de clasificaciones correctas aleatorias). Como umbral de clasificación correcta se ha utilizado el valor 0,5 de favorabilidad, por ser éste el que define el punto a partir del cual la probabilidad debida a los factores explicativos es mayor que la prevalencia.

PARTICIÓN DE LA VARIANZA

Se separó el efecto puro del clima del efecto de los otros factores utilizando un análisis de partición de la variación¹², siguiendo el método propuesto por Muñoz y colaboradores¹⁹ y Barbosa y colaboradores²⁰. De esta forma se especificó qué proporción de la variación del modelo de favorabilidad combinada se explicaba por el efecto puro del clima (no afectado por la covariación con otros factores del modelo), y qué proporción del efecto del clima no puede distinguirse del de los otros factores (efecto compartido o intersección)²¹.

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Posteriormente, los modelos resultantes fueron proyectados al futuro (a 50 y 70 años) en diferentes escenarios posibles de emisiones de concentraciones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Se utilizaron tres modelos de circulación atmosférica diferentes (GFDL-CM3, CNRM-CM5 y MPI-ESM-LR), los cuales fueron seleccionados por estar disponibles en la web CHELSA (Climatologies at high resolution for the earth's land surface áreas; <http://chelsea-climate.org/>)²², y por ser los que menor sesgo presentaban para el continente europeo²³.

Específicamente, se han utilizado los escenarios definidos por las Trayectorias de Concentración Representativa (RCP), los cuales están asociados con el Quinto informe del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), el más reciente publicado^{9 24}. Los RCP seleccionados fueron el 2.6 (de menor concentración de emisiones), 4.5 (de concentración intermedia de emisiones) y 8.5 (de mayor concentración de emisiones).

RESULTADOS: VALORACIÓN POR ESPECIE

Nota: Para ver los mapas de distribución de cada especie consulte el Anexo I en este mismo informe. Si desea ver todas las proyecciones al futuro obtenidas por separado, consulte el Anexo 4 en la web del proyecto.

<https://www.uicn.es/ccylistaroja/>

Obtuvimos modelos significativos para todas las especies seleccionadas, aunque no para todas fue el factor climático el factor que explicó su distribución. En cuanto a la evaluación de los modelos, todos obtuvieron una excelente capacidad de discriminación²⁵, valores por encima de 0,7, con un AUC de 0,754 para el valor de menor AUC (correspondiente al conejo), y de 0,999 para los valores más altos (correspondiente a la liebre de piornal). En cuanto a la capacidad de clasificación, todos los modelos presentaron una capacidad de clasificación medio-alta (Tabla 1). Únicamente la lagartija serrana presentó algunos valores bajos de clasificación, lo que puede deberse a lo restringido de su distribución (Kappa: 0,151; Sensibilidad: 0,296). El resto de índices para evaluar la capacidad de discriminación y clasificación de cada modelo puede ser consultado en la tabla 3.

Tabla 1. Evaluación de los modelos matemáticos para cada especie. Se muestran los Índices utilizados para evaluar la capacidad de discriminación (área bajo la curva o AUC) y de clasificación (kappa de Cohen, sensibilidad, especificidad, y tasa de clasificación correcta o TCC).

| NOMBRE CIENTÍFICO | KAPPA | SENSIBILIDAD | ESPECIFICIDAD | TCC | AUC |
|-------------------------------|-------|--------------|---------------|-------|-------|
| <i>Aquila adalberti</i> | 0,292 | 0,870 | 0,722 | 0,737 | 0,874 |
| <i>Oryctolagus cuniculus</i> | 0,302 | 0,739 | 0,587 | 0,697 | 0,754 |
| <i>Mauremys leprosa</i> | 0,504 | 0,812 | 0,769 | 0,780 | 0,860 |
| <i>Iberolacerta aurelioi</i> | 0,389 | 1,000 | 0,995 | 0,995 | 0,969 |
| <i>Iberolacerta monticola</i> | 0,151 | 0,296 | 0,945 | 0,928 | 0,991 |
| <i>Lepus castroviejoi</i> | 0,611 | 1,000 | 0,985 | 0,985 | 0,999 |
| <i>Crocidura canariensis</i> | 0,691 | 0,967 | 0,864 | 0,884 | 0,970 |
| <i>Gypaetus barbatus</i> | 0,355 | 0,957 | 0,942 | 0,942 | 0,991 |
| <i>Alytes muletensis</i> | 0,619 | 0,889 | 0,914 | 0,911 | 0,977 |
| <i>Testudo graeca</i> | 0,155 | 0,944 | 0,904 | 0,905 | 0,969 |

ÁGUILA IMPERIAL IBÉRICA (*Aquila adalberti*)



Pronóstico

| | A 50 años | A 70 años |
|---------|-----------|-----------|
| RCP 2.6 | ↗ | ↗ |
| RCP 8.5 | ↘ | ↘ |

Creciente

Estable

Decreciente



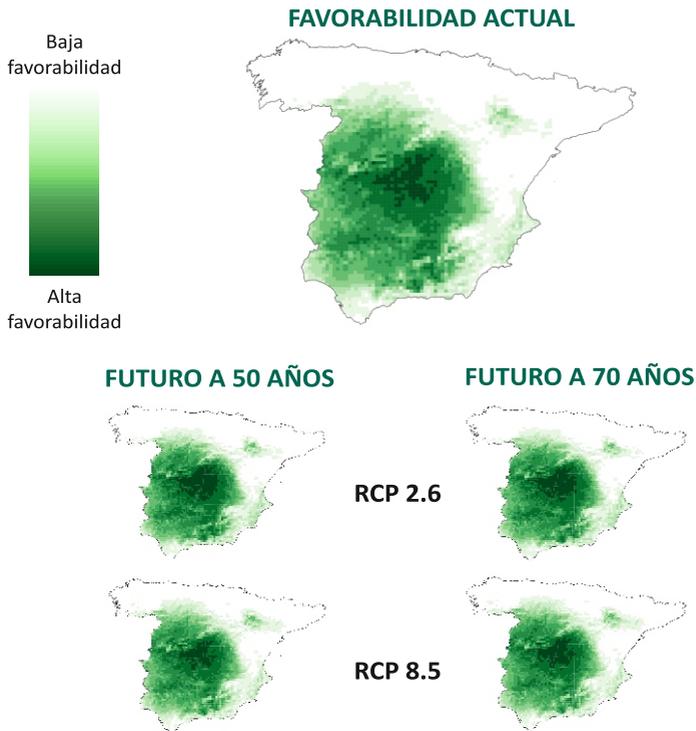
Descripción: Ave rapaz de gran tamaño. Coloración marrón oscuro en los ejemplares adultos y pardo-rojizo anaranjado en los ejemplares jóvenes.

Distribución: Especie endémica de la península ibérica, cuya distribución actual se extiende por el centro-oeste y suroeste de la Península (ver Anexo 1).

Hábitat y alimentación: Áreas forestales con escaso impacto humano y abundancia de conejos, su presa predominante.

Estado de amenaza: Vulnerable.

El modelo matemático muestra que el factor climático puro tuvo un peso significativo en el modelo, explicando un 43,75% del mismo. El factor no climático puro explicó un 47,84% del modelo, mientras que el solapamiento de ambos factores fue únicamente de un 8,4%. El modelo cartográfico (ver figura 1) muestra que las zonas de favorabilidad más altas se localizan en la zona centro-occidental de la península, coincidiendo con las zonas de mayor presencia de la población reproductora. Destacar también una zona de favorabilidad media-baja al noroeste de la península (cerca de Zaragoza) aún sin registros de población reproductora conocida para la especie. Esto puede deberse a la alta abundancia de conejos en dicho territorio, la principal presa de esta especie (ver sección sobre esta especie más abajo).



Modelo cartográfico y proyecciones al futuro de los escenarios RCP 2.6 y 8.5 para el águila imperial. Los modelos proyectados representados en la imagen corresponden al promedio de los tres modelos de circulación (GFDL-CM3, CNRM-CM5 y MPI-ESM-LR) para cada escenario de cambio climático. Para ver los modelos cartográficos proyectados de manera individual, consultar Anexo 4, página 2.

Al proyectar el modelo al futuro se observa un leve descenso de las zonas favorables para la especie en algunos de los escenarios menos optimistas (RCP 8.5), tanto a 50 como a 70 años, aunque sí que se observa una ligera mejoría en los escenarios más optimistas (RCP.2.6).

Estos resultados muestran que la distribución del águila imperial podría verse afectada por los efectos del cambio climático a medio y largo y plazo, con una disminución de sus zonas potencialmente favorables para la cría. Se hace necesario el promover medidas de adaptación y de mitigación del cambio climático en aquellas zonas más afectadas, especialmente en las zonas del norte y sureste de la península. Estas medidas deben a su vez complementarse con las acciones ya llevadas a cabo no sólo en la lucha para contrarrestar los efectos del cambio climático en su hábitat, sino en reducir otras amenazas para la especie como es la mortalidad por el envenenamiento o aumentar las densidades de conejo.

CONEJO (*Oryctolagus cuniculus*)



Pronóstico

| | A 50 años | A 70 años |
|---------|-----------|-----------|
| RCP 2.6 | ↓ | ↓ |
| RCP 8.5 | ↓ | ↓ |

Creciente 
Estable 
Decreciente 

Descripción: Lagomorfo de pelaje pardo-grisáceo. Rabo corto, con la parte interna de color blanco. Grandes orejas y extremidades posteriores adaptadas para la carrera.

Distribución: Nativa de la península ibérica, la cual está ampliamente distribuida en todo el territorio.

Hábitat y alimentación: Abunda preferentemente en áreas de matorral de mediterráneo, pero se adapta a muchos territorios. Herbívoro.

Estado de amenaza: En peligro de extinción.

El modelo matemático muestra que el factor puramente climático y no climático explicaron en 9,79% y 12,60% respectivamente, mientras que la intersección de ambos factores fue de un 77,60%. El modelo cartográfico mostró una favorabilidad media-alta en gran parte de la península ibérica, estando las zonas potencialmente más favorables en las regiones de Extremadura, Cataluña y Galicia (ver figura 2). Las regiones menos favorables estuvieron localizadas en la zona norte, correspondiendo a la zona de la Cordillera Cantábrica donde la presencia de la especie es más escasa.

Al extrapolar el modelo al futuro, se observó un descenso de zonas favorables, especialmente en los escenarios más extremos más alejados al futuro, con caídas de zonas favorables entre un 15 y 26% según el tipo de modelo de circulación (Anexo 3, Tabla 2). Los descensos de zonas favorables se localizaron por toda la península, especialmente en la zona central y en la zona centro y occidental.

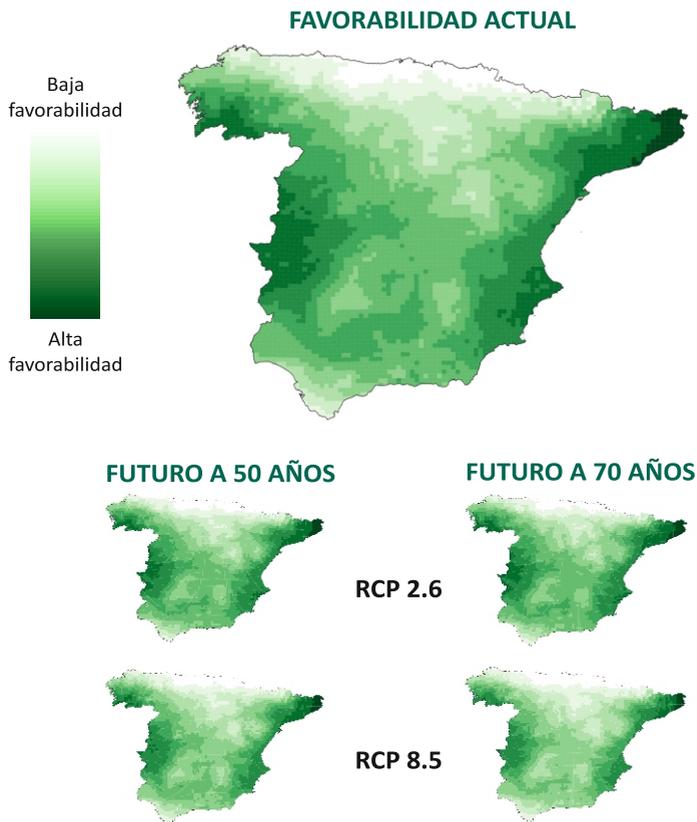
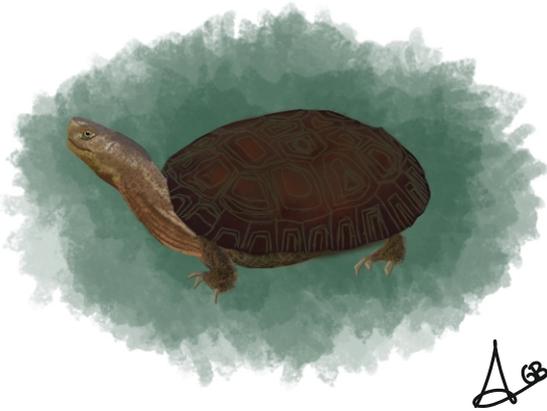


Figura 2. Modelo cartográfico y proyecciones al futuro de los escenarios RCP 2.6 y 8.5 para el conejo. Los modelos proyectados representados en la imagen corresponden al promedio de los tres modelos de circulación (GFDL-CM3, CNRM-CM5 y MPI-ESM-LR) para cada escenario de cambio climático. Para ver los modelos cartográficos proyectados de manera individual, consultar Anexo 4, página 3.

Por tanto, se confirma la necesidad de implementar por parte de las entidades pertinentes medidas de adaptación y mitigación al cambio climático para esta especie, las cuales deberían complementarse con otras acciones como reducir la presión cinegética y mayor control de las enfermedades que están mermando las poblaciones de conejo en las últimas décadas.

GALÁPAGO LEPROSO (*Mauremys leprosa*)



Pronóstico

| | A 50 años | A 70 años |
|---------|-----------|-----------|
| RCP 2.6 | | |
| RCP 8.5 | | |

Creciente

Estable

Decreciente

Descripción: Quelonio con caparazón alargado y deprimido dorso-ventralmente, el cual presenta una coloración olivácea con manchas pardo rojizas.

Distribución: Especie que se distribuye por el Mediterráneo occidental, estando en la península ibérica distribuida principalmente en la mitad meridional.

Hábitat y alimentación: Habita en zonas húmedas amplias y permanentes de agua dulce y salobre, con poca profundidad y corriente. Aunque son principalmente herbívoros, algunos invertebrados acuáticos pueden formar parte de su dieta.

Estado de amenaza: Vulnerable

El modelo matemático muestra que el factor no climático puro explicó la mayor parte del modelo (68%), mientras que la parte explicada puramente por el clima sólo explicó un 6,30%. La intersección de ambos factores explicó un 25,70%. El modelo cartográfico muestra que las zonas de favorabilidad media y alta se localizan en el suroeste de la península y en la zona central, coincidiendo con las zonas de mayor presencia de la especie.

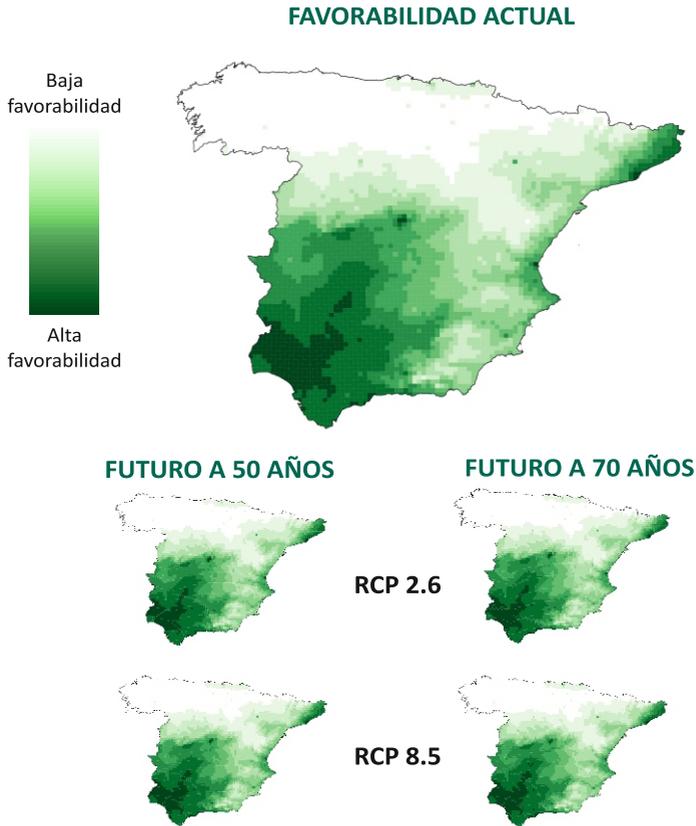
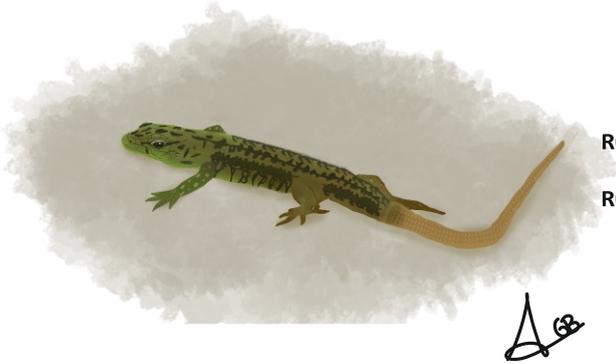


Figura 3. Modelo cartográfico y proyecciones al futuro de los escenarios RCP 2.6 y 8.5 para el galápago leproso. Los modelos proyectados representados en la imagen corresponden al promedio de los tres modelos de circulación (GFDL-CM3, CNRM-CM5 y MPI-ESM-LR) para cada escenario de cambio climático. Para ver los modelos cartográficos proyectados de manera consultar Anexo 4, página 4.

Las proyecciones al futuro mostraron un leve incremento de las zonas favorables en todos los escenarios y modelos de circulación, con un aumento promedio entre el 1,77% y 2,23% (Anexo 3, Tabla 2). Por lo tanto, de acuerdo a estos resultados, esta especie podría verse levemente favorecida ante un aumento del cambio climático. Los esfuerzos para su conservación deberían centrarse en otros factores como mejorar la calidad de su hábitat (presentado especial atención al territorio favorable ocupado y también a los espacios favorables disponibles, sin presencia detectada), erradicación de especies invasoras y mayor control en la captura ilegal de ejemplares silvestres para el comercio de reptiles exóticos.

LAGARTIJA SERRRANA (*Iberolacerta monticola*)



Pronóstico

| | A 50 años | A 70 años |
|---------|-----------|-----------|
| RCP 2.6 | | |
| RCP 8.5 | | |

Creciente

Estable

Decreciente

Descripción: Lagartija de mediano tamaño. Presenta una coloración dorsal pardusca o verde brillante con un reticulado negruzco, mientras que el vientre es blanquecino. Los machos presentan ocelos azules en la parte anterior del costado.

Distribución: Endemismo ibérico, cuya distribución se encuentra principalmente a lo largo de la Cordillera Cantábrica y zonas montañosas adyacentes.

Hábitat y alimentación: Especie ligada a roquedos de alta montaña, aunque en Galicia se la puede ver al nivel del mar en afloramientos rocosos. Se alimenta principalmente de insectos.

Estado de amenaza: Vulnerable

El modelo matemático muestra que el factor puro climático explicó un 63,76% del modelo, un 85,94% fue explicado por el factor no climático y la intersección entre ambos fue negativa (-49,70%). El modelo cartográfico muestra que las zonas con mayor favorabilidad se encontraban al noroeste de la península (coincidiendo con las zonas de mayor concentración de presencias de la especie). Destacar también una zona de favorabilidad media localizada al sur de la Comunidad Autónoma de Galicia, la cual podría indicar una zona potencialmente habitable para la especie en un futuro.

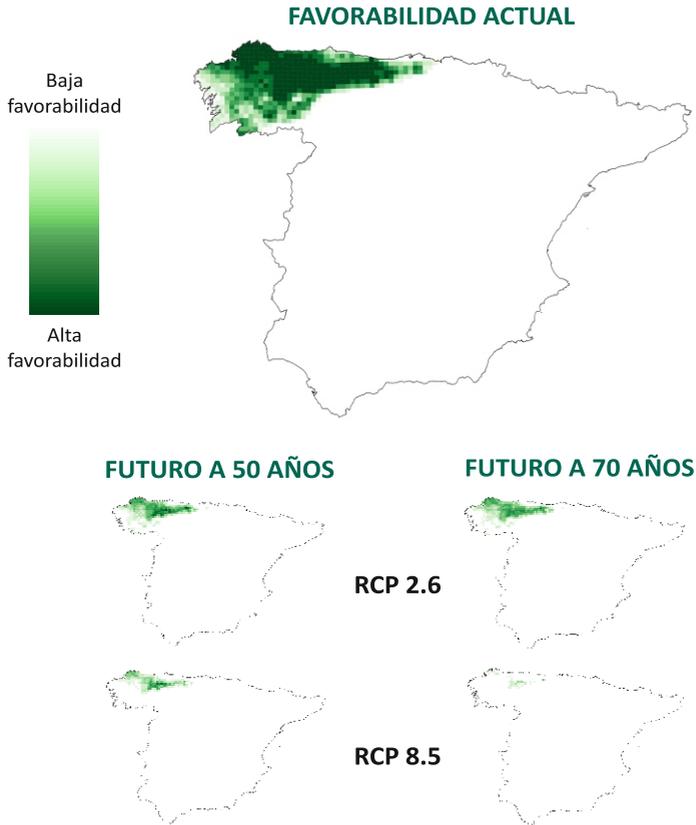
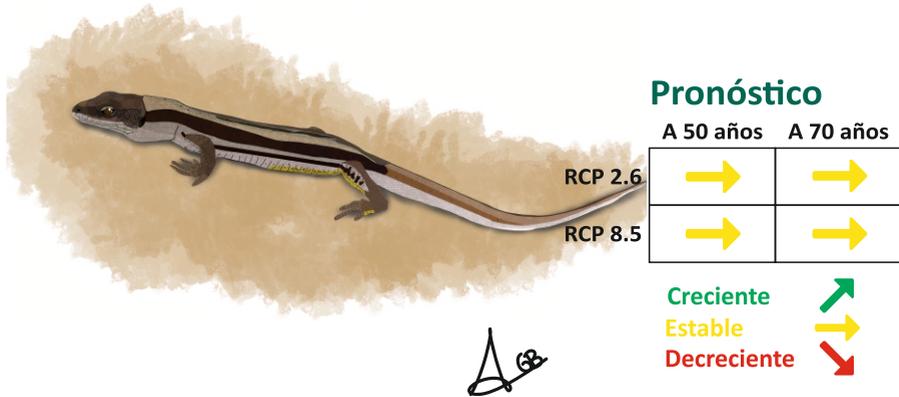


Figura 4. Modelo cartográfico y proyecciones al futuro de los escenarios RCP 2.6 y 8.5 para la lagartija serrana. Los modelos proyectados representados en la imagen corresponden al promedio de los tres modelos de circulación (GFDL-CM3, CNRM-CM5 y MPI-ESM-LR) para cada escenario de cambio climático. Para ver los modelos cartográficos proyectados de manera consultar Anexo 4, página 5.

Al proyectar el modelo al futuro, se encontró una reducción drástica de las zonas favorables para la especie; especialmente para los escenarios más extremos y más alejados en el futuro, con caídas de un 99% (Anexo 3, Tabla 2); siendo el promedio total de un 71,29%. (ver figura 4)

Estos resultados muestran que esta especie será muy susceptible a los potenciales cambios en su hábitat debido al cambio climático, por lo es necesario tomar medidas de adaptación y mitigación para su conservación en un futuro a medio-largo plazo de manera urgente.

LAGARTIJA PALLARESA (*Iberolacerta aurelioii*)



Descripción: Presenta un dorso de fondo de color pardo claro, a veces con tonos oliváceos. Sobre este fondo tiene dos bandas costales oscuras en los costados, y numerosas manchas oscuras de tamaño pequeño. Su zona ventral es amarillenta.

Distribución: Especie endémica de la Península Ibérica. Se distribuye a lo largo del Pirineo oriental.

Hábitat y alimentación: Habita en zonas montañosas de gran altitud. Se alimenta principalmente de insectos.

Estado de amenaza: En peligro de extinción.

El modelo matemático fue explicado únicamente por el factor no climático (específicamente, el factor espacial), por lo que la distribución potencial de la especie en el futuro no parece que se verá afectada ante el cambio climático (al menos con los datos actualmente disponibles). Las acciones de conservación deberán enfocarse en otra serie de medidas, como reducir la fragmentación de su hábitat y medidas de conservación *ex situ*.

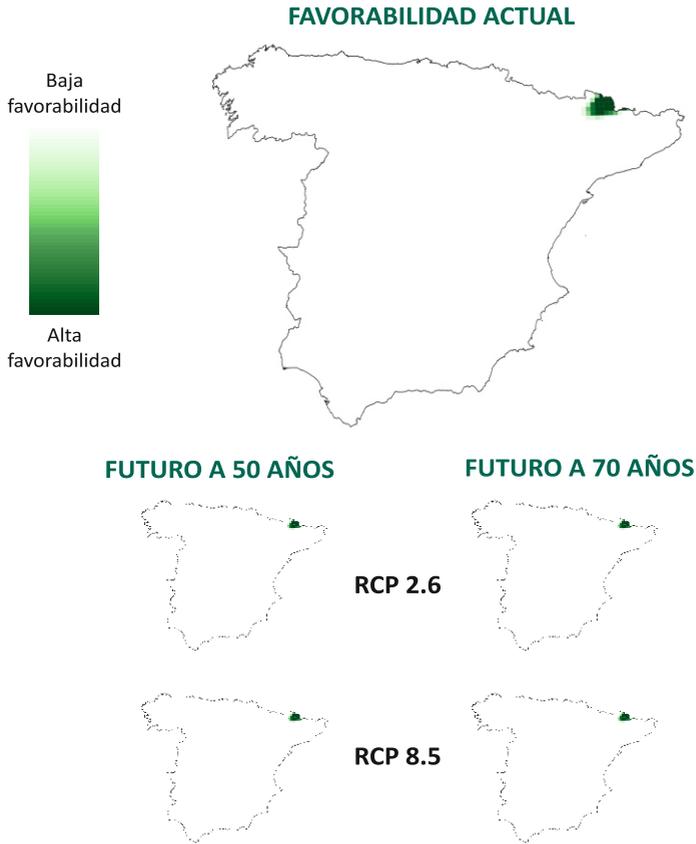


Figura 5. Modelo cartográfico y proyecciones al futuro de los escenarios RCP 2.6 y 8.5 para la lagartija pallaresa. Los modelos proyectados representados en la imagen corresponden al promedio de los tres modelos de circulación (GFDL-CM3, CNRM-CM5 y MPI-ESM-LR) para cada escenario de cambio climático. Para ver los modelos cartográficos proyectados de manera individual, consultar Anexo 4, página 6.

LIEBRE DE PIORNAL (*Lepus castroviejoii*)



Pronóstico

| | A 50 años | A 70 años |
|---------|-----------|-----------|
| RCP 2.6 | → | → |
| RCP 8.5 | → | ↘ |

Creciente ↗
Estable →
Decreciente ↘

Descripción: Tamaño intermedio. Su pelaje es mayoritariamente pardo, siendo más oscuro en la zona dorsal. La punta de las orejas negra junto a la cara dorsal de la cola. Vientre blanco.

Distribución: Endemismo ibérico que se encuentra en la Cordillera Cantábrica.

Hábitat y alimentación: Presente en las zonas con abundante brezal y bosques de montaña entre 1000 y 1900 metros de altitud. Herbívoro.

Estado de amenaza: Vulnerable.

El modelo matemático fue explicado principalmente por la intersección entre el factor climático y no climático (58,48%), mientras que el factor puro no climático y climático explicaron un 38,17% y 3,35% aproximadamente. El modelo cartográfico actual muestra que las zonas potencialmente más favorables para la especie coinciden con su rango de distribución actual, el cual está restringido principalmente a la Cordillera Cantábrica. La proyección del modelo al futuro indicó que prácticamente no habrá variación de zonas favorables salvo en los escenarios más extremos a largo plazo (70 años), con un decrecimiento de más de un 9% (ver figura 6).

Por lo tanto, es necesario desarrollar medidas de adaptación al cambio climático a largo plazo para esta especie, que deberán compaginarse con otras medidas para garantizar su conservación en el futuro.

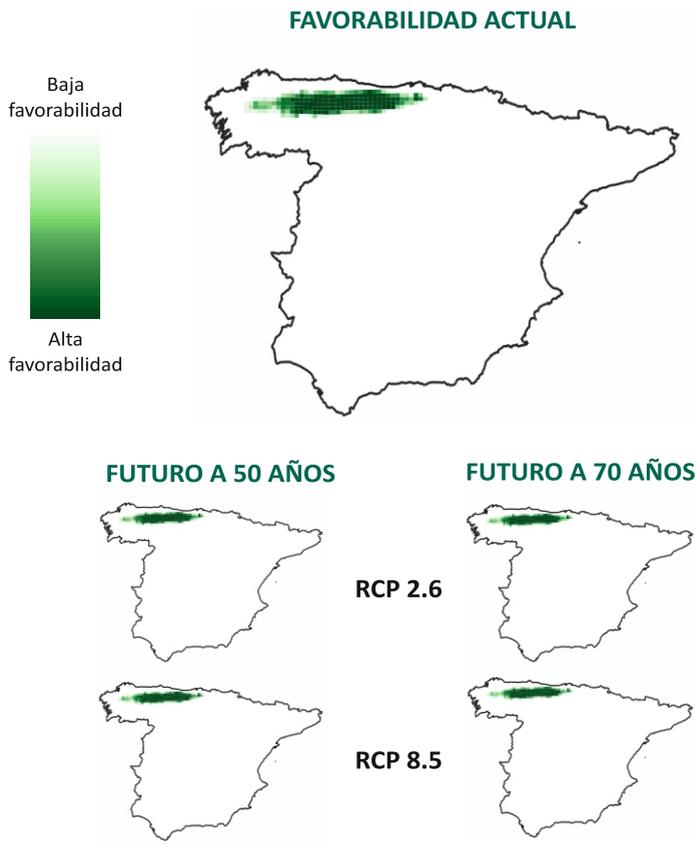


Figura 6. Modelo cartográfico y proyecciones al futuro de los escenarios RCP 2.6 y 8.5 para la liebre de piornal. Los modelos proyectados representados en la imagen corresponden al promedio de los tres modelos de circulación (GFDL-CM3, CNRM-CM5 y MPI-ESM-LR) para cada escenario de cambio climático. Para ver los modelos cartográficos proyectados de manera individual, consultar Anexo 4, página 7.

MUSARAÑA CANARIA (*Crocidura canariensis*)



Pronóstico

| | A 50 años | A 70 años |
|---------|-----------|-----------|
| RCP 2.6 | | |
| RCP 8.5 | | |

Creciente

Estable

Decreciente

Descripción: Crocidurino de talla media. Presenta orejas largas y pelaje pardogrisáceo oscuro, mientras que su cola y extremidades tienen un color claro.

Distribución: Endémica de las Islas Canarias, donde se distribuye principalmente en la Isla de Fuerteventura y Lanzarote.

Hábitat y alimentación: Su hábitat principal es el malpaís, un terreno abrupto y árido de origen volcánico. Se alimenta de caracoles y pequeños insectos.

Estado de amenaza: En peligro de extinción.

Según el modelo matemático la distribución fue explicada mayoritariamente por el factor puro no climático (89,73%). El factor climático puro únicamente explicó un 4,72%, mientras que intersección de ambos fue de un 5,54%. El modelo cartográfico muestra que las zonas de mayor favorabilidad coinciden con las presencias actuales de la especie, cuya distribución está restringida a las islas más orientales del archipiélago (ver figura 7).

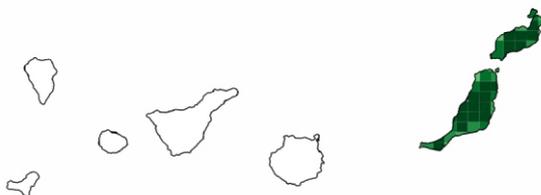
Al proyectarse el modelo actual al futuro, se observó un descenso considerable de las zonas favorables en todos los escenarios y modelos de circulación (Anexo 3, Tabla 2). En los modelos proyectados a 50 años, el promedio de descenso de zonas favorables se situó en un 31,72%, mientras que a 70 años la caída fue de

FAVORABILIDAD ACTUAL

Baja
favorabilidad



Alta
favorabilidad



FUTURO A 50 AÑOS

FUTURO A 70 AÑOS

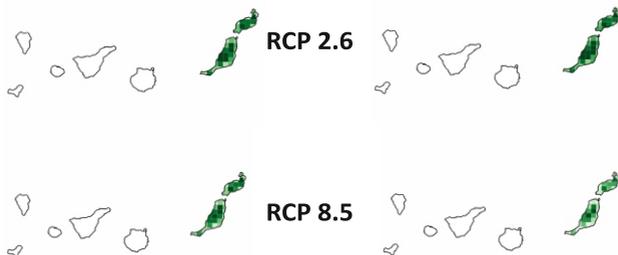


Figura 7. Modelo cartográfico y proyecciones al futuro de los escenarios RCP 2.6 y 8.5 para la musaraña canaria. Los modelos proyectados representados en la imagen corresponden al promedio de los tres modelos de circulación (GFDL-CM3, CNRM-CM5 y MPI-ESM-LR) para cada escenario de cambio climático. Para ver los modelos cartográficos proyectados de manera individual, consultar anexo 4, página 8.

hasta un 39,55%, pasando de zonas con favorabilidad alta ($F > 0,8$) a zonas con favorabilidad media ($F \geq 0,2$ y $< 0,8$) e incluso baja ($F < 0,2$).

Este decrecimiento potencial de la distribución observada confirma la necesidad de implementar medidas de adaptación al cambio climático para la musaraña canaria, tanto legislativas, como de conservación ex situ e in situ, a corto plazo.

QUEBRANTAHUESOS (*Gypaetus barbatus*)



Pronóstico

| | A 50 años | A 70 años |
|---------|-----------|-----------|
| RCP 2.6 | ↗ | ↗ |
| RCP 8.5 | ↘ | ↘ |

Creciente ↗

Estable →

Decreciente ↘



Descripción: La coloración de la cabeza, tarsos y zona ventral varía del blanquecino al anaranjado mientras que la región dorsal es oscura. Presenta un antifaz negro y sus ojos varían entre el marfil y el amarillo.

Distribución: En Europa se encuentra en la península ibérica, Creta y Córcega.

Hábitat y alimentación: Habita en zonas montañosas donde construye sus nidos entre los 600-2300 m de altitud. Su dieta se basa principalmente en carroña y huesos de vertebrados.

Estado de amenaza: Vulnerable.

El modelo matemático explicó la distribución de la especie tanto por el factor climático como no climático. El efecto puro del clima un 43,75%, el efecto puro no climático un 74,40% y el solapamiento un -18,15%. En el modelo cartográfico se observa que las zonas de mayor favorabilidad corresponden a la región de los Pirineos; lugar donde se concentra principalmente la población reproductora de la especie actualmente en España. Sin embargo, es importante destacar un área de favorabilidad media-alta a lo largo del Sistema Bético, concretamente al sureste de la península. En una especie de alta capacidad de dispersión, estas zonas de distribución potencial podrían ser colonizadas en un futuro a medio plazo, ya sea mediante la expansión de la especie de manera natural a partir del pequeño núcleo reproductor en Andalucía, o bien mediante la suelta de ejemplares en esas zonas potencialmente favorables procedentes de los proyectos de conservación *ex situ* que actualmente se están llevando a cabo.

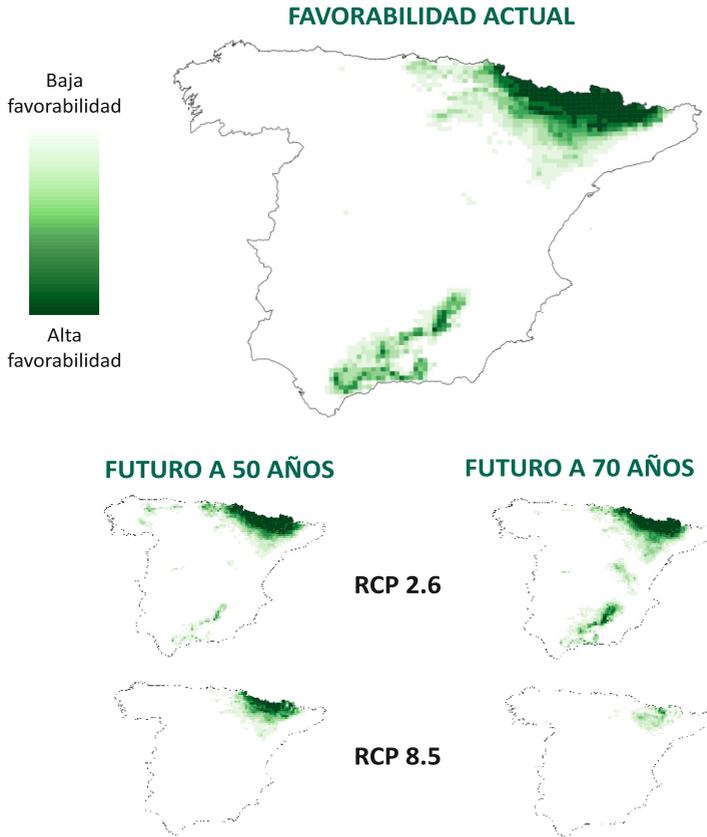


Figura 8. Modelo cartográfico y proyecciones al futuro de los escenarios RCP 2.6 y 8.5 para el quebrantahuesos. Los modelos proyectados representados en la imagen corresponden al promedio de los tres modelos de circulación (GFDL-CM3, CNRM-CM5 y MPI-ESM-LR) para cada escenario de cambio climático. Para ver los modelos cartográficos proyectados de manera individual, consultar Anexo 4, página 9.

Las proyecciones del modelo al futuro del escenario menos optimista mostraron una drástica disminución de las zonas favorables en toda su distribución, particularmente en la zona sureste, lo que de cumplirse, podrían dificultar que prosperen las poblaciones recientemente liberadas de Andalucía e incluso pudieran llegar a desaparecer en un futuro a medio plazo.

Se hacen por tanto necesarias de manera urgente medidas de adaptación y de mitigación al cambio climático a corto plazo, específicamente en la región andaluza, para de esa forma garantizar la dispersión, asentamiento y reproducción de los pequeños núcleos reproductores de esta Comunidad Autónoma.

SAPILLO BALEAR (*Alytes muletensis*)



Pronóstico

| | A 50 años | A 70 años |
|---------|-----------|-----------|
| RCP 2.6 | | |
| RCP 8.5 | | |

Creciente

Estable

Decreciente

Descripción: Anfibio de pequeño tamaño. Su piel puede presentar una amplia gama de colores que van desde el pardo, amarillo y verde. Presenta numerosas manchas oscuras irregulares distribuidas por el cuerpo. Sus ojos grandes y oscuros.

Distribución: Endémico de la isla de Mallorca, en el archipiélago balear.

Hábitat y alimentación: Se encuentra únicamente en las torrenteras cársticas de montaña de la sierra de Tramuntana, en el norte de la isla de Mallorca. Insectívoro.

Estado de amenaza: En Peligro de Extinción.

Se encontró que el factor climático puro tiene un peso considerable en el modelo, explicando el 45,63% del mismo, mientras que los factores no climáticos explicaron un 43,10%, habiendo poco solapamiento entre ambos (11,26%).

El modelo cartográfico muestra que las zonas de mayor favorabilidad están localizadas en la Serra de Tramuntana, lugar donde se distribuye principalmente la especie, aunque también pueden verse zonas de favorabilidad media y baja en la zona central de la Isla de Mallorca, que podía indicar potenciales zonas para una futura liberación de ejemplares por medio de programas de conservación *ex situ*.

La extrapolación del modelo al futuro mostró un descenso en los valores de

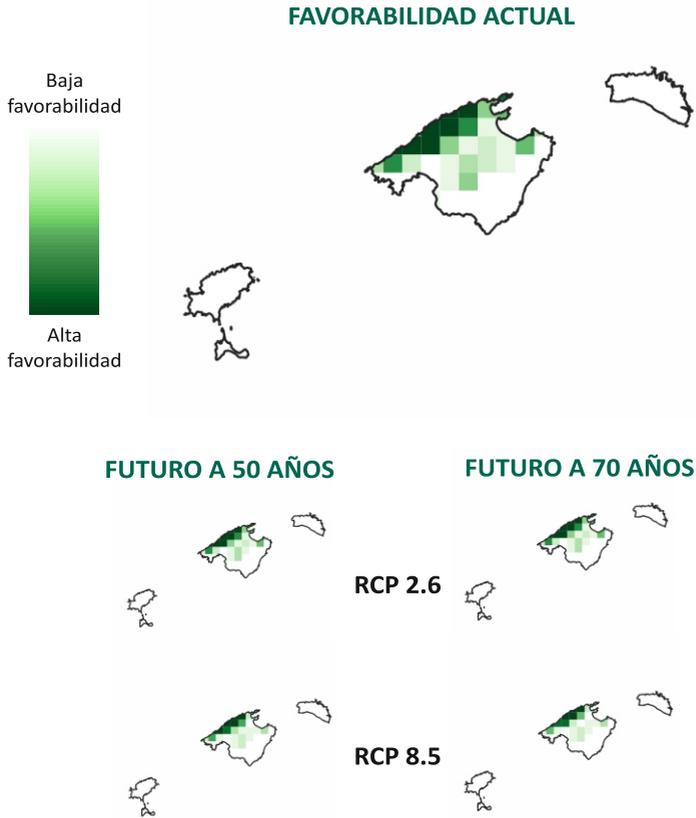
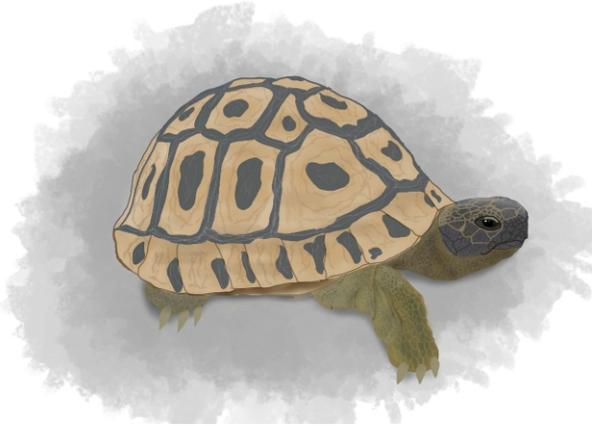


Figura 9. Modelo cartográfico y proyecciones al futuro de los escenarios RCP 2.6 y 8.5 para el sapillo balear. Los modelos proyectados representados en la imagen corresponden al promedio de los tres modelos de circulación (GFDL-CM3, CNRM-CM5 y MPI-ESM-LR) para cada escenario de cambio climático. Para ver los modelos cartográficos proyectados de manera individual, consultar Anexo 4, página 10.

favorabilidad en la mayoría de los escenarios a medio y largo, con caídas de más de un 33% en alguno de los modelos de circulación (Anexo 3, Tabla 2).

Por lo tanto, es necesaria la implementación de medidas de adaptación al cambio climático para esta especie a corto plazo para garantizar su conservación. Estas deben complementarse con las acciones llevadas a cabo actualmente de conservación *ex situ* y erradicación de depredadores alóctonos.

TORTUGA MORA (*Testudo graeca*)



Pronóstico

| | A 50 años | A 70 años |
|---------|-----------|-----------|
| RCP 2.6 | → | → |
| RCP 8.5 | → | → |

↗ Creciente
→ Estable
↘ Decreciente

Descripción: Tortuga con caparazón abombado, con tonalidades verde oliva-amarillenta. Las placas presentan bordes negros y suelen presentar una mancha también oscura en el centro. Su peto es amarillento con manchas negras.

Distribución: Sur de Europa, norte de África y oeste de Asia.

Hábitat y alimentación: Vive en zonas áridas donde predominan los arbustos y matorrales, con suelos preferentemente arenosos y escasas precipitaciones. Su alimentación es herbívora.

Estado de amenaza: Vulnerable.

El modelo matemático para esta especie indicó que la distribución se explica principalmente por el factor puro no climático (55,30%). El factor puramente climático apenas explicó un 0,83%, mientras que el solapamiento lo hizo en un 55,31%. El modelo cartográfico mostró una favorabilidad media alta para la zona sur de la península (especialmente Andalucía y Murcia) y también en Cataluña, incluyendo muchas zonas donde la especie no está actualmente presente. Esto indica que la especie presenta mucha distribución potencialmente favorable que debería tenerse en cuenta a la hora de realizar suelta de ejemplares mediante programas de conservación *ex situ*. Al proyectar el modelo al futuro, se observó que prácticamente no hubo diferencias (ni incremento ni descenso) de zonas favorables en ninguno de los escenarios de cambio climático (ver figura 10).

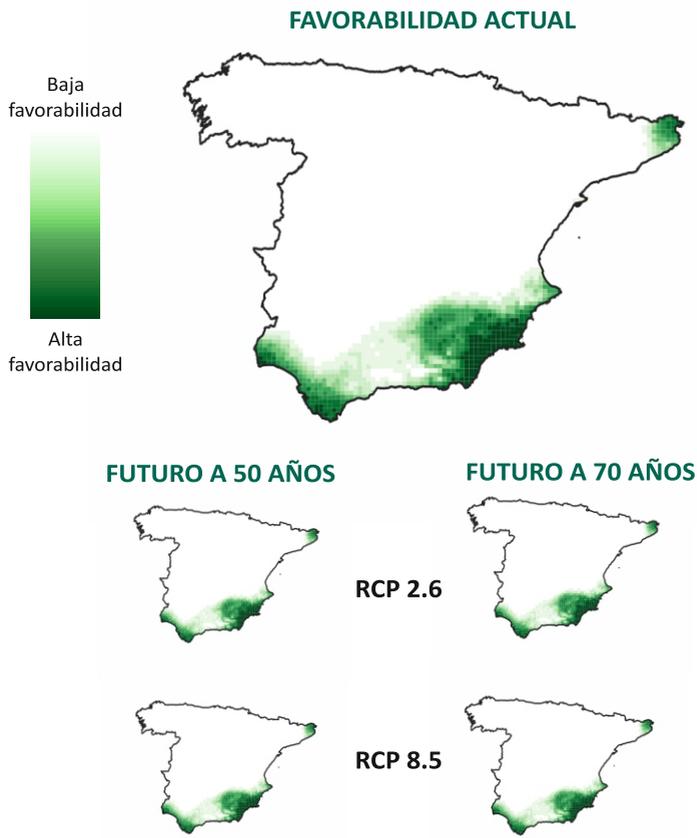


Figura 10. Modelo cartográfico y proyecciones al futuro de los escenarios RCP 2.6 y 8.5 para la tortuga mora. Los modelos proyectados representados en la imagen corresponden al promedio de los tres modelos de circulación (GFDL-CM3, CNRM-CM5 y MPI-ESM-LR) para cada escenario de cambio climático. Para ver los modelos cartográficos proyectados de manera individual, consultar Anexo 4, página 11.

Por lo tanto, no serían necesarias medidas urgentes de adaptación climática para esta especie, y los esfuerzos deberían centrarse en la conservación de su hábitat, en el control de su extracción del medio natural como mascota y en el fortalecimiento de las poblaciones silvestres mediante la suelta de ejemplares por medio de programas de conservación *ex situ*.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los modelos de distribución de especies y la función de favorabilidad han demostrado ser herramientas útiles para calcular la distribución potencial favorable de una especie, así como evaluar a partir de pronósticos al futuro como esa distribución potencial favorable podría verse afectada positiva o negativamente debido a las predicciones del cambio climático en un futuro a corto, medio y largo plazo. Se observó que la distribución potencial favorable para seis de estas especies (águila imperial, conejo, lagartija serrana musaraña canaria, quebrantahuesos y sapillo balear) podría verse afectada negativamente por los efectos del cambio climático en mayor o menor grado (con pérdidas de áreas con condiciones favorables para estas especies). Para el galápagos leproso se encontró una evolución positiva, mientras que para las tres especies restantes (lagartija pallaresa, liebre de piornal y tortuga mora) apenas se encontraron diferencias significativas en su distribución potencial favorable.

A partir de estos resultados, desde el Comité Español de la UICN queremos realizar las siguientes recomendaciones:

- Re-evaluar aquellas especies más amenazadas en la Lista Roja de la UICN; priorizando aquellas para las que su distribución potencial se va a ver afectada por el cambio climático en el futuro. A fecha de la publicación de este informe, cuatro de las especies estudiadas (lagartija serrana, lagartija pallaresa, galápagos leproso y tortuga mora) están desactualizadas según las directrices de la Lista Roja. De estas cuatro especies, únicamente para la lagartija serrana se observó un cambio drástico en su potencial distribución debido a los efectos del cambio climático.
- Desarrollar medidas de adaptación y mitigación al cambio climático en las especies más vulnerables, tanto legislativas, como de conservación ex situ e in situ. Destacando:
 - La necesidad de mantener ecosistemas sanos e intactos, para permitir la capacidad de respuesta al cambio climático de estas especies de manera natural.
 - Restaurar ecosistemas actualmente degradados o cambiantes, priorizando aquellos dentro de la distribución de las especies de estudio más afectadas.
 - Desarrollar enfoques integrados y de paisaje.
 - Ofrecer suplementos de alimento y agua en aquellas zonas más afectadas por el cambio climático a corto plazo hasta que pueda encontrarse una solución más apropiada.
 - Monitoreo, control y, de ser posible, erradicación, de especies invasoras y

especies asilvestradas, especialmente aquellas favorecidas ante el cambio climático y que está demostrado científicamente que están desplazando o depredando a las especies autóctonas, como es el caso del galápagos leproso frente a especies exóticas del género *Trachemys*.

- Monitoreo, control y, de ser posible, erradicación, de especies invasoras, especialmente aquellas favorecidas ante el cambio climático y que está demostrado científicamente que están desplazando o depredando a las especies autóctonas.

- Reproducción en cautividad, readaptación y posterior liberación en aquellas zonas más favorables, siempre en caso de especies seriamente amenazadas de extinción y como último recurso.

- Disminución, e incluso paralización temporal, de la actividad cinegética del conejo, para de esa forma disminuir la presión de las poblaciones más afectadas y facilitar que puedan recuperarse a corto-medio plazo.
- Cómo una medida urgente que debería evitar usarse, en la medida de lo posible, los pronósticos obtenidos podrían ser aplicados para dirigir posibles zonas de suelta, junto a estudios ecológicos e información de expertos.
- Mayores planes de acción y concienciación sobre la problemática del uso de veneno en España.
- Compartir esta nueva información con la comunidad científica, así como entidades conservacionistas, tanto entre la membresía del comité como entidades independientes. Los resultados de este estudio deben ser sometidos a una revisión peer review para facilitar su aceptación por la comunidad científica
- Divulgación entre el público general y, especialmente, en centros escolares para informar de cómo el cambio climático puede afectar a nuestra fauna autóctona y qué medidas se están desarrollando al respecto, también desde el punto de vista de la distribución de las especies.



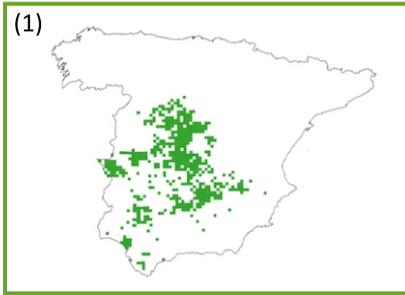
REFERENCIAS

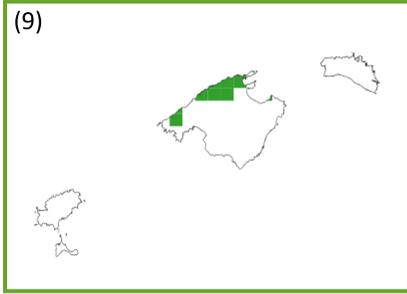
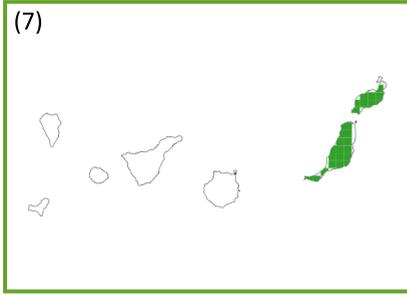
- [1] Comité Español de la UICN. Análisis del efecto del Cambio Climático sobre vertebrados terrestres amenazados incluidos en la Lista Roja de UICN, mediante modelos de distribución de especies. (2020).
- [2] IPCC. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2022 — IPCC. IPCC (2021). Available at: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>. (Accessed: 10th September 2021)
- [3] Sánchez, S., Pino del Carpio, A., Nieto, A. & Bilz, M. Spain's biodiversity at risk. A call for action. IUCN Red List (2013).
- [4] Morales Matos, G. Las islas Canarias, ¿una región aislada? Boletín la Asoc. Geógrafos Españoles 155–175 (2001).
- [5] Fernández-Palacios, J. M. & Martín-Esquivel, J. L. Naturaleza de las Islas Canarias: ecología y conservación. (Turquesa Publicaciones, 2001).
- [6] Mayol, J. Fauna endémica: evidencia de evolución. (Gobierno de las Islas Baleares).
- [7] Comité español de la UICN. Análisis de las especies en Lista Roja de la UICN en España: Una llamada a la acción. (2019).
- [8] Subcomité de Estándares y Peticiones de la UICN. Directrices de uso de las Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN. Versión 13. (2017).
- [9] Foden, W. B. & Young, B. B. E. Directrices de la CSE de UICN para evaluar la vulnerabilidad de las especies al cambio climático. Versión 1.0. Publicación ocasional de la Comisión de Supervivencia de Especies (de UICN). Directrices de la CSE de UICN para evaluar la vulnerabilidad de las especies al cambio climático (IUCN, International Union for Conservation of Nature, 2020). doi:10.2305/IUCN.CH.2016.SSC-OP.59.es
- [10] Márquez, A. L., Real, R., Olivero, J. & Estrada, A. Combining climate with other influential factors for modelling the impact of climate change on species distribution. *Clim. Change* 108, 135–157 (2011).
- [11] Romero, D., Olivero, J. & Real, R. Accounting for uncertainty in assessing the impact of climate change on biodiversity hotspots in Spain. *Anim. Biodivers. Conserv.* 42, 355–367 (2019).
- [12] Legendre, P. Spatial Autocorrelation : Trouble or New Paradigm? *Ecology* 74, 1659–1673 (1993).
- [13] Real, R. et al. Relative importance of environment, human activity and spatial situation in determining the distribution of terrestrial mammal diversity in Argentina. *J. Biogeogr.* 30, 939–947 (2003).

- [14] Delibes-Mateos, M., Farfán, M. A., Olivero, J., Marquez, A. L. & Vargas, J. M. Long-term changes in game species over a long period of transformation in the Iberian Mediterranean landscape. *Environ. Manage.* 43, 1256–1268 (2009).
- [15] Acevedo, P. & Real, R. Favourability: Concept, distinctive characteristics and potential usefulness. *Naturwissenschaften* 99, 515–522 (2012).
- [16] Real, R., Barbosa, A. M. & Vargas, J. M. Obtaining environmental favourability functions from logistic regression. *Environ. Ecol. Stat.* 13, 237–245 (2006).
- [17] Romero-Pacheco, D. Efectos previsibles del cambio climático en la distribución de los vertebrados amenazados de España peninsular. Tesis doctoral. (Universidad de Málaga, Málaga, España, 2014).
- [18] Lobo, J. M., Jiménez-valverde, A. & Real, R. AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 17, 145–151 (2008).
- [19] Muñoz, A. R., Real, R., Barbosa, A. M. & Vargas, J. M. Modelling the distribution of Bonelli's eagle in Spain: Implications for conservation planning. *Divers. Distrib.* 11, 477–486 (2005).
- [20] Barbosa, A. M. et al. Spatial, environmental and human influences on the distribution of otter (*Lutra lutra*) in the Spanish provinces. *Divers. Distrib.* 7, 137–144 (2001).
- [21] Real, R., Romero, D., Olivero, J., Estrada, A. & Márquez, A. L. Estimating How Inflated or Obscured Effects of Climate Affect Forecasted Species Distribution. *PLoS One* 8, (2013).
- [22] Karger, D. N. et al. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Sci. Data* 4, 1–20 (2017).
- [23] McSweeney, C. F., Jones, R. G., Lee, R. W. & Rowell, D. P. Selecting CMIP5 GCMs for downscaling over multiple regions. *Clim. Dyn.* 44, 3237–3260 (2015).
- [24] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Cambridge University Press, 2013).
- [25] Hosmer, D. W. & Lemeshow, S. Applied logistic regression. (Wiley, 2000)

ANEXO 1. Mapas de distribución de las especies de estudio.

A continuación se representan los mapas de presencia y ausencia del (1) Águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*), (2) Conejo (*Oryctolagus cuniculus*), (3) Galápago leproso (*Mauremys leprosa*), (4) Lagartija serrana (*Iberolacerta monticola*), (5) Lagartija pallaresa (*Iberolacerta aurelioi*), (6) Liebre de piornal (*Lepus castroviejoii*), (7) Musaraña canaria (*Crocidura canariensis*), (8) Quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*), (9) Sapillo balear (*Alytes muletensis*) y (10) Tortuga mora (*Testudo graeca*). Las cuadrículas en verde corresponden a las presencias y las blancas a las ausencias.





Este proyecto cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

AUTORES

Equipo de redacción del Comité Español de la UICN:

Lucrecia Souviron Priego

David Romero Pacheco

Juan Antonio López Jaime

Juan Jesús Bellido López

Colaboradores:

Melanie Buisán

Ximena Aurora Altonar Gómez

Ana Luz Márquez Moya

Miguel Ángel Farfán Aguilar

Ilustraciones científicas:

Ana García Berlanga

Diseño y maquetación:

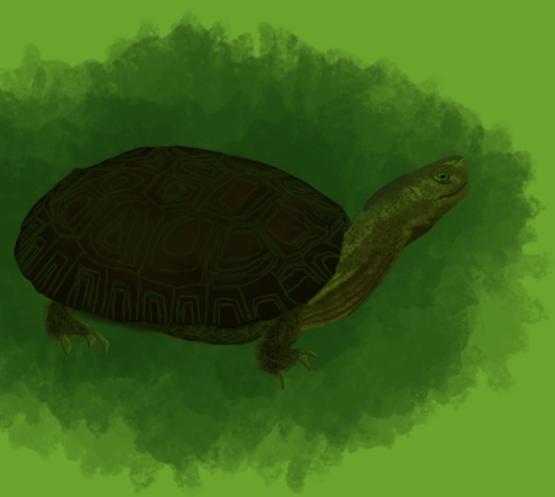
Vicente Sánchez Gil

ISBN:

978-84-09-34002-6



Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto.



MONITORIZACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN VERTEBRADOS AMENAZADOS UTILIZANDO MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES



Oficina Técnica Comité Español UICN, septiembre de 2021

Con el apoyo de:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad

