

ANÁLISIS DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE VERTEBRADOS TERRESTRES AMENAZADOS INCLUIDOS EN LA LISTA ROJA DE UICN, MEDIANTE MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

Oficina Técnica Comité Español UICN, mayo de 2020

Con el apoyo de:



CUARTA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO









INTRODUCCIÓN

España comprende el 84% de la superficie de la península ibérica y es considerada un área biogeográficamente relevante para la conservación de la biodiversidad, siendo el país europeo más rico en biodiversidad[1]. Más del 30% de la superficie terrestre del país, y casi el 8% de su territorio marino, se integran en la Red Natura 2000, la mayor red coordinada de áreas protegidas del mundo[2]. En el año 2020, la red en España comprendía 1.467 Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), incluidos en las Listas de LIC aprobadas por la Comisión Europea, y 657 Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), con una superficie total de, aproximadamente, 222.000 km². De esa extensión total, más de 138.000 km² corresponden a superficie terrestre, aproximadamente un 27,35 % del territorio español, y unos 84.000 km², a superficie marina[2].

España alberga unas 85.000 especies, más del 50% de las especies animales y el 80% de las especies de plantas vasculares de Europa. Aproximadamente, el 14% de ellas están amenazadas[3]. A fecha de abril de 2020, la lista roja europea había evaluado 7107 especies de animales, plantas y hongos presentes en España, de las que 884 (cerca del 12%) se encontraban desactualizadas (habiendo transcurrido más de diez años desde la última vez que se evaluaron)[4]; la inmensa mayoría mamíferos, reptiles y anfibios[3]. Estas especies amenazadas, cuvo rango de amenaza podría aumentar tras una nueva evaluación, son más vulnerables a los cambios en su entorno, especialmente aquellas cuyo rango de distribución sea pequeño o limitado, como sucede con un número considerable de especies autóctonas, endémicas, o la mayoría de los anfibios y reptiles dentro de los vertebrados[5]. Entre los principales factores que pueden alterar la distribución de las especies, se posiciona el cambio climático [6]. Distintos autores han comprobado que el efecto del cambio climático afectará a todas las especies, pero no con el mismo efecto. De esta manera, se han detectado efectos positivos[7], negativos[8] o sin cambio aparente en la distribución, según que especie se analice y a que grupo de vertebrado pertenezca[5].

Si los efectos del cambio climáticos son negativos, éstos pueden manifestarse tanto de forma directa como indirecta. Una forma directa es, por ejemplo, el estrés fisiológico que sufren los organismos cuando las temperaturas de verano del ambiente exceden sus tolerancias, pudiendo provocar alteraciones en el comportamiento de las especies, su fenología (ej. migraciones, hibernación, floración, etc.) y reproducción[6], a corto, medio y largo plazo. Esto podría desencadenar efectos negativos que a largo plazo, sobre todo a las especies más vulnerables, amenacen su supervivencia.

De forma indirecta, el cambio climático también puede alterar a las interacciones interespecíficas entre las especies que comparten un mismo espacio. Esto incluye efectos sobre depredadores y presas, competidores, parasitismo, o incluso sobre la proliferación y expansión de especies vectores de enfermedades o zoonosis, promoviendo a mediano y largo plazo a la pérdida de hábitats y biodiversidad.

como a alteraciones sanitarias y económicas que afectan al hombre (ej. migración, cambios en las zonas agrícolas, la construcción de presas o diques...)[9][10].

En resumen, los efectos del cambio climático pueden impactar considerablemente a la supervivencia de las especies y a su capacidad de adaptación a nuevas condiciones, resultando más vulnerables las especies amenazadas. En este contexto, es necesario utilizar herramientas que puedan pronosticar cómo el cambio climático va a afectar a la fauna a medio y largo plazo, para lograr adoptar medidas específicas para las especies más vulnerables al cambio.

En esta línea, la Biogeografía es la disciplina que analizala distribución de las especies, interpretando la superficie terrestre como un conjunto de unidades biogeográficas separadas por fronteras bióticas[5]. A partir de la especie, u otros niveles taxonómicos, la Biogeografía nos ayuda a comprender los patrones de distribución en el espacio y en el tiempo, así como determinar los procesos que la causan y mantienen[11]. Por tanto, la Biogeografía se posiciona como una herramienta esencial para la conservación de la biodiversidad, ya que puede ser utilizada para la selección, evaluación y desarrollo de los espacios naturales más relevantes y vulnerables a proteger.

Si no se puede conservar la distribución de una especie, estará abocada a la extinción. Es por ese motivo, que los modelos de distribución de las especies (también conocidos con *SDM*, por sus siglas en inglés) son una herramienta útil para analizar las relaciones entre las especies y su ambiente y, por tanto, instrumentos esenciales para la conservación[12]. Los *SDM* se han utilizado para diversos fines, como mejorar el conocimiento de la distribución de las especies, identificar la distribución potencial (para diseñar programas de reintroducciones por ejemplo), o conocer los territorios con mayor potencial de colonización[13-15], entre otras funciones. Sin embargo, es cada vez más frecuente usar los *SDM* para predecir cómo el cambio climático va a cambiar la distribución de las especies, y utilizar esa información para adoptar medidas de gestión y protección más específicas y con mayor antelación[5][6][16].

Por todo lo expuesto, el objetivo principal de este estudio es analizar y evaluar el efecto potencial de distintos escenarios de cambio climático sobre la distribución de las especies de vertebrados terrestres amenazados de la península ibérica (según la Lista Roja de la UICN). 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.

AS ESPECIES SELECCIONADAS

Se han seleccionado diez especies de vertebrados de acuerdo a las siguientes directrices:

1º Que la distribución de las especies fuera predominantemente española, con preferencia especies endémicas.

2º Que la evaluación de las especies en la Lista Roja de la UICN europea estuviera desactualizada; es decir, que hayan al menos diez años desde la última vez que fueron evaluadas[3][4].

3º Que se consideren amenazadas según la Lista Roja de la UICN europea. De las diez especies seleccionadas, ocho corresponden a endemismos de la península ibérica.

A continuación, se enumeran las especies objeto de estudio:

Rata de agua (Arvicola sapidus).

Desmán ibérico (Galemys pyrenaicus).

Lagartija de Valverde (Algyroides marchi)

Víbora hocicuda (Vipera latastei)

Lagartija batueca (Iberolacerta martinezricai)

Salamandra rabilarga (Chioglossa lusitanica)

Rana pirenaica (Rana pyrenaica)

Tritón del Montseny (Calotriton arnoldi)

Sapo partero bético (Alytes dickhilleni)

Sapo partero ibérico (Alytes cisternasii)

CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS

Para realizar los modelos de distribución de especies se han seleccionado variables predictoras divididas en cuatro factores: clima, espacio, topografía e impacto humano (ver tabla 1 en el Anexo 1). Aunque el objetivo principal del estudio es pronosticar como el cambio climático podría afectar a las especies seleccionadas en diferentes escenarios de cambio climático, 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[6][16][31].

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[32][33]; 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[31][34][35].

A partir de las variables predictoras organizadas en los factores descritos, se pasó a la elaboración de los modelos de distribución, aplicando 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[12][13]. La forma en la que la favorabilidad incorpora en el propio algoritmo la relación inicial de presencias/ausencias para la especie en estudio, hace que los modelos de favorabilidad proporcionen valores conmensurables entre distintas especies y modelos[13]. Por tanto, la favorabilidad mide el grado en que las condiciones locales permiten una probabilidad local mayor o menor que la esperada por azar; definiéndose esta probabilidad al azar como la prevalencia total del evento[13]. Esto significa que, si el valor de favorabilidad para la presencia de una especie en una localidad (en este caso cuadrícula) es 0.5, la probabilidad de que la especie esté presente en ella es la misma que la prevalencia de la especie en el conjunto total de los datos; es decir, las condiciones ambientales locales no aumentarían ni disminuirían la probabilidad de presencia con respecto a lo esperado en función de la prevalencia. En cambio, cuando los valores de favorabilidad local son mayores que 0.5 indican que características ambientales están favoreciendo la presencia de la especie, mientras que los valores menores que 0.5 significan que las condiciones ambientales les resulta perjudiciales[13][36] (Para saber más información sobre la metodología y construcción de los modelos, véase el Anexo 2).

Aunque lo más común es encontrar que las zonas con mayor favorabilidad coinciden con las zonas donde la especie está presente, es importante aclarar que una zona con un alto valor de favorabilidad no es sinónimo de presencia de esa especie en la zona y lo mismo en el sentido opuesto. Ya que la favorabilidad señala cuales son los territorios que albergan las condiciones ambientales para que la especie pueda habitar dicho territorio, independientemente de que alguna vez lo ocupe. Es decir, que es posible encontrar que la mayor parte de la distribución actual de una determinada especie no se encuentren en las zonas de mayor favorabilidad, e incluso que ocupe las zonas menos favorables, pero por diversos motivos (históricos, antropogénicos...) la especie ha podido acabar reducida a esas zonas[5].

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 discriminación[37]. 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.

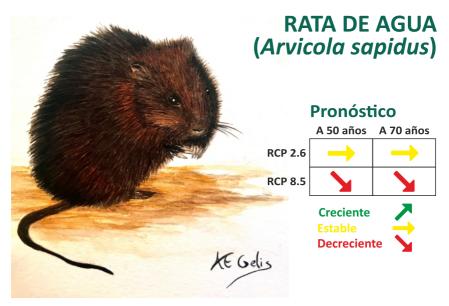
ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Posteriormente, los modelos resultantes fueron proyectados al futuro (a 50 y 70 años) en diferentes escenarios posibles de emisiones de concentraciones de CO_2 en la atmósfera. Para este trabajo se usaron los definidos por las Trayectorias de Concentración Representativa (RCP), los cuales son los escenarios asociadas con el Quinto informe del IPCC (los más recientes en el momento de la publicación de este informe)[6][38]. Concretamente, se usaron los escenarios RCP 2.6, 4.5 y 8.5; siendo el 2.6 el más optimista y el 8.5 el más pesimista . 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 areas; http://chelsa-climate.org/)[40], y por ser los que menor sesgo presentaban para Europa[41].

RESULTADOS: VALORACIÓN POR ESPECIE

Obtuvimos modelos significativos para todas las especies seleccionadas, aunque no para todas fue el factor climático el factor que explica su distribución. En cuanto a la evaluación de los modelos, todos obtuvieron una excelente capacidad de discriminación[42] valores por encima de 0.7, con un AUC de 0,708 para el valor de menor AUC (correspondiente a la rata de agua), y de 0,999 para los valores más altos (correspondientes a la lagartija de Valverde y rana pirenaica). En cuanto a la capacidad de clasificación, únicamente el tritón de Montseny y la lagartija batueca presentaron un Kappa de Cohen bajo (0,010), algo esperable teniendo en cuenta lo restringido de su distribución, haciendo complicado obtener un buen ajuste del modelo a partir de la extensión geográfica de toda España. El resto de índices para evaluar la capacidad de discriminación y clasificación para cada modelo puede ser consultado en la tabla 2 del Anexo 1.

A continuación, se detalla los resultados para cada especie:



Descripción: Roedor anfibio de tamaño medio y constitución robusta, de pelaje pardo oscuro en la espalda y grisáceo en el vientre.

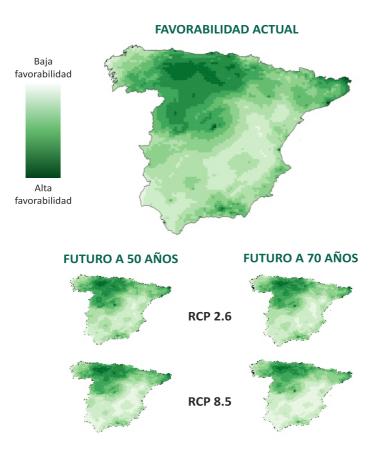
Hábitat y alimentación: Cerca de lugares donde haya agua y abundante vegetación ribereña. Se alimenta principalmente de plantas acuáticas, pastos y ocasionalmente pequeños animales.

Estado de amenaza: Vulnerable

Previsión del modelo: Aunque la especie se mantiene más o menos estable en los mejores escenarios a 50 y 70 años, se observa una disminución del 20% en el peor escenario a 70 años.

El factor espacial explicó con mayor peso la distribución actual de la especie, seguido del factor climático (principalmente por la precipitación en el mes más seco y la temperatura máxima en el mes más cálido y, en menor medida, por la precipitación anual y la temperatura estacional). El factor humano y topográfico también explicaron parte de la distribución de la especie, aunque no con tanto peso como los dos factores anteriores (ver Anexo 1, Tabla 3).

Al proyectar el modelo al futuro usando los diferentes escenarios de cambio climático, se detectó un decrecimiento de la favorabilidad moderado en la zona central y sur de España, especialmente en los escenarios 4.5 y 8.5 más lejanos en el futuro (ver Anexo 1, Tabla 4). En estos, un porcentaje considerable de zonas de favorabilidad media y alta en el presente (en gran proporción localizadas en la zona noroccidental de España), redujeron su favorabilidad en el futuro analizado.



Modelo de favorabilidad de la rata de agua actual y proyectada al futuro a 50 y 70 años en el escenario más optimista (RCP 2.6) y menos optimista (RCP 8.5). Los valores de favorabilidad varían entre 0 y 1, siendo el valor 0 el menos favorable para la especie (menos verde) y el valor 1 el más favorable (más verde).

Los pronósticos obtenidos muestran que el cambio climático afectaría negativamente a la rata de agua en el futuro, siendo necesarias el desarrollo de medidas de adaptación para conservar la especie, preferentemente en aquellas localidades donde la pérdida potencial de favorabilidad fue mayor, como Andalucía, Castilla la Mancha, Extremadura y la zona más al sur de Aragón. Algunas de estas medidas de gestión podrían estar enfocadas a asegurar el suministro de agua en aquellas zonas que potencialmente se van a ver más afectadas, ya que es uno de los factores más limitantes y necesarios para que esta especie prospere con éxito.

DESMÁN IBÉRICO (Galemys pyrenaicus)



Descripción: Mamífero de aspecto rechoncho, con una cola escamosa y gruesa. Patas traseras más desarrolladas que las delanteras y adaptadas al nado. Su cabeza recuerda a la de un topo, con una trompa aplastada y desnuda.

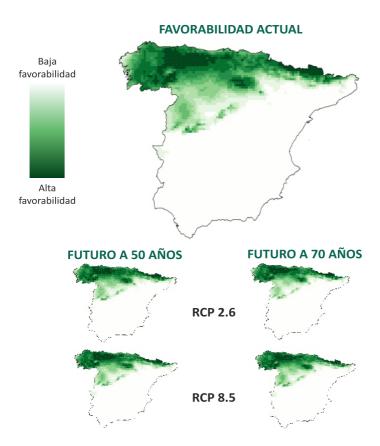
Hábitat y alimentación: Vive en arroyos montañosos de aguas limpias y oxigenadas. Se alimenta de una gran variedad de crustáceos y larvas de insectos.

Estado de amenaza: Vulnerable

Previsión del modelo: Se observa un incremento muy leve en casi todos los escenarios aunque poco perceptible. Podemos considerar que la favorabilidad se va a mantener estable en el futuro.

En el caso del desmán se observó que el factor climático era el de mayor peso en el modelo, seguido del topográfico y el espacial. La influencia humana también explicó parte del modelo, aunque en menor medida (Anexo 1, Tabla 3). Las zonas potencialmente más favorables se encontraron localizadas en la parte norte, encontrándose una disminución progresiva en la zona más suroccidental.

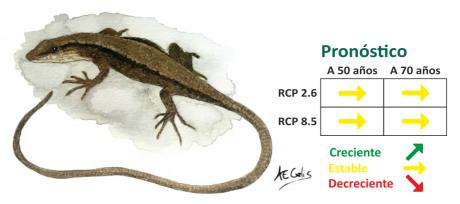
Las proyecciones al futuro muestran sin embargo que la distribución de esta especie no se verá afectada por el cambio climático, incluso encontrándose un leve crecimiento de zonas favorables en la gran mayoría de escenarios en el futuro a medio y largo plazo (Anexo 1, Tabla 4). Sin embargo, es importante recordar que las poblaciones de esta especie se encuentran en declive por otros factores, siendo impredecible el efecto sumado de otras condiciones como la climática, hasta tal punto que se valora actualizar su estado de amenaza de Vulnerable a En Peligro de Extinción[3],[19],[43]. Esto nos indica que los esfuerzos



Modelo de favorabilidad del desmán ibérico actual y proyectada al futuro a 50 y 70 años en el escenario más optimista (RCP 2.6) y menos optimista (RCP 8.5). Los valores de favorabilidad varían entre 0 y 1, siendo el valor 0 el menos favorable para la especie (menos verde) y el valor 1 el más favorable (más verde).

deben enfocarse más en la conservación de su hábitat, conservación ex situ, reducirla endogamia y control de especies invasoras que depredan sobre el desmán, en lugar de tomar medidas de adaptación o de mitigación al cambio climático.

LAGARTIJA DE VALVERDE (Algyroides marchi)



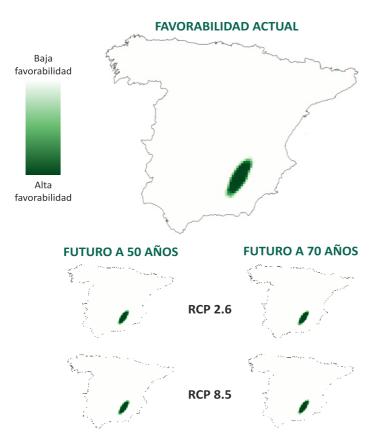
Descripción: Lacértido de pequeño tamaño, entre 12-14 cm incluyendo la cola. Coloración marrón grisácea por la parte superior del cuerpo, siendo las franjas laterales de un color más oscuro.

Hábitat y alimentación: Endemismo de las sierras surorientales de la península ibérica, prefiere las zonas rocosas y umbrías. Se alimenta de invertebrados, principalmente arañas.

Estado de amenaza: En peligro de extinción.

Previsión del modelo: Aunque su población se considera en regresión por la UICN, no parece que ningún factor climático explique su distribución, por lo que no es posible hacer un pronóstico al futuro.

Únicamente los factores espacial y topográfico explicaron la distribución de esta especie, siendo la variable espacial la que obtuvo mayor peso en el modelo. Al no tener el clima como un factor que explique potencialmente su distribución, no ha sido posible hacer una proyección al futuro de la especie, por lo que su distribución, según el cambio en las condiciones climáticas analizadas, se mantendrá estable en un futuro a medio y largo plazo, no siendo necesarias ninguna medida de adaptación ni de mitigación al cambio climático.



Modelo de favorabilidad de la lagartija de valverde actual y proyectada al futuro a 50 y 70 años en el escenario más optimista (RCP 2.6) y menos optimista (RCP 8.5). Los valores de favorabilidad varían entre 0 y 1, siendo el valor 0 el menos favorable para la especie (menos verde) y el valor 1 el más favorable (más verde).

VÍBORA HOCICUDA (Vipera latastei)



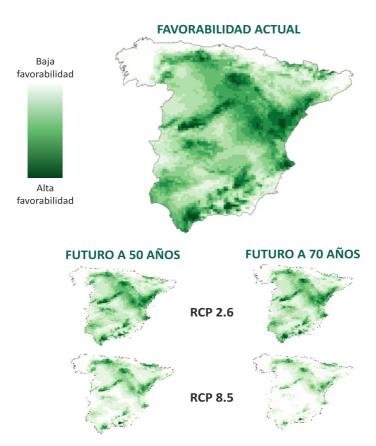
Descripción: Serpiente de pequeño tamaño (50-60 cm). Es fácilmente identificada por la forma de su cabeza, de forma triangular y con un pequeño cuerno en la punta del hocico.

Hábitat y alimentación: Vive en zonas rocosas y secas, aunque también se la puede encontrar en zonas de matorral y bosque. Se alimenta principalmente de micromamíferos, aunque los pájaros y pequeños reptiles también forman parte de su dieta.

Estado de amenaza: Vulnerable

Previsión del modelo: Disminución considerable de la favorabilidad en todos los escenarios, con una caída de hasta el 27% y 67% en el peor escenario a 50 y a 70 años.

La distribución actual de esta especie fue explicada principalmente por los factores espacial y climático, aunque también tuvieron peso la topografía y la influencia humana. Los resultados de la proyección al futuro fueron alarmantes, con una disminución de la favorabilidad en todos los escenarios y modelos de circulación; algunos casos con más del 90% en un futuro a largo plazo.

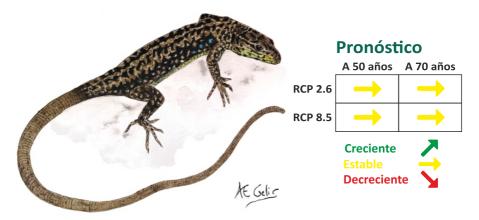


Modelo de favorabilidad de la víbora hocicuda actual y proyectada al futuro a 50 y 70 años en el escenario más optimista (RCP 2.6) y menos optimista (RCP 8.5). Los valores de favorabilidad varían entre 0 y 1, siendo el valor 0 el menos favorable para la especie (menos verde) y el valor 1 el más favorable (más verde).

Es importante aclarar que esta especie, aunque esté asociada a hábitats de montaña, históricamente su distribución fue más amplia, siendo la enorme persecución por parte del hombre durante siglos, al considerarlo un animal dañino y peligroso, lo que la ha relegado a las zonas montañas y menos accesibles para el hombre [44].

Se hace por tanto extremadamente necesario el desarrollo de medidas de manejo y conservación para esta especie, tanto destinadas a posibilitar la capacidad de respuesta y adaptación al cambio climático pronosticado, como medias de conservación in situ y ex situ y su protección legal lo más inmediatamente posible.

LAGARTIJA BATUECA (Iberolacerta martinezricai)



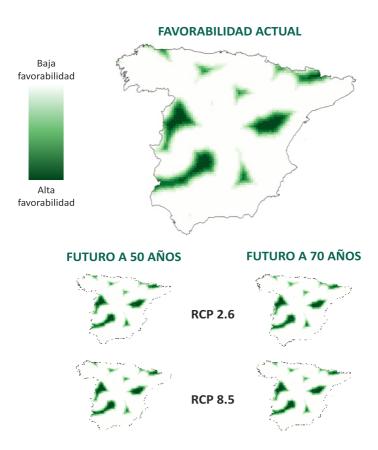
Descripción: Lacértido de tamaño medio (6-7 cm). Presenta dimorfismo sexual. El color de fondo es marrón, retículado en negro en los machos mientras que las hembras presentan unas bandas costales.

Hábitat y alimentación: Vive en hábitats rocosos a grandes altitudes en bosques templados. Se alimenta de pequeños invertebrados

Estado de amenaza: En peligro crítico de extinción.

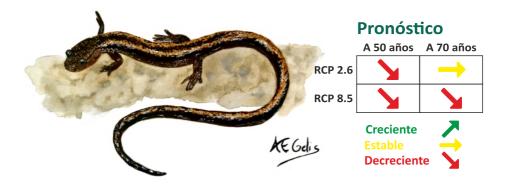
Previsión del modelo: Aunque su población esté muy amenazada debido a lo pequeño de su rango de distribución, no parece que el clima sea un factor importante, por lo que favorabilidad de la especie se mantendría estable en el futuro.

El modelo se explicó únicamente por el factor humano, por lo que no fue posible encontrar ningún cambio en su distribución cuando fue proyectado al futuro. Por lo tanto, los esfuerzos de conservación de esta especie deben estar enfocados principalmente en la conservación de su reducido hábitat, así como medidas ex situ.



Modelo de favorabilidad de la lagartija batueca actual y proyectada al futuro a 50 y 70 años en el escenario más optimista (RCP 2.6) y menos optimista (RCP 8.5). Los valores de favorabilidad varían entre 0 y 1, siendo el valor 0 el menos favorable para la especie (menos verde) y el valor 1 el más favorable (más verde).

SALAMANDRA RABILARGA (Chioglossa lusitanica)



Descripción: Anfibio urodelo de aspecto alargado. Dorso oscuro, con dos líneas doradas que recorren todo el cuerpo y se unen en la base de la cola.

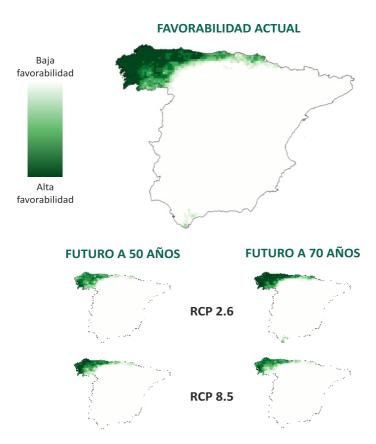
Hábitat y alimentación: Prefiere las zonas montañosas con arroyos limpios. Se encuentran igualmente en bosques caducifolios o de eucaliptos, así como tojales y lugares rocosos con poca vegetación Se alimenta principalmente de pequeños artrópodos.

Estado de amenaza: Vulnerable

Previsión del modelo: Reducción de la favorabilidad de un 27% en el peor escenario a 50 años, llegando hasta un 41% dentro de 70 años.

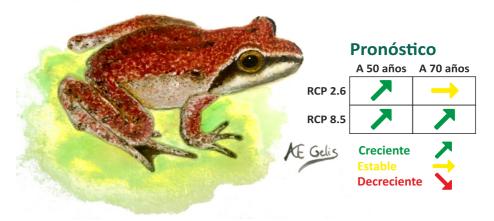
El factor climático fue el que tuvo más peso en el modelo de esta especie, seguido del topográfico y, en menor medida, de la influencia humana. Las zonas más favorables se concentraron en la zona noroeste, siendo menor en las zonas del suroeste y del noreste.

Cuando se proyectó el modelo al futuro, se observó una disminución moderada de su distribución potencial en todos los escenarios a excepción del más optimista (RCP 2.6); donde la favorabilidad se mantuvo estable. Se requieren por tanto tomar medidas de adaptación para esta especie.



Modelo de favorabilidad de la salamandra rabilarga actual y proyectada al futuro a 50 y 70 años en el escenario más optimista (RCP 2.6) y menos optimista (RCP 8.5). Los valores de favorabilidad varían entre 0 y 1, siendo el valor 0 el menos favorable para la especie (menos verde) y el valor 1 el más favorable (más verde).

RANA PIRENAICA (Rana pyrenaica)



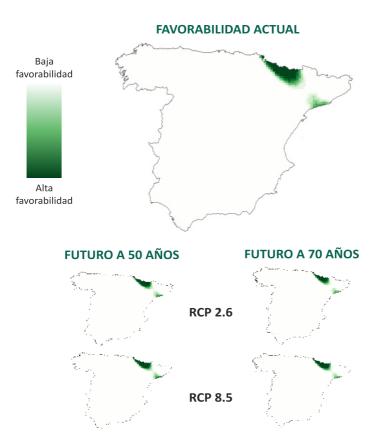
Descripción: Rana parda de tamaño medio (4-5 cm). Cabeza más ancha que larga, con hocico corto, extremidades relativamente largas, presentando 4 y 5 dedos.

Hábitat y alimentación: Anfibio de montaña, viviendo cerca de los arroyos y ríos en los que el agua es fría, clara y bien oxigenada. Puede también encontrarse en bebederos y tanques de almacenamiento de agua. Se alimenta de pequeños invertebrados.

Estado de amenaza: En peligro de extinción.

Previsión del modelo: Positiva para la especie, con un aumento en todos los escenarios, aunque éste tiende ligeramente a disminuir en el futuro a 70 años.

Su distribución fue explicada por los factores climático, humano y espacial, teniendo este último el mayor peso. Las zonas de mayor favorabilidad se localizaron principalmente en los pirineos y zonas adyacentes, mientras que al sureste se muestra otra zona potencial de distribución con favorabilidad media (Anexo 1, Tabla 3).



Modelo de favorabilidad de la rana pirenaica actual y proyectada al futuro a 50 y 70 años en el escenario más optimista (RCP 2.6) y menos optimista (RCP 8.5). Los valores de favorabilidad varían entre 0 y 1, siendo el valor 0 el menos favorable (menos verde) y el valor 1 el más favorable (más verde).

Las proyecciones al futuro mostraron un pronóstico positivo en prácticamente todos los escenarios, encontrándose un incremento de zonas favorables en los escenarios proyectado a 50 años, aunque se nota que ese incremento disminuía levemente en la proyección a 70 años, aunque seguía siendo ligeramente mayor que en el modelo actual. Por lo tanto, y a la vista de estos resultados, no serían necesarias medidas inmediatas de adaptación al cambio climático para la rana pirenaica, sin menoscabar el desarrollo de otras medidas necesarias para garantizar su pervivencia futura.

TRITÓN DEL MONTSENY (Calotriton arnoldi)



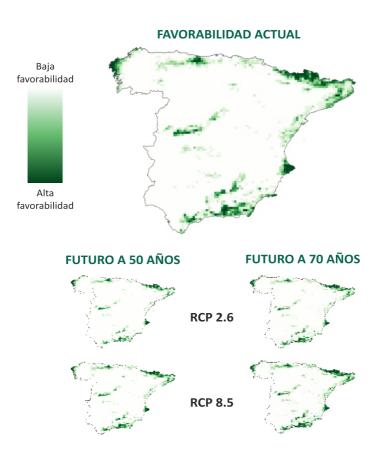
Descripción: Anfibio urodelo que mide entre 8-10 cm, con una coloración amarronada en el dorso con pequeñas manchas amarillas en los flancos de la cola, así como color crema en las partes ventrales.

Hábitat y alimentación: Habita en torrentes de montaña de aguas frías muy oxigenadas, preferentemente en hayedos y encinares entre los 600 y los 1.200 metros de altitud. Se alimenta de invertebrados acuáticos, así como de larvas de salamandra.

Estado de amenaza: En peligro crítico de extinción.

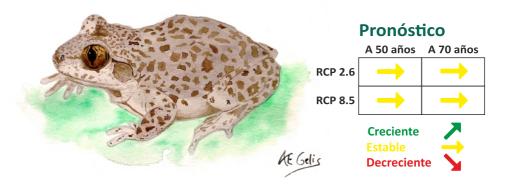
Previsión del modelo: A excepción de un escenario, donde se observa un incremento de la favorabilidad, en general la tendencia es decreciente, con pérdidas entre un 22 y 41%.

Tanto los factores climático como los topográfico explicaron el modelo de esta especie, teniendo ambos factores el mismo peso (Anexo 1, Tabla 3). Salvo por un escenario, en general se encontró un declive de las zonas favorables para la especie, especialmente de cara a 50 años, mejorando levemente en el futuro a 70 años. Aunque el modelo muestra zonas potencialmente favorables con condiciones climáticas y topográficas similares a las ocupadas por las especies en la actualidad, muy lejos de rango de distribución original (Parque natural del Montseny), es altamente improbable que en un futuro a medio-largo plazo esta especie colonice esos territorios. Debido al grado de amenaza de esta especie y a que se encontró que su potencial distribución se ve mermada en los peores escenarios, es extremadamente importante el desarrollo de medidas de adaptación, para asegurar su supervivencia.



Modelo de favorabilidad del tritón del Montseny actual y proyectada al futuro a 50 y 70 años en el escenario más optimista (RCP 2.6) y menos optimista (RCP 8.5). Los valores de favorabilidad varían entre 0 y 1, siendo el valor 0 el menos favorable para la especie (menos verde) y el valor 1 el más favorable (más verde).

SAPO PARTERO BÉTICO (Alytes dickhilleni)



Descripción: Sapo de tamaño pequeño (3-6 cm). Constitución robusta y de aspecto granulado. Su dorso es de color blanquecino o grisáceo con manchas oscuras.

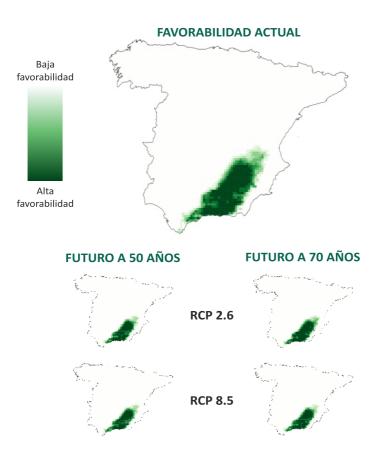
Hábitat y alimentación: Frecuente en los bosques de pino y roble, los adultos se pueden encontrar en las rocas cercanas a zonas de agua.

Estado de amenaza: Vulnerable.

Previsión del modelo: Aunque se ha observado decrecimiento a excepción del escenario RCP 2.6 a 70 años, éste es menor al 6% en el peor de los casos a 70 años, por lo que podríamos considerar que la especie se mantendrá estable en el futuro.

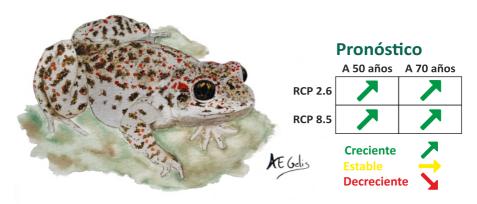
Tanto los factores espacial, humano, topográfico y climático explicaron el modelo, aunque no todos tuvieron el mismo peso. En el caso del sapo partero bético, fue el factor espacial el más importante, seguido (de manera ordenada) por el topográfico, el humano y finalmente el climático (Anexo 1, Tabla 3).

Al realizar las proyecciones al futuro y calcular el incremento, se observó una muy ligera disminución de las zonas favorables, tanto a 50 como a 70 años, a excepción de un modelo de circulación donde se notó una notable mejoría en el escenario más optimista. Pero en términos generales, la especie parece mantenerse estable en un futuro incluso en los escenarios más optimistas, por lo que no serían necesarias medidas exhaustivas de adaptación.



Modelo de favorabilidad del sapo partero bético actual y proyectada al futuro a 50 y 70 años en el escenario más optimista (RCP 2.6) y menos optimista (RCP 8.5). Los valores de favorabilidad varían entre 0 y 1, siendo el valor 0 el menos favorable para la especie (menos verde) y el valor 1 el más favorable (más verde).

SAPO PARTERO IBÉRICO (Alytes cisternassi)

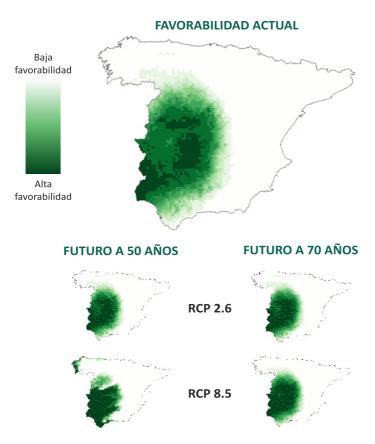


Descripción: Anfibio de pequeño tamaño (<5cm), de aspecto rechoncho, cabeza grande y hocico redondeado. Presenta una piel granulosa con pequeñas verrugas pequeñas, agrupándose más frecuentemente a los lados del animal. **Hábitat y alimentación:** Especie estrechamente asociada a prados y bosques de robles del genero *Quercus*. Se alimenta de una gran variedad de invertebrados terrestres.

Estado de amenaza: Casi amenazado.

El modelo se explicó por los cuatro factores utilizados en el estudio, siendo el factor espacial el que mayor peso obtuvo como diferencia, seguido del topográfico, climático y finalmente el humano (Anexo 1, Tabla 3). Las zonas más favorables se localizaron en la región más al suroeste de España, disminuyendo conforme se avanzaba hacia el noroeste y el este.

Al realizar la proyección al futuro, se encontró un pronóstico positivo, con un aumento moderado de las zonas con mayor favorabilidad, con incremento de las zonas con favorabilidad media-alta actuales a alta; especialmente a 70 años. Por lo tanto, no se requerirían acciones especiales de adaptación para esta especie.



Modelo de favorabilidad del sapo partero ibérico actual y proyectada al futuro a 50 y 70 años en el escenario más optimista (RCP 2.6) y menos optimista (RCP 8.5). Los valores de favorabilidad varían entre 0 y 1, siendo el valor 0 el menos favorable para la especie (menos verde) y el valor 1 el más favorable (más verde).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los SDM han demostrado ser herramientas útiles para calcular la distribución potencial de una especie, así como evaluar a partir de proyecciones al futuro como esa distribución potencial podría verse afectada o no debido al cambio climático. Al comparar nuestros modelos con los realizados en el 2011 por el actualmente MITECO [45], se encontraron diferencias con determinadas especies (concretamente los anfibios y reptiles), algo esperable teniendo en cuenta que la metodología era diferente así como los modelos de circulación usados en ese momento, actualmente no tan en uso como los RCP, que son los escenarios de cambio climático actualmente vigentes. Dicho esto, y en vista de nuestros resultados, desde el Comité Español de la UICN proponemos las siguientes recomendaciones:

- Revaluar aquellas especies más amenazadas en la Lista Roja de la UICN; priorizando aquellas en donde se ha encontrado que su distribución potencial se va a ver afectada por el cambio climático en el futuro, que son la víbora hocicuda, la rata de agua, la salamandra rabilarga y, en menor medida, el tritón de Montseny.
- Desarrollar medidas de adaptación al cambio climático en las especies más vulnerables, tanto legislativas, como de conservación *ex situ* e *in situ*. Destacando:
 - La necesidad de mantener los ecosistemas los más sanos e intactos posibles, para permitir la capacidad de respuesta al cambio climático de estas especies.
 - Restaurar aquellos ecosistemas actualmente degradados o cambiantes.
 - El desarrollo de enfoques integrados y de paisaje.
 - La reubicación de especies afectadas a otras zonas más favorables en el caso que éstas no pudieran hacerlo por sí mismas y siempre tras hacer un estudio exhaustivo, a mediano y largo plazo.
 - 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, 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 amenazas de extinción y como último recurso.

- 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] S. Sánchez, A. Pino del Carpio, A. Nieto, and M. Bilz, "Spain's biodiversity at risk. A call for action," Brussels, Belgium, 2013.
- [2] MITECO, "La Red Natura 2000 en España," MITECO, 2020. [Online]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/rn_espana.aspx. [Accessed: 03-Apr-2020].
- [3] Comité español de la UICN, "Análisis de las especies en Lista Roja de la UICN en España: Una llamada a la acción," Málaga, 2019.
- [4] 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.
- [5] D. Romero-Pacheco, "Efectos previsibles del cambio climático en la distribución de los vertebrados amenazados de España peninsular. Tesis doctoral," Universidad de Málaga, Málaga, España, 2014.
- [6] W. B. Foden and B. B. E. Young, 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), Comisión p., no. 59. Cambridge, Reino Unido y Gland, Suiza: IUCN, International Union for Conservation of Nature, 2020.
- [7] A. R. Muñoz and R. Real, "Assessing the potential range expansion of the exotic monk parakeet in Spain," Divers. Distrib., vol. 12, no. 6, pp. 656–665, 2006.
- [8] G. Mazza, E. Tricarico, P. Genovesi, and F. Gherardi, "Biological invaders are threats to human health: An overview," Ethol. Ecol. Evol., vol. 26, no. 2–3, pp. 112–129, 2014.
- [9] S. L. Maxwell, O. Venter, K. R. Jones, and J. E. M. Watson, "Integrating human responses to climate change into conservation vulnerability assessments and adaptation planning," Ann. N. Y. Acad. Sci., vol. 1355, no. 1, pp. 98–116, Oct. 2015.
- [10] D. B. Segan et al., "Considering the impact of climate change on human communities significantly alters the outcome of species and site-based vulnerability assessments," Divers. Distrib., vol. 21, no. 9, pp. 1101–1111, Sep. 2015.
- [11] I. F. Spellerberg and J. W. D. Sawyer, "Biogeography: The nature of the subect, its history and its application," in An Introduction to Applied Biogeography, 1999, pp. 1–23.
- [12] R. Real, A. M. Barbosa, and J. M. Vargas, "Obtaining environmental favourability functions from logistic regression," Environ. Ecol. Stat., vol. 13, no. 2, pp. 237–245, 2006.

- [13] P. Acevedo and R. Real, "Favourability: Concept, distinctive characteristics and potential usefulness," Naturwissenschaften, vol. 99, no. 7, pp. 515–522, 2012.
- [14] A. M. Barbosa, R. Real, J. Olivero, and J. M. Vargas, "Otter (*Lutra lutra*) distribution modeling at two resolution scales suited to conservation planning in the Iberian Peninsula," Biol. Conserv., vol. 114, no. 3, pp. 377–387, 2003.
- [15] A. Castro, A. R. Muñoz, and R. Real, "Modelling the spatial distribution of the Tengmalm's owl Aegolius funereus in its Southwestern Palaeartic limit (NE Spain)," Ardeola, vol. 55, no. 1, pp. 71–85, 2008.
- [16] A. L. Márquez, R. Real, J. Olivero, and A. Estrada, "Combining climate with other influential factors for modelling the impact of climate change on species distribution," Clim. Change, vol. 108, no. 1, pp. 135–157, 2011.
- [17] P. Rigaux, M. Vaslin, J. F. Noblet, G. Amori, and L. J. Palomo, "Arvicola sapidus. The IUCN Red List of Threatened Species 2008," 2008.
- [18] M. Fernandes, J. Herrero, S. Aulagnier, and G. Amori, "Galemys pyrenaicus. The IUCN Red List of Threatened Species 2008," 2008.
- [19] P. Aymerich and J. Gosàlbez, "Regresión reciente y general del desmán ibérico en su límite noreste de distribución," Galemys, Spanish J. Mammal., vol. 30, pp. 1–10, 2018.
- [20] V. Pérez-mellado, R. Marquez, and I. Martínez-solano, "Algyroides marchi. The IUCN Red List of Threatened Species 2009," 2009.
- [21] J. A. Mateo-Miras et al., "Vipera latastei. The IUCN Red List of Threatened Species 2009," 2009.
- [22] F. Valle Tendero et al., "Datos botánicos aplicados a la Gestión del Medio Natural Andaluz I: Bioclimatología y Biogeografía," Sevilla, 2005.
- [23] V. Pérez-Mellado, R. Marquez, and I. Martinez-Solano, "Iberolacerta martinezricai. The IUCN Red List of Threatened Species 2009," 2009.
- [24] J. Arntzen et al., "Chioglossa lusitanica. The IUCN Red List of Threatened Species 2009," Mar. 2009.
- [25] J. Bosch et al., "Rana pyrenaica. The IUCN Red List of Threatened Species 2009," 2009.
- [26] Zoo de Barcelona, "Tritón del Montseny," 2016. [Online]. Available: https://www.zoobarcelona.cat/es/animales/triton-del-montseny. [Accessed: 23-Mar-2020].
- [27] S. Carranza and I. Martinez-Solano, "Calotriton arnoldi. The IUCN Red List of Threatened Species 2009," 2009.

- [28] J. Penuelas and M. Boada, "A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain)," Glob. Chang. Biol., vol. 9, no. 2, pp. 131–140, Feb. 2003.
- [29] J. Bosch et al., "Alytes dickhilleni. The IUCN Red List of Threatened Species 2009," 2009.
- [30] P. Beja et al., "Alytes cisternasii. The IUCN Red List of Threatened Species 2009," 2009.
- [31] D. Romero, J. Olivero, and R. Real, "Accounting for uncertainty in assessing the impact of climate change on biodiversity hotspots in Spain," Anim. Biodivers. Conserv., vol. 42, no. 2, pp. 355–367, 2019.
- [32] P. Legendre, "Spatial Autocorrelation: Trouble or New Paradigm?," Ecology, vol. 74, no. 6, pp. 1659–1673, 1993.
- [33] R. Real et al., "Relative importance of environment, human activity and spatial situation in determining the distribution of terrestrial mammal diversity in Argentina," J. Biogeogr., vol. 30, no. 6, pp. 939–947, 2003.
- [34] M. Delibes-Mateos, M. Á. Farfán, J. Olivero, A. L. Márquez, and J. M. Vargas, "Long-term changes in game species over a long period of transformation in the iberian mediterranean landscape," Environ. Manage., vol. 43, no. 6, pp. 1256–1268, 2009.
- [35] R. Real, D. Romero, J. Olivero, A. Estrada, and A. L. Márquez, "Estimating How Inflated or Obscured Effects of Climate Affect Forecasted Species Distribution," PLoS One, vol. 8, no. 1, 2013.
- [36] J. Olivero, "La Función de Favorabilidad." Departamento de Biogeografía, Diversidad y Conservación, Málaga, España, p. 4, 2018.
- [37] J. M. Lobo, A. Jiménez-valverde, and R. Real, "AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models," Glob. Ecol. Biogeogr., vol. 17, no. 2, pp. 145–151, 2008.
- [38] 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 and New York: Cambridge University Press, 2013.
- [39] L. Epelde et al., "Guía para la evaluación de la efectividad y el diseño de Soluciones Naturales como medidas de mitigación y adaptación al cambio climático Autores: NEIKER-Tecnalia 2 Tecnalia Research and Innovation *Primera autoría compartida," 2018.
- [40] D. N. Karger et al., "Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas," Sci. Data, vol. 4, no. 1, pp. 1–20, Sep. 2017.

- [41] C. F. McSweeney, R. G. Jones, R. W. Lee, and D. P. Rowell, "Selecting CMIP5 GCMs for downscaling over multiple regions," Clim. Dyn., vol. 44, no. 11–12, pp. 3237–3260, 2015.
- $\left[42\right]$ D. W. Hosmer and S. Lemeshow, Applied logistic regression, 2nd edn. New York: Wiley, 2000.
- [43] Junta de Castilla y León, "Análisis poblacional y del hábitat del desmán ibérico (*Galemys pyrenaicus*)," 2018.
- [44] J. C. A. R. Brito, "Víbora hocicuda *Vipera latastei,*" in Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles, A. Salvador and A. Marco, Eds. Madrid, España: Museo Nacional de Ciencias Naturales, 2011.
- [45] MITECO, "Impactos, Vulnerabilidad y Adaptacion de la Biodiversidad Frente al Cambio Climatico. Volumen 2 Fauna de Vertebrados," MITECO, 2011. [Online]. Available: http://www.ibiochange.mncn.csic.es/atlascc/?page_id=39. [Accessed: 17-Apr-2020].



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:

Juan Antonio Camiñas y Enrique Ayllón López. *Asociación Herpetológica Española. AHE*

Ilustraciones científicas:

Anna Espadalé Gelis

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este informe quieren dar las gracias al grupo de Biogeografía, Diversidad y Conservación del Departamento de Biología Animal de la Universidad de Málaga, especialmente a Ana Luz Márquez Moya, Miguel Ángel Farfán Aguilar y Darío Chamorro Sierra, por el asesoramiento y ayuda prestada a lo largo de este proyecto.

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.



ANÁLISIS DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE VERTEBRADOS TERRESTRES AMENAZADOS INCLUIDOS EN LA LISTA ROJA DE UICN, MEDIANTE MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES





Oficina Técnica Comité Español UICN, mayo de 2020

Con el apoyo de:







