



M. Triviño<sup>1,2\*</sup>, M. Cabeza<sup>1,3</sup>, W. Thuiller<sup>4</sup>, T. Hickler<sup>5,6,7,8</sup>, M. B. Araújo<sup>1,9,10</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biogeografía y Cambio Global, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, José Gutiérrez Abascal, 2, 28006 Madrid, España

<sup>2</sup>Department of Biological and Environmental Sciences, University of Jyväskylä, P.O. Box 35, 40014 Jyväskylä, Finland

<sup>3</sup>Metapopulation Research Group, Department of Biological and Environmental Sciences, University of Helsinki, P.O. Box 65, FIN-00014 Helsinki, Finland

<sup>4</sup>Evolution, Modeling and Analysis of Biodiversity (EMABIO), Laboratoire d'Ecologie Alpine (LECA), CNRS UMR5553, Univ. Grenoble Alpes, F-38041 Grenoble, France

<sup>5</sup>Biodiversity and Climate Research Centre (BiK-F), Senckenberganlage 25, 60325 Frankfurt am Main, Germany

<sup>6</sup>Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung (SGN), Senckenberganlage 25, 60325 Frankfurt am Main, Germany

<sup>7</sup>Goethe University, Department of Physical Geography, Altenhöferallee 1, 60438 Frankfurt am Main, Germany

<sup>8</sup>Department of Physical Geography and Ecosystems Analysis, Geobiosphere Science Centre, Lund University, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden

<sup>9</sup>'Rui Nabeiro' Biodiversity Chair, CIBIO, University of Évora, Largo dos Colegiais, PT-7000 Évora, Portugal

<sup>10</sup>Center for Macroecology, Evolution and Climate, University of Copenhagen, Universitetsparken 15, 2100 Copenhagen, Denmark

\*Correo electrónico: m.trivinocal@gmail.com; maria.trivino@jyu.fi

## 33 Evaluación del riesgo ante el cambio climático para las aves de la península ibérica

### Resultados clave

- Las especies de aves que sufrirán mayores impactos, según las proyecciones de los modelos bioclimáticos para el período 2051-2080, están actualmente incluidas en las categorías de menor amenaza en las listas rojas.
- Las especies potencialmente más expuestas al cambio climático poseen características biológicas, como una alta tasa de fecundidad o un bajo nivel de especialización al hábitat, lo que posiblemente les ayude a persistir.
- Es importante considerar tanto el grado de exposición al cambio climático como la capacidad de las especies para persistir bajo nuevas condiciones ambientales.
- Se necesitan medidas de conservación y adaptación que sean adecuadas y específicas para los distintos tipos de respuestas de las especies ante el cambio climático.

### Contexto

Se denomina cambio global al conjunto de cambios ambientales que se derivan de las actividades humanas sobre el planeta, con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento de la Tierra. Estos cambios incluyen: cambios en la composición atmosférica, cambios en los ciclos bioquímicos, cambios de usos del suelo, cambios en el clima y pérdidas de biodiversidad. Estas alteraciones suponen una gran amenaza tanto para los sistemas ecológicos como para la sociedad humana. Conseguir entender y predecir los impactos que los diferentes componentes del cambio global, como el cambio climático o los cambios de usos del suelo, tienen sobre las comunidades ecológicas supone en la actualidad uno de los mayores retos para la biología de la conservación. El cambio climático es,

probablemente, el componente del cambio global que ha recibido mayor atención científica, mediática y política. Cada vez hay más evidencias de los efectos negativos del cambio climático sobre la biodiversidad y se espera que sus efectos sean todavía más dramáticos durante el siglo XXI (ej., Chen et al. 2011). A pesar de su relevancia, está resultando muy complicado obtener predicciones certeras y soluciones efectivas para este problema. Por ello, el número de estudios que investigan los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad ha aumentado rápidamente en las últimas décadas. La mayor parte de estos estudios utilizan como metodología los modelos bioclimáticos (ej., García et al. 2011). Estos modelos establecen relaciones estadísticas entre la distribución actual de las especies y el clima contemporáneo para inferir la distribución potencial actual y futura de las especies. Los modelos bioclimáticos nos dan una estimación del nivel de exposición de las especies al cambio climático, pero no proveen información acerca de la vulnerabilidad de las especies ante este cambio (Araújo & Peterson 2012). Por lo tanto, ante un mismo nivel de exposición, las especies tienen distintos tipos de estrategias y respuestas para hacer frente a este cambio (Arribas et al. 2012) como aumentar su rango de tolerancia climática, migrar a regiones con condiciones ambientales más favorables o modificar su comportamiento (por ejemplo, adelantando o retrasando la fecha de migración, Gordo 2007). Para llevar a cabo un análisis del riesgo en un contexto de cambio climático sería deseable, en la medida de lo posible, combinar medidas de exposición a las amenazas con medidas de la vulnerabilidad de las especies ante esas amenazas (ej., Dawson et al. 2011, Foden et al. 2013).

La vulnerabilidad de una especie ante el calentamiento global se puede definir como su capacidad para responder y adaptarse a las nuevas condiciones climáticas, por lo tanto, las especies más vulnerables serán aquellas con poca capacidad de respuesta. En este

estudio definimos vulnerabilidad como la capacidad intrínseca de las especies para hacer frente a los cambios ambientales independientemente de su grado de exposición (Araújo & Williams 2000). En este sentido, la vulnerabilidad depende fundamentalmente de dos factores: (i) las características biológicas que poseen las especies, y (ii) su estado de conservación actual, ya que aquellas especies que están amenazadas en el presente seguramente serán más vulnerables a nuevas amenazas. Existen evidencias de que ciertas características biológicas, como un gran tamaño corporal o una baja tasa de fecundidad, hacen que las especies sean más propensas a la extinción (ej., Cardillo et al. 2006, Pimm et al. 2006). También existen evidencias de que otras características no intrínsecas, como la amplitud de nicho (la variedad de recursos [hábitats] utilizados por la especie), están relacionadas con la susceptibilidad a amenazas externas (Thuiller et al. 2005). Un estudio reciente identificó cuáles eran las características que hacen susceptibles a las especies ante el cambio climático, entre otras, el nivel de especialización al hábitat y el grado de tolerancia a la variación ambiental (Foden et al. 2008). Otro estudio encontró que los factores que estaban asociados a una reducción de las poblaciones de aves durante una ola de calor en Francia fueron una baja tolerancia ecológica, una baja tolerancia al calor y un bajo número de nidadas (Jiguet et al. 2007).

Este informe está basado en un estudio reciente (Triviño et al. 2013) dónde examinamos la combinación de los efectos tanto de la exposición como de la vulnerabilidad de las aves ibéricas al cambio climático, centrándonos en su capacidad para mantener o no reducir su área de distribución actual a pesar del cambio climático. La medida de vulnerabilidad se obtuvo combinando las características biológicas que poseen las especies con su estado actual de conservación según las

listas rojas de la Unión Internacional por la Conservación de la Naturaleza (IUCN):

$$\text{Riesgo} = \text{Exposición} + \text{Vulnerabilidad} \\ [\text{Susceptibilidad (medida basada en características biológicas)} * \text{Estado actual de amenaza según las listas rojas}].$$

En este estudio tratamos de contestar las siguientes preguntas: (i) ¿Son aquellas especies de aves altamente expuestas al cambio climático las mismas que poseen características que las hacen más vulnerables a estos cambios? (ii) ¿Están actualmente clasificadas como amenazadas según la lista roja de la IUCN aquellas especies con un alto y negativo grado de exposición al cambio climático? (iii) ¿Coinciden las zonas geográficas que contienen una mayor proporción de especies altamente expuestas al cambio climático con aquellas zonas que contienen especies vulnerables?

Las especies de aves fueron clasificadas en tres grupos dependiendo de su grado de exposición al cambio climático siguiendo la metodología usada en el atlas sobre los impactos del cambio climático en la biodiversidad española (Araújo et al. 2011), que clasifica las especies en los siguientes grupos:

- (i) ‘gana’: Especies que expanden su área potencial de distribución en el futuro.
- (ii) ‘estable’: Especies que mantienen su área potencial de distribución en el futuro.
- (iii) ‘pierde’: Especies que pierden área potencial de distribución en el futuro.

**Tabla 1.** Características de las aves recopiladas y analizadas para este estudio como una aproximación a la susceptibilidad a cambios ambientales para 94 especies de aves paseriformes.

Características	Fuente de los datos	Signo (*)	Razón para incluirlo
1. Número medio de nidadas	www.encyclopediadelasaves.es	↓	Un número mayor de nidadas reduce la posibilidad de desajustes con los picos de abundancia de comida
2. Tamaño de nidadas	www.encyclopediadelasaves.es	↓	Baja tasa reproductiva: especies más susceptibles.
3. Envergadura	www.encyclopediadelasaves.es	↑	Medida del tamaño corporal: especies más grandes son más susceptibles.
4. Amplitud de hábitat	Extraído del Apéndice 1 del Atlas de las Aves Reproductoras de España (Martí & del Moral 2003)	↓	Grado de especialización del hábitat
5. Amplitud del nicho climático	Metodología usada descrita en el Apéndice B del trabajo Triviño et al. 2013	↓	Tolerancia ambiental
6. Marginalidad	Más detalles en Apéndice B	↑	Tolerancia ambiental
7. Tamaño relativo del rango	Más detalles en Apéndice B	↓	Tolerancia ambiental

(\*) La asociación con la susceptibilidad de las especies: ‘flecha hacia arriba’ significa que cuanto mayor sea el valor del factor considerado mayor es la susceptibilidad de las especies y ‘flecha hacia abajo’ significa que cuanto mayor sea el valor del factor considerado menor es la susceptibilidad de las especies.

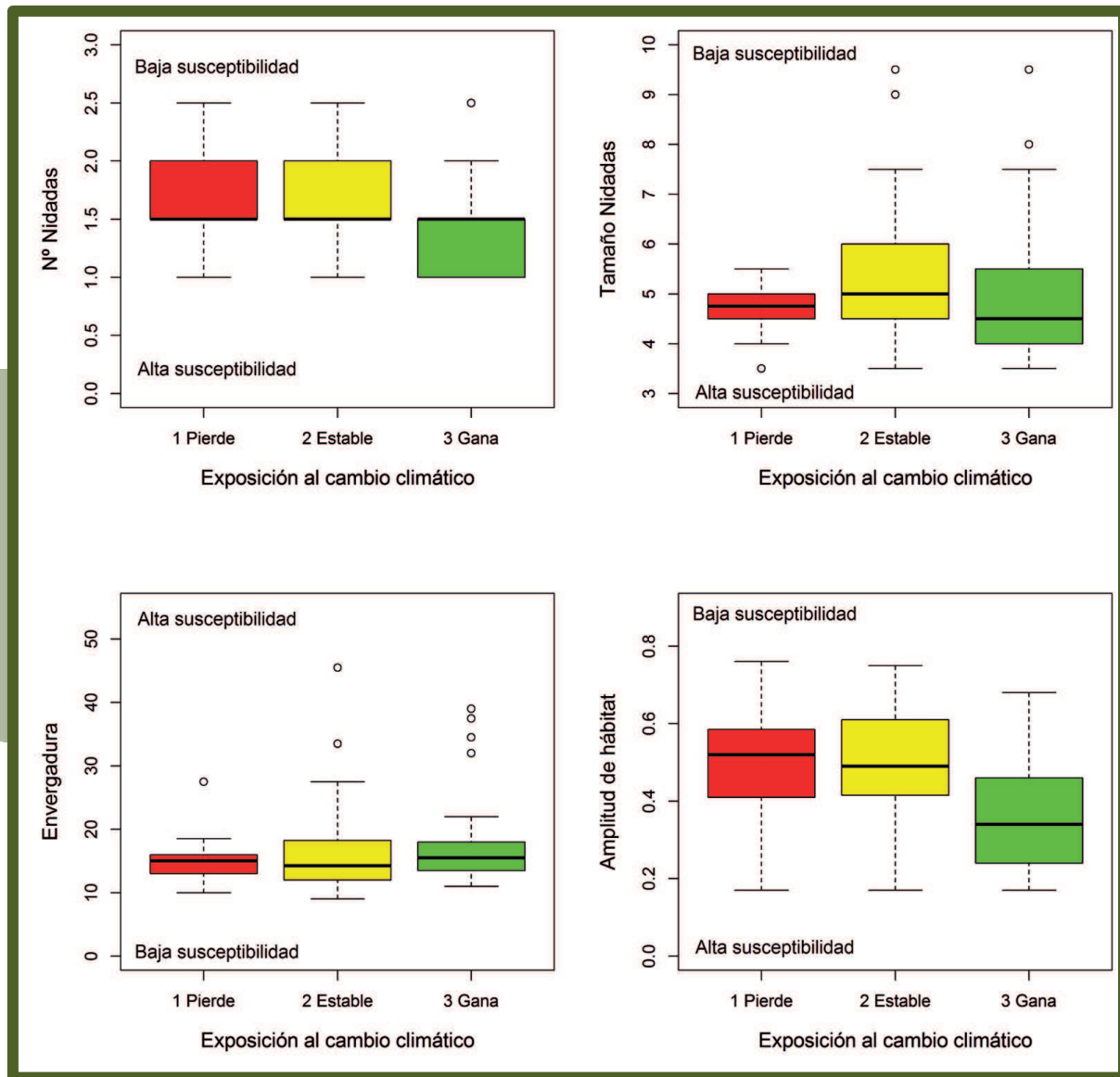
Para cada categoría ('gana', 'estable', 'pierde'), calculamos el porcentaje de especies que están incluidas en las distintas categorías de amenaza de la IUCN, tanto a nivel nacional como internacional, ya que los esfuerzos de conservación no se deberían ceñir a los límites políticos sino biogeográficos. Este análisis se llevó a cabo basándose en las distintas listas rojas (Portugal, España y Global) y en una combinación de todas ellas. Para formar el índice combinado se siguió la metodología descrita en el estudio de Rocha et al. 2009.

Para caracterizar la susceptibilidad de las aves ante el cambio climático seleccionamos siete características biológicas de las aves que muestran evidencias de ser buenas indicadoras de la susceptibilidad de las aves ante el calentamiento global (Tabla 1). La compilación de datos se restringió a un subgrupo de 94 aves paseriformes de un total de 168 especies de aves disponibles debido a que una de las características (amplitud de hábitat) sólo estaba disponible para esas especies.

## ■ Resultados y discusión

Hasta ahora la mayoría de los estudios que analizan los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad se han centrado, únicamente, en el grado de exposición de las especies al cambio climático. Sin embargo, los estudios capaces de incorporar varios componentes de riesgo (exposición, vulnerabilidad, etc.) serán, probablemente, los que generen resultados más fiables. En este informe mostramos cómo los análisis de riesgo, que combinan medidas del grado de exposición con medidas que reflejan la capacidad intrínseca de las especies para persistir, ofrecen resultados distintos a las evaluaciones de riesgo que tan sólo tienen en cuenta el grado de exposición al cambio climático. Más específicamente, nuestros resultados muestran que las especies que se verán más negativamente afectadas por el cambio climático, según los modelos, poseen características biológicas que las pueden ayudar a persistir (Figura 1) y están incluidas en las categorías de menor amenaza en las listas rojas (Figura 2)

■ **Figura 1A**



▲ **Figura 1A.** Diagramas de cajas comparando cómo varían las características biológicas entre los tres grupos de especies basados en su grado de exposición potencial al cambio climático (Pierde, Estable y Gana).

Fuente: Modificado a partir de Triviño et al. (2013).

Figura 1B

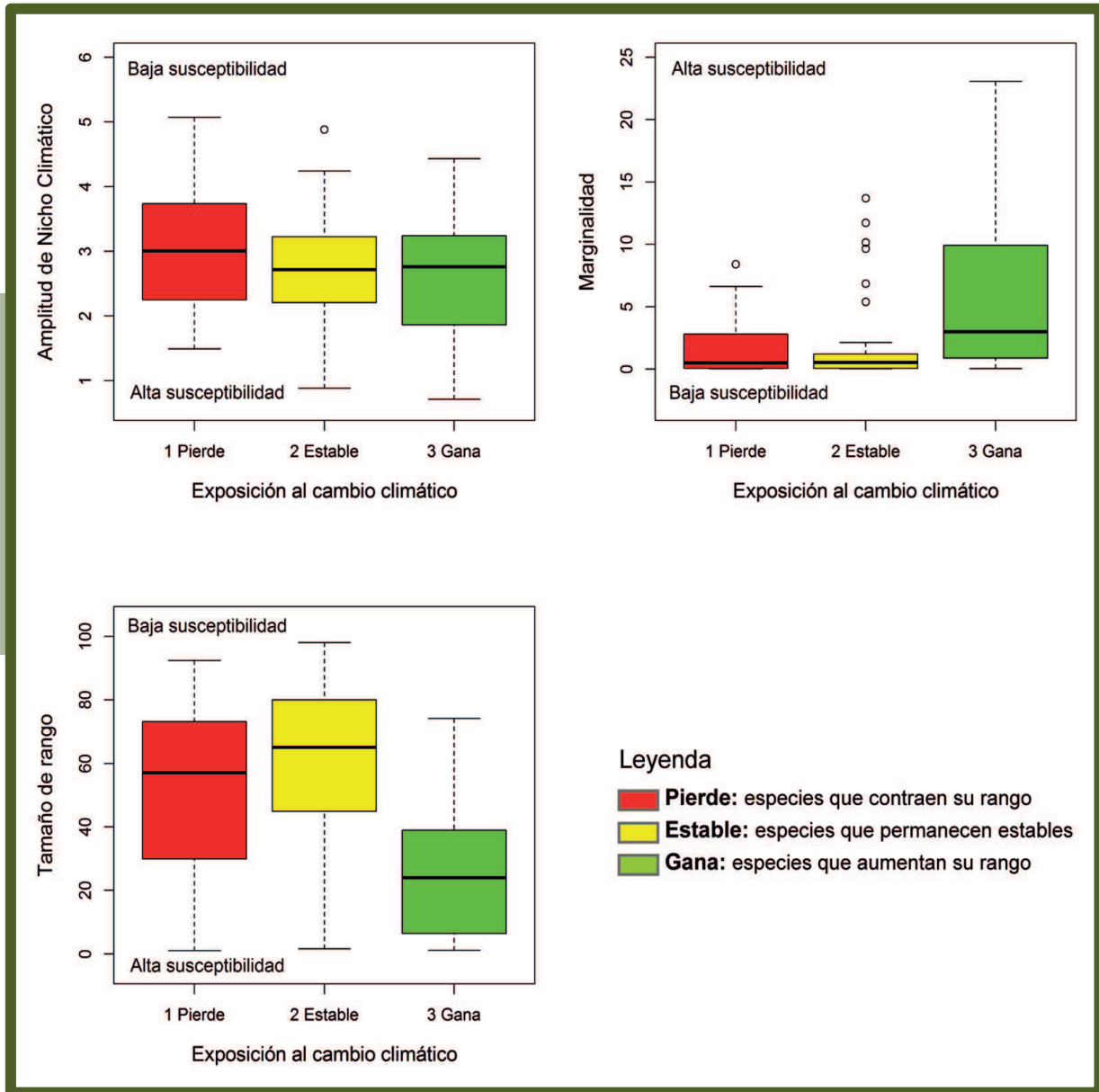


Figura 1B. Diagramas de cajas comparando cómo varían las características biológicas entre los tres grupos de especies basados en su grado de exposición potencial al cambio climático (Pierde, Estable y Gana).

Fuente: Modificado a partir de Triviño et al. (2013).

Sin embargo, nuestros análisis también muestran que una gran proporción de especies que todavía no están amenazadas podrían estarlo en el futuro como resultado del cambio climático. A pesar de que los resultados dependen del grupo taxonómico y de la región geográfica de estudio, se puede concluir que (i) la capacidad de respuesta de las especies ante el cambio climático va a depender de sus características biológicas y que (ii) la relación entre el grado de exposición a una amenaza y la vulnerabilidad ante ella no se puede dar por sentado.

*¿Son aquellas especies de aves altamente expuestas al cambio climático las mismas que poseen características que las hacen más vulnerables a estos cambios?*

Los tres grupos de especies de aves clasificadas según los modelos ('gana', 'estable' y 'pierde') difieren significativamente en su grado de vulnerabilidad según las características biológicas analizadas. Las especies que

potencialmente expandirán su rango de distribución en el futuro ('gana') y, por tanto, se verán menos afectadas por el cambio climático poseen, en cambio, características biológicas que las hacen más susceptibles ante el calentamiento global, como son una alta especialización del hábitat o una baja amplitud del nicho climático (ver Figura 1).

*¿Están actualmente clasificadas como amenazadas en la lista roja de la IUCN aquellas especies con un alto y negativo grado de exposición al cambio climático?*

Las especies que según los modelos van a aumentar su área de distribución en el futuro ('gana') pertenecen a las categorías de menor amenaza según los criterios de la lista roja de la IUCN (ver Figura 2). Hay diferencias significativas entre las categorías de las especies que ganan y las categorías de especies estables y especies que potencialmente perderán parte de su área

de distribución actual en el futuro, bajo condiciones climáticas más extremas.

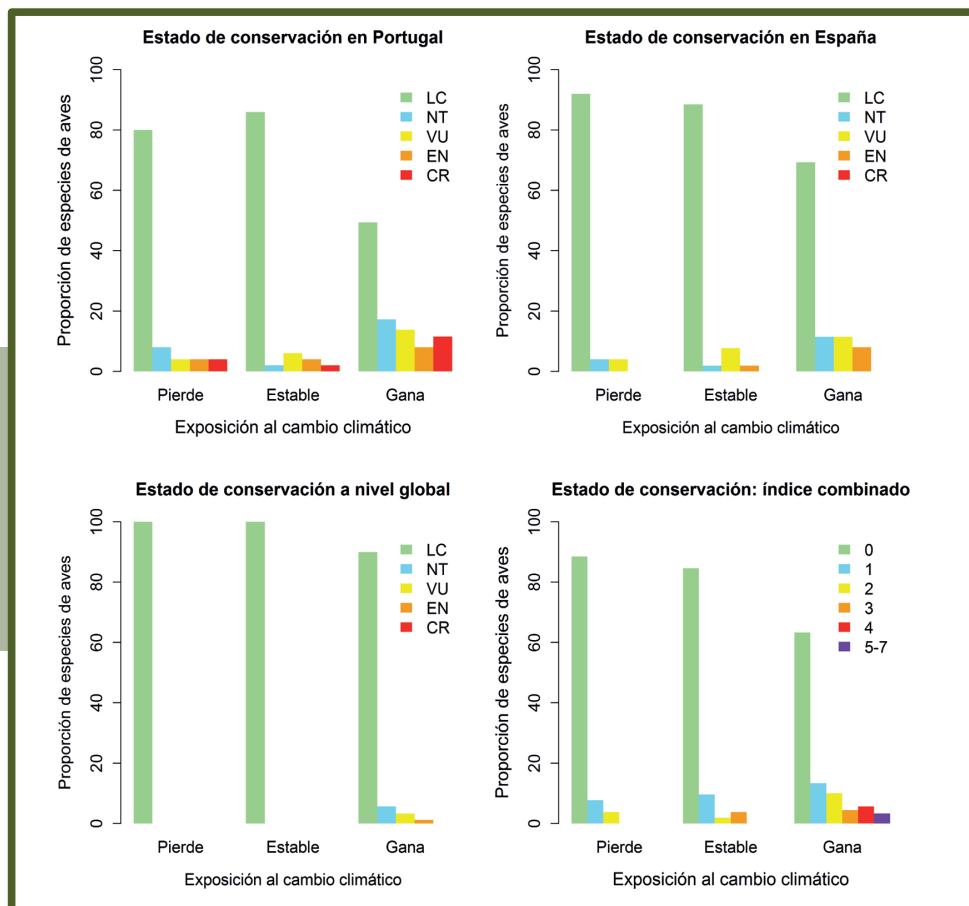
**¿Coinciden las zonas geográficas que contienen una mayor proporción de especies altamente expuestas al cambio climático con aquellas zonas que contienen especies vulnerables?**

Las regiones que contienen mayor concentración de especies en riesgo de extinción local varían según el componente de riesgo que exploremos. Cuando nos centramos en los resultados de los modelos bioclimáticos, las especies más negativamente expuestas al cambio climático (especies que se espera que pierdan parte de su área de distribución actual), se encuentran principalmente en el noroeste de la península ibérica, mientras que las especies que según los modelos ganarán más área se encuentran en las áreas más cálidas y secas del sur (ver Figura 3 E y F). Sin embargo, obtuvimos patrones geográficos distintos al explorar la susceptibilidad medida usando las características biológicas. Los resultados muestran que las especies más vulnerables, de acuerdo con su tolerancia ambiental (amplitud de hábitat, amplitud del nicho climático y tamaño de rango), se concentran principalmente en las zonas montañosas del norte de la península ibérica (Pirineos y cordillera Cantábrica) (Figura 3 A). Aunque las especies más vulnerables, de acuerdo con las características de tamaño corporal y el tamaño de nidada, están localizadas en la

región Mediterránea, que ocupa la mayor parte de la península ibérica, exceptuando la parte Eurosiberiana del norte y noroeste (Figura 3 B). Los valores, de acuerdo a las características relacionadas con la fecundidad, muestran que las especies más vulnerables se encuentran en la zona norte de la península ibérica (Figura 3 C). Finalmente, la mayor concentración de especies actualmente amenazadas se encuentra en las zonas llanas y bajas dominadas por cultivos (Figura 3 D).

Existen un gran número de amenazas que afectan a la biodiversidad como la pérdida y la fragmentación de los hábitats, las especies invasoras, las catástrofes naturales o la aparición de nuevas enfermedades. El cambio climático constituye una “relativamente” nueva e importante amenaza. De hecho, algunas aves de la península ibérica deben su actual estado de amenaza, al menos en parte, al cambio climático. Algunos ejemplos son el gorrión alpino (*Montifringilla nivalis*), el urogallo (*Tetrao urogallus cantabricus*), cuya población cantábrica ha descendido dramáticamente en las últimas décadas o el papamoscas cerrojillo (*Ficedula hypoleuca*). En el caso del gorrión alpino se cree que el aumento de temperaturas ha provocado un desacoplamiento entre la disponibilidad de alimento (insectos que adelantan su ciclo natural) y el momento de la cría de pollos, que es cuando la especie necesita más alimento. El segundo ejemplo es el de la población cantábrica del urogallo que habita en los bosques de hayas, que precisan climas

**Figura 2**



**Figura 2.** Diagramas de barras comparando la distribución del estado de conservación de la lista roja IUCN (Preocupación menor (LC); Casi amenazado (NT); Vulnerable (VU); En peligro (EN); Críticamente amenazado (CR)) y del índice combinado (para Portugal, España y Global de acuerdo con el método propuesto por Rocha et al. 2009) entre los tres grupos de especies (Pierde ( $N = 26$ ), Estable ( $N = 52$ ) y Gana ( $N = 90$ ) de las 168 especies consideradas.

Fuente: Modificado a partir de Triviño et al. (2013).

Figura 3

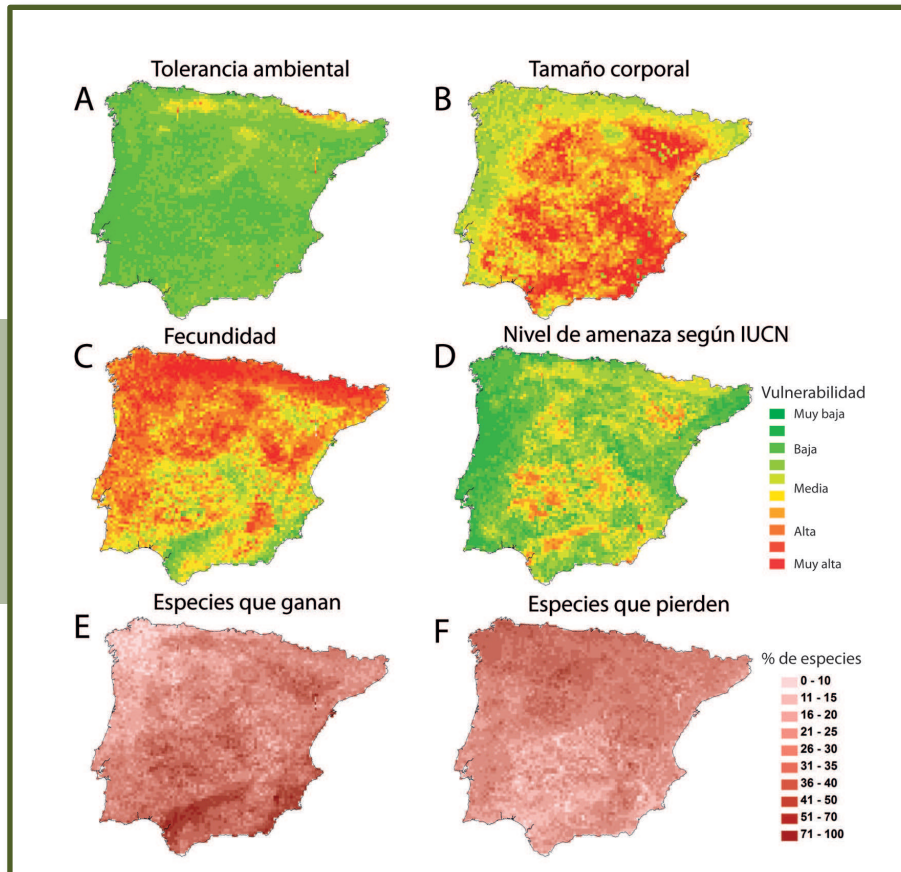


Figura 3. Mapas representando los patrones espaciales de riesgo. Los mapas A, B y C representan, respectivamente, los valores medios de los tres primeros componentes principales del ACP para el número total de especies de aves en cada cuadrícula de 10x10 km. La escala original que era numérica (rango de variación entre -2.44 y 0.42) fue transformada a categórica para expresar el nivel de vulnerabilidad en cada cuadrícula de 10x10 km. El mapa D representa el valor medio del índice combinado del estado de conservación de la IUCN de las especies presentes en cada cuadrícula. La escala original numérica (rango entre 0 y 9) fue transformada usando la misma escala categórica que en los mapas A, B y C. Finalmente, los mapas E y F representan la proporción de especies que ganan o pierden parte de su distribución potencial actual en cada cuadrícula de 10x10 km.

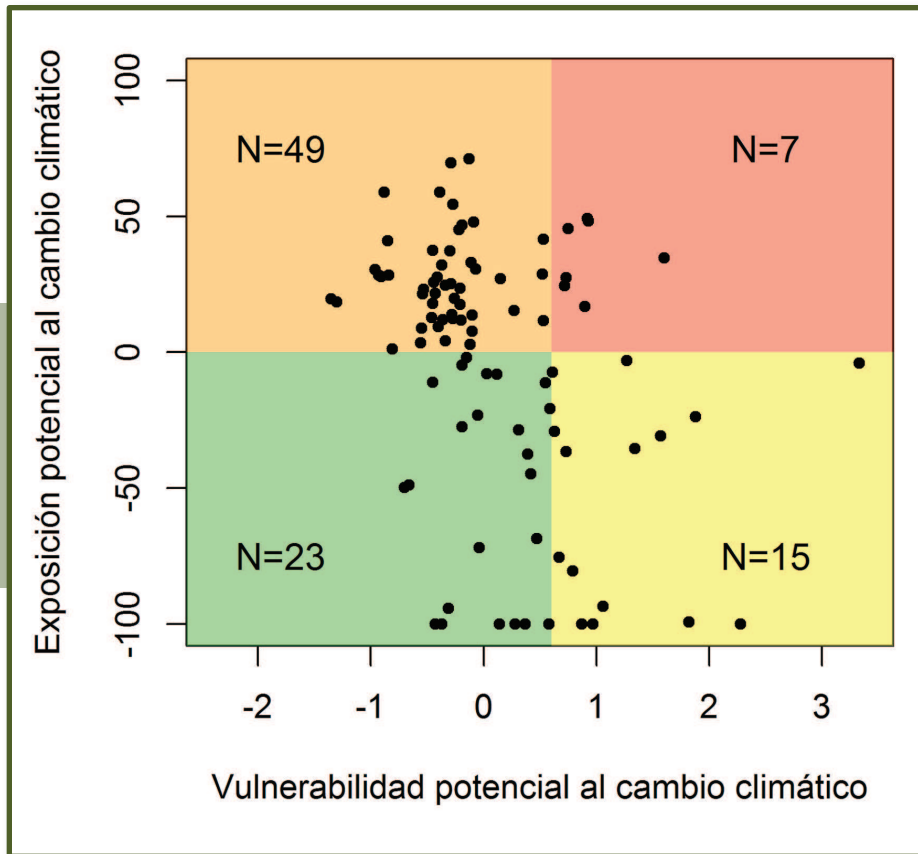
Fuente: Modificado a partir de Triviño et al. (2013).

húmedos y que como consecuencia del cambio climático podrían transformarse en bosques más propios de la meseta y se vería reducido el hábitat óptimo para esta especie (Obeso & Bañuelos 2004). El tercer ejemplo es el del papamoscas, una pequeña ave forestal que ha disminuido paulatinamente el tamaño de sus huevos debido al aumento de temperaturas causado por el cambio climático (Potti 2008). Además, se ha de poner especial atención a las interacciones entre estas amenazas para la biodiversidad, ya que el efecto sinérgico entre ellas suele ser mucho mayor que el efecto individual (Brook et al. 2008). Por ejemplo, la combinación de pérdida y fragmentación de hábitat con los efectos del cambio climático puede tener consecuencias desastrosas, sobre todo para aquellas especies de aves con un alto grado de especialización al hábitat y con escasa capacidad para colonizar nuevos hábitats (Travis 2003).

Por tanto, nos enfrentamos ante grandes retos que necesitarán nuevas estrategias de conservación. Los resultados de este informe son consistentes con estudios anteriores que muestran la importancia de integrar diferentes e independientes fuentes de información, ya que centrarnos en un único componente de riesgo puede llevarnos a sobre o subestimar el riesgo (Foden et al. 2013). La categorización de las especies, cuando está basada en múltiples fuentes de información, puede ser útil para identificar qué medidas de conservación son las

más adecuadas en función de las amenazas específicas a las cuáles tienen que hacer frente las especies. Esto implica compaginar medidas de conservación reactivas tradicionales, dirigida a afrontar problemas ambientales constatados e identificados (ej., dar prioridad a las áreas de conservación de alto riesgo suele ser la solución socialmente mejor aceptada), con medidas de conservación proactivas adaptativas capaces de adelantarse a la manifestación del problema y, que por tanto, son susceptibles de poner en marcha medidas destinadas a que estos problemas no se produzcan o, al menos, a minimizar la repercusión negativa de sus efectos (ej., dar prioridad a áreas de bajo riesgo) (Brooks et al. 2006). Para llevar a cabo la categorización de las especies, seguimos un esquema conceptual (ver Figura 4) en el cual se puede argumentar que las especies que se encuentran en la 'zona verde', con una vulnerabilidad y un grado de exposición bajos, no necesitarán medidas de conservación. Aquellas especies que se encuentran en la 'zona amarilla' ya han sido identificadas como especies amenazadas en las listas rojas y, por tanto, podríamos esperar que se esté llevando a cabo alguna medida de conservación. Aunque seguramente, muchas de estas especies necesiten un mayor esfuerzo de conservación, ya que hay evidencias de que los esfuerzos de conservación que se han llevado a cabo hasta ahora no han sido suficientes para detener la pérdida de biodiversidad (Butchart et al. 2010). Las especies que se encuentran

■ **Figura 4**



▲ **Figura 4.** Diagrama de análisis del riesgo al cambio climático. Este gráfico presenta los valores del grado de exposición potencial (eje vertical) y los valores de vulnerabilidad potencial (eje horizontal) ante el cambio climático para el subgrupo de 94 especies de aves. El potencial de vulnerabilidad fue calculado multiplicando los valores del Análisis Principal de Componentes (características biológicas que poseen las especies) con el índice combinado del estado de conservación de la IUCN y usando el tercer cuartil como punto de separación. El eje de exposición potencial se dividió en valores por debajo de cero (especies que expanden su rango, es decir, que ganan) y especies por encima de cero (especies que contraen su rango, es decir, que pierden). La ‘zona verde’ está ocupada por especies que se espera que expandan su rango en el futuro y que tienen baja vulnerabilidad. La ‘zona amarilla’ está ocupada por especies que ya están amenazadas pero no se espera que se vean muy afectadas por el cambio climático. La ‘zona naranja’ está representada por especies que no están consideradas como amenazadas todavía pero se espera que tengan un alto y negativo grado de exposición al cambio climático. Finalmente, la ‘zona roja’ es donde las especies tienen tanto un alto grado de exposición como una alta vulnerabilidad ante el cambio climático.

Fuente: Modificado a partir de Triviño et al. (2013).

en la ‘zona naranja’ probablemente todavía no han sido objeto de medidas de conservación pero seguramente las necesiten en el futuro. Estas especies necesitarán programas de seguimiento y monitorización y medidas de conservación proactivas adaptativas diseñadas para hacerle frente a las amenazas del cambio climático. Por último, hay pocas especies situadas en la ‘zona roja’ y que están amenazadas simultáneamente por un alto grado de exposición al cambio climático y por una alta vulnerabilidad a éste. Este reducido grupo de especies se caracteriza por tener un gran tamaño corporal dentro del grupo de las aves paseriformes (por ejemplo, la corneja negra *Corvus Corone*), una distribución en zonas del norte o montañosas (por ejemplo, el bisbita alpino *Anthus spinoletta*) o ambas características a la vez. Esto explica que, por ejemplo, la chova piquirroja (*Pyrhrocorax phyrrhoxorax*), una especie de alta montaña y de gran tamaño, tenga la mayor vulnerabilidad potencial. Además, hay evidencias de que algunos córvidos son más vulnerables a los cambios climáticos debido a que tienen dificultades para termoregular y están directamente limitados por la temperatura (Donald et al. 2012). Así, los esfuerzos de conservación se deberían centrar en aquellas especies que tengan mayor riesgo de extinción. La evaluación integrada de exposición y vulnerabilidad facilita la propuesta de medidas de conservación y

gestión concretas para los distintos tipos de respuestas de las especies ante el cambio climático. Por último, las medidas de conservación propuestas hasta ahora para hacer frente al cambio climático (Heller & Zavaleta 2009) deberían ser más concretas y tener más en cuenta la combinación de varios componentes de riesgo en las distintas regiones de la península ibérica.

### ■ **Recomendaciones para la adaptación**

Se necesitan medidas de conservación efectivas bajo escenarios de cambio climático que aseguren la persistencia de las especies a largo plazo. Para conseguir esto, se deberían identificar aquellas áreas importantes para las especies tanto bajo las condiciones ambientales actuales como futuras y aquellas zonas que faciliten la dispersión de las especies desde sus áreas de distribución actuales a aquellas áreas que sean más adecuadas en el futuro (por ejemplo, favoreciendo una buena conectividad del paisaje o la agregación de la red de áreas protegidas). Además, se espera que el cambio climático incremente el desajuste espacial entre las áreas protegidas y las zonas identificadas como prioritarias, siendo necesarias, urgentemente, medidas de adaptación al cambio climático que respondan de forma proactiva a

las nuevas amenazas para la conservación. Para ello se necesita aumentar la cantidad y el tamaño de las áreas protegidas para permitir la persistencia a largo plazo de múltiples especies, además de tener una gestión más sostenible de las zonas no protegidas. Por último, es necesario realizar un mayor esfuerzo de monitorización de las especies para poder llevar a cabo un seguimiento de los cambios que están experimentando.

## ■ Material suplementario

El área de estudio cubre la península ibérica (la zona peninsular de España y Portugal), que es una de las áreas con mayor riqueza de especies y grado de endemismo de Europa. Además, según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, la península ibérica es una de las regiones más vulnerables ante el cambio climático. En el caso de las predicciones basadas en escenarios futuros con emisiones medias-altas de gases de efecto invernadero para finales de este siglo, se espera un aumento de fenómenos extremos como disminución de las precipitaciones, aumento de las temperaturas (entre 5 - 8°C), lluvias torrenciales o sequías extremas (IPCC 2007, IPCC 2013).

Primero se evaluó la exposición potencial de 168 especies de aves reproductoras al cambio global, incluyendo proyecciones futuras de cambio climático, de usos del suelo y de cambios de vegetación (ver Triviño et al. 2011 para detalles sobre los modelos y su calibración). Aunque en el estudio original utilizamos el término 'cambio global', en este informe lo simplificamos y utilizamos el de 'cambio climático', debido a que las variables climáticas tuvieron la mayor contribución en los modelos (Triviño et al. 2011). Para cuantificar los cambios de área de distribución de las especies entre las condiciones actuales y futuras se utilizaron proyecciones de consenso (Aráujo & New 2007) ya que son más fiables que las propias proyecciones individuales que las constituyen.

Para las 168 especies utilizadas en el estudio, combinamos los datos de ausencia/presencia de los atlas de las aves reproductoras de España (Martí & del Moral 2003) y Portugal (Equipa Atlas 2008) que presentan la distribución de las especies en 5923 cuadrículas de 10x10 km. Evaluamos la exposición potencial de las aves a cambios climáticos, de usos del suelo y de vegetación usando proyecciones de los modelos para un escenario presente (1971-1990) y un escenario futuro (2051-2080). Se utilizó el escenario climático BAMBÚ (Business As Might Be Usual) del proyecto ALARM (Fronzek et al, 2012) que corresponde con el escenario A2 (con emisiones medias-altas de gases de efecto invernadero) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

A pesar de que la península ibérica incluye un amplio rango de condiciones ambientales (Rey-Benayas & Scheiner 2002), se espera que en el futuro se den nuevas condiciones climáticas en las zonas más secas y áridas de la península ibérica. Por tanto, hay un riesgo de sobrestimación de las pérdidas de rango predichas por los modelos para aquellas especies que también habitan en partes más secas y áridas del norte de África (Barbet-Massin et al. 2010). Para evaluar la sensibilidad

de nuestros resultados ante este potencial problema de sobrestimación, se re-analizaron los datos usando una base de datos independiente que incluía el rango de distribución completa de las aves en el Paleártico Occidental y se obtuvieron resultados similares a los presentados en este informe (ver Triviño et al. 2013).

Se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP) para reducir la dimensionalidad de la base de datos de las siete características biológicas. Se retuvieron los tres primeros componentes principales que explicaban un 65% de la varianza de los datos. Para asociar los distintos niveles de (i) grado de exposición al cambio climático, (ii) susceptibilidad de las especies ante esos cambios en función de las características biológicas que poseen y (iii) estado de amenaza actual de las especies, se llevaron a cabo los siguientes análisis estadísticos. La asociación entre el grado de exposición potencial al cambio climático y las características biológicas (representadas por los tres primeros componentes del ACP) se hizo utilizando un test de Kruskal-Wallis. Además, mediante un análisis de regresión de mínimos cuadrados, se estudiaron las tendencias de cada uno de los tres primeros componentes principales. Finalmente, la asociación estadística entre el grado de exposición potencial al cambio climático y el estado actual de amenaza de las especies se llevó a cabo usando un test de  $\chi^2$ .

Para explorar que regiones de la península ibérica albergan la mayor concentración de especies con un potencial riesgo de extinción se utilizó el software de Sistema de Información Geográfica ArcGIS 9.2. (ESRI 2006). Los diferentes componentes de riesgo que se representaron espacialmente a una resolución de 10x10 km fueron los siguientes: (i) la susceptibilidad de las especies a los cambios representada por los tres componentes principales del ACP, con el primer componente llamado 'tolerancia ambiental' ya que está principalmente asociado a la amplitud de hábitat, amplitud de nicho climático y tamaño de rango; el segundo componente denominado 'tamaño corporal', principalmente asociado con la envergadura y el tamaño de nidada; y el tercer componente denominado 'fecundidad', principalmente asociado al número de nidadas; (ii) el nivel actual de amenaza de las especies según las listas rojas de la IUCN; y (iii) el grado de exposición al cambio climático.

Para identificar cuáles son las especies con mayor riesgo de extinción local se realizó un diagrama de análisis de riesgo al cambio climático (Figura 4). Para ello, se representó el grado de exposición potencial al cambio climático en el eje vertical y la vulnerabilidad potencial en el eje horizontal para el subgrupo de 94 especies de paseriformes.



## ■ Referencias bibliográficas

- Araújo MB, Guilhaumon F, Neto DR, Pozo I, Calmaestra RG (2011) *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 2. Fauna de vertebrados*. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino Madrid
- Araújo MB, New M (2007) Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology & Evolution* 22:42-47
- Araújo MB, Peterson AT (2012) Uses and misuses of bioclimatic envelope modelling. *Ecology* 93:1527-1539
- Araújo MB, Williams PH (2000) Selecting areas for species persistence using occurrence data. *Biological Conservation* 96:331-345
- Arribas P, Abellán P, Velasco J, Bilton DT, Millán A, Sánchez-Fernández D (2012) Evaluating drivers of vulnerability to climate change: a guide for insect conservation strategies. *Global Change Biology* 18:2135-2146
- Barbet-Massin M, Thuiller W, Jiguet F (2010) How much do we overestimate future local extinction rates when restricting the range of occurrence data in climate suitability models? *Ecography* 33:878-886
- Brook BW, Sodhi NS, Bradshaw CJA (2008) Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology and Evolution* 23:453-460
- Brooks TM, Mittermeier RA, da Fonseca GAB, Gerlach J, Hoffmann M, Lamoreux JF, Mittermeier CG, Pilgrim JD, Rodrigues ASL (2006) Global biodiversity conservation priorities. *Science* 313:58-61
- Butchart SHM, Walpole M, Collen B, van Strien A, Scharlemann JPW, Almond REA, Baillie JEM, Bomhard B, Brown C, Bruno J, Carpenter KE, Carr GM, Chanson J, Chenery AM, Csirke J, Davidson NC, Dentener F, Foster M, Galli A, Galloway JN, Genovesi P, Gregory RD, Hockings M, Kapos V, Lamarque JF, Leverington F, Loh J, McGeoch MA, McRae L, Minasyan A, Morcillo MH, Oldfield TEE, Pauly D, Quader S, Revenga C, Sauer JR, Skolnik B, Spear D, Stanwell-Smith D, Stuart SN, Symes A, Tierney M, Tyrrell TD, Vie JC, Watson R (2010) Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. *Science* 328:1164-1168
- Cardillo M, Mace GM, Gittleman JL, Purvis A (2006) Latent extinction risk and the future battlegrounds of mammal conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103:4157-4161
- Chen IC, Hill JK, Ohlemüller R, Roy DB, Thomas CD (2011) Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* 333:1024-1026
- Dawson TP, Jackson ST, House JI, Prentice IC, Mace GM (2011) Beyond Predictions: Biodiversity Conservation in a Changing Climate. *Science* 332:53-58
- Donald P, Gedeon K, Collar N, Spottiswoode C, Wondafrash M, Buchanan G (2012) The restricted range of the Ethiopian Bush-crow *Zavattariornis stresemanni* is a consequence of high reliance on modified habitats within narrow climatic limits. *Journal of Ornithology* 153:1031-1044
- Equipa Atlas (2008) *Atlas das aves nidificantes em Portugal*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, Lisboa
- ESRI, 2006. ArcGis 9.2. Redlands, CA
- Foden W, Mace G, Vié J-C, Angulo A, Butchart S, DeVantier L, Dublin H, Gutsche A, Stuart S, Turak E (2008) *Species susceptibility to climate change impacts*, En: J-C Vié, C Hilton-Taylor, SN Stuart, editores. The 2008 review of the IUCN Red List of threatened species. IUCN, Gland, Switzerland. pp. 77-88
- Fronzek S, Carter TR, Jylhä K (2012) Representing two centuries of past and future climate for assessing risks to biodiversity in Europe. *Global Ecology and Biogeography* 21:19-35
- García RA, Burgess ND, Cabeza M, Rahbek C, Araújo MB (2011) African vertebrate species under warming climates: sources of uncertainty from ensemble forecasting. *Global Change Biology* 18:1253-1269
- Gordo O (2007) Why are bird migration dates shifting? A review of weather and climate effects on avian migratory phenology. *Climate Research* 35:37-58
- Heller NE, Zavaleta ES (2009) Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation* 142:14-32
- IPCC (2007) *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, p. 104. IPPC, Ginebra, Suiza
- IPCC (2013) *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, Cambridge
- Jiguet F, Gadot AS, Julliard R, Newson SE, Couvet D (2007) Climate envelope, life history traits and the resilience of birds facing global change. *Global Change Biology* 13:1672-1684
- Martí R, del Moral JC (2003) *Atlas de las aves reproductoras de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza & Sociedad Española de Ornitología, Madrid
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858
- Obeso JR, Bañuelos MJ (2004) El urogallo (*Tetrao urogallus cantabricus*) en la Cordillera Cantábrica. *Serie Técnica OAPN*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid

- Pimm SL, Raven P, Peterson A, Şekerciöglu CH, Ehrlich PR (2006) Human impacts on the rates of recent, present, and future bird extinctions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103:10941-10946
- Potti J. (2008) Temperature during egg formation and the effect of climate warming on egg size in a small songbird. *Acta Oecologica* 33:387-393
- Rey Benayas JM, Scheiner SM (2002) Plant diversity, biogeography and environment in Iberia: Patterns and possible causal factors. *Journal of Vegetation Science* 13:245-258
- Rocha CFD, Bergallo HG, Alves MAS, Van Sluys M (2009) *Análise da distribuição da diversidade da fauna no Estado do Rio de Janeiro*, En: HG Bergallo, ECC Fidalgo, CFD Rocha, MC Uzêda, MB Costa, MAS Alves, M Van Sluys, MA Santos, TCC Costa, ACR Cozzolino, editores. Estratégias e ações para a conservação da biodiversidade no Estado do Rio de Janeiro. Instituto Biomass, Rio de Janeiro. pp. 111-126
- Thuiller W, Lavorel S, Araújo MB (2005) Niche properties and geographical extent as predictors of species sensitivity to climate change. *Global Ecology and Biogeography* 14:347-357
- Travis JMJ, (2003) Climate change and habitat destruction: a deadly anthropogenic cocktail. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 270:467-473
- Triviño M, Thuiller W, Cabeza M, Hickler T, Araújo MB (2011) The Contribution of Vegetation and Landscape Configuration for Predicting Environmental Change Impacts on Iberian Birds. *PLoS ONE* 6:e29373
- Triviño M, Cabeza M, Thuiller W, Hickler T, Araújo MB (2013) Risk assessment for Iberian birds under global change. *Biological Conservation* 168:192-200