



Réseau Pyrénéen des Galliformes de montagne
Red Pirenaica de los Galliformes de montaña

Acción 3.1.4: Modelización de los hábitats del lagópodo alpino (*Lagopus mutus*) y de la perdiz pardilla (*Perdix perdix*) y cartografía del hábitat de reproducción



Assu Gil-Tena, Dani Villero, Laura Juárez y Lluís Brotons



Antecedentes

El presente trabajo se enmarca en la acción 3.1.4 del proyecto GALLIPYR «Red Pirenaica de los Galliformes de Montaña» (que tiene 10 socios de Francia, España y Andorra y FORESPIR como Jefe de fila), encaminado a crear una red de seguimiento de los galliformes de montaña y mejorar el hábitat y las poblaciones de estas especies de manera concertada entre los diferentes territorios de lado y lado de los Pirineos. El principal objetivo de esta acción es producir modelos de hábitat de reproducción del lagópodo alpino (*Lagopus mutus*) y de la perdiz pardilla (*Perdix perdix*) en diferentes áreas de los Pirineos donde la información de tipo faunístico y ambiental está disponible.

Una diagnosis previa del estado de la cuestión ha puesto de manifiesto que la cartografía disponible actualmente sobre ambas especies es reducida y está disponible a escalas muy amplias y poco adecuadas en el contexto del diseño y aplicación de medidas de gestión de las especies (Atlas de aves reproductoras de Cataluña, Francia, España y Andorra). No obstante, durante los últimos años se han desarrollado técnicas de modelización de la distribución de especies basadas en la relación entre datos espaciales sobre la distribución de especies y datos ambientales (capas de información geográfica, imágenes de satélite, etc.) con el fin de desarrollar modelos predictivos de hábitat. Los modelos de hábitat presentan la ventaja de poder utilizarse a resoluciones espaciales adecuadas a las necesidades de gestión y de planificación de la biodiversidad, ofreciendo extrapolaciones continuas de un índice de calidad de hábitat o probabilidad de aparición para todo el territorio estudiado, incluyendo las zonas carentes de información de la especie. En este sentido, cabe destacar que los últimos años se han recopilado numerosas observaciones de carácter local sobre el lagópodo alpino y la perdiz pardilla, a los que se suman los datos recopilados de forma estandarizada en el marco de GALLIPYR. Estos datos biológicos junto al progresivo desarrollo de datos ambientales en sistemas de información geográfica cada vez más precisos, permiten el desarrollo de modelos predictivos de distribución de las especies con una resolución geográfica adecuada en el contexto de la conservación de la biodiversidad.

El presente documento describe los procesos llevados a cabo en el marco de la acción 3.1.3.4, y muestra los modelos de hábitat de reproducción obtenidos para el lagópodo alpino y la perdiz pardilla.

Objetivo

El objetivo general del presente trabajo es producir modelos potenciales de hábitat de reproducción del lagópodo alpino y de la perdiz pardilla en diferentes áreas de los Pirineos en base a la información disponible sobre la distribución de ambas especies y sobre las variables ambientales que pueden condicionar dicha distribución. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Recopilación de datos sobre distribución y abundancia de ambas especies y desarrollo de una base de datos georeferenciada que estructure toda la información recopilada de forma homogénea.
- Obtención de las variables ambientales relevantes para la distribución de ambas especies.
- Desarrollo de modelos predictivos de hábitat de reproducción del lagópodo alpino y de la perdiz pardilla en los Pirineos, adaptando el ámbito y la resolución del análisis a las necesidades de gestión requeridas en el marco de GALLIPYR.
- Definir áreas relevantes para las especies en base a los modelos de calidad del hábitat.

Datos sobre la distribución de las especies

La información sobre distribución y abundancia de especies es el principal factor limitante a la hora de plantear objetivos y métodos para el desarrollo de modelos predictivos de distribución, ya que además de información suficiente, es recomendable que esta sea representativa de los ámbitos geográficos y de los procesos ecológicos objeto de estudio. Dicho con un ejemplo: si queremos desarrollar modelos predictivos de zonas de nidificación de un ave determinada y no disponemos de un muestreo representativo de un ámbito bien definido de estas zonas de nidificación, difícilmente podremos inferir relaciones estadísticas que nos permitan predecir los patrones de nidificación de la especie.

Así, para el desarrollo de modelos predictivos de distribución de *Lagopus mutus* y de *Perdix perdix*, es necesaria información detallada sobre la presencia y la abundancia de las dos especies, preferentemente recogida con métodos estandarizados (por ejemplo en el marco del seguimiento de las poblaciones). La Tabla 1 recoge los campos de información necesarios y suficientes para documentar dicha información. Cabe remarcar que para facilitar la interpretación y uso de los datos, además de documentar el mayor número de campos posibles, es recomendable facilitar la fuente de información.

En una primera fase del proyecto se ha solicitado a los socios participantes de GALLIPYR información sobre las especies en base a estas directrices. En los apartados de modelización de cada especie se expone la información obtenida para cada especie.

Tabla 1. Campos de información necesarios para documentar la presencia y abundancia de las especies.

CAMPO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
ESPECIE	Nombre científico de la especie	<i>Perdix perdix</i>
LATITUD	Latitud geográfica	377060
LONGITUD	Longitud geográfica	4650750
SISTEMA COORDENADAS	Sistema de referencia empleado para tomar las coordenadas geográficas	ED1950 UTM31N
LOCALIDAD	Topónimo de la localidad donde se ha observado	Solsona
FECHA	Fecha de la observación (dd/mm/aaaa)	15/08/2008
AUTOR	Autor de la observación	Dani Villero
METODO	Método empleado en la observación	Itinerario
TIPO DE DATO	Unidades de medida recogidas con el método empleado (presencia, individuos/ha, IQA, etc.)	Presencia
VALOR	Número de ejemplares observados. En caso de datos de presencia: presencia=1; ausencia=0.	0
ESTADIO	Estadio de desarrollo o sexo de los ejemplares observados (macho, hembra, adulto, joven, etc.)	
COMENTARIO	Información complementaria de la observación	
FUENTE	Referencia bibliográfica del proyecto	Villero, D. 2008 Estudio de la perdiz pardilla en Solsona. CTFC. Informe Inédito
INSTITUCION	Entidad que ha proporcionado la información	CTFC

Variables ambientales

Para generar modelos predictivos de distribución de especies es necesaria información ambiental en formato GIS que permita analizar los patrones geográficos de la información faunística disponible desde una perspectiva ecológica. Por lo tanto, la selección de las variables ambientales es otro aspecto crucial a la hora de plantear ejercicios de modelización. El proceso de identificación de variables ambientales ha incluido una revisión bibliográfica y la consulta y discusión con expertos.

Con el fin de obtener variables ambientales homogéneas para todo el ámbito de los Pirineos se han seleccionado dos fuentes principales de información:

- WorldClim (Hijmans et al. 2005) con datos climáticos y topográficos (acceso a los datos en www.worldclim.org)
- *Corine Land Cover* 2000 (ETC/LUSI 2007) con datos categóricos de usos del suelo (acceso a los datos en www.eea.europa.eu)

Ambas fuentes de información ofrecen datos en formato de mapas raster, pero con resoluciones geográficas distintas: WorldClim a 1x1 km y *Corine Land Cover* (CLC) a 100x100 m. Para homogeneizar la resolución a 1x1 km, el mapa CLC se ha transformado en tantos mapas raster como unidades de la leyenda Corine (Tabla 2) con información cuantitativa sobre el recubrimiento de cada uso del suelo en cada píxel de 1x1 km.

Cabe remarcar también que el mapa CLC no aporta información dentro de Andorra, pues el país queda fuera de la UE. Para solucionar esta carencia se ha utilizado el *Mapa Digital dels Hàbitats d'Andorra* (IEA 2001) reclasificado según la leyenda CLC (Tabla 3). Una vez reclasificado, se ha utilizado para completar el ámbito andorrano, previo a la homogeneización de la resolución a 1x1 km del mapa CLC.

El proceso de selección de variables ambientales para el desarrollo de modelos de hábitat de lagópodo alpino y perdiz pardilla se comenta en los apartados de modelización de cada especie.

Tabla 2. Categorías de usos del suelo según la leyenda *Corine Land Cover*.

CÓDIGO CORINE	USOS DEL SUELO
1	<i>Continuous urban fabric</i>
2	<i>Discontinuous urban fabric</i>
3	<i>Industrial or commercial units</i>
4	<i>Road and rail networks and associated land</i>
5	<i>Port areas</i>
6	<i>Airports</i>
7	<i>Mineral extraction sites</i>
8	<i>Dump sites</i>
9	<i>Construction sites</i>
10	<i>Green urban areas</i>
11	<i>Sport and leisure facilities</i>
12	<i>Non-irrigated arable land</i>
13	<i>Permanently irrigated land</i>
14	<i>Rice fields</i>
15	<i>Vineyards</i>
16	<i>Fruit trees and berry plantations</i>
17	<i>Olive groves</i>
18	<i>Pastures</i>
19	<i>Annual crops associated with permanent crops</i>
20	<i>Complex cultivation patterns</i>
21	<i>Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation</i>
22	<i>Agro-forestry areas</i>
23	<i>Broad-leaved forest</i>
24	<i>Coniferous forest</i>
25	<i>Mixed forest</i>
26	<i>Natural grasslands</i>
27	<i>Moors and heathland</i>
28	<i>Sclerophyllous vegetation</i>
29	<i>Transitional woodland-shrub</i>
30	<i>Beaches, dunes, sands</i>
31	<i>Bare rocks</i>
32	<i>Sparseley vegetated areas</i>
33	<i>Burnt areas</i>
34	<i>Glaciers and perpetual snow</i>
35	<i>Inland marshes</i>
36	<i>Peat bogs</i>
37	<i>Salt marshes</i>
38	<i>Salines</i>
39	<i>Intertidal flats</i>
40	<i>Water courses</i>
41	<i>Water bodies</i>
42	<i>Coastal lagoons</i>
43	<i>Estuaries</i>
44	<i>Sea and ocean</i>

Tabla 3. Correspondència entre la leyenda del *Mapa Digital dels Hàbitats d'Andorra* (42 categories) y la leyenda *Corine Land Cover*.

CÓDIGO LLHA	HABITATS	CÓDIGO CORINE
01	<i>Aigües estagnants</i>	41
02	<i>Aigües corrents</i>	40
03	<i>Abarsetars o neretars</i>	27
04	<i>Landes i matollars baixos de l'alta muntanya</i>	27
05	<i>Boixedes i bardisses</i>	27
06	<i>Balegars</i>	27
07	<i>Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis joves</i>	29
08	<i>Ginebreds montanes</i>	27
09	<i>Avellanoses</i>	27
10	<i>Savinoses</i>	28
11	<i>Argelaguers</i>	29
12	<i>Pastures montanes calcícoles</i>	18
13	<i>Pastures montanes acidòfiles</i>	18
14	<i>Congesteres</i>	34
15	<i>Pastures de pel caní</i>	18
16	<i>Pastures de gesp (Festuca eskia)</i>	18
17	<i>Pastures de sudorn (Festuca paniculata s.l.)</i>	18
18	<i>Pastures de l'alta muntanya acidòfiles, amb Festuca airoides, Festuca yvesii o Carex curvula</i>	18
19	<i>Pastures de l'alta muntanya, calcícoles</i>	18
20	<i>Prats de dall</i>	26
21	<i>Herbassars higròfils</i>	26
22	<i>Herbassars ruderals de l'alta muntanya</i>	26
23	<i>Molleres o potamolls</i>	36
24	<i>Rouredes de roure martinenc</i>	23
25	<i>Rouredes de roure de fulla grossa</i>	23
26	<i>Boscós mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes</i>	23
27	<i>Avetoses i pinedes amb avets</i>	24
28	<i>Pinedes de pi negre mesòfiles</i>	24
29	<i>Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions.</i>	24
30	<i>Pinedes de pi roig mesòfiles</i>	24
31	<i>Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions</i>	24
32	<i>Boscós mixts de caducifolis i coníferes</i>	25
33	<i>Àrees desforestades</i>	32
34	<i>Boscós i bosquines de ribera</i>	23
35	<i>Carrascars</i>	23
36	<i>Boscós mixts de carrasca i/ o roures i/ o pi roig</i>	25
37	<i>Roques calcàries</i>	31
38	<i>Roques silícies i terraprims</i>	31
39	<i>Tarteres calcàries</i>	31
40	<i>Tarteres silícies</i>	31
41	<i>Conreus</i>	22
42	<i>Àrees urbanes i industrials</i>	1

Modelización del hábitat de lagópodo alpino

La información recopilada para este trabajo ha comprendido un gran número de fuentes de diferente índole de la zona de los Pirineos situada en Cataluña y Andorra, como son fuentes gubernamentales, organismos oficiales y bases de datos disponibles en línea, representando desde diferentes tipos de muestreo a observaciones casuales. De modo que la información recopilada representa una buena cobertura en cuanto a la distribución actual de la especie en la zona catalano-andorrana del macizo pirenaico.

Dado el carácter general del modelo y el ámbito geográfico considerado (Pirineos), se ha considerado oportuno trabajar con una resolución equivalente a 1 km en coordenadas geográficas de longitud y latitud (0,0083°), siendo ésta la resolución de la información ambiental correspondiente al clima y a los usos del suelo.

Datos sobre distribución geográfica

Al representar la información recopilada a partir de diferentes tipos de muestreo, se hace necesario realizar un cribado exhaustivo y sistemático de la información recopilada para asegurar la representatividad de los datos y evitar sesgos debidos a las diferencias en los muestreos. Los datos recopilados se han integrado en una base de datos en la cual se dispone, además de las coordenadas geográficas que permiten la georeferenciación de las observaciones, otros metadatos referentes a cuándo y dónde se ha realizado la observación, la fuente de los datos, su autor, si se ha seguido un muestreo y de qué tipo, el tipo de datos recopilados referentes a la especie, etc. (ver Tabla 1).

A nivel catalán la información en cuanto a censos ha sido proporcionada por el Gobierno (2009-2010) y el *Institut Català d'Ornitologia* (datos del *Atles d'Ocells Nidificants de Catalunya* 1999-2002) y completada por parte del equipo técnico del CTFC a partir de los datos disponibles en la web ornitho.cat (registros de observaciones de aves a nivel de Cataluña durante el periodo 2002-2010). Esta información se ha completado con la información proporcionada por el Gobierno de Andorra para los censos realizados durante el periodo 2007-2009.

El número total de observaciones recopilado ha sido de 86, correspondiendo 32 registros al seguimiento realizado por el Gobierno de Cataluña, 23 a censos realizados por el gobierno de Andorra y el resto correspondientes al *Atles d'Ocells nidificants de Catalunya* 1999-2002 ($n=7$) y a la Web ornitho.cat ($n=24$). Para compensar los sesgos geográficos de los datos debido a diferentes intensidades de muestreo relacionados con el origen de los datos, se han seleccionado al azar aquellas observaciones separadas una décima de grado de longitud, configurando de este modo una submuestra de 20 registros para calibrar el modelo de distribución potencial del lagópodo alpino (Figura 1).

Variables ambientales

El lagópodo alpino se encuentra en altitudes medias no inferiores a los 2000 m, habitando pastizales de alta montaña, neveros y canchales y formaciones arbustivas supraforestales. Las limitaciones en la disponibilidad de variables ambientales de hábitat para toda la zona de los Pirineos (ámbito peninsular y galo) han motivado que los factores ambientales

condicionantes de nicho identificados como relevantes en la bibliografía sobre la especie en los Pirineos se reduzcan a los que recoge la Tabla 4.

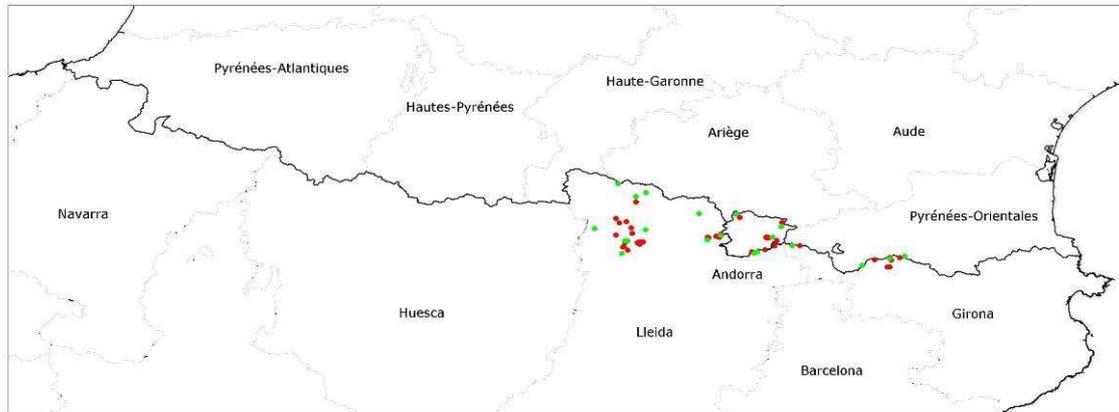


Figura 1. Datos de lagópodo alpino (*Lagopus mutus*). En rojo se muestran los datos recopilados y en verde los datos utilizados para calibrar el modelo de calidad del hábitat.

Tabla 4. Variables ambientales utilizadas para el modelo de hábitat potencial del lagópodo alpino en los Pirineos.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	FUENTE
Pastizales naturales	Recubrimiento de pastos naturales <i>Natural Grasslands</i>	Corine Land Cover 2000 (CLC2000) 100m v9 (EEA)
Matorral mesófilo	Recubrimiento de matorral mesófilo <i>Moors and heathland</i>	
Matorral	Recubrimiento de matorral <i>Transitional woodland-shrub</i>	
Roquedos	Recubrimiento de roquedos <i>Bare Rocks</i>	
Zonas abiertas	Recubrimiento de zonas abiertas <i>Sparse Vegetated Areas</i>	
Glaciares	Recubrimiento de nieve <i>Perpetual snow</i>	
Lluvia anual	Lluvia acumulada anual	WorldClim - <i>Global Climate Data</i> (http://www.worldclim.org)
Temp Mín enero	Temperatura mínima de enero	
Temp Max julio	Temperatura máxima de julio	
Altitud	Altitud	

Desarrollo de modelos de hábitat

El modelo generado para los datos del lagópodo alpino en los Pirineos se ha calibrado con los datos disponibles y posteriormente se ha proyectado para todo el ámbito de los Pirineos para así ver la posible distribución de la especie en todo el macizo. La modelización se ha realizado con el software Maxent que permite modelizar la distribución de las especies a partir de únicamente datos de presencia, y está especialmente recomendado cuando el tamaño de muestra de la especie objeto de estudio es pequeño, como el caso que nos ocupa (Phillips et al. 2006). Para la evaluación del modelo obtenido se ha aplicado un proceso de evaluación cruzada, en el que se reserva un 30 % de los datos para evaluar el modelo generado con el 70% restante. Este proceso de evaluación se ha realizado 10 veces y se ha complementado con una evaluación experta de la representatividad de la cartografía obtenida. El estadístico de evaluación utilizado ha sido el área bajo la curva (AUC en inglés) de un gráfico ROC (Receiver Operating Characteristic). Este estadístico varía de 0,5 (el modelo no es capaz de diferenciar las zonas con presencia de la especie mejor que un proceso aleatorio) a 1 (que indicaría un modelo con una capacidad de discriminación perfecta)

Calidad de hábitat potencial de lagópodo alpino en Pirineos

El resultado obtenido en la evaluación ha sido de **AUC=0,942**. Este valor nos indica que el modelo tiene una capacidad excelente para predecir los datos reservados para evaluar el modelo. Por otro lado, también coinciden en buen grado las zonas predichas por el modelo como idóneas para la especie con aquellas en las que se ha encontrado la misma en los muestreos del Atlas de aves reproductoras de España (ver Figura 2).

Respecto a la respuesta a las variables ambientales cabe decir que las variables de clima y altitud han sido las que han tenido un mayor peso en el modelo, mientras que las variables de hábitat, probablemente debido a su baja resolución, han contribuido muy escasamente al ajuste del mismo (Figura 3).

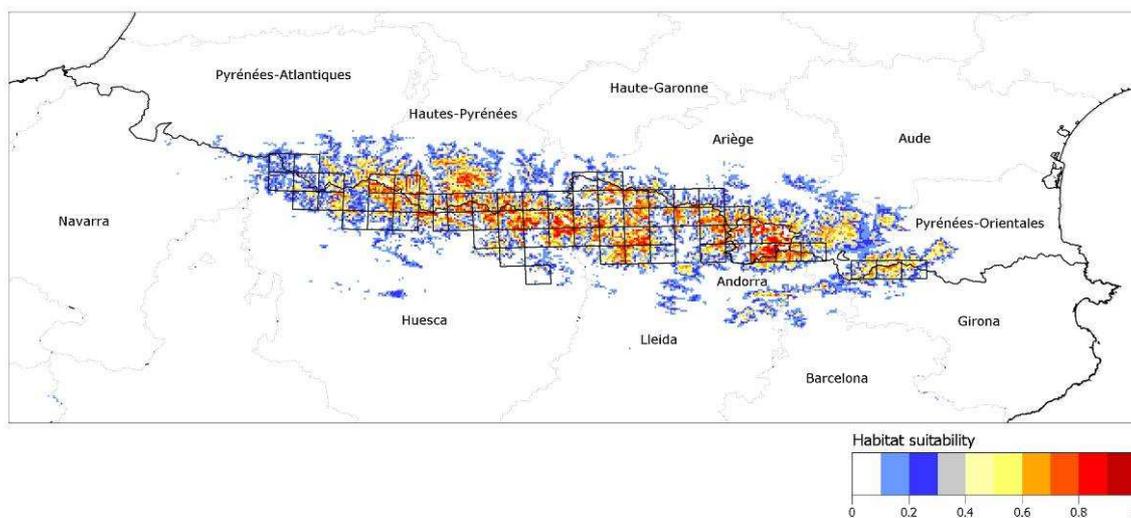


Figura 2. Modelo de calidad de hábitat de lagópodo alpino (*Lagopus mutus*) en los Pirineos. Las cuadrículas representan la presencia de la especie en cuadrículas UTM de 10x10 km según el Atlas de Aves Reproductoras de España (Martí and Moral 2003).

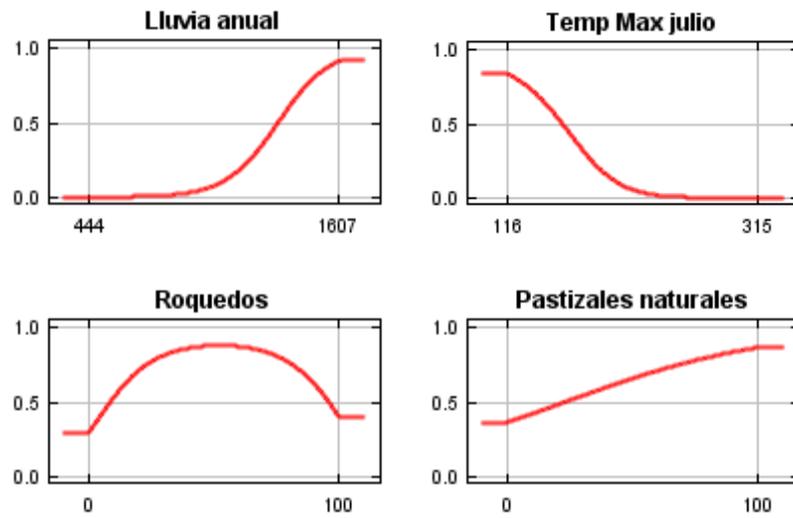


Figura 3. Curvas de respuesta de las variables ambientales que han contribuido de forma más relevante en el modelo de lagópodo alpino (*Lagopus mutus*).

Modelización del hábitat de perdiz pardilla

La información recopilada para este trabajo comprende un gran número de fuentes de diferente índole (fuentes gubernamentales, organismos oficiales, revisiones bibliográficas y bases de datos disponibles en línea, etc.), representando diferentes tipos de muestreo así como observaciones casuales. No obstante, se tiene constancia de que realmente hay una mayor cobertura efectiva por lo que respecta al monitoreo de la especie en el macizo pirenaico. Tras haber realizado reiteradas peticiones de datos a los agentes directamente implicados en el seguimiento y monitoreo de la especie, la ausencia de respuesta ha provocado que se realicen unos primeros análisis exploratorios para determinar la capacidad de los datos hasta ahora recopilados para predecir la distribución potencial de la especie en los Pirineos.

Dado el carácter general del modelo y el ámbito geográfico considerado (Pirineos), se ha considerado oportuno trabajar con una resolución equivalente a 1 km en coordenadas geográficas de longitud y latitud (0,0083°), siendo ésta la resolución de la información ambiental correspondiente al clima y a los usos del suelo.

Datos sobre distribución geográfica

Como ya se ha apuntado, la información recopilada comprende diferentes fuentes de diferente índole, representando diferentes tipos de muestreo e incluso observaciones casuales. En consecuencia, para asegurar la representatividad de los datos y evitar sesgos debidos al muestreo se ha realizado un cribado exhaustivo y sistemático de la información recopilada. Los datos recopilados se han integrado en una base de datos en la cual se dispone, además de las coordenadas geográficas que permiten la georeferenciación de las observaciones, otros metadatos referentes a cuándo y dónde se ha realizado la observación, la fuente de los datos, su autor, si se ha seguido un muestreo y de qué tipo, el tipo de datos recopilados referentes a la especie, etc. (ver Tabla 1).

Así, a nivel catalán (LLeida, Barcelona y Girona) la información en cuanto a censos ha sido proporcionada por el *Institut Català d'Ornitologia* (Estrada et al. 2004) y completada por parte del equipo técnico del CTFC a partir de los datos disponibles en la Web ornitho.cat (registros observacionales de aves a nivel de Cataluña durante el periodo 2002-2010). Por lo que respecta a la información proporcionada para otras regiones, destaca la información de *radiotracking* proporcionada por la ONCFS para el macizo pirenaico del Carlit (*Pyrénées-Orientales*) que abarca el periodo de 1992-1998, la información proporcionada por el Gobierno de Andorra para los censos realizados durante el periodo 2007-2009 y la información proporcionada por IKT SA para los registros históricos en Álava de la perdiz pardilla (1930-1940). Además, a través de IKT SA se ha accedido a los datos de la cordillera Cantábrica (Asturias y León) obtenidos a partir de observaciones realizadas por agentes rurales de la zona (Acevedo et al. 2007).

El número total de observaciones recopilado ha sido de 2227, correspondiendo 2051 registros al seguimiento realizado de *radiotracking* en el Carlit, 95 a los datos de la zona cantábrica y 6 a los datos históricos de Álava. Para compensar los sesgos geográficos de los datos debido a diferentes intensidades de muestreo relacionados con el origen de los datos, se han seleccionado de manera aleatoria aquellas observaciones separadas una décima de grado de longitud, configurando de este modo una submuestra de 37 registros para calibrar el modelo en el ámbito de Pirineos (Figura 4). Además, los datos disponibles para Asturias

y León ($n=95$; Figura 4), que obedecen a un muestreo homogéneo, se han empleado para calibrar un modelo específico para la cordillera Cantábrica, que posteriormente se ha proyectado al ámbito de los Pirineos para analizar las áreas potenciales de distribución en el País Vasco y Navarra, donde actualmente se halla ausente.

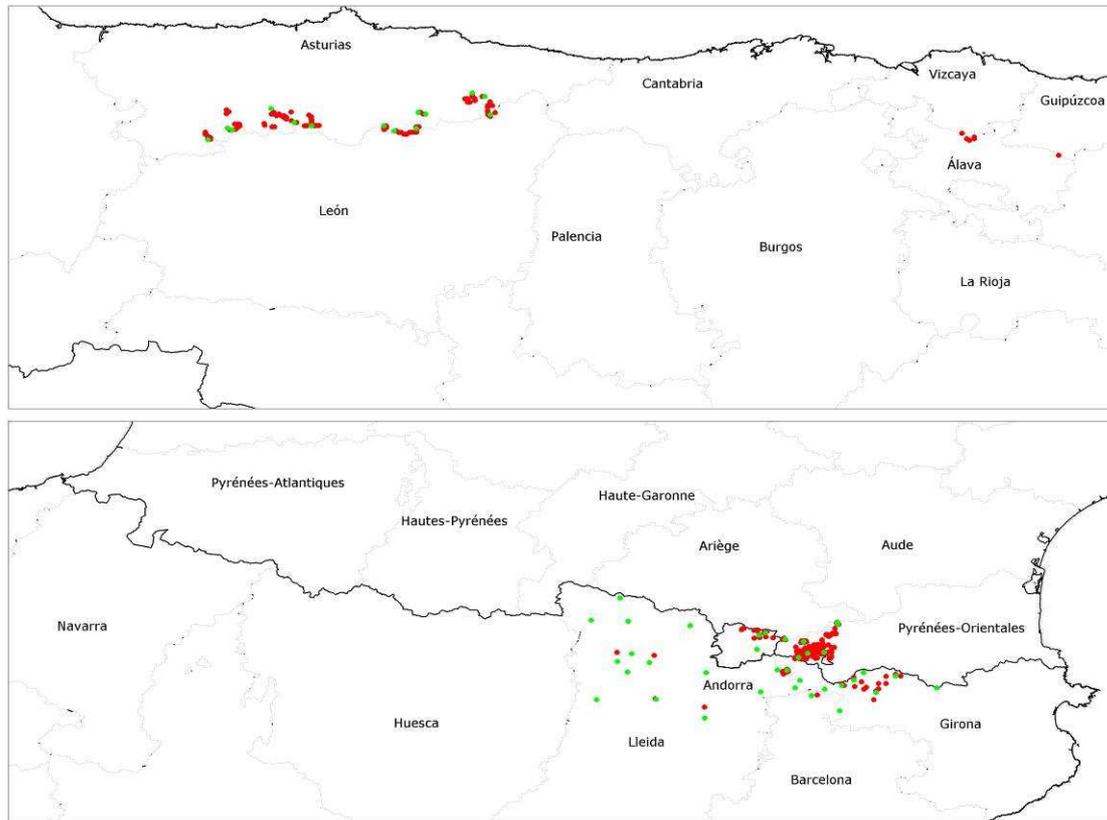


Figura 4. Datos de perdiz pardilla (*Perdix perdix*). En rojo se muestran los datos recopilados y en verde los datos utilizados para calibrar el modelo de calidad del hábitat. Arriba se muestran los datos recopilados para la cordillera Cantábrica y los datos históricos en la provincia de Álava, y abajo los datos de Pirineos.

VARIABLES AMBIENTALES

Según el Atlas de Aves Reproductoras de España (Martí and Moral 2003), la perdiz pardilla se encuentra en altitudes superiores a los 1100 m, aunque según el Atlas de Cataluña, la especie se encuentra entre los 1800 y 2600 m (Estrada et al. 2004), pudiendo ser este último dato el que más se corresponda con la distribución de la especie a nivel de los Pirineos. De forma que la especie llega hasta el piso subalpino, y habita zonas de matorral de montaña con preferencia por zonas que alternen vegetación densa y claros. Debido a las limitaciones en la disponibilidad de variables ambientales de hábitat para toda la zona de los Pirineos (ámbito peninsular y galo), los factores ambientales condicionantes de nicho identificados como relevantes en la bibliografía sobre la especie en los Pirineos se reducen a los que recoge la Tabla 5.

Tabla 5. Variables ambientales utilizadas para el modelo de hábitat potencial de la perdiz pardilla en los Pirineos.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	FUENTE
Pastizales naturales	Recubrimiento de pastos naturales <i>Natural Grasslands</i>	Corine Land Cover 2000 (CLC2000) 100m v9 (EEA)
Matorral mesófilo	Recubrimiento de matorral mesófilo <i>Moors and heathland</i>	
Matorral	Recubrimiento de matorral <i>Transitional woodland-shrub</i>	
Zonas abiertas	Recubrimiento de zonas abiertas <i>Sparse Vegetated Areas</i>	
Lluvia anual	Lluvia acumulada anual	WorldClim - <i>Global Climate Data</i> (http://www.worldclim.org)
Temp Min enero	Temperatura mínima de enero	
Temp Max julio	Temperatura máxima de julio	
Altitud	Altitud	

Desarrollo de modelos de hábitat

Como en el caso del lagópodo alpino, en este caso la modelización de la perdiz pardilla en los Pirineos también se ha realizado con el software Maxent. Además para ver la adecuación de la distribución potencial de la especie en la zona del País Vasco y Navarra (localidades donde actualmente la especie está ausente), se ha comparado la adecuación del anterior modelo desarrollado a partir de los datos disponibles a nivel del macizo pirenaico con otro modelo desarrollado a partir de los datos disponibles a nivel cantábrico (Asturias y León) para así optimizar la identificación de posibles zonas de distribución potenciales. De forma que el primer modelo puede darnos una idea de la adecuación del hábitat para la especie en el macizo pirenaico, al menos para la zona en la que se tienen datos de presencia de la especie (Pirineos orientales y centrales), mientras que el segundo modelo pretende añadir robustez a los resultados del anterior modelo en la zona del macizo pirenaico en la que la especie actualmente no está presente aunque sí se conocen citas históricas (zona del País Vasco y Navarra). La diferenciación entre ámbitos obedece a que las condiciones en las que la especie está presente en el macizo pirenaico y en la cordillera cantábrica son significativamente diferentes debido a características intrínsecas entre ambos ámbitos. En cada caso, los modelos generados para la perdiz pardilla se han calibrado únicamente con los datos disponibles y posteriormente se ha proyectado para todo el ámbito de los Pirineos para así ver la posible distribución de la especie en todo el macizo. De forma que se ha aplicado un proceso de evaluación cruzada, en el que se reserva un 30 % de los datos para evaluar el modelo generado con el 70% restante. Este proceso de evaluación se ha realizado 10 veces y se ha complementado con una evaluación experta de la representatividad de la cartografía obtenida. Como en la modelización anterior, el estadístico de evaluación utilizado ha sido el área bajo la curva (AUC en inglés) de un gráfico ROC (Receiver Operating Characteristic). Este estadístico varía de 0,5 (el modelo no es capaz de diferenciar las zonas con presencia de la especie mejor que un proceso aleatorio) a 1 (que indicaría un modelo con una capacidad de discriminación perfecta).

Calidad de hábitat potencial de perdiz pardilla en Pirineos

El resultado obtenido en la evaluación ha sido de **AUC=0,844** para el modelo de los datos de los Pirineos. Este valor nos indica que el modelo tiene una buena capacidad predictiva en base a las observaciones de la especie reservadas para evaluar el modelo. Así, para el ámbito de Pirineos en el que la perdiz pardilla está presente hay también una óptima coincidencia entre las zonas predichas por el modelo como idóneas para la especie con aquellas en las que se ha encontrado la misma en anteriores muestreos (ver Figura 5).

Igual que para el lagópodo alpino, las variables ambientales que determinan la idoneidad de hábitat de la perdiz pardilla en los Pirineos son principalmente las variables climáticas y la altitud y, en menor grado, las variables de hábitat. Entre estas, destaca el efecto favorable de los pastizales naturales mientras que el resto de variables de hábitat muestran una asociación inversa de escasa relevancia (Figura 6).

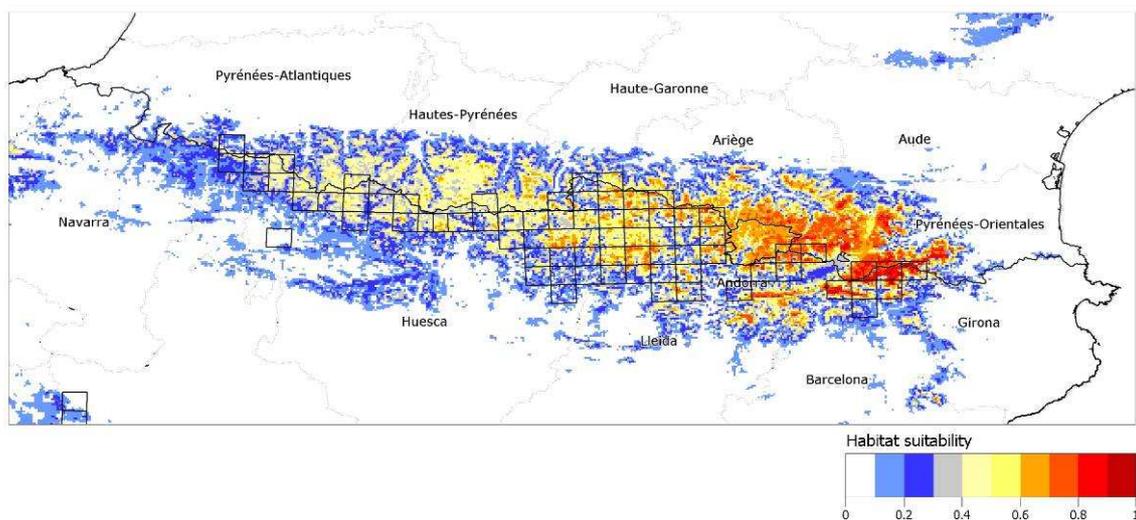


Figura 5. Modelo de calidad de hábitat de perdiz pardilla (*Perdix perdix*) en los Pirineos. Las cuadrículas representan la presencia de la especie en cuadrículas UTM de 10x10 km según el Atlas de Aves Reproductoras de España (Martí and Moral 2003).

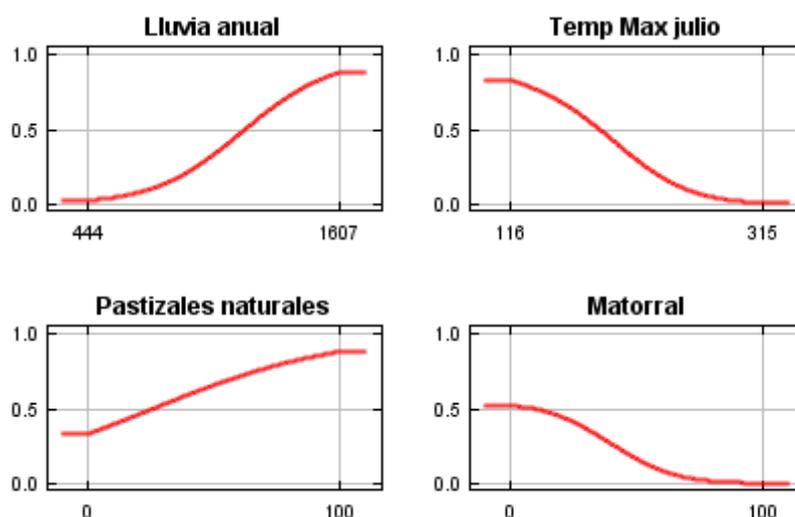


Figura 6. Curvas de respuesta de las variables ambientales que han contribuido de forma más relevante en el modelo de perdiz pardilla (*Perdix perdix*) en los Pirineos.

Calidad de hábitat potencial de perdiz pardilla en País Vasco y Navarra

Como ya se ha expuesto anteriormente, para evaluar la distribución potencial de la perdiz pardilla en la zona del País Vasco y Navarra (actualmente extinta) se ha realizado también un modelo a partir de los datos recopilados para la cordillera Cantábrica. Así, aparte del resultado del modelo anteriormente expuesto para los Pirineos ($AUC=0,844$), el resultado obtenido en la evaluación del modelo Cantábrico no ha mejorado al anterior, obteniendo un **$AUC=0,781$** . De modo que el modelo desarrollado para esta zona (ámbito Cantábrico) tiene una capacidad predictiva aceptable para predecir las zonas reservadas para evaluar el modelo. Así mismo, las variables ambientales que determinan la idoneidad de hábitat de la perdiz pardilla en la cordillera Cantábrica son diferentes a las de Pirineos, apareciendo los matorrales mesófilos y las zonas abiertas, junto a la altitud y las temperaturas máximas anuales como variables principales (Figura 8).

Según la Figura 7, para la zona de Álava y en concreto para las áreas donde se localizan los registros históricos ambos modelos señalan la adecuación del hábitat para la especie. No obstante, el valor del índice de adecuación de hábitat varía notablemente según el modelo que se considere. Así, los valores para el modelo Pirineos presentan siempre un índice de adecuación de hábitat mucho menor que para el modelo Cantábrico, aunque es remarcable que ambos modelos coinciden en las áreas con valores de idoneidad de hábitat más altas (Figura 7). A esta disparidad de resultados cabe añadir la diferencia en la capacidad predictiva de los modelos, que es aceptable en el modelo Cantábrico y buena en el modelo Pirineos, y que se debería mejorar en ambos casos, aunque sobre todo en el caso del ámbito pirenaico que es objeto de estudio.

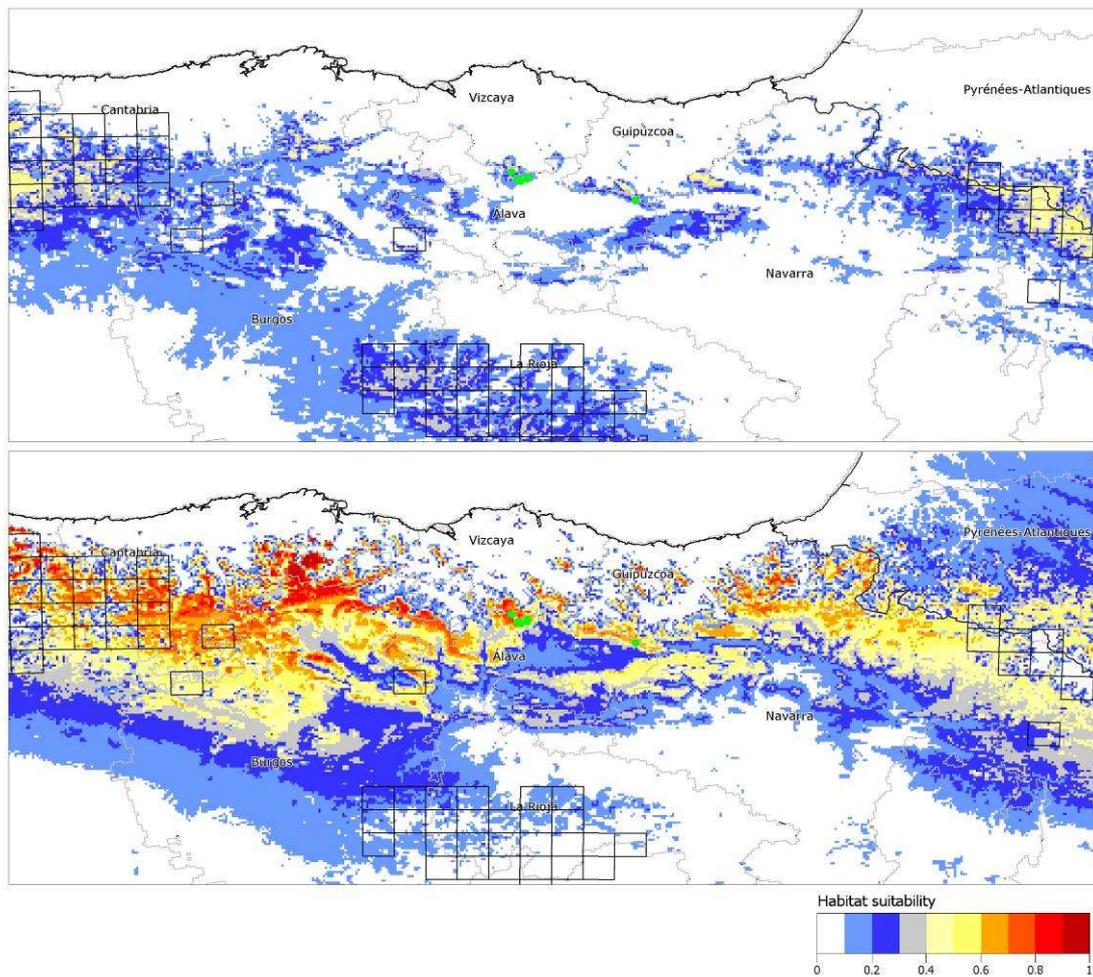


Figura 7. Modelos de calidad de hábitat de perdiz pardilla (*Perdix perdix*) de Pirineos (arriba) y de Cantábrico (abajo) en la zona de País Vasco y Navarra. Los puntos verdes indican los registros históricos en Álava y las cuadrículas representan la presencia de la especie en cuadrículas UTM de 10x10 km según el Atlas de Aves Reproductoras de España (Martí and Moral 2003).

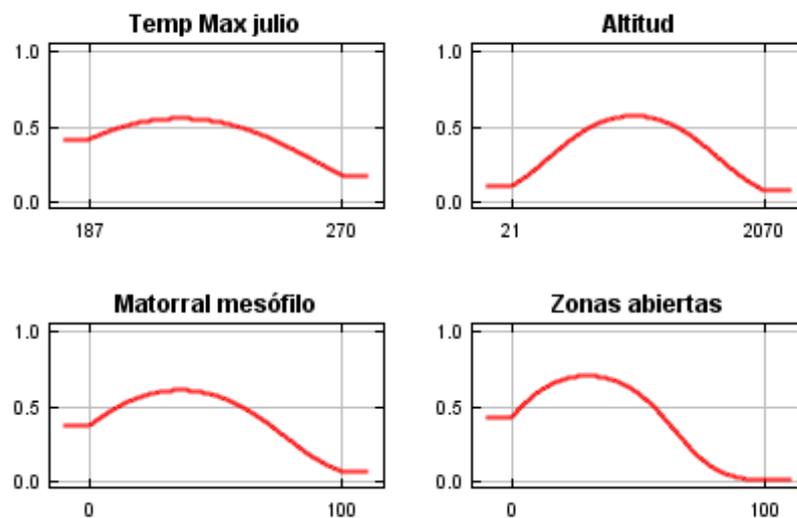


Figura 8. Curvas de respuesta de las variables ambientales que han contribuido de forma más relevante en el modelo de perdiz pardilla (*Perdix perdix*) en el Cantábrico.

Áreas relevantes para el lagópodo alpino y la perdiz pardilla en los Pirineos

Los modelos predictivos muestran el grado de idoneidad del territorio con un índice de calidad de hábitat que refleja las relaciones entre las especies y las variables ambientales que condicionan su distribución geográfica. Para mejorar el uso de modelos como herramientas de soporte a la conservación de la biodiversidad y a la gestión del territorio es importante caracterizar la relevancia de las diferentes áreas ocupadas por las especies.

Existen diversas metodologías para definir áreas relevantes a partir de modelos de calidad de hábitat. En el presente trabajo utilizaremos la metodología desarrollada en el marco del proyecto CARTOBIO sobre cartografía de especies de conservación prioritaria en Cataluña (Brotons et al. 2008), pues se trata de una metodología objetiva basada en criterios ecológicos y contrastada con otras aplicaciones, e.g. la identificación de zonas de hábitat adecuado para diferentes aves dentro de las IBA (*Important Bird Areas*) Secans de Lleida y Cogul-Alfés (Bota et al. 2008), o la definición de IBA marinas en España (Arcos et al. 2009).

Esta metodología propone la identificación de tres niveles de áreas relevantes, en base al grado de calidad de hábitat promedio que albergan. Los tres niveles de áreas relevantes son:

- **Zonas adecuadas:** áreas con calidad de hábitat muy baja donde la especie está presente de forma residual o con abundancias bajas.
- **Zonas buenas:** áreas con calidad de hábitat por encima del promedio de zonas adecuadas, donde la especie es frecuente o moderadamente abundante.
- **Zonas óptimas:** áreas con calidad de hábitat por encima del promedio de zonas buenas, y, por tanto, con las mejores condiciones ambientales dentro del ámbito estudiado, donde la especie puede ser muy abundante.

De forma general, las **Zonas adecuadas** se definen como las áreas con calidad de hábitat por encima del promedio del 10% de las localidades (con presencia de la especie) con peor calidad de hábitat. Las **Zonas buenas** son las áreas que quedan por encima del promedio de calidad de hábitat de las Zonas adecuadas, y las **Zonas óptimas** son las áreas que quedan por encima del promedio de las Zonas buenas. La Figura 9 muestra los umbrales para la definición de los tres niveles de áreas relevantes.



Figura 9. Histograma del modelo de calidad de hábitat del lagópodo alpino para las Zonas adecuadas (ZA). El promedio de estas zonas corresponde a un índice de calidad de hábitat de 0,36 que es el umbral para delimitar las Zonas buenas (ZB), y el promedio de la calidad de hábitat de las ZB es 0,55, que a su vez es el umbral para definir las Zonas óptimas (ZO).

Áreas relevantes para el lagópodo alpino en Pirineos

La definición de áreas relevantes del modelo de calidad de hábitat de lagópodo alpino en Pirineos ha resultado en los siguientes umbrales: Zonas adecuadas 0,1, Zonas buenas 0,36 y Zona óptimas 0,55. La Figura 10 muestra la zonificación resultante y la Tabla 6 resume la superficie de las áreas relevantes en diferentes regiones de los Pirineos.

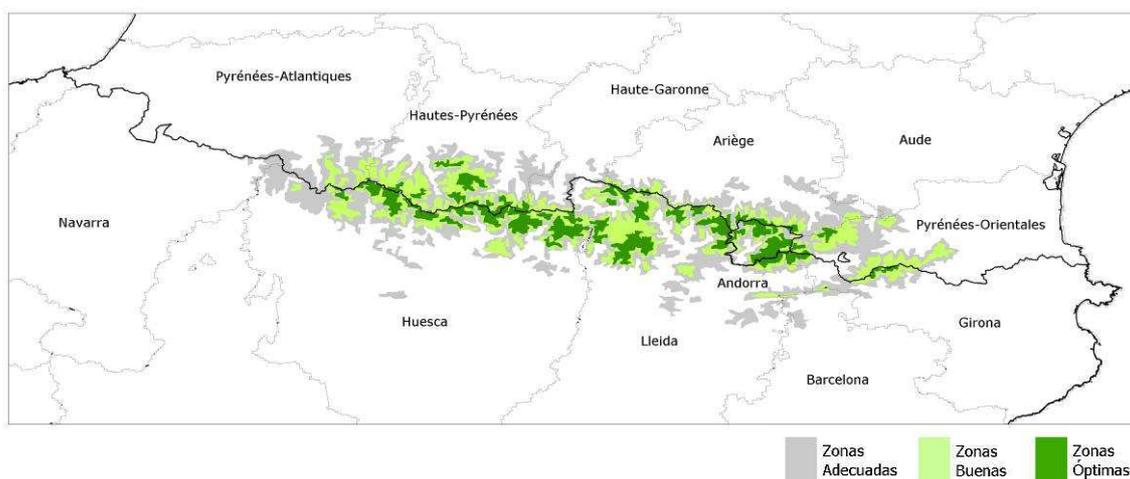


Figura 10. Áreas relevantes para el lagópodo alpino (*Lagopus mutus*) en los Pirineos.

Tabla 6. Superficie de las áreas relevantes para el lagópodo alpino (*Lagopus mutus*) en diferentes regiones del los Pirineos. La superficie se expresa en hectáreas y entre paréntesis se indica el porcentaje respecto al total de cada tipo de zona.

REGIÓN	ZONAS ADECUADAS	ZONAS BUENAS	ZONAS ÓPTIMAS
Pyrénées-Orientales	95.770 (9,7%)	43.208 (9,9%)	4.582 (2,9%)
Aude	6.223 (0,6%)	266 (0,1%)	0 (0%)
Hautes-Pyrénées	146.969 (14,9%)	75.978 (17,4%)	20.710 (13,1%)
Haute-Garonne	24.112 (2,4%)	5.824 (1,3%)	115 (0,1%)
Ariège	97.550 (9,9%)	27.460 (6,3%)	7.663 (4,8%)
Pyrénées-Atlantiques	57.046 (5,8%)	12.963 (3%)	664 (0,4%)
Andorra	37.692 (3,8%)	28.717 (6,6%)	18.833 (11,9%)
Lleida	238.697 (24,2%)	121.424 (27,8%)	49.517 (31,3%)
Girona	35.739 (3,6%)	14.181 (3,2%)	4.588 (2,9%)
Barcelona	10.828 (1,1%)	785 (0,2%)	0 (0%)
Huesca	227.102 (23%)	105.815 (24,2%)	51.649 (32,6%)
Navarra	5.732 (0,6%)	0 (0%)	0 (0%)
Superficie total	985.391 ha	436.621 ha	158.321 ha

Áreas relevantes para la perdiz pardilla en Pirineos

La definición de áreas relevantes del modelo de calidad de hábitat de perdiz pardilla en Pirineos ha resultado en los siguientes umbrales: Zonas adecuadas 0,06, Zonas buenas 0,33 y Zona óptimas 0,53. La Figura 11 muestra la zonificación resultante y la Tabla 7 resume la superficie de las áreas relevantes en diferentes regiones de los Pirineos.

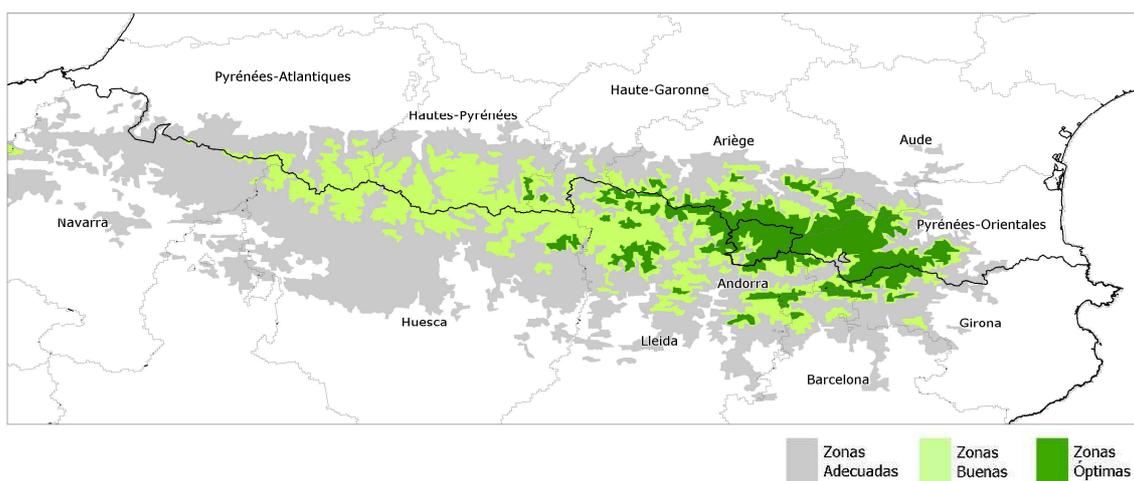


Figura 11. Áreas relevantes para el perdiz pardilla (*Perdix perdix*) en los Pirineos.

Tabla 7. Superficie de las áreas relevantes para la perdiz pardilla (*Perdix perdix*) en diferentes regiones del los Pirineos. La superficie se expresa en hectáreas y entre paréntesis se indica el porcentaje respecto al total de cada tipo de zona.

REGIÓN	ZONAS ADECUADAS	ZONAS BUENAS	ZONAS ÓPTIMAS
Pyrénées-Orientales	185.337 (6,1%)	123.508 (12%)	93.795 (29%)
Aude	66.510 (2,2%)	13.459 (1,3%)	5.240 (1,6%)
Hautes-Pyrénées	249.817 (8,2%)	122.148 (11,9%)	1.518 (0,5%)
Haute-Garonne	66.481 (2,2%)	25.109 (2,4%)	2.155 (0,7%)
Ariège	264.917 (8,7%)	136.259 (13,2%)	66.983 (20,7%)
Pyrénées-Atlantiques	170.331 (5,6%)	44.795 (4,3%)	(0%)
Andorra	45.801 (1,5%)	43.137 (4,2%)	36.125 (11,2%)
Lleida	547.595 (18%)	265.719 (25,8%)	75.466 (23,3%)
Girona	143.030 (4,7%)	59.363 (5,8%)	29.306 (9%)
Barcelona	112.196 (3,7%)	26.252 (2,5%)	7.431 (2,3%)
Burgos	13.466 (0,4%)	0 (0%)	0 (0%)
Zaragoza	37.943 (1,3%)	0 (0%)	0 (0%)
Huesca	660.961 (21,8%)	161.844 (15,7%)	5.928 (1,8%)
La Rioja	808 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Navarra	325.557 (10,7%)	6.419 (0,6%)	0 (0%)
Vizcaya	6.378 (0,2%)	0 (0%)	0 (0%)
Guipúzcoa	20.292 (0,7%)	1.825 (0,2%)	0 (0%)
Álava	117.258 (3,9%)	0 (0%)	0 (0%)
Superficie total	3.034.678 ha	1.029.837 ha	323.947 ha

Conclusiones

Los principales resultados relacionados con los diferentes objetivos específicos del trabajo son los siguientes:

- En el ámbito de Pirineos se han recopilado un total de 86 observaciones de lagópodo alpino y 2128 de perdiz pardilla de diversas fuentes de información. Además, los datos de perdiz pardilla se han completado con 6 registros históricos en la zona de Álava y 95 observaciones en la cordillera Cantábrica. Los datos recopilados se han integrado en una base de datos georeferenciada que estructura toda la información recopilada de forma homogénea.
- Con el fin de obtener variables ambientales homogéneas para todo el ámbito de los Pirineos se han utilizado dos fuentes de información: WorldClim para las variables climáticas y topográficas y *Corine Land Cover 2000* para las variables de usos del suelo. Las dos fuentes de información se han tratado con una resolución equivalente a 1 km en coordenadas geográficas de longitud y latitud (0,0083°).
- Los modelos desarrollados para el lagópodo alpino y la perdiz pardilla en Pirineos muestran las áreas más adecuadas para las dos especies e identifican áreas potencialmente adecuadas cercanas a las áreas de distribución conocidas.
- El modelo de perdiz pardilla en el Cantábrico ha permitido valorar, junto con los resultados del modelo de los Pirineos, la potencialidad del hábitat en las áreas del País Vasco y Navarra. De este análisis se desprende que a pesar de las diferencias entre los dos modelos, ambos muestran valores máximos de idoneidad de hábitat en áreas alavesas con registros históricos de perdiz pardilla.

De los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La escasez y heterogeneidad de los datos recopilados sobre distribución de las dos especies ha condicionado finalmente el desarrollo de modelos que permiten identificar los hábitats potenciales de reproducción del lagópodo alpino y la perdiz pardilla en los Pirineos.
- Las áreas adecuadas para la reproducción de las dos especies identificadas en base a los modelos obtenidos son una herramienta útil en los procesos de priorización y toma de decisiones a diferentes niveles; desde el diseño de programas de monitoreo o de prospección para mejorar el conocimiento de las dos especies, pasando por la orientación de directrices de conservación y gestión de las especies, y hasta la planificación territorial (diseño de reservas, etc.).

Perspectivas

En estos ejercicios de modelización del hábitat hay dos factores clave para valorar las limitaciones de los resultados obtenidos y proponer mejoras: la calidad y representatividad de la información sobre la distribución de las especies y la calidad y la adecuación de las variables utilizadas.

En el caso del lagópodo alpino y la perdiz pardilla la información sobre distribución de las especies es escasa y muy heterogénea (datos de seguimiento, observaciones casuales, datos de *radiotracking*, datos bibliográficos, etc.), existiendo una documentación limitada tanto de los ejemplares observados como de las localidades muestreadas. Además, la representatividad espacio-temporal de los datos es limitada, pues el ámbito geográfico de los datos es muy limitado y el esfuerzo de muestreo es muy heterogéneo, y el marco temporal es demasiado amplio, con datos en Pirineos de 1990 a 2010. Así, para superar estas limitaciones y mejorar la cartografía obtenida se tendrían que considerar los siguientes aspectos:

- Mejorar la calidad de los datos sobre distribución de las especies con datos derivados de los programas oficiales de monitoreo de las dos especies, que además de la información sobre la presencia de las especies también incluyan datos de abundancia. También sería interesante completar la base de datos con una recopilación exhaustiva y actualizada de todas las observaciones casuales recogidas de ambas especies. La mejora de la calidad de los datos incidiría directamente en los modelos desarrollados, obteniendo predicciones más precisas y con mayor resolución geográfica de las áreas de reproducción de las especies.
- Desarrollar mapas de distribución real empleando técnicas de modelización del hábitat y valorando la posibilidad de incorporar en los modelos la información poblacional disponible.

En relación a las variables ambientales, dado que su definición se ha realizado en base al extenso fondo documental sobre la ecología de las dos especies en los Pirineos, se consideran suficientemente representativas para el desarrollo de modelos de distribución. No obstante, para trabajar con una resolución geográfica más acorde con la gestión de las especies, sería necesario replantear las fuentes de información, especialmente en cuanto a variables sobre clima y topografía, pues las variables utilizadas poseen una resolución geográfica de 1 km.

Agradecimientos

A David Campion del GAVRN, Claude Novoa de la ONCFS, Diego García, Aida Tarrago y Ramón Martínez Vidal de la *Generalitat de Catalunya*, Ivan Afonso del CG *Val d'Aran*, Joseba Carreras del DF Álava, José María Fernández García de IKT S.A., y Landry Riba y Jordi Sola del *Govern d'Andorra*, por sus valiosas aportaciones a lo largo del desarrollo de la acción 3.1.3.4, y especialmente al Convenio IREC-Principado de Asturias por la cesión de los datos de perdiz pardilla en Asturias y León.



Bibliografía

- Acevedo, P., V. Alzaga, J. Cassinello, and C. Gortazar. 2007. Habitat suitability modelling reveals a strong niche overlap between two poorly known species, the broom hare and the Pyrenean grey partridge, in the north of Spain. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology* **31**:174-184.
- Arcos, J. M., J. Bécares, B. Rodríguez, and A. Ruiz. 2009. Áreas Importantes para la conservación de las aves marinas en España. LIFE04NAT/ES/000049-Sociedad Española de Ornitología (SEO/BirdLife), Madrid.
- Bota, G., L. Brotons, D. Giralt, and M. Pla. 2008. Informe científico sobre la identificación de zonas de hàbitat adecuado para la carraca, la terrera común, la calandria común y el sisón en el ámbito de las IBAs 142 (Secans de Lleida) y 144 (Cogul-Alfés). Informe inèdit. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona.
- Brotons, L., M. Pla, D. Villero, and C. Camino. 2008. Cartografia d'espècies de conservació prioritària a Catalunya: aplicacions de la conservació de l'hàbitat. Informe inèdit. Departament de Medi Ambient i Habitatge & Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona.

- Estrada, J., V. Pedrocchi, L. Brotons, and S. Herrando, editors. 2004. *Atles dels ocells nidificants de Catalunya 1999-2002*. Lynx Edicions & Institut Català d'Ornitologia, Bellaterra.
- ETC/LUSI. 2007. *Corine Land Cover 2000 raster data - version 9*. European Topic Centre on Land Use and Spatial Information & European Environment Agency.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones, and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* **25**:1965-1978.
- IEA. 2001. *Mapa Digital dels Hàbitats d'Andorra*. Institut d'Estudis Andorrans, Andorra.
- Martí, R., and J. C. Moral, editors. 2003. *Atlas de las aves reproductoras de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza & SEO, Madrid.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson, and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* **190**:231-259.