



Models de distribució d'espècies de fauna i flora v1.0

Especificacions tècniques

06.07.2022

Índex

1 Característiques principals	1
1.1 Contingut.....	1
1.2 Objectius	1
1.3 Entitats responsables	1
1.4 Àmbit.....	2
1.5 Tipus d'informació geogràfica.....	2
1.6 Classificació PCC-INSPIRE.....	2
1.7 Sistema de referència.....	2
1.8 Actualitzacions	2
1.9 Drets d'ús	2
2 Capes	3
2.1 Model de distribució d'una espècie.....	3
2.2 Model de distribució d'espècies de la Directiva Hàbitats.....	5
2.3 Model de distribució d'espècies de la Directiva Ocells.....	5
3 Distribució.....	6
3.1 Canals i fitxers.....	6
3.1.1 Visualització i Descàrrega – Hipermapa.....	6
3.1.2 Descàrrega – Web DACC	6
3.2 Metadades	6
3.3 Representació	6
4 Elaboració	7
5 Qualitat.....	7
5.1 Completesa	7
5.2 Consistència lògica	7
Annex A. Referències normatives	8
Sobre la distribució d'espècies de fauna i flora.....	8
Sobre la geoinformació	8
Annex B. Termes i definicions	8
Annex C. Glossari de sigles i abreviatures	9
Annex D. Sobre mètodes de modelització	10
Informació biològica	10
Variables predictores.....	10
Metodologia de modelització	10
Models de distribució del Tercer Atlas dels ocells nidificants de Catalunya.....	11



Models de distribució pels informes sexennals de la Directiva Hàbitats 2013-2018	11
Obtenció dels mapes finals i avaluació experta	12
Zonació dels mapes finals	12
Bibliografia	13

1 Característiques principals

1.1 Contingut

Distribució d'espècies de flora i fauna, si més no les recollides en les Directives Hàbitats i Ocells, calculada mitjançant models específics (*Species Distribution Models*) i representada en la quadrícula UTM d'1x1 km estàndard de Catalunya (segons l'MGRS).

Els models de distribució d'espècies es basen en les relacions entre la informació biològica (localitzacions de les espècies recollides en censos, estudis, inventaris, iniciatives de ciència ciutadana, etc.) i un conjunt de predictors ambientals rellevants per l'ecologia de les espècies a priori assenyalats com a condicionants de la seva distribució a diferents escales geogràfiques. Per garantir que els models siguin un reflex acurat de la distribució actual de les espècies, s'utilitza informació addicional sobre el rang de distribució de cada espècie, ajustant els mapes a les àrees on les espècies són presents.

Per a cada espècie de flora i fauna, inclou informació contínua per a tota la malla UTM d'1x1 km sobre el grau de protecció legal (catàlegs catalans i directives europees) i informació sobre el model de distribució, on es troba el valor de la predicció (un índex d'ocurrència relatiu amb valors de 0 a 1, i amb 3 decimals), les unitats utilitzades (freqüència d'aparició, qualitat d'hàbitat, abundància, etc.), el tipus de models (models basats en dades de presència-absència, de només-presència, d'abundància, etc.), i la informació relacionada amb la zonació del model (índex i descripció de la rellevància de cada polígon) que és la base per integrar i analitzar la informació de diverses espècies.

1.2 Objectius

El propòsit d'aquesta geoinformació és donar resposta als següents casos d'ús:

- Disposar d'una base d'informació homogènia, estandarditzada i d'alta resolució sobre la distribució d'espècies que ofereixi una base sòlida de coneixement i que esdevingui un referent per a l'administració pública, el món científic i la ciutadania.
- Facilitar la integració i anàlisi de la informació de distribució de diverses espècies i altres conjunts de dades d'informació geogràfica per avaluar l'estat del patrimoni natural o el grau de compliment de la normativa en conservació de la natura.
- Proporcionar informació de base als agents que gestionen el medi natural, i donar resposta a demandes específiques d'informació relacionades amb la gestió o planificació dels espais naturals (p.e. Infraestructura verda, Plans de protecció d'espais naturals, etc.), l'avaluació ambiental, el planejament urbanístic i territorial, etc.
- Oferir informació de base als usuaris que necessiten informació sobre distribució d'espècies i facilitar al públic la consulta de la informació dels conjunts de dades descrits a nivell local i regional.

1.3 Entitats responsables

Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural (Generalitat de Catalunya).



1.4 Àmbit

Catalunya.

1.5 Tipus d'informació geogràfica

Vectorial 2D.

1.6 Classificació PCC-INSPIRE

- Tema INSPIRE: Distribució de les espècies
- Conjunt PCC: Models de distribució d'espècies de fauna i flora
- Acrònim semàntic de la geoinformació: models-distribucio-espècies

1.7 Sistema de referència

ETRS89 UTM 31 Nord, en l'ordre *Easting(X), Northing(Y)*, amb codi EPSG:25831.

1.8 Actualitzacions

El període màxim d'actualització és de 5 anys.

1.9 Drets d'ús

Geoinformació de la Generalitat de Catalunya subjecta a una llicència de Reconeixement 4.0 Internacional de Creative Commons ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

2 Capes

A continuació es detallen les capes incloses en aquest conjunt de dades.

2.1 Model de distribució d'una espècie

Distribució d'una determinada espècie de flora o fauna, calculada mitjançant un model específic i representada en la quadrícula UTM d'1x1 km estàndard de Catalunya.

Aquesta capa es pot implementar per a cada espècie que es consideri necessària.

Es tracta de polígons d'1x1 km, no solapats (un per cada "quadrat" de la quadrícula UTM), que cobreixen tot Catalunya i que inclouen els següents atributs:

COORD_1K (Coordenada 1 km)

Coordenada associada al polígon segons el *Military Grid Reference System* (MGRS) amb precisió d'1 km.

GRUP_TAXON (Grup taxonòmic)

Grup taxonòmic al qual pertany l'espècie. Pot prendre un dels següents valors categòrics:

- *Algues*
- *Amfibis*
- *Artròpodes*
- *Briòfits*
- *Cnidaris*
- *Equinoderms*
- *Fongs*
- *Mamífers*
- *Mol·luscs*
- *Ocells*
- *Peixos*
- *Rèptils*
- *Pteridòfits*
- *Espermatòfits*

CODI_EUNIS (Codi EUNIS)

Codi alfanumèric únic de l'espècie segons la llista EUNIS.

NOM_EUNIS (Nom científic segons EUNIS)

Nom científic de l'espècie segons la llista EUNIS.

CODI_GBIF (Codi GBIF)

Codi numèric únic de l'espècie segons el GBIF.

NOM_GBIF (Nom científic segons GBIF)

Nom científic vigent de l'espècie segons el GBIF.

CATALEG_CAT (Catàlegs de fauna i flora amenaçada)

Grau d'amenaça de l'espècie segons el Catàleg de fauna amenaçada de Catalunya i el Catàleg de flora amenaçada de Catalunya. Pot prendre un dels següents valors:

- *C.Fauna – En perill d'extinció*
- *C.Fauna – Vulnerable*
- *C.Fauna – Extinta com a reproductora*
- *C.Flora – En perill d'extinció*
- *C.Flora – Vulnerable*
- *C.Flora – PEIN*

DIRECTIVA_EU (Directiva/es europea/es)

Annex de la Directiva Hàbitats (DH) i/o la Directiva Ocells (DO) relacionada amb l'espècie. Pot prendre un dels següents valors:

- *D.Ocells – Annex I*
- *D.Habitats – Annex II prioritària*
- *D.Habitats – Annex II*
- *D.Habitats – Annex IV*
- *D.Habitats – Annex V*

INDEX_OCUR (Índex d'ocurrència)

Valor de la predicció en forma d'un índex d'ocurrència amb valors de 0 a 1 (amb 3 decimals) que es pot expressar en diferents unitats segons el tipus de model i la metodologia de modelització emprada.

Cal remarcar que es tracta d'un índex d'ocurrència relatiu i no absolut, de manera que els valors es poden comparar dins d'una mateixa espècie (sempre que mesuri les mateixes unitats calculades amb el mateix tipus de model) i en cap cas entre espècies diferents (independentment de les unitats i els tipus de models).

UNIT_MODEL (Unitat del model)

Unitats mesurades segons el tipus de model i el mètode de modelització utilitzat. Pot prendre un dels següents valors:

- *Freqüència d'aparició*
- *Probabilitat d'aparició*
- *Abundància relativa*
- *Qualitat d'hàbitat*

TIP_MODEL (Tipus de model)

Tipus de mètode de modelització segons les dades biològiques utilitzades per entrenar el model. Pot prendre un dels següents valors:

- *Presència-Absència*
- *Només-Presència*
- *Abundància*

ZONACIO (Zonació)

Atribut associat a l'índex de la zonació del model. Pot prendre un dels següents valors:

- *Zones Adequades*: zones amb presència de l'espècie
- *Zones Bones*: zones amb índex d'ocurrència alt – índex d'ocurrència per sobre de la mitjana
- *Zones Òptimes*: zones amb índex d'ocurrència molt alt - índex d'ocurrència per sobre de la mitjana de les zones bones

DATA_ACT (Data d'actualització del model)

Data en què s'ha actualitzat el model.

2.2 Model de distribució d'espècies de la Directiva Hàbitats

Distribució de les espècies de la Directiva Hàbitats, calculada mitjançant un model específic i representada en la quadrícula UTM d'1x1 km estàndard de Catalunya.

Es tracta de polígons d'1x1 km, solapats (tantes vegades un mateix "quadrat" de la quadrícula UTM com espècies contingui la capa), que cobreixen tot Catalunya i que inclouen els mateixos atributs que la capa Model de distribució d'una espècie (apartat 2.12.2).

2.3 Model de distribució d'espècies de la Directiva Ocells

Distribució de les espècies de la Directiva Ocells, calculada mitjançant un model específic i representada en la quadrícula UTM d'1x1 km estàndard de Catalunya.

Es tracta de polígons d'1x1 km, solapats (tantes vegades un mateix "quadrat" de la quadrícula UTM com espècies contingui la capa), que cobreixen tot Catalunya i que inclouen els mateixos atributs que la capa Model de distribució d'una espècie (apartat 2.12.2).

3 Distribució

3.1 Canals i fitxers

3.1.1 Visualització i Descàrrega – Hipermapa

Els models de distribució individualitzats per cadascuna de les espècies es poden descarregar mitjançant les eines d'exportació del visor. Aquest genera, en temps real (a partir del WFS corresponent), un fitxer ZIP per a cada espècie denominat amb la forma *MODEL_DISTRIBUCIO_NOM_EUNIS* (segons l'espècie), i el qual conté una carpeta amb:

- En el cas del format **SHP**, un altre fitxer ZIP amb:
 - *.shp*, *.shx* i *.dbf*: formen el shapefile.
 - *.prj*: especifica el sistema de referència.
 - *.cst*: especifica el conjunt de caràcters.
 - *.txt*: indica la URL de descàrrega de la informació a través del WFS corresponent.
- En el cas dels formats **GML, CSV i KML**:
 - *.gml*, *.csv* o *.kml* (respectivament).
- En tots els casos:
 - *.xml*: metadades.
 - *.sld*: simbolització en ArcGIS.

3.1.2 Descàrrega – Web DACC

Els models de distribució que agrupen les espècies de la Directiva Hàbitats i els que agrupen les espècies de la Directiva Ocells es distribueixen cadascun en un fitxer ZIP, denominat *MODEL_DISTRIBUCIO_DH* i *MODEL_DISTRIBUCIO_DO* respectivament, i el qual conté el SHP corresponent.

3.2 Metadades

Les metadades d'aquesta geoinformació estan catalogades a la IDEC.

Les metadades donen informació sobre les dades, el sistema de referència i les pròpies metadades. Per a la seva generació, s'utilitza el perfil IDEC de l'estàndard ISO 19115:2003 (Geographic information - Metadata) vigent en el moment de la seva generació.

3.3 Representació

No és necessària cap simbologia específica per a la representació dels models de distribució d'espècies.

4 Elaboració

Les dades d'aquest conjunt són el resultat de la utilització de mètodes de modelització de la distribució d'espècies (també anomenats models d'hàbitat). Aquestes tècniques permeten relacionar la informació biològica de les espècies (observacions recollides en censos, estudis, inventaris, iniciatives de ciència ciutadana, etc.) amb un conjunt de variables ambientals rellevants per descriure el nínxol ecològic de cada espècie (Guisan et al., 2017).

Els punts clau per al desenvolupament d'aquests models inclouen la informació biològica de base, la selecció de les variables predictorres, els mètodes de modelització i validació estadística, la generació de mapes finals i la seva avaluació.

Per a més informació sobre mètodes de modelització, consulteu l'[Annex D](#).

5 Qualitat

5.1 Completesa

Requisit de qualitat	Descripció del control de qualitat
Cobreix el 100% de l'àmbit especificat	Es revisen les dades per assolir un 100% de completesa per omissió.

5.2 Consistència lògica

Requisit de qualitat	Descripció del control de qualitat
En la capa que només conté una espècie, no hi ha dos objectes geogràfics amb el mateix identificador.	Detecció automàtica de cadascuna de les regles de consistència conceptual estipulades com a requisit de qualitat, calculant el percentatge total d'elements que les incompleixen i, en cas que no sigui del 0%, es revisen les dades de forma sistemàtica fins que s'assoleix aquest objectiu.
No hi ha combinacions d'atributs no previstes.	
No hi ha superposició entre polígons	

Annex A. Referències normatives

Sobre la distribució d'espècies de fauna i flora

- Directiva 92/43/CEE del Consell, de 21 de maig de 1992, relativa a la conservació dels hàbitats naturals i de la fauna i flora silvestres (Directiva Hàbitats).
- Directiva 2009/147/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 30 de novembre de 2009, relativa a la conservació de les aus silvestres (Directiva Ocells).
- Resolució AAM/732/2015, de 9 d'abril, per la qual s'aprova la catalogació, descatalogació i canvi de categoria d'espècies i subespècies del Catàleg de flora amenaçada de Catalunya.

Sobre la geoinformació

- Decret 53/2022, de 22 de març, pel qual s'aprova la revisió del Pla cartogràfic de Catalunya
- Directiva 2007/2/EC del Parlament Europeu i del Consell de 14 de març de 2007 per la qual s'estableix una Infraestructura d'informació espacial a la Comunitat Europea (INSPIRE)
- ISO 19115:2003, Geographic information – Metadata
- ISO 19115:2003/Cor 1:2006, Geographic information – Metadata
- ISO 19131:2007, Geographic Information – Data product specifications
- ISO 19131:2007/Amd 1:2011, Geographic Information – Data product specifications, Amendment 1
- ISO/TS 19139:2007, Geographic information – Metadata – XML schema implementation
- ISO 19157:2003, Geographic information – Data quality

Annex B. Termes i definicions

- **Espècie amenaçada:** Espècie que està inclosa en el Catàleg de fauna amenaçada de Catalunya o en el Catàleg de flora amenaçada de Catalunya (Decret 172/2008 i posterior Resolució AAM/732/2015), que inclou les espècies catalogades com “en perill d'extinció” i les espècies “vulnerables”. Es tracta d'un subconjunt de les espècies protegides. En el cas de la flora inclou també alguna espècie inclosa al catàleg estatal encara no inclosa al català (com *Reseda hookeri*, d'aparició recent).
- **Espècie en perill d'extinció:** Espècie o subespècie la supervivència de la qual és poc probable si els factors causals de la seva actual situació segueixen actuant. Es consideren “en perill d'extinció” en aquest conjunt de dades les espècies incloses a la categoria “en perill d'extinció”, d'acord amb la normativa del catàleg corresponent (en el cas de la flora, Resolució AAM/732/2015).
- **Espècie vulnerable:** Espècie o subespècie que corre el risc de passar a la categoria “en perill d'extinció” en un futur immediat si els factors adversos que actuen sobre elles no són corregits. Es consideren com a “vulnerables” en aquest conjunt de dades les espècies incloses a la categoria “vulnerable”, d'acord amb la normativa del catàleg corresponent (en el cas de la flora, Resolució AAM/732/2015).
- **EUNIS (*European Nature Information System*):** Sistema Europeu de Referència sobre dades de Biodiversitat a Europa. Es tracta d'una base de dades desenvolupada per l'Agència europea de Medi Ambient i s'ha convertit en un recurs de referència per diferents

organismes i Administracions europees, i qualsevol persona pot accedir de manera gratuïta a aquestes dades i descarregar-les.

- **GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*)**: La Infraestructura Mundial d'Informació en Biodiversitat és una organització internacional i una xarxa de dades finançada per governs de tot el món, destinada a proporcionar a qualsevol persona, a qualsevol lloc, accés obert i gratuït a dades sobre qualsevol tipus de forma de vida que hi ha a la Terra.
- **Hàbitat**: Un segment qualsevol de la biosfera amb unes característiques particulars i uniformes, i que comprèn la suma de les condicions abiòtiques i els éssers vius que hi viuen.

Annex C. Glossari de sigles i abreviatures

- CC BY 4.0: Llicència Creative Commons (CC) de Reconeixement (BY) 4.0 Internacional
- ETRS89: *European Terrestrial Reference System 1989* (Sistema de referència terrestre europeu 1989)
- EUNIS: *European Nature Information System*
- GBIF: *Global Biodiversity Information Facility*
- IDEC: Infraestructura de Dades Espacials de Catalunya
- INSPIRE: *Infrastructure for Spatial Information in Europe* (Infraestructura d'informació espacial a Europa)
- ISO: *International Organization for Standardization* (Organització internacional per a l'estandardització)
- MGRS: *Military Grid Reference System* (Sistema de Referència de Quadrícula Militar)
- PCC: Pla Cartogràfic de Catalunya
- SDM: *Species Distribution Models* (Models de distribució d'espècies)

Annex D. Sobre mètodes de modelització

Informació biològica

Un aspecte clau per decidir quina metodologia de modelització utilitzar és la qualitat de la informació biològica disponible; no és el mateix disposar d'un cens estandarditzat i estratificat per a tot el territori (p.e. els censos dels atlas d'ocells) que informa dels llocs on s'ha observat l'espècie però també dels llocs on no s'ha observat (dades de presència/absència), que tenir un recull d'observacions procedents de diverses fonts d'informació que només ens informa dels llocs on s'ha observat l'espècie (dades de només presència).

Així doncs, en base a les tipologies d'informació biològica disponible, els mapes de distribució d'alta resolució es poden basar en metodologies de modelització diferents. Per una banda, quan es disposa d'informació biològica procedent d'un mostreig estandarditzat que té com a objectiu obtenir dades de presència/absència (p.e. en el cas dels ocells), es poden utilitzar mètodes de modelització més robustos. Per altra banda, quan la informació disponible és fruit de la integració de dades heterogènies a partir de les quals s'ha obtingut una submostra de dades de només presència (p.e. en el cas dels mamífers, els amfibis o els invertebrats), s'han d'utilitzar tècniques de modelització menys robustes però igualment útils per obtenir resultats suficientment fiables per predir la distribució de les espècies i ser utilitzats en aplicacions de conservació.

Variables predictores

El desenvolupament de SDMs requereix un conjunt de variables predictores que incorporin informació d'aquells factors ambientals a priori assenyalats com a condicionants de la distribució de les espècies objecte d'estudi a diferents escales espacials, basats en la seva (Wiens, 1989; Guisan i Zimmermann, 2000).

Per capturar la gran heterogeneïtat ambiental existent en un territori relativament petit com Catalunya habitualment es treballa amb predictors ambientals relacionats amb les cobertes dels sòl i els hàbitats, el clima i el relleu, la productivitat del medi (índex de vegetació procedents de teledetecció) i l'estructura dels boscos (derivats de sensors aerotransportats lidar) i l'activitat humana, entre d'altres.

Metodologia de modelització

Existeixen nombroses metodologies per generar SDMs de forma robusta, basades en diverses tipologies de dades biològiques (presència/absència, abundància, etc.) i entorns geogràfics (Thuiller et al., 2009; Elith et al., 2011). En paral·lel al seu desenvolupament, han proliferat els treballs comparatius on destaquen les fortaleses i incerteses associades a cada mètode (Guisan i Zimmermann, 2000; Brotons et al., 2004; Segurado & Araújo, 2004; Elith et al., 2006; Meynard i Quinn, 2007), sense haver un consens unànim sobre quin és el millor mètode per modelitzar la distribució de les espècies (Qiao et al., 2015). Per solucionar-ho també s'han desenvolupat metodologies que combinen i integren diferents algorismes de modelització per obtenir una predicció conjunta ponderada per la qualitat de cadascun dels models (WEP: de l'anglès *Weighted Ensemble Prediction*) (Thuiller et al., 2009; Guisan et al., 2017).

Davant d'aquesta gran diversitat d'aproximacions, el fet més determinant per triar una o altra metodologia és la tipologia de dades biològiques disponibles. Per exemplificar-ho, a continuació es descriuen els principals models desenvolupats:

- pel Tercer Atlas dels ocells nidificants de Catalunya (2015-2018) i
- en el marc dels informes sexennals de la Directiva Hàbitats del període 2013-2018.

Models de distribució del Tercer Atlas dels ocells nidificants de Catalunya

Els models de distribució del Tercer Atlas dels ocells nidificants de Catalunya es basen en un conjunt de dades força homogeni fruit d'un mostreig estratificat al llarg de tot el territori, dissenyat específicament per al desenvolupament de SDMs. Tot i que per algunes espècies aquestes dades s'han complementat amb observacions casuals recollides en plataformes de ciència ciutadana (ornitho.cat), majoritàriament es tracta d'un conjunt de dades de presència-absència prou consistent per utilitzar mètodes de modelització més robustos que els utilitzats en l'apartat anterior. Per tant, els models dels ocells s'han basat en els censos específics del nou Atlas, combinats sovint amb les dades del SOCC i, puntualment, complementats amb observacions casuals recollides a ornitho.cat, tot enregistrat sempre dins dels període d'estudi de l'Atlas.

En base a això, la modelització de l'hàbitat s'ha dut a terme emprant 6 algorismes de modelització de l'hàbitat implementats en la plataforma biomod2 (Guisan et al., 2017). Aquests models són:

1. model lineal generalitzat (GLM),
2. model d'additiu generalitzat (GAM),
3. model d'impuls generalitzat (GBM),
4. anàlisi discriminant flexible (FDA),
5. random forest (RF) i
6. Màxima Entropia (MaxEnt).

Pel que fa a les variables predictores, els models s'han basat en un conjunt de 48 variables, i s'han fet provatures amb o sense una variable específica de probabilitat d'aparició mitjana de l'espècie (Herrando et al. 2011), per corregir possibles problemes d'autocorrelació espacial inclosos en les dades biològiques.

El poder predictiu de cada model s'ha avaluat amb l'àrea sota la corba ROC (AUC), en base a una estratègia de validació creuada, en què els models s'han entrenat amb un subconjunt del 70% de les dades, reservant el 30% restant per avaluar la capacitat predictiva dels models. L'estadístic d'avaluació emprat ha estat l'àrea sota la corba ROC (AUC en anglès), que ofereix un índex que varia entre 0,5 (el model no es capaç de diferenciar les zones amb presència de l'espècie millor que un procés aleatori) fins a 1 (que indicaria un model amb una capacitat de discriminació perfecta). El procés de validació creuada s'ha repetit 10 vegades, definint cada cop diferents subconjunts d'entrenament i de test de forma aleatòria.

Els mapes de freqüència d'aparició finals s'han obtingut mitjançant la integració de totes les prediccions obtingudes amb una resolució d'1x1 km, mitjançant el càlcul d'un model de consens basat en una mitjana ponderada (per l'AUC) de tots els models amb un poder predictiu acceptable (AUC > 0,7).

Models de distribució pels informes sexennals de la Directiva Hàbitats 2013-2018

Pel que fa als models de distribució desenvolupats pels informes sexennals de la Directiva Hàbitats del període 2013-2018, s'han basat en la informació disponible sobre la distribució d'espècies resultat de la integració de dades procedents de censos específics, dades casuals recollides en estudis específics o portals de ciència ciutadana.

Els models de distribució s'han construït amb aquestes dades biològiques de només-presència sotmeses prèviament a un procés de depuració per eliminar les dades redundants i controlar els biaixos geogràfics, juntament amb un conjunt de variables ambientals.

La modelització s'ha dut a terme utilitzant el mètode estadístic de la màxima entropia implementat en el software MaxEnt (Phillips et al., 2006), que es tracta d'una tècnica especialment indicada i contrastada quan manquen dades d'absència. Aquest mètode estableix relacions estadístiques entre la informació biològica disponible i la informació ambiental de l'àmbit d'estudi, en aquest cas Catalunya.

S'han fet diverses provatures considerant tots els predictors ambientals descrits en el punt anterior, amb o sense una variable d'autocorrelació espacial basada en el mapa de distribució de 10x10 km de cada espècie (Herrando et al., 2011). En el cas d'espècies per a les que es disposava de poques dades, també s'han comparat els resultats obtinguts amb el total de dades o amb les dades depurades.

Tots els models s'han desenvolupat sempre considerant la configuració de MaxEnt més simple, limitant l'ajust de les variables a funcions lineals i quadràtiques.

Per cada espècie s'han realitzat 5 models basats en particions de les dades biològiques que han estat avaluats amb un procediment jackknife cada cop amb una partició diferent reservada a tal efecte.

Els mapes de qualitat d'hàbitat finals són el resultat de la mitjana dels 5 models desenvolupats i mostren un índex logístic que varia entre 0 i 1 que mostra la distribució de forma contínua de la qualitat d'hàbitat a Catalunya amb una resolució d'1x1 km.

Finalment les prediccions s'han revisat visualment i, per a cada espècie, s'ha seleccionat la que millor s'ajustava al seu rang de distribució.

Obtenció dels mapes finals i avaluació experta

Les prediccions obtingudes amb SDMs no necessàriament capturen tots els factors que expliquen la distribució de les espècies, i, per tant, sovint reflecteixen la seva distribució potencial (Guisan i Zimmermann, 2000), tant dins com fora dels seus rangs de distribució (límits geogràfics on les espècies són presents).

Per garantir que els mapes de freqüència d'aparició són un reflex acurat de la distribució actual de les espècies, s'utilitza informació addicional sobre el seu rang de distribució per tal de limitar les prediccions del model a les àrees on se sap que cada espècie és present (Pearce et al., 2001), retallant les prediccions dels models i ajustant-les a la distribució actual de les espècies, evitant així qualsevol predicció fora de l'àrea coneguda de distribució de l'espècie.

Els mapes finals per a cada espècie es revisen per experts en cada espècie o grup taxonòmic, basant-se en informació complementària sobre la distribució i ecologia les espècies, i en els possibles biaixos de la mostra analitzada per a cada espècie en particular (diferències de detectabilitat en l'espai, fenologia de reproducció i migració, etc.).

Zonació dels mapes finals

Per millorar l'ús dels models com a eines de suport a la gestió d'espècies i a la planificació del territori, els mapes continus que ofereixen els models s'han classificat en categories segons la rellevància de les àrees ocupades per cada espècie.

Cal remarcar que els valors de l'índex d'ocurrència dels models són valors relatius i no absoluts, de manera que els valors són comparables dins d'un mateix model/espècie, però en cap cas entre models/espècies diferents.

Per solucionar aquesta limitació s'han desenvolupat nombrosos mètodes per fer zonacions (Liu et al., 2005). Entre tots aquests mètodes, s'ha optat per la mateixa metodologia emprada en l'Atlas dels ocells a l'hivern 2006-2009 i en moltes altres aplicacions a casa nostra. Aquesta metodologia combina dues aproximacions simples i efectives amb un fort component ecològic, que proposa els següents nivells d'àrees rellevants en base a l'índex d'ocurrència i a la prevalença de les dades emprades en el desenvolupament dels models (Villero et al., 2016):

1. Zones Adequades: es defineixen com les àrees amb índex d'ocurrència per sobre de la mitjana del 10% de les localitats (amb presència de l'espècie) amb pitjor qualitat d'hàbitat.
2. Zones Bones: són les àrees que queden per sobre de la mitjana de l'índex d'ocurrència de les zones adequades.
3. Zones Òptimes: són les àrees que queden per sobre de la mitjana de l'índex d'ocurrència de les zones bones.

Bibliografia

- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E. i Yates, C.J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Divers. Distrib.*, 17, pp. 43-57.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P. et al. (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129–151.
- Brotons, L., Thuiller, W., Araújo, M. B., i Hirzel, A. H. (2004). Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography*, 27(4), 437– 448.
- Guisan A., Thuiller W. i Zimmermann N.E. (2017). *Habitat Suitability and Distribution Models*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Guisan A. i Zimmermann, N.E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. Elsevier - *Ecological Modelling*, vol. 135, 147-186.
- Herrando et al. 2011: Herrando S., Brotons L., Estrada J., Guallar S., Anton M., Villero D., Gutiérrez R., Gargallo G., Arcos P., Bécares J., Quesada J. i Pla M. (2011). Methodology. In Herrando S, Brotons L, Estrada, J, Guallar, S. & Anton, M. (eds). *CATALAN WINTER BIRD ATLAS 2006-2009*. Institut Català d'Ornitologia / Lynx Edicions, Barcelona. 59-117 pp.
- Liu, C., Berry, P.M., Dawson, T.P. et al. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography* 28:385–393.
- Meynard, C.N. i Quinn, J.F. (2007), Predicting species distributions: a critical comparison of the most common statistical models using artificial species. *Journal of Biogeography*, 34: 1455-1469.
- Pearce, J.L., Cherry, K., Drielsma, M. i Whish, G. (2011). Incorporating expert opinion and fine-scale vegetation mapping into statistical models of faunal Distribution. *J. Appl. Ecol.*, 38, pp. 412-424.
- Phillips S., Anderson R. i Schapire R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231-59.
- Peterson, A.T. (2015). No silver bullets in correlative ecological niche modelling: insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. *Methods in Ecology and Evolution* 6: 1126–1136.



- Segurado, P. i Araújo, M.B. (2004), An evaluation of methods for modelling species distributions. *Journal of Biogeography*, 31: 1555-1568.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R. i Araújo, M.B. (2009), BIOMOD – a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32: 369-373.
- Villero D., Pla M., Camps D., Ruiz-Olmo J. i Brotons L. (2016). Integrating species Distribution modelling into decision-making to inform conservation actions. *BIODIVERSITY AND CONSERVATION* 26 (2): 251–271.
- Wiens, J. A. (1989). Spatial Scaling in Ecology. *Functional Ecology*, vol. 3, no. 4, 1989, pp. 385–97.