

# Models d'idoneïtat d'hàbitat de l'astor: una eina per a la conservació de les pinedes de pi blanc

Rodrigo del Amo<sup>1\*</sup> & Albert Peris<sup>2</sup>

COTPC  
2018

## *Goshawk habitat suitability models: a tool for the conservation of Aleppo pine forests*

In southern Europe, the progressive afforestation of land that has historically been subject to livestock grazing and intensive forest exploitation has revealed a conflict of interests between productive sectors and forest conservation. Economic activities and forest management aimed at fire prevention modify the composition and structure of forest masses and so may affect the conservation of forest ecosystems and their biodiversity. In light of the predicted effects of climate change, these activities may lead to a significant reduction in the extent and quality of forest habitats. Forest birds of prey are considered to be indicative of the state of conservation of forests and, for example, the presence of Goshawks *Accipiter gentilis* has been linked to great ornithological richness and diversity in the tree layer of forest ecosystems. In this work, multi-scale models of habitat suitability for nesting Goshawks were developed in 28 territories in three Catalan protected areas and projected onto an overall area of 1,696 km<sup>2</sup>. The three variables selected in the best models were the proportion of Aleppo pine *Pinus halepensis* forest, the percentage of north-facing forest, and the topographical variation in the relief. These variables were consistent at different scales. The most valuable pine forests for the Goshawk represent only 4.5% of the total area and 16.3% of the existing pine forests, and are but a small percentage of the area that should be protected. Our results highlight the usefulness of habitat suitability models for planning future actions in forest ecosystems, both for the conservation of the Goshawk and for biodiversity as a whole.

Key words: *Accipiter gentilis*, forest raptors, conservation, multi-scale models, forest management, Catalonia.

<sup>1</sup>Naturalistes en Acció. c/Sant Domènec, 9, 1r. 08859 Begues.

<sup>2</sup>Naturalistes en Acció. c/Roca i Roca, 185. 08226 Terrassa.

\*Corresponding author: amoard@diba.cat

Received: 30/01/20; Accepted: 16/09/20 / Edited by P. Pons.

Els paisatges agroforestals que han caracteritzat Catalunya fins fa poques dècades van ser la conseqüència de la secular desforestació per guanyar terrenys agrícoles (Cervera *et al.* 2014). Més recentment, els boscos han anat envaint de nou les terres de cultiu i pasturatge (Cervera *et al.* 2019), principalment per l'abandonament del món rural durant la segona meitat del segle XX, fenomen generalitzat al sud d'Europa (Vallejo 2013). En l'actualitat, la zona prelitoral i litoral central de Catalunya està formada per un paisatge de mosaic agroforestal, on les pinedes de pi blanc han anat guanyant terreny sobre els conreus. També

s'han intensificat els efectes antròpics en forma d'urbanitzacions disperses, ampliacions dels nuclis urbans, polígons industrials, construcció d'infraestructures i vies de comunicació. D'altra banda, els incendis també juguen un paper decisiu en l'alteració de les masses forestals i en el modelatge del paisatge (Riera 2003, Espelta *et al.* 2004, CTFC 2018, CREAM 2019). Tanmateix, els efectes del canvi climàtic sobre la vegetació probablement incrementaran el risc d'incendis. La conca mediterrània és, actualment, la regió d'Europa més vulnerable als impactes negatius del canvi climàtic, inclosos el declivi forestal,

l'increment dels incendis i la seva virulència, i la pèrdua de biodiversitat (Henne *et al.* 2015).

Aquesta nova conformació del paisatge ha fet que augmenti l'interès per la gestió forestal, enfocada especialment cap a la prevenció dels incendis i els aprofitaments forestals, incrementant el conflicte entre la gestió forestal i la conservació dels ecosistemes forestals i la seva biodiversitat. L'augment de la superfície forestal ha comportat que espècies i habitats forestals abans poc representats s'hagin desenvolupat a la zona i esdevinguin avui dia d'interès per a la conservació de la biodiversitat (de Cáceres *et al.* 2013). Els ocells rapinyaires forestals són un dels grups que ha experimentat un increment més notable i que han despertat més interès en aquest sentit. Aquestes espècies poden ser clau perquè participen en processos ecològics fonamentals i poden tenir una gran influència en els ecosistemes, incrementant la seva diversitat, ja que sovint hi estan espacialment o temporalment associades (Sergio *et al.* 2004, 2005, 2006; Burgas *et al.* 2014, Ibarra & Martín 2015). Diferents espècies de rapinyaires s'han utilitzat com a bioindicadores perquè identifiquen espais d'alta biodiversitat i això serveix per prioritzar àrees de conservació (Dunk *et al.* 2006, Martín & Ferrer 2013). Tanmateix, es consideren espècies sentinella o indicadors de la integritat i salut dels ecosistemes (Newton 1979, Cade *et al.* 1988, Bildstein 2001, Helander *et al.* 2008, Grove *et al.* 2009, Furness & Greenwood 2013, Gómez-Ramírez *et al.* 2014, Martínez *et al.* 2016, Pérez-García 2016). A més, són útils per determinar la mida o configuració espacial de les àrees a protegir (Simberloff 1998, Sergio *et al.* 2003, Roberge & Angelstam 2004, Barrientos & Arroyo 2014, Burgas *et al.* 2016). Concretament, l'astor *Accipier gentilis* es considera com un bioindicador, ja que la seva presència es relaciona amb una elevada riquesa en la comunitat d'ocells o d'altres tàxons, així com amb la diversitat i maduresa de l'estrat arbori (Sergio *et al.* 2005, 2006; Ozaki 2006). Aquest aspecte pot ser útil per a la planificació i delimitació d'àrees forestals interessants en conservació de la biodiversitat (Sergio *et al.* 2008, Burgas *et al.* 2014).

Els canvis estructurals en els boscos resultants d'una gestió forestal amb criteris productius han afectat la qualitat dels boscos com a hàbitats i llocs de reproducció de molts taxons (Hanski 2000).

Els treballs silvícoles amb criteris comercials són una pertorbació que produeix rejueniment, simplificació i sovint homogeneïtzació de les masses forestals, alhora que s'extreuen els arbres més grossos per ser més rendibles econòmicament. Per tant, es redueix el nombre d'arbres grans amb branques gruixudes i cavitats i també s'eliminen arbres mal formats o en descomposició, afectant tot plegat a la diversitat (Hanski 2000). El règim d'aprofitament forestal i l'estructura que se'n deriva és una qüestió fonamental en l'ecologia i la conservació d'espècies que habiten els boscos (Perhans *et al.* 2011, Kuuluvainen *et al.* 2012). Sobre els boscos més madurs i amb diàmetres dels arbres més grans es donen els majors conflictes, ja que acostumen a ser molt preuats com a recursos fusters i, a la vegada, són necessaris per a la reproducció dels rapinyaires forestals (Mañosa 1991, Widén 1997, Penteriani 2001, Garcia-Salgado 2018). D'altra banda, la gestió en prevenció d'incendis consisteix, principalment, en la reducció de la massa vegetal considerada combustible, l'eliminació de l'estrat arbustiu i l'aclarida intensa de l'estrat arbori, manual o amb cremes prescrites (Keeley *et al.* 2012, Helman *et al.* 2017). Aquesta gestió pot interferir amb l'hàbitat de nidificació de diferents rapinyaires forestals, entre els quals destaca l'astor, un rapinyaire molt lligat als rodals forestals on nidifica i que presenta un fort comportament territorial (Mañosa 1991, Kenward 2006).

Els models d'idoneïtat d'hàbitat o distribució potencial són algorismes que permeten relacionar la presència o abundància d'una espècie amb les variables ambientals (Guisan & Zimmermann 2000, Guisan & Thuiller 2005) i són útils per identificar àrees interessants en conservació, conèixer l'ocupació teòrica d'una espècie o predir l'evolució de la seva distribució enfront, per exemple, de diferents escenaris climàtics o canvis d'usos del sòl (Brockerhoff *et al.* 2008). Aquest aspecte és especialment rellevant en el cas que ens ocupa, ja que davant els models de distribució per a l'astor projecten elevades contraccions en la seva distribució com a resultat del canvi climàtic (Araújo *et al.* 2011). Així mateix, la cartografia resultant de l'aplicació dels models d'idoneïtat d'hàbitat és una eina molt útil per als gestors a l'hora d'identificar els indrets on les intervencions humanes han de ser de baixa incidència i mantenir llocs inalterats per assegurar la compatibilitat de les activitats

amb la conservació de la biodiversitat (Burgas *et al.* 2016). No obstant això, sovint manca una cartografia definida en base a criteris objectius que permeti la planificació i l'elaboració dels plans d'actuació en matèria de prevenció dels incendis o de l' explotació dels recursos forestals.

L'objectiu del present treball és mostrar com l'elaboració de models predictius de les àrees de bosc més adequades per a la nidificació de l'astor en àrees mediterrànies fortament antropitzades, a diferents escales, pot permetre obtenir una cartografia útil per predir la presència de l'astor i, d'aquesta manera, aportar mapes on s'identifiquin les àrees forestals d'interès per a la conservació, possiblement associades a valors elevats de biodiversitat. L'objectiu final és aportar una eina que serveixi per orientar les accions de conservació, la planificació i la gestió dels boscos.

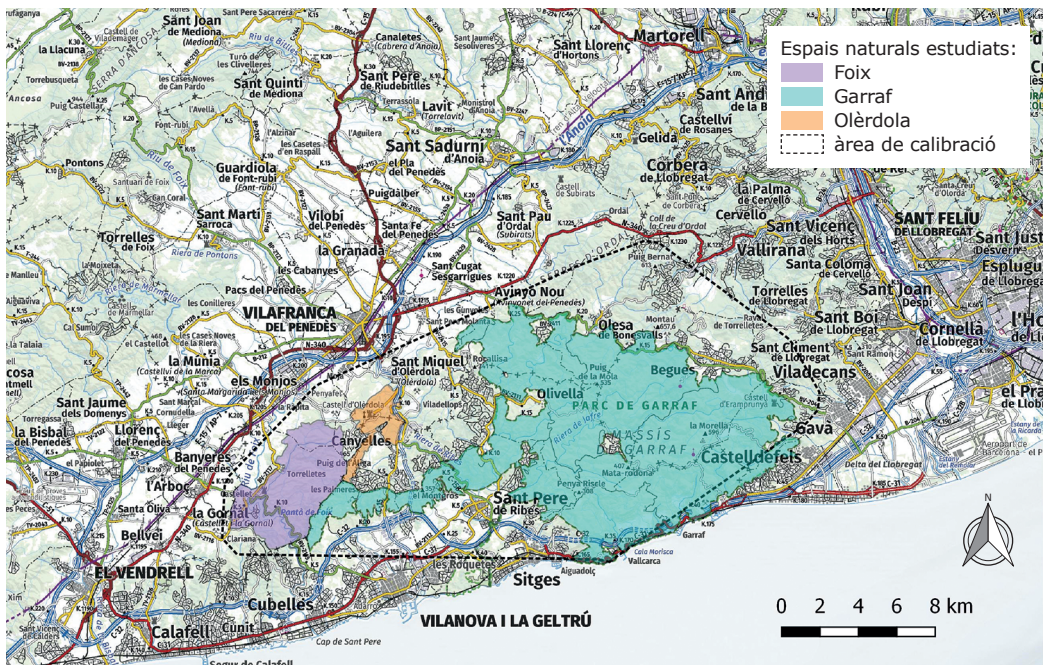
## Material i Mètodes

### Àrea d'estudi

Els mostrejos de camp i el calibrat dels models

s'han realitzat en l'àmbit dels espais naturals del Garraf, Foix i Olèrdola (Figura 1) en una superfície de 336 km<sup>2</sup> d'ambients fortament transformats per l'acció humana. En els boscos de pi blanc *Pinus halepensis* del massís del Garraf i el seu entorn, una àrea de muntanya mediterrània protegida amb presència de rapinyaires forestals, es produeixen aprofitaments orientats, principalment, a l'extracció de fusta i extensos treballs de prevenció d'incendis. Aquestes tasques exemplifiquen en aquesta àrea mediterrània el conflicte entre gestió forestal i conservació.

Els millors models d' idoneïtat d' hàbitat, de cada escala, s'han projectat a una àrea més extensa, centrada en l'anterior, per identificar les àrees forestals de conservació prioritària. Específicament, aquesta darrera regió ocupa 1.696 km<sup>2</sup> situats al nord-est de la península Ibèrica (Begues, Barcelona, 41°19'55"N 1°55'22"E), i es troba a la frontera entre les zones 'termo' i 'meso' mediterrànies (Blondel & Aronson 1999). S'hi troben inclosos els espais naturals protegits del Garraf, d'Olèrdola i del Foix, i la ZEPA-LIC ES5110013 Serres Litoral Central (Xarxa Natura2000, Generalitat de Catalunya). El clima



**Figura 1.** Àrea d'estudi. En colors apareixen reflectits els tres espais naturals protegits prospectats, amb línia discontinua on es van calibrar els models i l'àmbit cartografiat on es van projectar els models. Study area. The three protected natural areas are shown in different colours. The dashed line indicates the area in which the models were calibrated; the mapped area shows where the models were projected.

**Taula 1.** Variables ambientals emprades com a variables explicatives dels models de nidificació de l'astor a les diferents escales.

*Environmental variables used as explanatory variables for Goshawk nesting models at different scales.*

<b>Escala/Scale</b>	<b>Variables/Variable</b>	<b>Descripció/Description</b>
<b>Niu (20 m) Nest (20 m)</b>	Hàbitat (Hab) <i>Habitat (Hab)</i>	Una capa ràster amb 8 categories: pinedes de pi blanc (Pi), boscos de planifolis (Pl), matollars (Mat), herbaci (Herb), ambient rocós (Roc), Torrents i punts d'aigua (Tor), conreus (Con) i antròpic (Ant). / <i>A raster layer with 8 categories: Aleppo pine forests (Pi), deciduous forests (Pl), scrub (Mat), herbaceous grasslands (Herb), rocky environments (Roc), streams and other water features (Tor), croplands Con) and anthropic (Ant).</i>
	Distància a torrents (Distt) <i>Distance to Stream (Distt)</i>	Distàncies a torrents o punts d'aigua (mesurades en metres). / <i>Distances to streams or water features (measured in meters).</i>
	Escabrositat (Escab) <i>Roughness (Escab)</i>	Capa ràster en forma d'índex d'escabrositat, calculat mitjançant la diferència entre els valors de les altituds màximes i mínimes de cada píxel i dels 8 píxels que l'envolten (mesurat en metres). / <i>Raster layer of the roughness index, calculated as the difference between the values for the maximum and minimum altitudes in each pixel and in the 8 surrounding pixels (measured in meters).</i>
	Model digital d'elevacions (MDE) <i>Digital elevation model (MDE)</i>	Model digital d'elevacions de l'àrea d'estudi (cada píxel amb l'altitud en metres). / <i>Digital elevation model of the study area (each pixel with its altitude in meters).</i>
	Orientació (Or) <i>Aspect (Or)</i>	Capa ràster amb la orientació de cada píxel agrupades en quatre categories: nord: 315°-45° , est: 45°-135° , sud: 135°-225° , oest: 225°-315°./ <i>Raster layer with the aspects of each pixel grouped in one of four categories: north-facing: 315°-45°, east-facing: 45°-135°, south-facing: 135°-225°, west-facing: 225°-315°.</i>
	Pendent (Pend) <i>Slope (Pend)</i>	Capa ràster amb el pendent, en percentatge, de cada píxel. / <i>Raster layer with the slope as a percentage for each pixel.</i>
<b>Rodal (240 m) i Territori (500 m) Stand and Territory (500 m)</b>	% de pinedes de pi blanc (Ppi) <i>Aleppo pine forest % (Ppi)</i>	Percentatge de pinedes de pi blanc en cada quadrat. / <i>Percentage of Aleppo pine forest in each square.</i>
	% de matollars (Pmat) <i>Scrub % (Pmat)</i>	Percentatge de matollars a cada quadrat. / <i>Scrub percentage in each square.</i>
	% de camps de conreu (Pcon) <i>Cropland % (Pcon)</i>	Percentatge de conreus a cada quadrat. / <i>Cropland percentage in each square.</i>
	% de ambients antròpics (Pant) <i>Anthropogenic environment % (Pant)</i>	Percentatge de ambients antròpics (terrenys urbans, industrials, activitats extractives i infraestructures) en cada quadrat. / <i>Percentage of anthropogenic environments (built-up, industrial land, extractive activities and infrastructures) in each square.</i>
	% de torrents (Ptor) <i>Stream % (Ptor)</i>	Percentatge de torrents i punts d'aigua a cada quadrat. / <i>Percentage of streams and other water features in each square.</i>
	% de orientacions nord (Pnor) <i>North-facing aspect % (Pnor)</i>	Proporció d'orientacions nord a cada quadrat. / <i>Proportion of north-facing aspects in each square.</i>
Variabilitat topogràfica (Vtop) <i>Topographic variability (Vtop)</i>	Desviació estàndar de l'altitud a cada quadrat. / <i>Standard deviation of altitude in each square.</i>	



**Taula 2.** Millors models per a cada escala de la probabilitat de nidificació de l' astor a l' àrea d' estudi. S' aporten les puntuacions pel criteri d' informació d' Akaike (AICc), el nombre de graus de llibertat (df), el valor de  $X^2$ , l' índex de concordança (C-índex), el de l' índex de Nagelkerke i el p valor associat a la significació dels models. Valors superiors a 0.8 del C-índex impliquen bon poder de predicció dels models.

*Best models for each Goshawk nesting probability scale in the study area. Scores are given for the Akaike information criterion (AICc), the number of degrees of freedom (df), the value of  $X^2$ , the concordance index (C-index), the Nagelkerke index, and the p value associated with the significance of the models. Values above 0.8 for the C-index imply that the models have good predictive power.*

Escala / Scale	AICc	df	L ratio $X^2$	C-Index	Nagelkerke's index	P
<b>Niu / Nest</b>	101.05	11	79.76	0.94	0.62	<0.001
<b>Rodal / Stand</b>	111.21	3	51.93	0.88	0.43	<0.001
<b>Territori / Territory</b>	127.14	3	36.01	0.82	0.31	<0.001

dominant és mediterrani típic, amb lleugeres traces de continentalitat (Mazón 2008).

El paisatge, fruit del modelat càrstic, està dominat per un conjunt de petites valls i muntanyes baixes, on l' alçada màxima està als 657 m (Panareda 1986). L' àrea d' estudi es troba dominada per un paisatge mediterrani meridional amb vegetació caracteritzada per un matollar dens on dominen el garric *Quercus coccifera* i el llentiscle *Pistacea lentiscus*. Més a l' interior, el paisatge està integrat per fragments d' alzinar i pinedes secundàries de pi blanc. Tot això, conformant un mosaic amb espais antròpics (pobles, ciutats, urbanitzacions, pedreres...) i conreus principalment de vinya.

### Localització dels territoris

Durant el període 2016–18, es van realitzar 3 campanyes, una per any, inspeccionant els espais forestals del Parc Natural del Garraf, el Foix i Olèrdola per localitzar nius d' astor. A més de revisar territoris coneguts d' anys anteriors (10 territoris i 15 nius, dades pròpies inèdites), es van realitzar transectes d' uns 2 km a peu a primeres hores del matí durant el mes de febrer, per tal de detectar reclams d' aparellament o defensa. Quan no es produïen crits espontanis, es van reproduir crits territorials per estimular respostes en territoris ocupats. Aquests punts d' emissió de reclams es van separar uns 300 metres (Penteriani 1999, 2002). En els punts on s' obtingueren respostes positives, es van realitzar prospeccions a peu per localitzar possibles nius. Els nius trobats es van ser georeferenciar amb gps Garmin amb una resolució de 1x1 m amb el datum UTM ETRS89 a la base de l' arbre. Al 2019 es va realitzar una darrera campanya

per revisar els territoris trobats a les campanyes anteriors i, a manera de validació, es van visitar 9 àrees predites pels models amb una probabilitat de nidificació superior al 60% i en les quals no es tenia constància de la presència d' astors. Amb aquest objectiu es van prioritzar els espais naturals del Garraf, Foix, Olèrdola i encontorns.

### Selecció d' escales espacials

Donada la importància de cada escala en la selecció d' hàbitat de les rapinyaires (Sergio *et al.* 2003), es va decidir realitzar una aproximació multi-escala dels models d' idoneïtat d' hàbitat. L' astor selecciona l' hàbitat segons escales diferents: 1.- arbre de cria, en base a les característiques del propi arbre i de l' entorn immediat, de l' ordre de metres; 2.- rodal de cria, de l' ordre de desenes o centenars de metres al voltant del niu, on es donen les interaccions dins del grup familiar amb les diferents fases de creixement dels polls i desenvolupament dels joves, que és defensat de conespecífics i de possibles competidors o depredadors; 3.- els territoris, de forma i mida variable, inclou l' àrea de cria i les zones de caça més properes.

Per elaborar els models, en primer lloc es va definir un mínim polígon convex (MPC) englobant tots els niu localitzats, afegint una banda exterior de 700 m, corresponent a la meitat de la distància mitjana entre nius de territoris més propers a la zona d' estudi.

Per a cada un dels territoris ocupats es va extreure el valor de cada variable ambiental per a cada una de les tres escales considerades. Quan en un territori es coneixia més d' un niu, es va utilitzar com a referència únicament aquell del qual es coneixia la darrera reproducció. A més,

**Taula 3.** Millors models per a cada escala de la probabilitat de nidificació de l'astor a l'àrea d'estudi, on figuren les variables implicades (explicades a la Taula 1), els coeficients, els errors estàndard i la significació de les estimes. *Best models for each scale of Goshawk nesting probability in the study area showing the variables involved (explained in Table 1), the coefficients, the standard errors and the significance of the estimates.*

<b>Escala / Scale</b>	<b>Variables / Variable</b>	<b>Coefficients / Estimate</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>Niu / Nest</b>	Intercepte	-7.59	-3.81	<0.001
	Or_nord	2.54	2.67	<0.01
	Or_est	2.09	2.28	0.02
	Or_oest	0.99	1.06	0.28
	Distt	<-0.01	-1.29	0.19
	Pend	0.02	0.84	0.39
	Hab_Pi	5.38	3.16	<0.01
	Hab_Pl	-0.14	-0.06	0.94
	Hab_Herb	-0.06	-0.02	0.97
	Hab_Roc	<-0.01	<-0.01	0.99
	Hab_Con	-0.17	-0.08	0.93
Hab_Ant	-0.11	-0.05	0.95	
<b>Rodal / Stand</b>	Intercepte	-54.72	-6.61	<0.001
	Ppi	41.04	4.76	<0.001
	Ptor	264.61	2.57	0.01
	Pnor	27.80	2.12	0.03
<b>Territori / Territory</b>	Intercepte	-49.58	-5.87	<0.001
	Ppi	42.64	4.58	<0.001
	Ptor	203.79	1.75	0.07
	Pnor	25.64	1.57	0.11

dins del polígon descrit més amunt es van generar 150 punts aleatoris, sense cap restricció, que van servir com a controls. La ràtio entre punts de presència i controls és 1/5 en consonància amb altres treballs similars (Barbet-Massin *et al.* 2012, Fattebert *et al.* 2018). Com que no es va comprovar sobre el terreny que en aquestes ubicacions no hi hagués nidificació d'astor, les nostres dades es basen en localitzacions de presència (nidificació) i pseudo-absències (absències no segures).

Totes les variables ambientals es van obtenir, en forma de capa ràster, inicialment amb una resolució de 20 x 20 m referenciades amb el datum UTM ETRS89. Les variables de la resta de escales es van obtenir a partir d'aquestes, mitjançant estadístiques de cel·les amb quadrats de mides diferents centrades en cada cel·la i fent servir l'eina d'estadística focal *resample* del paquet *Raster de R*. És a dir, es va estimar la proporció de cel·les de cada categoria ambiental present en els quadrats de mida més gran resultants. Les diferents resolucions s'han escollit d'acord amb les premisses citades, adaptant-les al coneixement

local de l'espècie. a.- Escala niu: treballant amb una resolució de 20 x20m de píxel (400m<sup>2</sup>). b.- Escala de rodal: resolució 240 x 240m de píxel (5,76 ha) . c.- Escala de territori: resolució 500 x 500 m de píxel (25 ha).

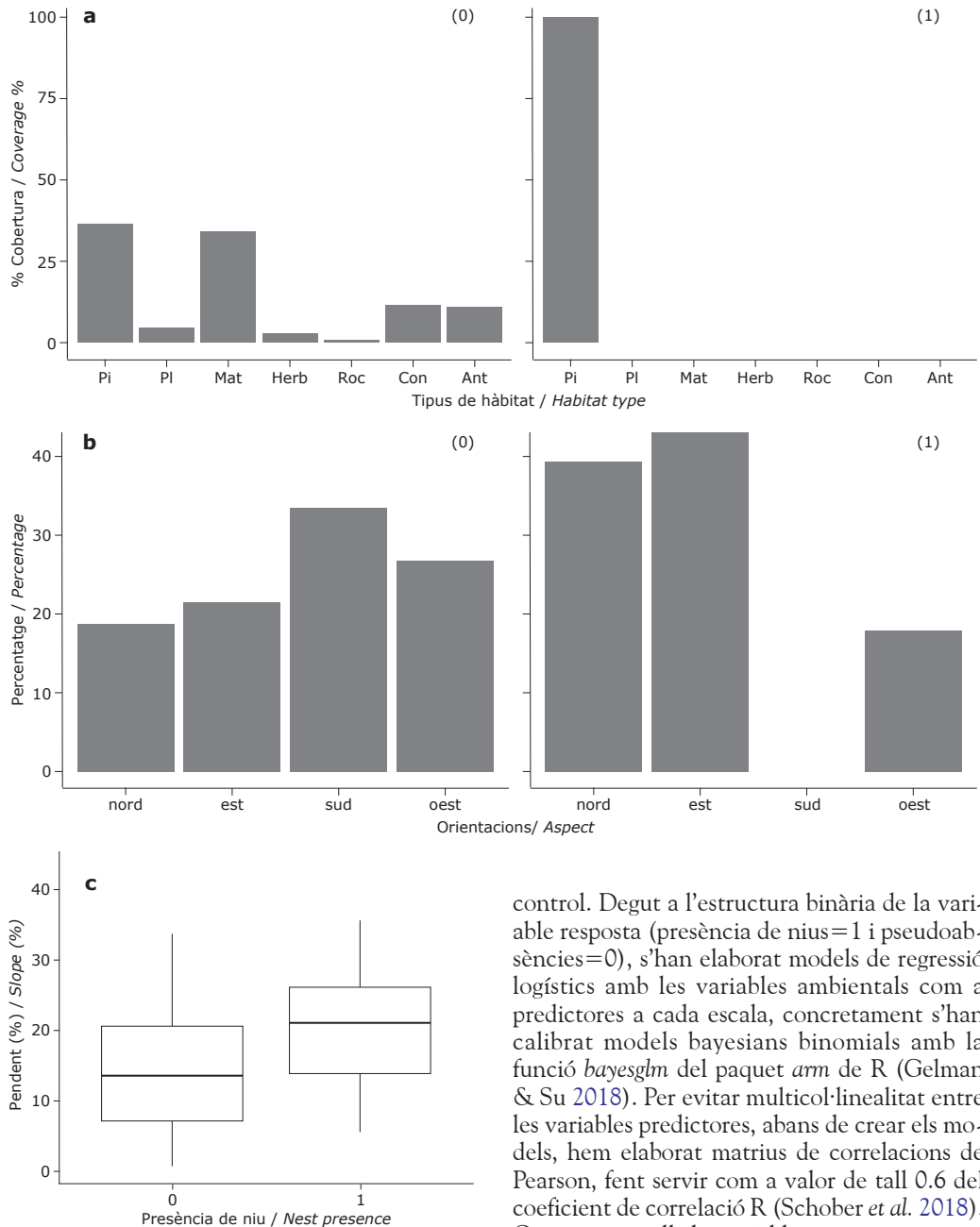
*Selecció de variables ambientals*

Les variables ambientals dels models s'han extret del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya MCSC (Generalitat de Catalunya & CREAL 2009) i del Model Digital d'Elevacions MDE (ICGC 2013), a partir dels quals s'han elaborat noves variables amb QGIS (2018) i R (2019) que es poden observar a la Taula 1.

Per a la conversió i els càlculs de les capes ràsters s'ha fet servir el paquet *raster* de R (Hijmans & van Etten 2012).

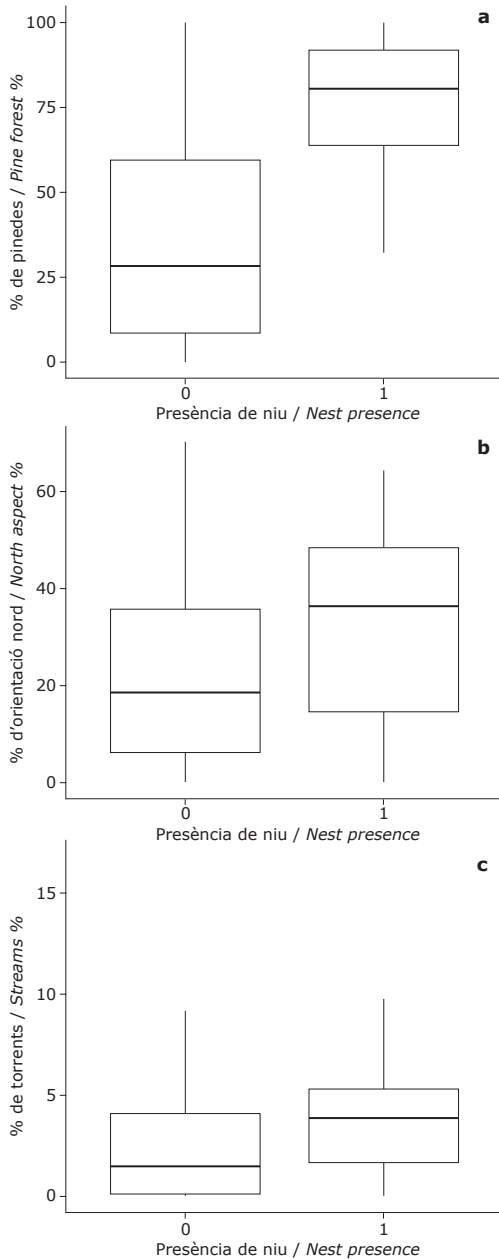
*Anàlisis estadístiques*

A cada escala, s'han extret els valors de cada quadrat corresponent a cada niu i dels punts



**Figura 2.** Gràfics per a l'escala niu (20 m). a) Proporció de cada categoria d'ús del sòl en punts de control (0) i en ubicacions dels nius (1). b) orientacions dels punts control i niu. c) gràfic de caixa amb les diferències entre els pendents dels punts control i nius. *Nest-scale graphs (20 m).* a) Proportion of each land-use category at control points (0) and at nest locations (1). b) Aspects of control and nest points. c) Box graph with the differences between the slopes at the control and nest locations.

control. Degut a l'estructura binària de la variable resposta (presència de nius=1 i pseudoabsències=0), s'han elaborat models de regressió logística amb les variables ambientals com a predictores a cada escala, concretament s'han calibrat models bayesians binomials amb la funció *bayesglm* del paquet *arm* de R (Gelman & Su 2018). Per evitar multicol·linealitat entre les variables predictores, abans de crear els models, hem elaborat matrius de correlacions de Pearson, fent servir com a valor de tall 0.6 del coeficient de correlació R (Schober *et al.* 2018). Quan un parell de variables superava aquest valor de correlació, només es feia servir en els models una d'elles. També hem realitzat una anàlisi de factor d'Inflació de les variables VIF, per evitar col·linealitat causada per interaccions entre variables, escollint les variables que en conjunt aportessin valors menors de 5 (Ringle *et al.* 2015). Amb les variables independents



**Figura 3.** Gràfics per a l'escala rodal (240 m). a) Proporció de pinedes de pi blanc en els quadrats amb punts control (0) i en quadrats amb les ubicacions dels nius (1). b) proporció d'orientació nord als quadrats dels punts control i niu. c) diferències entre la proporció de torrents als quadrats dels punts control i nius. *Stand-scale graphs (240 m). a) Proportion of Aleppo pine forest in squares with control points (0) and in squares with nest locations (1). b) Proportion of north-facing aspect in squares with control and nest points. c) Differences between the proportion of streams in squares with control points and nests.*

escollides amb les anàlisis anteriors hem creat models de regressió saturats per a cada escala i hem seleccionat el millor model mitjançant una regressió cap enrere per passos en base al criteri d'Akaike (1973). Dels millors models, proporcionem el valor de l'índex de concordança (c-index) per avaluar la seva predictibilitat (Hosmer & Lemeshow 2000) així com l'índex de Nagelkerke que és una mesura de la variància explicada pel model (Taula 2). Finalment, s'ha realitzat, a cada escala, la projecció de la predicció dels models obtinguts en una àrea de 1.696 km<sup>2</sup> centrada en l'àrea d'estudi on s'havien calibrat els models, per avaluar en un àmbit més extens les millors zones potencials de nidificació per als astors. En aquest sentit, aportem mapes amb les projeccions amb valors de probabilitat d'idoneïtat, obtingudes a les escales de niu, de rodal i territori. També mostrem aquests mapes amb un punt de tall per la idoneïtat d'hàbitat quant a la nidificació de l'astor superior al 60%.

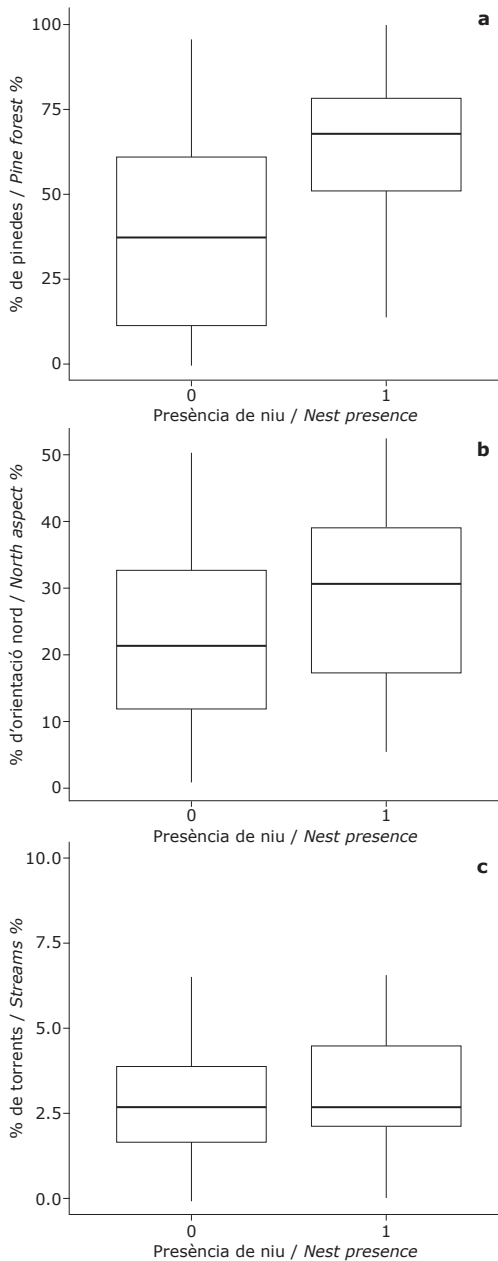
## Resultats

Durant el període d'estudi (2016–18), es van localitzar 28 territoris ocupats i un total de 39 nius diferents. D'aquests, 10 territoris i 15 nius eren ja coneguts prèviament i 18 territoris i 24 nius es van localitzar a les 3 campanyes de camp, seguint el mètode descrit a l'apartat anterior. Tots els nius s'han trobat sobre exemplars de pi blanc amb diàmetres basals >30cm dins de claps amb important cobertura arbòria i sotabosc exuberant, similar al trobat en altres contrades mediterrànies (Jiménez-Blanco *et al.* 2018). Després d'eliminar variables redundants, els millors models per a cada escala d'anàlisi es resumeixen a les taules 2 i 3.

A escala de niu les variables que millor expliquen la presència de nius d'astor són l'orientació, el pendent, la proximitat als torrents i la presència de pinedes. Els nius es localitzen principalment en orientacions amb component nord i est, en zones de major pendent i exclusivament en pi blanc (Taula 3 i Figura 2).

A escala de rodal i territori, el percentatge de pinedes de pi blanc, la variabilitat en el relleu en forma de proporció de torrents i el percentatge de zones amb orientació de component nord són les variables incloses en els millors models (Taula 3, Figura 3 i Figura 4). Tots els millors models de





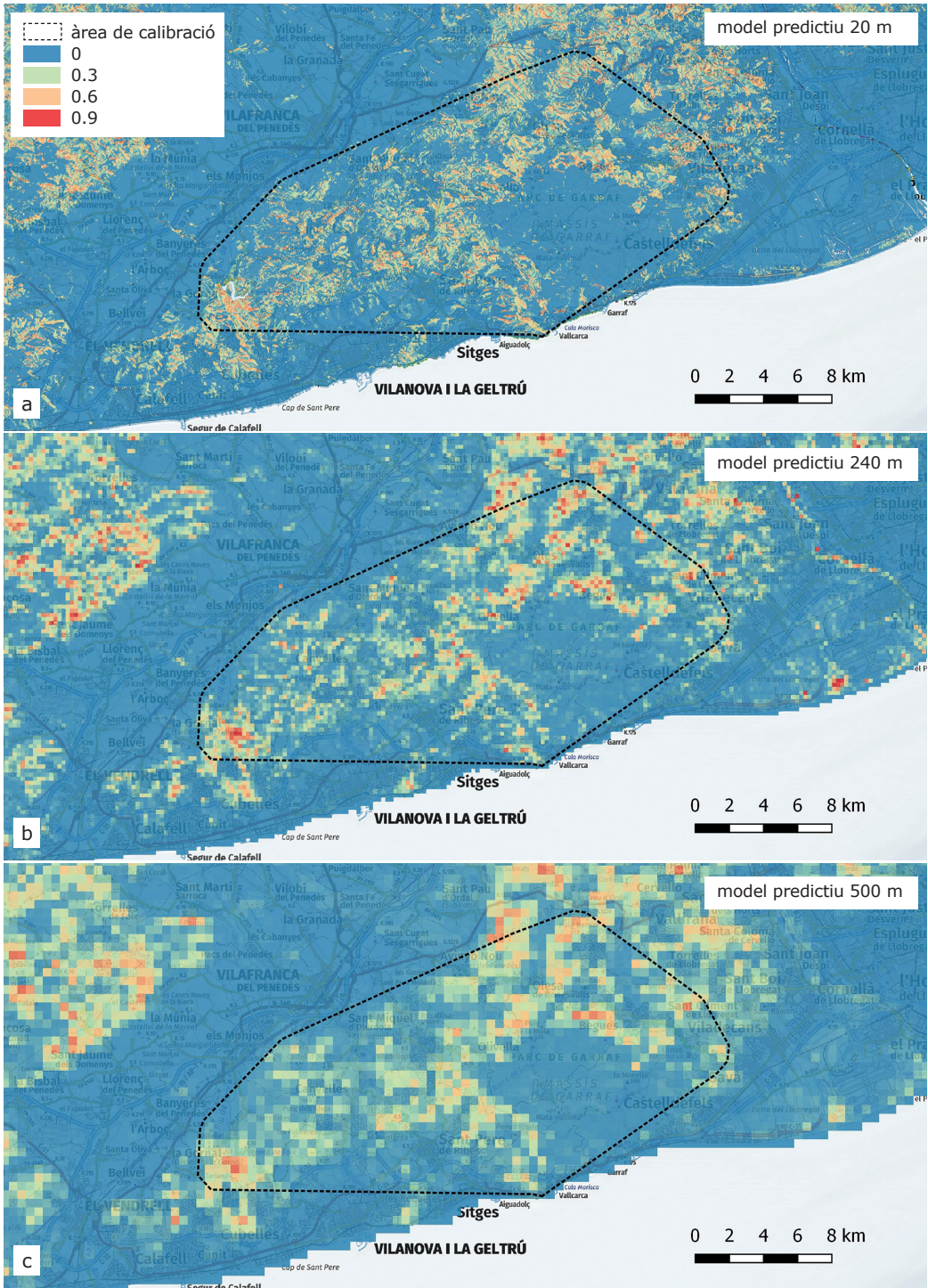
**Figura 4.** Gràfics per a l'escala territori (500 m). a) Proporció de pinedes de pi blanc en els quadrats amb punts control (0) i amb les ubicacions dels nius (1). b) proporció d'orientació nord als quadrats dels punts control i niu. c) diferències entre la proporció de torrents als quadrats dels punts control i nius.  
*Territory-scale graphs (500 m). a) Proportion of Aleppo pine forest in squares with control points (0) and nest locations (1). b) Proportion of north-facing aspect in squares with control and nest points. c) Differences between proportion of streams in squares with control and nest points.*

les diferents escales han resultats significatius, amb bona predictibilitat i variància explicada, les quals disminueixen, però, en augmentar l'escala (Taula 2).

Seguidament s'ha projectat la predicció dels models obtinguts a una àrea més extensa, que abasta tot el massís de Garraf, part de la serralada prelitoral penedesenca i de l'Anoia, i fins a Collserola (Figura 5), a cada una de les tres escales. Les pinedes més idònies per a l'espècie, amb el nivell de tall del 60% d'idoneïtat a partir del millor model a escala de niu, representen el 4.5% d'aquest territori i el 16.34% de les pinedes existents (Figura 6). Amb aquesta cartografia com a referència, en la campanya de 2019 de recerca de nius, a manera de validació dels models, s'han localitzat 7 territoris i 7 nius nous de l'espècie dins de l'àrea d'estudi inicial.

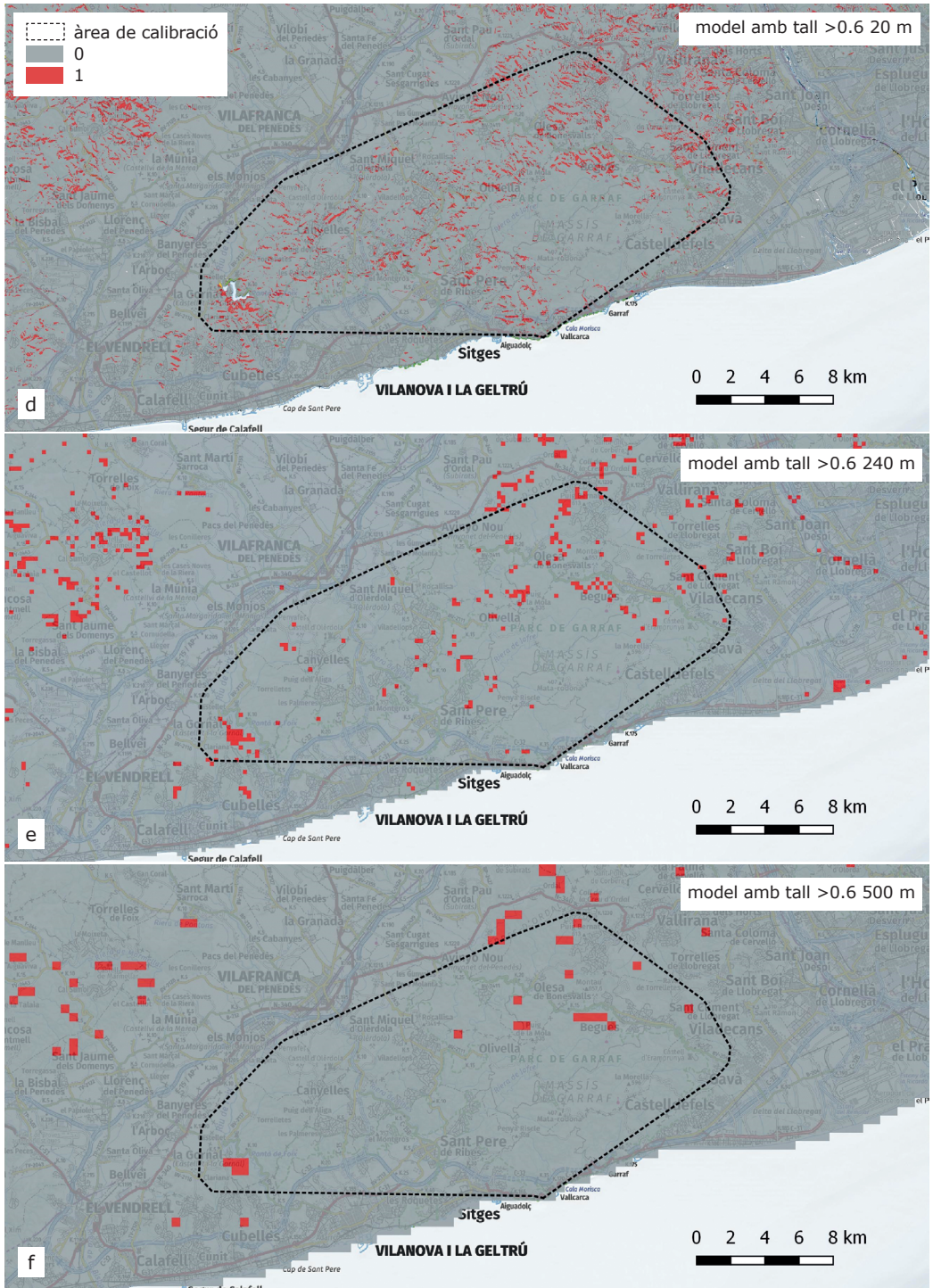
## Discussió

L'ús de models d'idoneïtat d'hàbitat de nidificació per a l'astor en aquesta regió mediterrània litoral s'ha mostrat de gran utilitat, tant com un instrument de descripció d'aquells factors del biòtop rellevants per a la reproducció, com per a la delimitació dels millors indrets de nidificació potencial per a l'espècie (Tapia *et al.* 2018). Tot i que la incorporació als models de variables relacionades amb la disponibilitat de preses i de relacions intra i interespecífiques amb altres rapinyaires segur que millorarien la variància explicada pels models (Keitt *et al.* 2002, Reich *et al.* 2004), els resultats obtinguts són molt satisfactoris, ja que els models presenten bona predictibilitat i acceptable variància explicada. Els tres models presenten nivells d'eficiència similars, tal com indiquen els valors del C-Índex (Taula 2). A les tres escales (niu, rodal i territori), les variables més importants són congruents. És a dir, a escala niu, Hab\_pi (pi blanc), Or\_nord i est (orientació) i Dist (distància a torrent), i a les altres dues escales Ppi (percentatge de pinedes), Pnor (percentatge de píxels amb orientació nord) i Ptor (percentatge de píxels amb torrents), tot i que la seva importància relativa canvia en els models (Taula 3). Aquestes variables han estat ja identificades en treballs previs sobre la selecció d'hàbitat de l'espècie (Mañosa 1991, Penteriani & Faivre 1997, Londi *et al.* 2013, Blakey *et al.* 2020). A

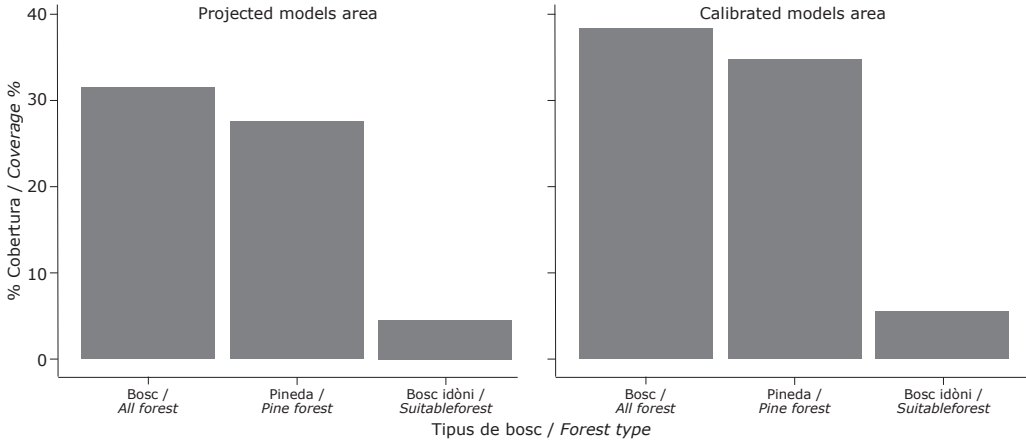


**Figura 5.** Mapes amb la representació dels models predictius de la distribució potencial de la nidificació de l'àstora a les diferents escales (a, b i c). Mapes binaris amb el tall a  $\geq 60\%$  de probabilitat de presència de nidificació per a l'àstora a les tres escales (d, e i f). L'àrea d'estudi surt reflectida amb una línia discontinua on es va realitzar la cerca de nius i es van calibrar els models i, l'àmbit cartografiat on es van projectar els models.





Maps with predictive models representing the potential distribution of Goshawk nesting sites at different scales (a, b and c). Binary maps with a cut-off at  $\geq 60\%$  probability of nesting at three scales (d, e and f). The study area (dashed line) is where nests were searched for and the models were calibrated; models were projected over the whole mapped area.



**Figura 6.** Proporció forestal de pinedes de pi blanc i d'aquestes, les més idònies segons els models a escala de niu (>60%) respecte a les àrees d'estudi (tant on s'han calibrat, com on s'han projectat els models). *Proportion of (i) forest cover, (ii) Aleppo pine forest cover and (iii) the cover of the most suitable pine forests according to the models at nest scale (> 60%) in the study area (both where the models were calibrated and projected).*

escala niu, totes les plataformes de nidificació van ser trobades sobre pi blanc, evidenciant la selecció d'aquesta conífera a l'àrea d'estudi. La selecció d'orientacions nord i est (obagues) per nidificar és la típica per a l'espècie (Mañosa *et al.* 2004), i segurament està relacionada amb les condicions climàtiques que afavoreixen el desenvolupament dels arbres així com la durada del dia i la temperatura. La proximitat dels nius al torrents pot estar relacionada amb una selecció de llocs amb més pendent, on els arbres creixen força en alçada (Penteriani & Faivre 1997). Un sentit semblant tenen les mateixes variables a escala rodal i territori, però en forma de percentatges. És a dir, els astors seleccionen per nidificar zones amb un elevat percentatge de pinedes, amb fort component nord de les orientacions i terrenys amb diversitat orogràfica, és a dir, elevat percentatge de torrents.

El model a escala niu es va utilitzar a manera de validació en la campanya de camp 2019 i va resultar útil en la detecció de nous territoris i nius de l'espècie (7 territoris més, el que representa un 25% d'augment). A més, el 100% dels nius localitzats al final d'aquesta darrera campanya (n=46) es troben a les zones definides amb el 60% d'idoneïtat. El model, per tant, sembla una eina útil per obtenir una cartografia predictiva de la presència d'astor, primer objectiu del treball, i delimitar aquelles zones de bosc millor conservades a escala arbre, tal i com definien a priori els

treballs de Sergio *et al.* (2005), García-Salgado (2018) i Jiménez-Franco *et al.* (2018). També es va poder observar a la representació del model que, a aquesta escala, les zones potencialment favorables es trobaven dins de rodals més o menys extensos de pi blanc. Una manera de prioritzar espais de cara a la conservació de l'astor és crear mapes binaris fixant un límit quant a la idoneïtat d'hàbitat, identificant, per exemple aquells espais en els quals la probabilitat de detectar nidificació d'astor és igual o superior al 60%. En aquest sentit, les projeccions dels models a l'àrea de 1696 km<sup>2</sup>, ha permès l'elaboració d'un mapa delimitant les taques de pinedes litorals no prospectades (Figura 5 d,e i f). Amb aquesta cartografia s'evidencia la petita proporció de l'àrea d'estudi on podem trobar l'hàbitat forestal de pi blanc estructuralment més interessant. La distribució potencial de l'astor, com a espècie bioindicadora de la qualitat d'aquest hàbitats és, doncs, força reduïda a l'àrea d'estudi i, de fet, es pot veure encara més minvada com a conseqüència dels efectes del canvi climàtic, com assenyalen alguns autors (Araújo *et al.* 2011). Un altre aspecte remarcable és la petita proporció que representen aquests espais explicitats pels models en comparació a la superfície forestal de l'àrea d'estudi.

Quan considerem el paper bioindicador de l'astor en boscos mediterranis (Poirazidis *et al.* 2007, López-López *et al.* 2016), els models



a escala de rodal i territori poden esdevenir una guia per als instruments de conservació, planificació i gestió de les masses forestals mediterrànies dominades pel pi blanc. Els models a escala de territori i, especialment, el de rodal, aporten localitzacions d'hàbitat òptim continu dins els forests que poden abastar fins a desenes d'hectàrees. Aquesta extensió correspon aproximadament amb les àrees immediatament al voltant dels nius utilitzats, però també conté, si hi són presents, altres nius coneguts d'altres anys que s'han rebutjat, essent la preservació del conjunt de tots els nius de gran importància per a la conservació dels rapinyaires forestals (Jiménez-Franco *et al.* 2018). Els indrets amb major desenvolupament dels arbres són els primers rodals que es tallen, ja siguin per treballs silvícoles de prevenció d'incendis o aprofitaments forestals. En els primers, perquè sovint es busca reduir els costos d'aquestes tasques mitjançant la comercialització de fustes o llenyes; en el segon cas, per maximitzar els beneficis. Per tot això, es genera un conflicte evident entre gestió forestal i conservació de la biodiversitat. En la majoria d'espais forestals mediterranis manca informació que permeti prioritzar aquells rodals més interessants quant a la seva biodiversitat. Concretament, és sabut que les alteracions provocades per les tallades, homogeneïtzació dels peus o intervencions sobre l'estrat arbustiu, que són perjudicials per als rapinyaires forestals, poden portar a la desaparició de riquesa i diversitat i, fins i tot, l'eliminació directa de l'hàbitat de nidificació (Widén 1997, Perhans *et al.* 2011, Kuuluvainen *et al.* 2012, Carnicer *et al.* 2011).

Els models de distribució potencial ja han estat emprats per a la detecció dels redutes d'hàbitat forestal ben conservat que haurien de ser reservats per a evolució lliure (Regos *et al.* 2015, 2016). Amb aquest treball, proposem que els models d'idoneïtat d'hàbitat de nidificació de l'astor siguin utilitzats com a eina per a incorporar criteris de conservació de la biodiversitat a la planificació forestal, ja que aquests models delimiten les taques de major valor per a l'espècie i, possiblement, els indrets millor conservats dels ecosistemes forestals de la zona. En una àrea tant modificada per l'acció humana, la conservació de les zones així definides haurien de ser considerades en la planificació i gestió dels forests com a indrets a conservar sense alteració. D'aquesta manera, es fa possible la compatibilització dels

diferents objectius i instruments de planejament, aportant criteris de selecció d'intervencions i la seva zonificació.

## Agraïments

Volem agrair les dades i el suport a en Pedro Torres, Xavier Segarra, Xesco Macià i els companys del Parc Natural de Sant Llorenç i del Garraf. També a en Pere Pons per la revisió inicial, les idees i l'interès en tot moment per l'article. Als dos revisors, Antonio Hernández i Santi Mañosa, que tant han aportat a la versió final.

## Resum

### Models d'idoneïtat d'hàbitat de l'astor: una eina per a la conservació de les pinedes de pi blanc

La progressiva aforestació de territoris que històricament havien estat objecte d'activitats ramaderes i d'intensos aprofitaments forestals està evidenciant conflictes d'interessos entre els objectius productius i de conservació dels boscos al sud d'Europa. Els aprofitaments amb finalitats econòmiques i la gestió forestal per a la prevenció d'incendis incideixen en la composició i estructura de les masses forestals i, d'aquesta forma, poden afectar la conservació dels ecosistemes forestals i la biodiversitat. Tot això, unit a les prediccions dels efectes del canvi climàtic, pot representar una reducció important en extensió i qualitat d'aquests hàbitats. Els ocells rapinyaires forestals es consideren espècies indicadores de l'estat de conservació dels boscos. La presència d'astor *Accipiter gentilis* s'ha vinculat amb elevades riqueses ornítiques i diversitat de l'estrat arborel dels ecosistemes forestals. En el present treball, s'han elaborat models multi-escala d'idoneïtat d'hàbitat per a la nidificació de l'astor a partir de 28 territoris coneguts a tres espais naturals catalans i s'han projectat en una àrea de 1.696 km<sup>2</sup>. Les variables seleccionades en els millors models han estat la proporció de pinedes de pi blanc *Pinus halepensis*, el percentatge d'orientació nord i els terrenys amb més variació topogràfica del relleu. Aquestes variables són consistents en les diferents escales. Les pinedes de més valor per a l'astor representen únicament el 4,5 % de l'àrea i el 16,3% de les pinedes existents i són un reduït percentatge de superfície que caldria protegir. Els resultats posen en relleu la utilitat dels models d'idoneïtat d'hàbitat per a la planificació de les futures actuacions en ecosistemes forestals, tant per a la conservació de l'astor com pel conjunt de la biodiversitat.

## Resumen

### Modelos de idoneidad de hábitat del azor: una herramienta para la conservación de los pinares de pino carrasco

La progresiva forestación de territorios que históricamente habían sido objeto de actividades ganaderas y de intensos aprovechamientos forestales está evidenciando conflictos de intereses entre los objetivos productivos y de conservación de los bosques en el sur de Europa. Los aprovechamientos con fines económicos y la gestión forestal para la prevención de incendios inciden en la composición y estructura de las masas forestales y, de esta forma, pueden afectar a la conservación de los ecosistemas forestales y la biodiversidad. Todo ello, unido a las predicciones de los efectos del cambio climático, puede representar una reducción importante en extensión y calidad de estos hábitats. Las aves rapaces forestales se consideran especies indicadoras del estado de conservación de los bosques. La presencia de azor *Accipiter gentilis* se ha vinculado con elevadas riquezas orníticas y diversidad del estrato arbóreo de los ecosistemas forestales. En el presente trabajo, se han elaborado modelos multi-escala de idoneidad de hábitat para la nidificación del azor de 28 territorios conocidos a tres espacios naturales catalanes y se han proyectado en un área de 1.696 km<sup>2</sup>. Las variables seleccionadas en los mejores modelos han sido la proporción de pinares de pino carrasco *Pinus halepensis*, el porcentaje de orientación norte y los terrenos con más variación topográfica del relieve. Estas variables son consistentes en las diferentes escalas. Los pinares de más valor para el azor, representan únicamente el 4,5% del área y el 16,3% de los pinares existentes y son un reducido porcentaje de superficie que habría que proteger. Los resultados ponen de relieve la utilidad de los modelos de idoneidad de hábitat para la planificación de las futuras actuaciones en ecosistemas forestales, tanto para la conservación del azor como para el conjunto de la biodiversidad.

## Bibliografía

- Akaike, H.** 1973. Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. In Petrov, B.N. & F. Csaki, F. (eds.): *Second International Symposium on Information Theory*. Pp. 267–281. Budapest: Akademiai Kiado, Budapest.
- Araújo, M.B., Guilhaumon, F., Rodrigues Neto, D., Pozo Ortego, I. & Gómez Calmaestra, R.** 2011. *Impactos, vulnerabilidad y adaptación de la biodiversidad española frente al cambio climático. 2. Fauna de vertebrados*. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C.H. & Thuiller, W.** 2012. Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Method. Ecol. Evol.* 3: 327–338.
- Barrientos, R. & Arroyo, B.** 2013. Nesting habitat selection of Mediterranean raptors in managed pinewoods: searching for common patterns to derive conservation recommendations. *Bird Conserv. Int.* 24: 138–151.
- Bildstein, K.L.** 2001. Why migratory birds of prey make great biological indicators. In Bildstein, K.L. & Klem, D. (eds.): *Hawkwatching in the Americas*. Pp. 169–179. North Wales, Pennsylvania: Hawk Migration Association of North America.
- Blakey, R.V., Siegel, R.B., Webb, E.B., Dillingham, C.P., Johnson, M. & Kesler, D.C.** 2019. Multi-scale habitat selection by Northern Goshawks (*Accipiter gentilis*) in a fire-prone forest. *Biol. Conserv.* 241: 108348.
- Blondel, J. & Aronson, J.** 1999. *Biology and Wildlife of the Mediterranean region*. Oxford: Oxford University Press.
- Brockerhoff, E.G., Jactel, H., Parrotta, J.A., Quine, C.P. & Sayer, J.** 2008. Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? *Biodivers. Conserv.* 17: 925–951.
- Burgas, D., Byholm, P. & Parkkima, T.** 2014. Raptors as surrogates of biodiversity along a landscape gradient. *J. Appl. Ecol.* 51: 786–794.
- Burgas, D., Juutinen, A. & Byholm, P.** 2016. The cost-effectiveness of using raptor nest sites to identify areas with high species richness of other taxa. *Ecol. Indic.* 70: 518–530.
- Cade, T.J., Anderson, J.H., Thelander, C.G. & White, C.M.** 1988. *Peregrine Falcon Populations: their management and recovery*. Idaho: The Peregrine Fund.
- Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sánchez, G. & Peñuelas, J.** 2011. Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108: 1474–1478.
- Cervera, T., Pino, Marull, J., Padró, R. & Tello, E.** 2019. Understanding the long-term dynamics of forest transition: From deforestation to afforestation in a Mediterranean landscape (Catalonia, 1868–2005). *Land Use Policy* 80: 318–331.
- Cervera, T., Garrabou, R. & Tello, E.** 2014. Política forestal y evolución de los bosques en Cataluña desde el siglo XIX hasta la actualidad. *Econ. Hist. Res.* 11: 116–127.
- CREAF.** 2019. Laboratori Forestal Català. Inventari Forestal Nacional. Cerdanyola del Vallès: UAB. [http://laboratoriforestal.crea.uab.cat/nfi\\_app/](http://laboratoriforestal.crea.uab.cat/nfi_app/).
- CTFC.** 2018. *Observatori Forestal Català*. Solsona: Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya. <http://observatoriforestal.cat/>.
- de Cáceres, M., Brotons, L., Aquilué, N. & Fortin, M.J.** 2013. The combined effects of land-use legacies and novel fire regimes on bird distributions in the Mediterranean. *J. Biogeogr.* 40: 1535–1547.
- Dunk, J.R., Zielinski, W.J. & Welsh, H.H.** 2006. Evaluating reserves for species richness and representation in northern California. *Divers. Distrib.* 12: 434–442.
- Espelta, J.M., Lloret, F., Díaz-Delgado, R., Pons, X., Calvo, E. & Retana, J.** 2004. Interacció entre estructura del paisatge, usos del sòl i règim

- d' incendis. In Plana, E. (ed.): *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc*. Pp. 34–37. Solsona: Xarxa ALINFO.
- Fattebert, J., Michel, V., Scherler, P., Naef-Daenzer, B., Milanese, P. & Gruebler, M.U.** 2018. Little owls in big landscapes: informing conservation using multi-level resource selection functions. *Biol. Conserv.* 228: 1–9.
- Furness, R. & Greenwood, J.J. (eds.)**. 2013. *Birds as monitors of environmental change*. Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- García-Salgado, G., Rebollo, S., Pérez-Camacho, L., Martínez-Hestekamp, S., de la Montaña, E., Domingo-Muñoz, R., Madrigal-González, J. & Fernández-Pereira, J.M.** 2018. Breeding habitat preferences and reproductive success of Northern Goshawk (*Accipiter gentilis*) in exotic Eucalyptus plantations in southwestern Europe. *Forest Ecol. Manag.* 409: 817–825.
- Gelman, A. & Su, Y.S.** 2018. arm: Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models. R package version 1.10-1. <https://CRAN.R-project.org/package=arm>
- Generalitat de Catalunya & CREAF**. 2009. *Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (MCSC)*. Barcelona: Departament de Territori i Sostenibilitat. [http://territori.gencat.cat/ca/01\\_departament/12\\_cartografia\\_i\\_toponimia/bases\\_cartografiques/medi\\_ambient\\_i\\_sostenibilitat/bases\\_miramon/territori/15\\_cobertes\\_sol](http://territori.gencat.cat/ca/01_departament/12_cartografia_i_toponimia/bases_cartografiques/medi_ambient_i_sostenibilitat/bases_miramon/territori/15_cobertes_sol)
- Gómez-Ramírez, P., Shore, R.F., van den Brink, N.W., van Hattum, B., Bustnes, J.O., Duke, G., Fritsch, C., García-Fernández, A.J., Helander, B.O., Jaspers, V., Krone, O., Martínez-López, E., Mateo, R., Movalli, P. & Sonne, C.** 2014. An overview of existing raptor contaminant monitoring activities in Europe. *Environ. Int.* 67: 12–21.
- Grove, R.A., Henny, C.J. & Kaiser, J.L.** 2009. Osprey: worldwide sentinel species for assessing and monitoring environmental contamination in rivers, lakes, reservoirs, and estuaries. *J. Tox. Env. Health* 12: 25–44.
- Guisan, A. & Thuiller, W.** 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecol. Lett.* 8: 993–1009.
- Guisan, A. & Zimmermann, N.E.** 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model.* 135: 147–186.
- Hanski, I.** 2000. Extinction debt and species credit in boreal forest: modelling the consequences of different approaches to biodiversity conservation. *Ann. Zool. Fennici.* 37: 271–280.
- Helander, B., Bignert, A. & Asplund, L.** 2008. Using raptors as environmental sentinels: monitoring the white-tailed Sea Eagle *Haliaeetus albicilla* in Sweden. *AMBIO* 37: 425–431.
- Helman, D., Osem, Y., Yakir, D. & Lensky, I.M.** 2017. Relationships between climate, topography, water use and productivity in two key Mediterranean forest types with different water-use strategies. *Agr. Forest Meteorol.* 232: 319–330.
- Henne, P.D., Elkin, C., Franke, J., Colombaroli, D., Calò, C., La Mantia, T., Pasta, C., Conedera, M., Dermody, O. & Tinner, W.** 2015. Reviving extinct Mediterranean forest communities may improve ecosystem potential in a warmer future. *Front. Ecol. Environ.* 13: 356–362.
- Hijmans, R. J. & van Etten, J.** 2012. *raster: Geographic analysis and modeling with raster data. R package version 2.0-12*. <http://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Hosmer, D.W. & Lemeshow, S.** 2000. *Applied Logistic Regression*. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Ibarra, J.T. & Martin, K.** 2015. Beyond species richness: an empirical test of top predators as surrogates for functional diversity and endemism. *Ecosphere* 6: 1–15.
- ICGC**. 2013. *Model Digital d' Elevacions*. Barcelona: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. <http://www.icgc.cat/Descarregues/Elevacions/Model-d-elevacions-del-terreny>
- Jiménez-Franco, M.V., Martínez-Fernández, J., Martínez, J.E., Pagán, I., Calvo, J.F. & Esteve, M.A.** 2018. Nest sites as a key resource for population persistence: A case study modelling nest occupancy under forestry practices. *PLoS ONE* 13: e0205404.
- Keeley, J., Bond, W., Bradstock, R., Pausas, J. & Rundel, P.** 2012. *Fire in mediterranean ecosystems: ecology, evolution and management*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Keitt, T.H., Bjarnstad, O.H., Dixon, P.M. & Citran-Pousty, S.** 2002. Accounting for spatial pattern when modeling organism–1316 environment interactions. *Ecography* 25: 616–625.
- Kenward, R.E.** 2006. *The Northern Goshawk*. London: Poyser.
- Kuuluvainen, T., Tahvonen, O. & Aakala, T.** 2012. Even-aged and uneven-aged forest management in boreal Fennoscandia: a review. *AMBIO* 41: 720–737.
- Londi, G., Cutini, S., Campedelli, T. & Tellini Florenzano, G.** 2013. Effects of landscape-scale factors on goshawk *Accipiter gentilis arrigonii* distribution in Sardinia. *Avocetta* 37: 21–26.
- López-López, P., de la Puente, J., Mellone, U., Bermejo, A. & Urios, V.** 2016. Spatial ecology and habitat use of adult Booted Eagles (*Aquila pennata*) during the breeding season: implications for conservation. *J. Ornithol.* 157: 981–993.
- Mañosa S.** 1991. *Biologia tròfica, ús de l' hàbitat i biologia de la reproducció de l' àstor Accipiter gentilis (Linnaeus, 1758) a La Segarra*. Tesi Doctoral, Departament de Biologia Animal. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Mañosa, S., Cirera, M. & Estrada, V.** 2004. Astor *Accipiter gentilis*. In Estrada, J., Pedrocchi, V., Brotons, L. & Herrando, S. (eds.): *Atlas dels Ocells Nidificants de Catalunya, 1999-2002*. Pp. 172–173. Barcelona: ICO/Lynx Edicions.
- Martín, B. & Ferrer, M.** 2013. Assessing biodiversity distribution using diurnal raptors in Andalusia, southern Spain. *Ardeola* 60: 15–28.
- Martínez, J.E.** 2016. Spatio-temporal variations in mortality causes of two migratory forest raptors in Spain. *Eur. J. Wildlife Res.* 62: 109–118.
- Mazón, J.** 2008. Alguns trets climàtics del massís del Garraf. In *V Trobada d'Estudiosos del Garraf*. Pp. 169–174. Barcelona: Diputació de Barcelona.
- Newton, I.** 1979. *Population Ecology of Raptors*. London: Poyser.
- Ozaki, K., Isonoyama, K., Kawahara, T. Iida, S., Kudo, T. & Fukuyama, K.** 2006. A mechanistic approach to evaluation of umbrella species as conservation surrogates. *Conserv. Biol.* 20: 1507–1515.

- Panareda, J.M.** 1986. *Descobrim Garraf*. Col·lecció Pau Vila nº6. Diputació de Barcelona. Institut de Ciències de l'Educació. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Penteriani, V.** 1999. Dawn and morning Goshawk courtship vocalizations as a method for detecting nest sites. *J. Wildlife Manage.* 63: 511–516.
- Penteriani, V., Faivre, B., Mazuc, J. & Cézilly, F.** 2002. Pre-laying vocal activity as a signal of male and nest stand quality in goshawks. *Ethol. Ecol. Evol.* 14: 9–17.
- Penteriani, V. & Faivre, B.** 1997. Breeding density and nest site selection in a Goshawk *Accipiter gentilis* population of the Central Apennines (Abruzzo, Italy). *Bird Study* 44: 136–145.
- Penteriani, V. & Faivre, B.** 2001. Effects of harvesting timber stands on goshawk nesting in two European areas. *Biol. Conserv.* 101: 211–216.
- Pérez-García, J.M., Sebastián-González, E., Botella, F. & Sánchez-Zapata, J.A.** 2016. Selecting indicator species of infrastructure impacts using network analysis and biological traits: bird electrocution and power lines. *Ecol. Indic.* 60: 428–433.
- Perhans, K., Glöde, D., Gilbertsson, J., Persson, A. & Gustafsson, L.** 2011. Fine-scale conservation planning outside of reserves: Cost-effective selection of retention patches at final harvest. *Ecol. Econ.* 70: 771–777.
- Poirazidis, K., Goutner, V., Tsachalidis, E. & Kati, V.** 2007. Comparison of nest site selection patterns of different sympatric raptor species as a tool for their conservation. *Anim. Biodivers. Conserv.* 30: 131–145.
- QGIS Development Team.** 2018. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team.** 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Regos, A., Domínguez, J., Gil-Tena, A., Brotons, L., Ninyerola, M. & Pons, X.** 2016. Rural abandoned landscapes and bird assemblages: winners and losers in the rewinding of a marginal mountain area (NW Spain). *Regional Environ. Change* 16: 199–211
- Regos, A., D'Amen, M., Titeux, N., Herrando, S., Guisan, A. & Brotons, L.** 2016. Predicting the future effectiveness of protected areas for bird conservation in Mediterranean ecosystems under climate change and novel fire regime scenarios. *Divers. Distrib.* 22: 83–96.
- Reich, R.M., Joy, S.M. & Reynolds, R.T.** 2004. Predicting the location of northern goshawk nests: modeling the spatial dependency between nest locations and forest structure. *Ecol. Model.* 176: 109–133.
- Riera, J.** 2003. Evolució del paisatge vegetal del Parc del Garraf en els darrers 100 anys. In *IV Trobada d'Estudiosos del Garraf*. Pp. 59–63. Barcelona: Diputació de Barcelona.
- Ringle, Christian M., Wende, S. & Becker, J.-M.** 2015. *SmartPLS 3*. Bönningstedt: SmartPLS. <http://www.smartpls.com>
- Roberge, J.M. & Angelstam P.** 2004. Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool. *Conserv. Biol.* 18: 76–85.
- Schober, P., Boer, C. & Schwarte, L.A.** 2018. Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesth. Analg.* 126: 1763–1768.
- Sergio, F., Pedrini, P. & Marchesi, L.** 2003. Adaptive selection of foraging and nesting habitat by Black Kites (*Milvus migrans*) and its implications for conservation: a multi-scale approach. *Biol. Conserv.* 112: 351–362.
- Sergio, F., Marchesi, L. & Pedrini, P.** 2004. Integrating individual habitat choices and regional distribution of a biodiversity indicator and top predator. *J. Biogeogr.* 31: 619–628.
- Sergio, F., Newton, I. & Marchesi, L.** 2005. Top predators and biodiversity. *Nature* 436: 192.
- Sergio, F., Newton, I., Marchesi, L. & Pedrini, P.** 2006. Ecologically justified charisma: preservation of top predators delivers biodiversity conservation. *J. Appl. Ecol.* 43: 1049–1055.
- Sergio, F., Caro, T., Brown, D., Clucas, B., Hunter, J., Ketchum, J., McHugh, K. & Hiraldo, F.** 2008. Top predators as conservation tools: ecological rationale, assumptions and efficacy. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 39: 1–19.
- Simberloff, D.** 1998. Flagships, umbrellas, and keystones: is single-species management passé in the landscape era? *Biol. Conserv.* 83: 247–257.
- Tapia, L., Regos, A., Gil-Carrera, A. & Domínguez, J.** 2018. Assessing the temporal transferability of raptor distribution models: Implications for conservation. *Bird Conserv. Int.* 28: 375–389.
- Vallejo, R.** 2013. Els Grans Incendis Forestals a la Conca Mediterrània. *Punt Ambiental* 11, abril – juny.
- Widén, P.** 1997. How, and why, is the goshawk (*Accipiter gentilis*) affected by modern forest management in Fennoscandia. *J. Raptor Res.* 31: 107–113.