



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

MONTSERRAT GUÀRDIA CARBONELL

GRAU EN GEOGRAFIA

TUTOR: Dr. XAVIER ÚBEDA

L'IMPACTE DEL CANVI CLIMÀTIC EN ELS OCELLS

TREBALL FINAL DE GRAU

2015 - 2016



Delta de l'Ebre, Gener 2015

L'IMPACTE DEL CANVI CLIMÀTIC EN ELS OCELLS

ÍNDIX

RESUM.....	7
ABSTRACT.....	7
AGRAÏMENTS.....	8
1. INTRODUCCIÓ I MOTIVACIÓ	9
2. OBJECTE D'ESTUDI.....	10
3. OBJECTIUS	15
4. MARC CONCEPTUAL.....	16
4.1 Com està canviant el clima?	16
4.2. Indicadors del canvi climàtic : els ocells.....	26
5. METODOLOGIA.....	28
6. ESTAT DE LA QÜESTIÓ - RESULTATS	29
6.1. La migració.....	29
6.2. La posta d'ous.....	40
6.3. La distribució.....	51
7. CONSIDERACIONS FINALS	70
8. FONTS BIBLIOGRÀFIQUES.....	74

9. ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1. Canvis en la temperatura mitja en superfície i precipitació mitja.....	17
Figura 2. Concentració de diòxid de carboni a l'Observatori de Mauna Loa (Hawaii) el novembre del 2015.....	19
Figura 3. Emissions antropogèniques anuals de GEI totals per grups de gasos, 1970-2010.....	20
Figura 4. Emissions de gasos d'efecte hivernacle per sectors econòmics.....	21
Figura 5. Descomposició del canvi en les emissions anuals totals de CO ₂ procedents de la crema de combustibles fòssils per decennis.....	22
Figura 6. Imatge de mastegatxex (<i>Ficedula hypoleuca</i>).....	33
Figura 7. Data mitjana de pas migratori primaveral a Menorca.....	34
Figura 8. Imatge del mosquiter xiulaire (<i>Phylloscopus sibilatrix</i>).....	36
Figura 9. Imatge de la bosquerola cua-roja (<i>Setophaga ruticilla</i>).....	37
Figura 10. Taula – resum dels impactes del canvi climàtic en la migració i els canvis provocats.....	39
Figura 11. Models de resposta als canvis en la posta d'ous.....	42
Figura 12. Tendències en la data de posta d'ous de 25 poblacions de mastegatxex i papamosques de collar.....	43
Figura 13. La reproducció de les poblacions mediterrànies de mastegatxex (<i>Ficedula hypoleuca</i>).....	46
Figura 14. Primera i mitjana data de posta del somorgollaire alablanc a l'illa de Cooper.....	47
Figura 15. Canvis en la posta d'ous de 68 espècies d'ocells.....	50
Figura 16. Canvis en la temperatura i en la distribució septentrional dels ocells.....	53
Figura 17. Comparació dels canvis en la temperatura i en la distribució septentrional dels ocells.....	54
Figura 18. Àrea de distribució actual i futura de la bosqueta vulgar (<i>Hippolais polyglotta</i>).....	56
Figura 19. Àrea de distribució actual i futura de la tallareta cuallarga (<i>Sylvia unadata</i>).....	56
Figura 20. Àrea de distribució actual i futura de la perdiu d'Escandinàvia (<i>Lagopus lagopus</i>).....	57
Figura 21. Canvis en l'àrea de distribució a Europa.....	58
Figura 22. Canvis en l'àrea de distribució del gafarró (<i>Serinus serinus</i>).....	59
Figura 23. Canvis en l'àrea de distribució del picot garser siríac (<i>Dendrocopos syriacus</i>).....	60
Figura 24. Solapament dels rangs actuals amb els rangs futurs a final del segle XXI de 10 espècies endèmiques d'Europa.....	62
Figura 25. Pèrdua neta i bruta dels ocells migradors neotropicals dels Estats Units.....	63
Figura 26. Pèrdua neta i bruta dels ocells migradors neotropicals dels Estats Units.....	64

RESUM

El canvi climàtic es considera avui en dia un dels principals problemes mediambientals a què s'afronta la humanitat, i no només a aquesta sinó que s'espera que també sigui la nova principal amenaça a la qual s'afrontarà la biodiversitat. Els ocells han servit com a indicadors fiables dels canvis ambientals durant segles i indiquen que el canvi climàtic ha posat en marxa una cadena de gran abast dels efectes en els ecosistemes a tot el món. El comportament dels ocells, en molts casos, està canviant en resposta al canvi climàtic, però a una velocitat diferent a la d'altres espècies clau i dels esdeveniments naturals dels quals depenen per completar el seu cicle de vida. Amb un clima més variable, els ocells des de l'Àrtic fins l'Antàrtida ja estan responnent a aquests canvis. Per tant, existeix una creixent evidència que el canvi climàtic afecta el cicle vital dels ocells. En l'àmbit internacional hi ha un ampli ventall d'articles científics que estudien amb profunditat les implicacions del canvi climàtic sobre els ocells d'arreu del món. No existeix una tècnica o metodologia universal, així doncs, trobem que en molts dels casos, els articles, llibres o documents de referència empen mètodes diferents.

ABSTRACT

Climate change is considered today one of the major environmental problems facing humanity, not only this one but also it is expected to be the new main threat to biodiversity which will face. Birds have been able to show as reliable indicators of environmental changes over the centuries and they indicate that climate change has set in motion a powerful chain of effects in ecosystems worldwide. The behavior of birds, in many cases, is changing in response to climate change, but at a different speed than the other key species and natural events on which they depend to complete its life cycles. With a variable climate birds from the Arctic to Antarctica are already responding to these changes. Therefore, there is a growing evidence that climate change affects the life cycle of birds. Internationally, there is a wide range of scientific papers studying deeply the implications of climate change on birds worldwide. There is no universal method or technique, so we find that in many cases, the reference articles, books or documents use different methods.

AGRAÏMENTS

Voldria agrair al Dr. Xavier Úbeda, tutor del present Treball Final de Grau, la paciència, el recolzament i el guiatge durant tot el procés d'elaboració del treball. Per tot això i, sobretot, per la tranquil·litat que m'ha transmès en tot moment, li dono especialment les gràcies.

També vull agrair als amics i familiars el suport incondicional d'aquests mesos. Amb ells al costat, el camí ha estat més planer.

1. INTRODUCCIÓ I MOTIVACIÓ

Han estat nombrosos els estudis que s'han fet sobre la capacitat de càrrega del planeta, amb uns resultats molt desiguals sobre el número d'humans que podem habitar la Terra sota unes condicions de vida raonables. Aquestes xifres, però, superen amb escreix la població mundial actual ja que la població humana del planeta ja supera els 7 mil milions d'habitants. És evident que existeixen uns límits físics que deriven de la pròpia finitud del planeta i dels seus recursos, però si a aquest fet se li uneix una constant generació de residus i d' emissions contaminants, és lògic pensar que la petjada humana en el sistema natural de la Terra, arriba a una escala global.

El 2009 vint-i-nou científics de diferents especialitats publiquen un article titulat: *Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity* (Rockström et al, 2009) on s'estableixen 9 problemes ambientals del planeta amb uns límits que, sobrepassats, produirien canvis abruptes o irreversibles, posant en risc la vida i a la humanitat. Tots ells són problemes causats per l'acció humana però de caràcter biofísic o ambiental, és a dir, parlem de problemes biofísics. Aquests 9 problemes són l'acidificació dels oceans, el forat d'ozó estratosfèric, els canvis en els cicles globals del fòsfor i nitrogen, la càrrega d'aerosol atmosfèric, l'ús d'aigua dolça, els canvis d'usos del sòl, la contaminació química, la pèrdua de biodiversitat i el canvi climàtic. Tots aquests problemes formen part del ja conegut canvi global, el qual el Dr. Martín Vide defineix com "aquells processos que comporten alteracions substancials del sistema natural a escala planetària, fruit de les accions antròpiques recents o actuals".

Actualment, s'entenen el terme de canvi global i el de canvi climàtic com a sinònims, però aquest darrer forma part del canvi global tal i com s'ha descrit anteriorment. El canvi climàtic és un dels processos de canvi global que està tenint més ressò en el món de la investigació, de tal manera que, segons molts investigadors, s'està considerant com la major amenaça a la qual s'enfronta la humanitat els propers anys, ja sigui per l'afectació en les condicions de vida dels humans com en les de la biodiversitat. És per això que aquest treball es centrarà exclusivament en el canvi climàtic.

El clima mundial ha evolucionat sempre de forma natural, però existeixen proves convincents obtingudes arreu del món que revelen que actualment hi ha en marxa un nou tipus de canvi climàtic, que posa en perill la composició, la capacitat de recuperació i la productivitat dels ecosistemes naturals i el desenvolupament econòmic i social, la salut i benestar de la humanitat (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2011). En les darreres dècades s'ha detectat una tendència a l'alça de les temperatures globals al planeta. Segons les conclusions del Panel Intergovernamental sobre Canvi Climàtic (IPCC a partir d'ara) de les Nacions Unides, aquest

increment es pot xifrar en un augment de 0,65°C en els darrers 50 anys amb un increment substancial a partir dels anys 80 (IPCC 2007). Una de les principals causes d'aquest canvi de tendència en les temperatures a nivell global ha estat l'augment de la concentració dels gasos d'efecte hivernacle, principalment el diòxid de carboni i el metà. Si ens fixem en el cas de l'augment de la concentració de diòxid de carboni a l'atmosfera, aquest es deu al gran desenvolupament de la societat industrial, i que per tant, aquest canvi en la temperatura global va lligada de l'acció de l'home. A tot això, també s'esperen canvis en la quantitat i la freqüència de les precipitacions, la freqüència d'esdeveniments climàtics extrems, i una pujada del nivell de la mar (Hayhoe et al., 2004, IPCC 2007).

Hi ha un ampli consens científic que el canvi climàtic ja ha tingut un impacte generalitzat en la biodiversitat (IPCC, 2001), especialment per a les aus (Crick, 2004; Chambers et al, 2005; Leech i Crick, 2007; Wormworth i Mallon, 2007), i que és un factor cada vegada més important per la pèrdua de diversitat biològica (UNEP¹, 2006). El clima és una de les bases sobre les quals es sustenta la dinàmica poblacional dels ocells, i les implicacions del canvi climàtic sobre aquest grup d'animals comença a tractar-se a fons (Humphrey et al. 2004). Com a resultat, els estudis sobre els ocells són cada vegada majors per tal de poder comprendre la resposta de les seves poblacions a aquests canvis (Sanz 2002, Winkler et al. 2002, 2004 Crick, Both et al. 2006, Rodenhouse et al. 2008). Els impactes significatius ja en curs inclouen canvis en la distribució de les espècies, mides de població, el moment de la migració o reproducció, i augment dels brots de plagues i malalties (Reid et al, 2005).

Donades aquestes evidències, en aquest treball ens hem plantejat la següent pregunta: *de quina manera està afectant el canvi climàtic en els ocells dels diferents hàbitats del planeta?*

El coneixement en aquest camp està avançant ràpidament. Se sap més sobre ocells que qualsevol altra classe d'animals (Berthold et al., 2004), i de tots els grups de plantes i animals, l'anàlisi científica dels probables impactes futurs del canvi climàtic és més desenvolupada per a les aus (DEFRA², 2005). Els ocells proporcionen alguns dels exemples més clars d'impactes ja en marxa (Birdlife, 2004a). Cal dir, però, que aquesta investigació és detallada a Europa i Amèrica del Nord, amb molts menys estudis d'Àsia i l'hemisferi sud (Moller et al., 2004). Els científics veuen en els ocells uns immillorables indicadors biològics del canvi climàtic ja que ofereixen, principalment, dos avantatges: en primer lloc, que són el grup d'animals més extensament conegut (Wormworth et al, 2011), i segon, es compta amb la col·laboració de milions d'observadors, la qual cosa contribueix a tenir una font de dades extensa (Kinzelbach, 1995;

¹ UNEP: United Nations Environment Programme

² DEFRA: Department for Environment, Food & Rural Affairs

www.ebird.org; www.worldbirds.org). Donat aquest gran valor de bioindicador que se'ls atorga, juntament amb la meua creixent afició cap als ocells, han fet que el treball es focalitzés cap a aquesta direcció. La consciència ambiental i respecte vers la natura i, especialment, els animals, més la voluntat de voler intentar investigar quins són els canvis que estan patint els nostres ecosistemes m'han encoratjat a escollir una temàtica d'aquestes característiques.

Aquesta recerca no només pot proporcionar-nos un recull d'informació sobre els efectes del canvi climàtic en els ocells sinó que, indirectament, també resulta ser una manera eficaç d'esbrinar de quina manera el canvi climàtic amenaça els diferents ecosistemes d'arreu del planeta.

2. OBJECTE D'ESTUDI

La temàtica general del present treball són els ocells, considerats uns excel·lents indicadors biològics de la conservació dels ecosistemes i de la bona salut de l'entorn. Actualment, es considera l'estat de les poblacions silvestres d'ocells com un índex de la qualitat de vida en un territori. L'oficina estadística europea, l'Eurostat³, inclou el seguiment de les poblacions d'ocells entre els índexs més importants per mesurar la sostenibilitat i el benestar social. L'Índex d'Aus Comunes o *Common Bird Index*, és un dels referents principals del *Sustainable Development Indicator* de l'Eurostat, que situa l'estat de les poblacions d'aus silvestres al mateix nivell que altres factors d'estudi com poden ser el consum d'energia, l'esperança de vida o bé, el nivell de treball. Si aquests resultats s'agrupen es poden generar indicadors de qualitat ambiental d'un hàbitat o d'un procés biològic. Aquests bioindicadors tenen el mateix paper en el medi natural que un termòmetre en un malalt. El termòmetre mesura si una persona està malalta i en quin grau hi està afectat, i el bioindicador ens permet determinar quins canvis es produeixen en el medi natural i en quina mesura ho estan fent. A nivell europeu, els seguiments d'ocells i la posterior generació d'indicadors s'han anat implantant a la majoria de països i els seus resultats es tracten de manera conjunta per tal de determinar les tendències dels ocells a Europa.

Els ocells són un mecanisme reconegut per valorar la diversitat i la integritat dels ecosistemes a nivell global. La seva presència en tots els hàbitats, desplaçant-se d'un medi a un altre i responent de forma ràpida als canvis o a les alteracions del seu medi físic, fan d'aquests animals un grup ben conegut i estudiat. És per això que són un bon testimoni de la salut dels ecosistemes.

Els ocells no escapen els factors limitants de cada hàbitat, per tant, les diferents espècies d'ocells es distribueixen pels diferents ambients del planeta segons el clima que sustenta un o altre hàbitat. A nivell global trobem 10 tipus de biomes, en els quals podem trobar-hi nombroses espècies d'ocells diferents per a cada un d'ells, i on l'actual procés de canvi climàtic pot influir de diferent manera sobre ells. Cal suposar que davant el panorama general d'escalfament del planeta, els ambients eurosiberians i alpins que depenen de climes freds i plujosos patirien una retirada, tot reduint la seva extensió, mentre que els ambients mediterranis, més adaptats a la calor i la sequedat podrien colonitzar els espais en els quals les espècies i els ambients propis d'hàbitats eurosiberians ja no podrien prosperar. Cal tenir molt

³ Eurostat: Oficina estadística de la Comissió Europea, que produeix dades sobre la Unió Europea (UE) i promou l'harmonització dels mètodes estadístics dels estats membres.

present, però, que les capacitats d'expansió de les espècies pot ser insuficient per arribar a les àrees de clima favorable.

Birdlife International, l'associació no governamental més gran del món dedicada a la conservació de la natura, i més concretament dels ocells i dels seus hàbitats, ha elaborat un llistat de les àrees més importants per a les aus en tot el món, conegudes com a IBA (*Important Bird and Biodiversity Areas*). Nombrosos estudis estimen que a les IBA es troben fins el 80% de la resta de biodiversitat mundial. És a dir, els ocells es comporten com un paraigües de protecció per a la resta dels éssers vius. En aquest sentit, doncs, conservant les àrees d'especial importància per a les aus també ho estem fent per a la resta d'ordres biològics.

Cal, però, fer una ullada a la dinàmica general d'aquest tipus d'animals. Podem trobar varis grups d'ocells en quant a la seva fenologia, que és amb el que es centrarà bona part d'aquest treball.

Aquelles espècies les quals viuen tot l'any en un territori concret, sense manifestar cap tipus de conducta migratòria, són ocells residents o sedentaris, com pot ser el cas dels pardals o les merles. Existeixen unes altres espècies que migren buscant estacions més càlides (primavera i estiu), aquests són els anomenats migradors estivals, casos com els de les orenetes o l'àguila marcenca en són exemples. Els migradors estivals es poden dividir en dos grups: els de "llarga distància", viatgen d'un hemisferi a l'altre; i de "curta distància", els que fan viatges més curts, per exemple del sud al nord d'Europa. D'altra banda, existeixen els migradors hivernals, que són aquells que migren buscant hiverns o tardors en què la temperatura és més freda. En aquest darrer grup podem trobar-hi gran part de les aus aquàtiques. D'aquesta forma, existeixen dos èpoques predominants de desplaçaments, una durant el període comprès entre el febrer i l'abril i l'altre entre el juliol i l'octubre, adelantant-se o retrassant-se depenent del cicle de vida de cada espècie i de com varia el temps cada any.

La migració que molts ocells emprenen és un acte que suposa un canvi de residència temporal. Per tant, la dinàmica general és la següent: els ocells crien durant els mesos de primavera i principis d'estiu, aprofitant la bonança climàtica i la plenitud de recursos naturals per tirar endavant les seves nidades, número del qual varia segons cada espècie. En finalitzar l'època estival, una part variable d'aquestes espècies es desplaça majoritàriament cap a l'hemisferi sud on passaran els mesos de tardor i hivern, més suaus en aquestes latituds meridionals que a l'hemisferi nord. Amb l'arribada altre cop de la primavera, aquestes aus tornen a les seves àrees de reproducció. El cicle es repeteix anualment amb certa regularitat tant pel que fa a les rutes de vol seguides com en les espècies que les executen i les dates elegides, si bé el nombre d'efectius sí que pot variar en major o menor mesura d'unes temporades a altres en funció de

factors com l'estatus de conservació propi de cada espècie o el temps que hagi regnant durant l'any.

No obstant, encara que pugui semblar que és l'arribada del fred l'element que condiona el canvi de residència, tan sols és cert d'una forma indirecta ja que els canvis estacionals en el règim de temperatura i precipitacions porten intrínsecament un canvi en la disponibilitat de recursos alimentaris a la natura. Doncs, això obliga a determinades espècies haver de desplaçar-se en major o menor magnitud a territoris alternatius en els que l'hivern sigui més benèvol i els proporcionen els recursos suficients per viure fins la primavera següent.

3. OBJECTIUS I HIPÒTESI

El canvi climàtic podria afectar notablement el cicle de vida dels ocells d'arreu del planeta. De totes maneres, poden haver-hi espècies que en pateixin més les conseqüències degut a que algunes d'elles, especialment les migradores, estan exposades a una dependència major de diversitat d'hàbitats i recursos que necessiten per fer efectiva la seva dinàmica vital. Els diferents processos que duen a terme els ocells es podrien veure alterats per les implicacions que pugui comportar el canvi climàtic, tot canviant o ajustant els patrons d'aquests processos a la nova realitat climàtica.

Així doncs, l'objectiu general del present treball és realitzar un **estat de la qüestió sobre l'impacte del canvi climàtic a les poblacions d'ocells** dels diferents hàbitats de la superfície terrestre a través de la compilació d'articles d'investigació sobre el tema. Pretén proporcionar una visió global de l'amenaça climàtica als ocells. Per assolir aquest objectiu general és necessari establir diversos objectius específics, i que es presenten a continuació:

- Com afectarà en els processos de la dinàmica dels ocells el canvi climàtic.
- Detectar quins són els grups d'ocells més vulnerables al canvi climàtic.
- Detectar quins són els territoris més vulnerables de ser afectats pel canvi climàtic.

4. MARC CONCEPTUAL

4.1. COM ESTÀ CANVIANT EL CLIMA?

Els canvis graduals del clima, constants en la història de la Terra i causats per vàries raons com poden ser alteracions de l'activitat solar o bé modificacions de la composició de l'atmosfera, acostumen a necessitar centenars o milers d'anys per a fer-se apreciables. D'ençà que els humans poble el planeta se n'han produït alguns, amb grans trasbalsos per a la humanitat. No hem assistit a cap episodi de canvi climàtic sever durant els dos darrers mil·lennis coincidint amb l'expansió de la humanitat per tot el planeta, però actualment assistim al començament d'un nou canvi climàtic, fruit d'un escalfament global, que pot tenir considerables proporcions i pot alterar seriosament els patrons d'ocupació i explotació dels recursos planetaris. Així doncs, podem definir el canvi climàtic com la modificació de les condicions climàtiques generals de la Terra, considerades en el seu conjunt i al llarg de molts anys (Ramon Folch, 2008).

Fa 10 anys que l'autoritat científica líder de les Nacions Unides sobre l'escalfament global, el Panell Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic (IPCC), va afirmar que hi va haver una "influència humana discernible sobre el clima global" (IPCC, 1996). Des de llavors, l'evidència del canvi climàtic s'ha tornat cada vegada més evident. Durant el segle passat, l'escalfament global mitjà va ser de 0,8°C (Hansen et al ., 2005), per tant, ens trobem en que el món està en les primeres etapes del canvi climàtic antropogènic.

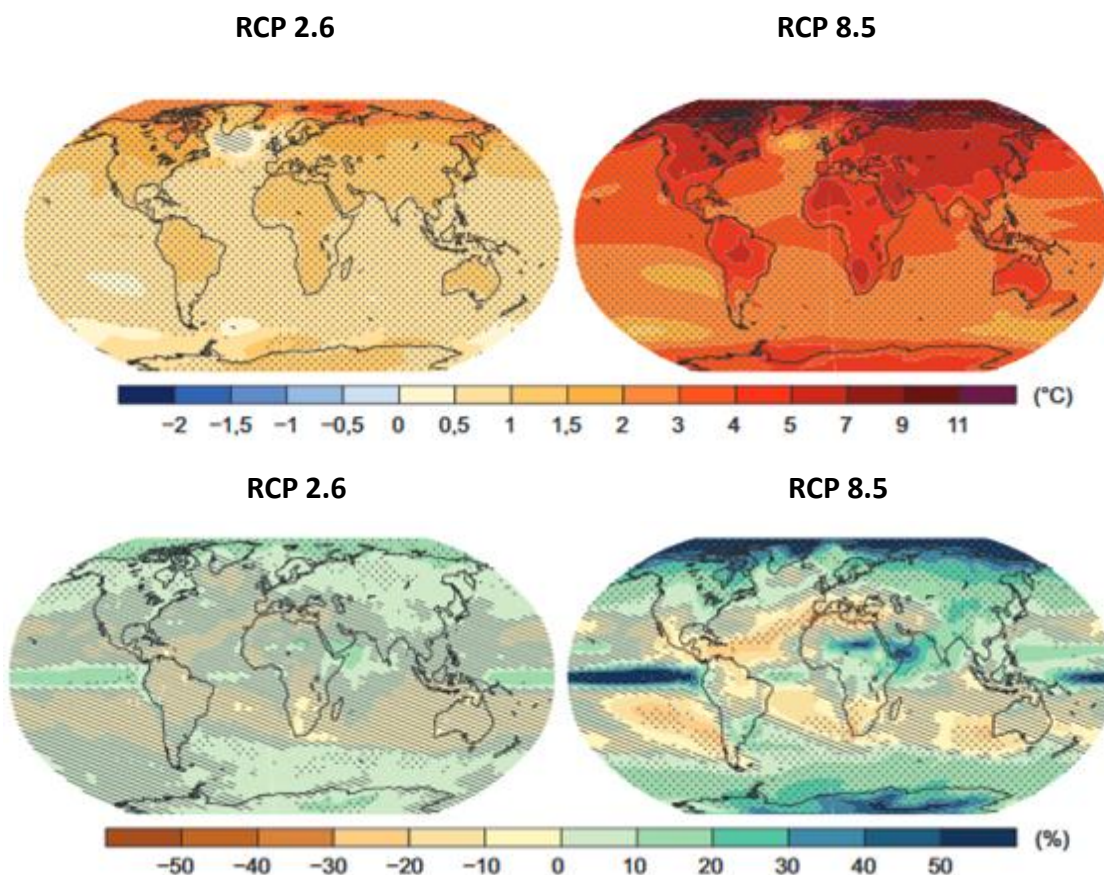
Els efectes sobre els ecosistemes són ja clarament visibles, des dels pols als tròpics , i des del nivell de les espècies fins a comunitats senceres. Els models pronostiquen que és probable que per a finals del segle XXI, la temperatura global en superfície sigui superior a 1,5°C a la del període entre 1850 i 1900 per tots els escenaris considerats de trajectòries de concentració representatives⁴ (RCP), excepte per un d'aquests escenaris (IPCC,2014).

En les següents figures s'hi representen dos models diferents que mostren els canvis projectats en la temperatura mitjana anual en superfície i en la precipitació mitja anual per al període 2081 – 2100. Aquests canvis són les diferències respecte la mitjana del període 1986 – 2005.

⁴ RCP: Trajectòries de Concentració Representatives (RCP, les sigles en anglès), són 4 nous escenaris d'emissió definits al cinquè Informe de l'IPCC. Aquestes, es caracteritzen pel seu Forçament Radiatiu (FR) total per a l'any 2100 que oscil·la entre 2,6 i 8,5 W/m².

Les dues trajectòries presentades comprenen un escenari en el qual els esforços de mitigació condueixen a un forçament radiatiu molt baix (RCP2.6) i un escenari amb un nivell d'emissions GEI⁵ molt alt (RCP8.5).

Figura 1: Canvis en la temperatura mitja en superfície i precipitació mitja (1986-2005 a 2081-2100)



Font: IPCC, 2014

Els canvis que es produiran en el cicle global de l'aigua, en resposta a l'escalfament durant el segle XXI, no seran uniformes. S'accentuarà el contrast en les precipitacions entre les regions humides i seques i entre les estacions humides i seques, tenint en compte les excepcions regionals.

Segons l'UNEP, l'avaluació dels ecosistemes del mil·lenni afirma que "el balanç de l'evidència científica suggereix que hi haurà un impacte negatiu significatiu en els serveis dels ecosistemes a tot el món si la temperatura global mitjana de la superfície augmenta més de 2°C per sobre dels nivells preindustrials" (Reid et al ., 2005). Més concretament, pel que fa als ocells, en un futur l'escalfament global també afectarà les aus indirectament a través de l'elevació del nivell del mar, canvis en la vegetació o pel canvi d'usos en el sòl. Amb una duplicació del CO₂

⁵ GEI: gasos d'efecte hivernacle

atmosfèric , el canvi climàtic podria eventualment destruir o alterar fonamentalment el 35% dels hàbitats terrestres existents al món (WWF⁶, 2000).

Així doncs, el canvi climàtic global afecta tots els grups d'organismes canviant la dinàmica dels ecosistemes. Per això, però, cal saber el perquè d'aquest abast mundial.

El nostre planeta està cobert per l'atmosfera, on hi ha una varietat de gasos que exerceixen un efecte d'hivernacle, és a dir, absorbeixen i reemetem la radiació infraroja. Això fa que part d'aquesta radiació no s'escapi de la Terra i permet que la temperatura mitjana de l'aire superficial del planeta es mantingui al voltant dels 15°C, una temperatura apropiada per a la vida. Aquest efecte d'hivernacle, doncs, és un fenomen natural de l'atmosfera. Els principals gasos d'efecte hivernacle (GEI) són el vapor d'aigua (H₂O), el diòxid de carboni (CO₂), el metà (CH₄), òxid nítrós (N₂O), ozó (O₃), clorofluorocarbonis (CFC) i altres compostos halogenats. Els quatre primers es troben de forma natural a la composició de l'atmosfera però es poden veure incrementats els seus valors degut a l'activitat humana. L'activitat industrial, en cremar combustibles fòssils, desprèn grans quantitats de diòxid de carboni i òxid de nitrogen. El metà es genera com a resultat de l'activitat agrícola i ramadera. Els halocarbons són d'origen antropogènic i es van començar a fabricar a partir dels anys quaranta.

El problema actual és que la quantitat d'aquests gasos naturals amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera ha augmentat en els darrers anys, i a més, s'hi ha abocat gasos amb efecte d'hivernacle no presents de forma natural a l'atmosfera. A mesura que incrementa la concentració d'aquests gasos, la radiació infraroja és absorbida a l'atmosfera i reemesa en totes direccions, la qual cosa contribueix que la temperatura mitjana de la Terra augmenti. Per tant, aquest canvi posa en perill la composició, la capacitat de recuperació i la productivitat dels ecosistemes naturals i el mateix desenvolupament econòmic i social, la salut i el benestar de la humanitat. Aquesta addició de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera és la més forta influència de les activitats humanes sobre el clima. Doncs, podem parlar que la singularitat d'aquest nou fenomen és que és causat per l'activitat humana, sobretot per la crema de combustibles fòssils (Ramon Folch, 2008).

Les emissions antropogèniques de gasos d'efecte hivernacle totals han continuat en augment des del 1970 fins el 2010 i els majors augments decennals absoluts s'han produït al final d'aquest període (IPCC, 2014). Les emissions de gasos d'efecte hivernacle anuals augmentaren en un promig d'1,0 gigatona de diòxid de carboni equivalent (GtCO₂eq) (2,2%) per any entre el 2000 i el 2010, xifra que contrasta amb les 0,4 GtCO₂eq (1,3%) per any entre el 1970 i el 2000 (IPCC, 2014).

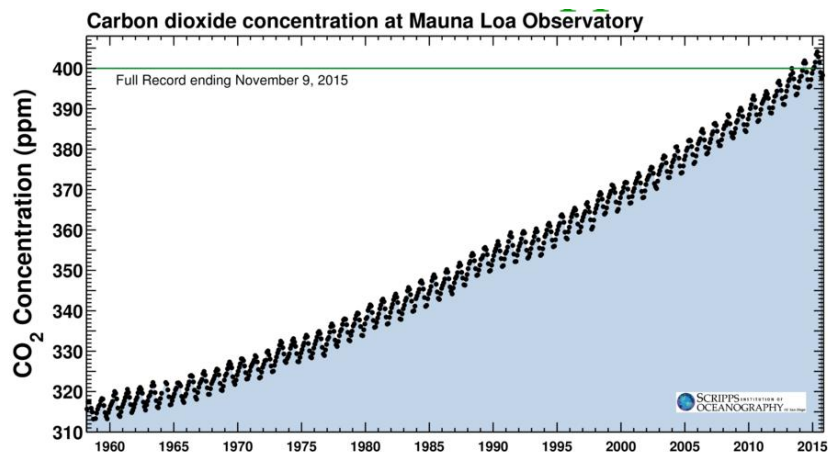
⁶ WWF: World Wildlife Fund

Les emissions de CO₂ procedents de la crema de combustibles fòssils i els processos industrials van contribuir al voltant del 78% de l'augment de les emissions de gasos d'efecte hivernacle del 1970 al 2010, i la contribució percentual per al període 2000-2010 va ser similar (IPCC, 2014).

Els gasos que exalten l'efecte hivernacle

Els dos gasos d'efecte hivernacle més influents són el diòxid de carboni i metà. El CO₂ a l'atmosfera ha augmentat des de les 280 parts per milió (ppm) l'any 1750 a superar les 400 ppm el 2015. Aquest augment de CO₂ es deu principalment a la crema de combustibles fòssils, combinat amb l'alliberament de CO₂ en la producció de ciment i també per mitjà de la desforestació i altres reduccions de biomassa vegetal. A més, des de l'any 2000, la fracció de CO₂ alliberat que s'absorbeix en els sistemes de terra i d'aigua ha disminuït. El diòxid de carboni és el més important dels gasos d'efecte hivernacle per al futur escalfament global a causa de la dificultat d'aturar la seva addició a l'atmosfera (George W. Cox).

Figura 2: Concentració de diòxid de carboni a l'Observatori de Mauna Loa (Hawaii) el novembre del 2015



Font: Co2.earth

D'altra banda, el metà és alliberat en la producció de petroli i la crema de biomassa, així com de remugants de bestiar, arrossars i altres aigües poc profundes, l'escalfament dels sediments marins i el desglaç del permafrost a les regions àrtiques. Les concentracions de CO₂ i metà són molt superiors als seus nivells naturals en els darrers 650.000 anys.

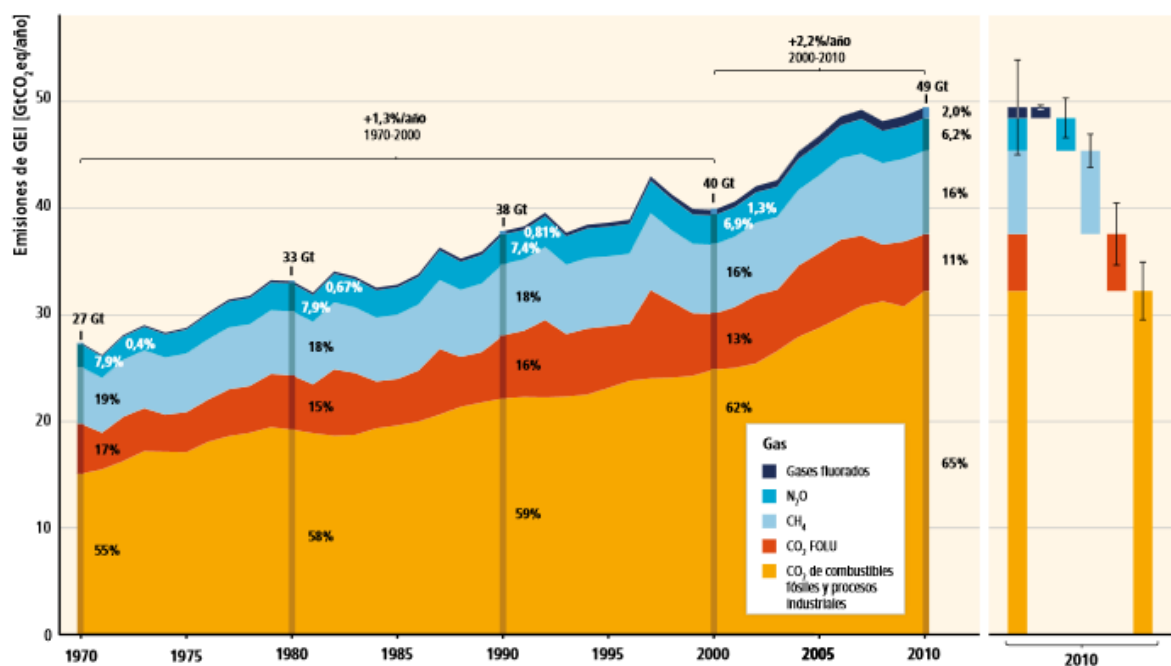
Altres gasos d'efecte hivernacle també han augmentat. L'òxid nítrós ha augmentat en un 15%, principalment a causa de l'acció dels bacteris desnitrificants en els fertilitzants de nitrogen i compostos nitrogenats naturals, i també per la crema de biomassa. L'ozó ha augmentat en

l'atmosfera baixa, en gran part com un producte fotoquímic de contaminants emesos pels motors de combustió interna.

Es parla que els diversos gasos d'efecte hivernacle persistiran a l'atmosfera durant un temps molt llarg, pel que la seva influència no es contraresta amb facilitat. L'activitat humana, però, també ha contribuït a l'alteració de la química atmosfèrica, incloent-hi l'afebliment de la capa d'ozó estratosfèric.

De les 49 GtCO₂eq/any antropogèniques de GEI emeses el 2010, el CO₂ segueix sent el principal GEI antropogènic i representa el 76% del total de GEI antropogènic emès el 2010. El 16% prové del metà (CH₄), el 6,2% de l'òxid nitrós (N₂O) i el 2% de gasos fluorats (figura 1). Anualment des del 1970 al voltant del 25% de les emissions antropogèniques de GEI han sigut en format de gasos diferents del CO₂ (IPCC, 2014).

Figura 3: Emissions antropogèniques anuals de GEI totals per grups de gasos, 1970-2010

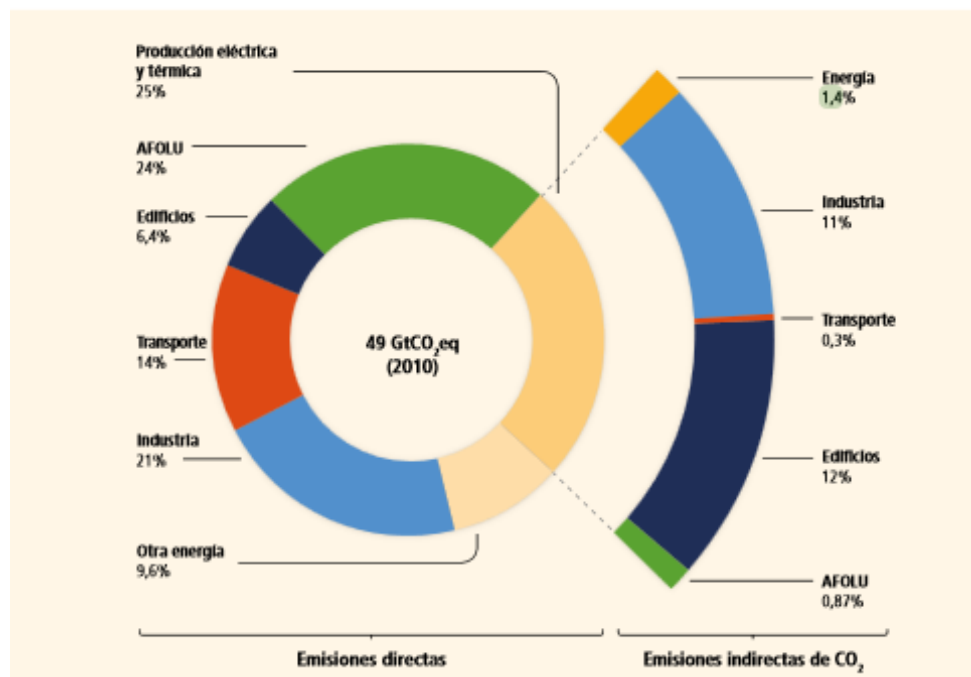


Font: IPCC, 2014

Al voltant de la meitat de les emissions antropogèniques acumulades de CO₂ entre 1750 i 2010 s'han produït en els darrers 40 anys. Aquestes emissions anuals han augmentat en 10 GtCO₂eq entre 2000 i 2010, augment que correspon de forma directa als sectors del subministrament d'energia (47%), la indústria (30%), el transport (11%) i els edificis (3%) (IPCC, 2014). Des del

2000 les emissions de GEI han anat en augment en tots els sectors, excepte en el e l'agricultura, silvicultura i altres usos del sòl (AFOLU⁷).

Figura 4: Emissions de gasos d'efecte hivernacle per sectors econòmics

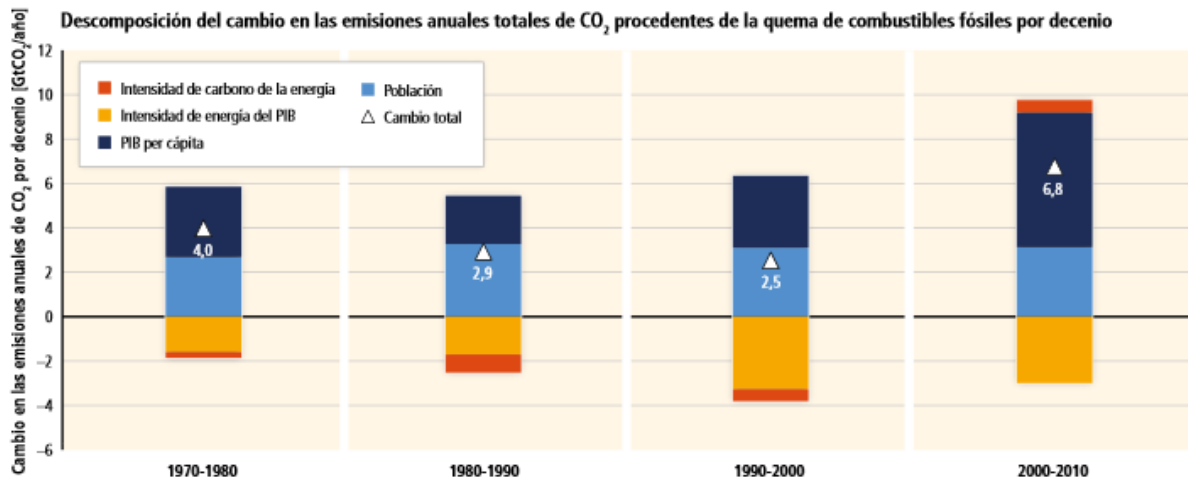


Font: IPCC, 2014

A nivell mundial, el creixement econòmic i el creixement demogràfic continuen sent els motors més importants dels augments en les emissions de CO₂ derivades de la crema de combustibles fòssils (IPCC, 2014). Si no es realitzen esforços addicionals per reduir les emissions de GEI a part de les eines ja desplegades actualment, es preveu que persisteixi el creixement de les emissions impulsat pel creixement de la població mundial i de les activitats econòmiques. En els escenaris de referència en que no es realitza una mitigació addicional s'experimenten augments en la temperatura mitja global en superfície el 2100 de 3,7°C a 4,8°C en comparació als nivells preindustrials. Els escenaris d'emissions recopilats per realitzar aquesta avaluació representen el forçament radiatiu total, inclosos els GEI, l'ozó troposfèric, els aerosols i el canvi de l'albedo. En els escenaris de referència (escenaris sense esforços addicionals explícits per limitar les emissions) se superen les 450 ppm de CO₂eq el 2030 i s'arriba a nivells de concentració de CO₂eq entre 750 i més de 1300 ppm de CO₂eq el 2100 (IPCC, 2014).

⁷ AFOLU: Agriculture, Forestry and Other Land Use

Figura 5: Descomposició del canvi en les emissions anuals totals de CO₂ procedents de la crema de combustibles fòssils per decenni



Font: IPCC, 2014

A continuació fem una ullada dels canvis que ja està comportant el canvi climàtic sobre els tres tipus d'ecosistemes que té el planeta: els ecosistemes terrestres, els d'aigua dolça i els marins.

Canvi climàtic i ecosistemes terrestres

La variació climàtica és més gran en els continents i en particular a l'hemisferi nord. L'escalfament climàtic a les latituds més altes és molt més gran respecte la mitjana global. A Alaska, a l'oest de Canadà i l'est de Rússia, la temperatura mitjana ha augmentat 3-4°C en l'últim mig segle, més del doble de la mitjana mundial. Aquest escalfament a les altes latituds ha alterat la dinàmica dels ecosistemes. El desglaç de primavera de la tundra de l'Àrtic d'Amèrica del Nord i Euràsia s'ha avançat entre 2-3,3 dies per dècada des de la dècada de 1960. Això ha provocat que les condicions adequades per a la cria de moltes aus siguin favorables abans de temps. Estudis recents també mostren un augment de les precipitacions en latituds altes, la qual cosa contribueix a l'augment de cabal dels rius a l'oceà Àrtic.

Per altra banda, l'escalfament és major a la regió mediterrània, el nord-est d'Europa, i les regions de muntanya. L'augment de les temperatures, la disminució de les precipitacions, i els freqüents incendis forestals estant sent més característics a la regió Mediterrània.

Molt més al sud, la temperatura mitjana de les regions de bosc tropical humit a tot el món ha augmentat al voltant de 0.26°C per dècada des de 1976. A la regió amazònica, s'estima que l'escalfament total hagi estat de 3.3°C durant el passat segle. Des de principis de la dècada de

1970, les precipitacions han disminuït i l'estació seca s'ha intensificat al nord-est de l'Amazònia, probablement relacionat amb l'augment de la freqüència i intensitat de "El Niño"⁸. A l'Àfrica tropical la taxa mitjana d'increment ha estat de 0.26°C per dècada des de 1976. Als boscos tropicals africans és on trobem l'assecamment més greu respecte les altres regions dels tròpics, disminuint la precipitació en un 2,4% per dècada.

A la regió africana del Sahel, les tendències futures són incertes, però alguns models suggereixen que l'escalfament de l'Oceà Atlàntic Nord pot dur a monsons més forts a la regió a partir de la segona meitat d'aquest segle.

Pel que fa a l'escalfament de l'hemisferi sud trobem que aquest, és una mica menor que el de l'hemisferi nord. Austràlia ha vist un augment al voltant d'1°C la temperatura mitjana anual des de 1910, identificant el major increment a partir de 1980.

Al Sud d'Àfrica, els models climàtics globals prediuen un augment d'entre 2 - 4°C amb una duplicació del CO₂ atmosfèric.

Les illes del Pacífic ja han experimentat canvis climàtics considerables. Per exemple, a Oahu, a Hawaii, la temperatura mitjana ha augmentat 2,4°C i la precipitació ha disminuït aproximadament 20% en els últims 90-100 anys. Les projeccions dels models climàtics suggereixen temperatures a Hawaii que podrien augmentar un 1,7°C respecte la mitjana, encara que els canvis en la precipitació són incerts.

On sí que el canvi climàtic ha afectat dramàticament és a l'Antàrtida. La Península Antàrtica es va escalfar aproximadament entre 2,6-3°C entre 1945 i 1997. De totes maneres, gran part de l'Antàrtida Occidental sí que ha vist un increment en la seva temperatura, però per altra banda, parts de l'Antàrtida oriental, aparentment, han experimentat un significatiu refredament.

Canvi climàtic i ecosistemes d'aigua dolça

En les zones temperades i a l'Àrtic d'Amèrica del Nord, l'escalfament climàtic ja està causant canvis significatius en la dinàmica dels llacs, rierols i les zones humides com els aiguamolls, utilitzats per nombroses aus aquàtiques migratòries.

⁸ El Niño: conegut en el món científic com a ENSO (*El Niño-Southern Oscillation* El Niño-Oscil·lació del Sud) és un fenomen meteorològic de l'Oceà Pacífic. Provoca estralls a escala mundial afectant a Amèrica del Sud, Indonèsia i Austràlia. És un fenomen explicat pel moviment de rotació terrestre i, en conseqüència, pel desplaçament de les mareas de l'hemisferi nord a l'hemisferi sud, sempre dintre de la zona intertropical.

Les temperatures més càlides i una estació més llarga lliure de gel han augmentat les pèrdues per evaporació i transpiració en uns 90 mil·límetres durant un període de 20 anys. En algunes parts del nord d'Estats Units, els llacs que anteriorment presentaven un curt període de cobertura de gel tendeixen a completament a estar lliures de gel. L'escalfament de les conques dels llacs estan reduint el flux d'entrada d'aigua i també de nutrients, amb la qual cosa també hi ha una reducció en la sortida. Com a resultat, la química dels llacs estan canviant, amb una acumulació de ions, com ara el sodi i el clorur, i per tant, estan experimentant un canvi cap a una major alcalinitat d'aquestes zones d'aigua dolça.

Les zones de muntanya, tant a l'hemisferi nord com al sud, també estan experimentant canvis en el clima. La majoria de les glaceres a l'oest d'Amèrica del Nord van perdre entre el 10 i el 50% del gel durant els últims tres decennis del segle XX. L'aigua d'aquestes glaceres alimenta els rierols de muntanya, pel que la seva pèrdua donarà lloc a cabals reduïts. En general, les precipitacions en forma de neu sobre les muntanyes han disminuït. A més, aquest major escalfament provoca que el desgel a les zones de muntanya s'avanci i això faci que els majors cabals es trobin a principis d'any. Pel que fa a les regions muntanyoses del nord d'Amèrica del Sud, aquestes han patit un escalfament aproximadament de 0,33°C per dècada des de mitjans de la dècada de 1970, i les glaceres a Colòmbia, Equador i Perú retrocedeixen ràpidament.

Canvi climàtic i ecosistemes marins

Gran part dels ambients marins a tot el món pateixen l'impacte del canvi climàtic. Algunes de les alteracions d'aquest canvi més notable són l'augment del nivell del mar i la fusió de les capes de gel.

Augment del nivell del mar

Entre els anys 1900 i 2000, el nivell del mar va augmentar dels 10 als 20 centímetres. L'expansió tèrmica va representar aproximadament la meitat d'aquest augment, a causa de l'augment de l'entrada d'aigua de la fusió del gel.

Estudis recents de satèl·lit indiquen que la taxa ha augmentat, de manera que entre 1993 i 2003 el nivell del mar es va elevar 3,1 centímetres. Gran part del recent augment del nivell del mar sembla ser a causa d'un augment en l'aigua de desglaç glacial i la descàrrega de la Groenlàndia i les capes de gel de l'Antàrtida. Les descàrregues de gel de Groenlàndia i de l'Antàrtida impliquen una acceleració anual d'augment del nivell del mar d'uns 0,17 mil·límetres. Per tant, els estudis anteriors poden haver subestimat substancialment la contribució de la fusió del gel de Groenlàndia a l'augment del nivell del mar.

La capa de gel de l'Antàrtida també està contribuint a l'augment del nivell del mar, en particular a través de fusió i la descàrrega de les glaceres a l'Antàrtida Occidental i la Península Antàrtica.

A l'Oceà Àrtic el gel ha disminuït en àrea i espessor. Des de 1978, la superfície mitjana de gel marí ha disminuït al voltant de 2,7% per dècada. L'aprimament en el grossor i la retirada de la de gel està donant lloc a canvis importants en els ecosistemes pelàgics i costaners, així com en les distribucions d'aus marines.

L'escalfament de l'oceà

Pel que fa a l'escalfament de l'oceà, els oceans del món, des de la superfície fins a una profunditat de 300 metres, s'han escalfat 0,31°C des de mitjans del segle passat. L'escalfament és dramàtic a les aigües superficials del mar del Nord, on la temperatura de l'aigua ha augmentat 0,6°C des de la dècada de 1960. Les aigües profundes s'han escalfat en alguns llocs, com al Mar de Labrador i a l'Oceà Atlàntic Nord. A l'Oceà Antàrtic, les aigües de la corrent Circumpolar Antàrtica també s'han escalfat sobre 0,17°C a profunditats de 700 a 1100 metres des de 1950.

L'escalfament dels oceans tropicals també s'associa amb una major freqüència d'huracans d'alta intensitat, els de les categories 4 i 5.

L'escalfament dels oceans pot afectar els invertebrats i els peixos dels quals depenen les aus marines, i les poblacions d'un nombre d'aus marines migratòries.

L'acidificació dels oceans

Al voltant d'un quart de CO₂ antropogènic entra als oceans, contribuint a una acidificació de l'aigua. Com a resultat, el pH dels oceans ha caigut aproximadament 0,1 unitats de pH en els últims decennis. Si continuen les emissions de CO₂ tal i com es projecten, una caiguda d'entre 0,3-0,5 en el pH sembla ser probable per a l'any 2100. A més, si els nivells de CO₂ a l'atmosfera són superiors a les 500 ppm, és probable que això afecti als esculls de coral i les seves biotes. Segons alguns investigadors, alguns esculls ja poden estar patint aquests canvis.

A l'Oceà Àrtic, l'acidificació i la fosa del gel marí estan reduint la disponibilitat d'ions carbonat per al plàncton, crustacis i peixos.

En resum, l'augment dels gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera està provocant canvis climàtics globals en tots els àmbits del planeta: als ecosistemes continentals, als d'aigua dolça i als oceans.

L'escalfament global ja és significatiu a totes les latituds, trobant que els canvis en el clima són actualment més profunds a les latituds altes. Les regions àrtiques i antàrtiques, llar de centenars d'espècies marines migratòries, d'aigua dolça, i aus terrestres, senten més intensament els efectes de l'alteració humana a l'atmosfera. En conjunt, aquests canvis es noten més notablement a l'hemisferi nord, on moltes espècies d'aus mostren un patró de migració estacional. No obstant això, fins i tot als tròpics, els canvis substancials també s'estan notant.

4.2. ELS OCELLS COM A BIOINDICADORS

Un indicador biològic o bioindicador és una mesura d'un paràmetre que és massa efímer o difícil tècnicament o pràcticament per mesurar i capturar directament (Landres et al. 1988).

Hi ha múltiples raons per pensar que les aus poden actuar com a indicadors de biodiversitat raonables perquè hem de tenir en compte que són sensibles als canvis ambientals, tant aquells modificats per l'home com els naturals (Gregory et al., 2010). Especialment són uns indicadors pioners del canvi climàtic ja que són altament sensibles a canvis en el clima i el temps (Berthold et al., 2004). L'escalfament global comporta canvis en la temperatura, la humitat i la precipitació, l'existència d'un clima més extrem i en general un clima més variable, des de l'Àrtic fins a l'Antàrtida, i les aus ja estan responen a aquests canvis.

Podríem definir tres principals raons per les quals els ocells són uns bons bioindicadors:

Els ocells conformen un grup que es troba a tot arreu i que colonitza tota mena d'ambients. Això fa que es puguin tirar endavant estudis per avaluar els canvis ambientals dels diferents ambients del planeta (ecco.cat⁹). Per tant, es tracta d'un grup molt estès arreu del planeta, divers i mòbil.

La segona raó per la qual són uns bons indicadors és per una combinació de la seva gran capacitat de desplaçament i el gran nombre d'estratègies que utilitzen per poder fer front a les seves necessitats, per exemple, com trobar menjar o un lloc per criar. Aquestes dues característiques juntes fan que els ocells responguin més ràpidament que altres grups biològics als canvis que es donen en el medi i que, per tant, el seguiment de les poblacions any rere any permet veure canvis en molt poc temps (ecco.cat).

El darrer motiu és que els ocells són un grup relativament fàcil d'identificar, afegint que hi ha molta gent que és capaç de fer-ho. El recompte de les dades és relativament barat de recollir,

⁹ Ecco.cat: Servidor d'Informació sobre els efectes del canvi climàtic en els ocells i els seus hàbitats

especialment quan aquests recomptes són realitzats per voluntaris amb coneixements ornitològics. A més gran part d'aquesta gent està disposada a participar en programes de seguiment sota uns estàndards científics mínims. Això fa que es pugui aprofitar el treball del voluntariat per obtenir moltes dades que, degudament analitzades, ens mostrin els canvis globals i com les espècies hi responen.

Per tant, els ocells poden actuar com una excel·lent eina de comunicació per donar a conèixer qüestions de diversitat biològica en una forma que molts altres tàxons no poden (Gregory et al., 2010).

5. METODOLOGIA

La metodologia del present treball s'ha dut a terme mitjançant una recerca d'informació en articles científics i en llibres de la temàtica a tractar, el canvi climàtic en els ocells. Els articles científics extrets de revistes científiques s'han pogut utilitzar arran de la plataforma de consultes d'articles i llibres científics i documents electrònics com *Sciencedirect* o el *Recercador* de la Universitat de Barcelona.

Els tres llibres amb els quals principalment es basa el treball són: *Effects of climate change on birds* dels autors A. P. Møller, Wolfgang Fiedler, P. Berthold; *Birds and climate change* de John F. Burton; i finalment, *Bird migration and global change* de George W. Cox.

Primerament s'ha fet una recerca d'articles científics per saber quines són les qüestions més tractades pel canvi climàtic. Per tant, s'han delimitat uns ítems a estudiar i d'aquesta manera es centra l'estudi. Aquests ítems han estat: la migració, la posta d'ous i la distribució de les comunitats d'ocells.

A partir d'aquí s'ha fet una selecció dels articles científics d'interès segons el tema que tractaven i un buidatge de la informació presa dels articles seleccionats. Posteriorment s'ha classificat la informació obtinguda en les diferents temàtiques que s'han seleccionat prèviament.

Aquesta recerca d'informació permet fer un retrat sobre quines són les aportacions, les corrents d'opinió i d'estudi que s'han anat fent fins a dia d'avui a nivell internacional. Per tant, en el present treball es posa sobre la taula algunes qüestions de les que s'han anat dient sobre l'afectació que pot tenir o estar tenint el canvi climàtic sobre les poblacions d'ocells arreu del planeta. És a dir, es presenten les principals tendències del cycle vital dels ocells així com també presentar resultats de com aquest procés de canvi global pot afectar en un futur als ocells.

La metodologia utilitzada ha permès fer un retrat de quin és l'escenari actual i quin paper tan important pot jugar el canvi climàtic no només sobre les poblacions d'ocells sinó com aquest pot afectar els ecosistemes del planeta.

6. ESTAT DE LA QÜESTIÓ - RESULTATS

6.1. LA MIGRACIÓ

La migració es considera com el viatge de retorn dels individus que tenen una separació entre la seva àrea de cria i la seva àrea no reproductiva (Moller et al., 2010). Per tant, una de les estratègies vitals dels ocells consisteix a viatjar a indrets diferents segons l'època de l'any per poder estar en el lloc que dona més recursos cada estació.

El 84% de les espècies d'aus que figuren a la Convenció sobre la Conservació de les Espècies Migratòries (CMS) s'enfronten a amenaces derivades del canvi climàtic. De fet, l'amenaça del canvi climàtic per als ocells migradors s'ha atribuït igual a la suma de la combinació de totes les altres amenaces d'origen humà (DEFRA, 2005). Aquest alt nivell d'amenaça es deu al fet que el canvi climàtic pot afectar aquests ocells en aquells territoris on passen l'hivern, al llarg de les seves rutes migratòries i en els seus llocs de cria (Aloha et al., 2004). De fet, estan exposats al risc climàtic de cada hàbitat que utilitzen al llarg de la seva ruta de migració, i l'efecte total podria ser catastròfic (Huntley et al., 2006).

A partir de dades històriques sabem que el temps en les migracions han anat variant, amb el principi bàsic que en anys amb primaveres càlides els migradors arriben abans i viceversa. En general, la migració primaveral de les aus es considera més important que la migració de tardor, ja que determina el seu temps d'arribada fins als llocs de cria, el que al seu torn és fonamental per a l'aparellament i l'elecció del territori. El nombre d'ocells a la primavera també afecta directament la mida de la població reproductora (DEFRA, 2005). Segons alguns autors, el període de migració primaveral i de tardor poden estar relacionats, així que si la migració primaveral s'avança també pot fer-ho la de tardor, tot i que no sempre és així. Aquest sembla ser el cas d'alguns migradors individuals de llarga distància (Jenni and Kery, 2003; Sokolov et al., 1999; Van Buskirk et al., 2009).

Els ocells migradors de llarga distància no semblen respondre al canvi climàtic (desplaçant el seu calendari de migració) tan ràpidament com els migradors de curta distància (Crick, 2004; Mills, 2005; Tryjanowski, 2002). De totes maneres, s'espera que el canvi climàtic faci els ocells migradors de llarga distància més vulnerables que els de curta distància a causa del gran risc per al primer de desajust entre l'arribada a les zones de cria amb el període de major disponibilitat d'aliments. D'altra banda, els migradors de llarga distància sovint depenen de pocs llocs on parar durant la seva ruta, utilitzant-los també com una tàctica per guiar-los a les àrees d'alimentació d'alta qualitat. No obstant això, alguns d'aquests territoris es poden deteriorar a causa de la sequera i la vegetació pot desplaçar-se. A la vista de tals

imprevisibilitats, els ocells que fan vols llargs amb poques aturades serien més vulnerables que els que emigren fent curtes distàncies (Bairlein i Hüppop, 2004).

En aquest aspecte, en molts estudis es demostra com s'està avançant la migració a la primavera, però també, en alguns casos, ho està fent la migració a la tardor. Les dates de la marxa des de la seva àrea de cria també sembla que estigui canviant, però aquest efecte és més difícil de controlar (Crick, 2004). Aquesta resposta al canvi climàtic també sembla ser més variable en algunes espècies que avancen i altres posposen la seva migració de tardor. Aquestes diferències semblen reflectir la importància relativa de les temporades d'estiu i hivern en la realització de cicles de vida de les aus (Lehikoinen et al., 2004). Els individus migradors intenten seleccionar les condicions favorables del vol: que no hi hagi vent de cara, el cel més o menys clar, i sense pluja (Newton, 2008). Una proporció de l'avançament de l'arribada pot ser degut a condicions de vol més favorables durant la migració (Sinelschikova et al., 2007).

El fet d'avançar o retardar l'arribada pot semblar un fet irrellevant però la realitat és que pot tenir implicacions importants en l'èxit de la reproducció d'algunes espècies. Cal assenyalar que molts migradors de llarga distància alimenten els seus polls bàsicament d'insectes i, molt particularment, d'erugues. Estudis recents apunten a que els insectes també es veuen afectats pel canvi i, en el cas de les erugues, s'ha detectat que els seus nombres màxims es donen abans. Si els ocells que s'alimenten d'elles no arriben quan hi ha aquest màxim, tenen problemes per alimentar els polls i, per tant, la seva descendència és menor. A llarg termini aquest procés fa que les poblacions d'aquests ocells disminueixin de manera clara.

Tal i com s'ha comentat la migració és una de les estratègies de la dinàmica vital dels ocells més importants. L'obtenció d'aliments per a les reserves de greix, per abans i durant el viatge, és important perquè la migració és energèticament costosa (Bairlein i Hüppop, 2004). S'espera que els migradors individuals optimitzin el temps, l'energia i/o la seguretat (Newton, 2008), perquè el temps de tot el cicle migratori sigui beneficiós pels individus.

Alguns investigadors sostenen que la pressió de la selecció del passat podria haver promogut un temps molt estable en la migració a causa de les conseqüències reproductives severes d'arribar massa d'hora o massa tard als territoris on cria (Coppack i Both, 2002). Genèticament parlant, això significa que els migradors de llarga distància podrien no tenir la capacitat de canviar el moment de la migració (Coppack i Both, 2002. D'acord amb Pullido i Widmar (2005), "si això fos cert, la capacitat d'adaptació de les aus migratòries de llarga distància seria limitat, el que explicaria la vulnerabilitat d'aquest grup d'aus als canvis ambientals."

Tampoc no s'ha d'obviar que algunes espècies sotmeses a una disminució de la població poden arribar a ser cada vegada més difícils d'observar i, per tant, és probable que es registrin gradualment més tard (Tryjanowski et al., 2002). Tampoc cal deixar de banda que la predicció de les respostes individuals de les diferents espècies als nous canvis en l'hàbitat en les rutes de migració que abasten el planeta és difícil i es veu obstaculitzada per la incertesa en els models i la manca d'estudis detallats (Bairlein i Hüppop, 2004).

Hi ha una evidència aclaparadora en els estudis publicats que suggereixen que la migració està avançant. No obstant això, hi ha una gran variació entre els estudis i fins i tot entre espècies dins d'un sol estudi.

La migració a Europa

Els migradors de llarga distància entre l'oest de l'ecozone del Paleàrtic occidental i l'Àfrica són els que s'enfronten als reptes més especials: travessen el Sàhara i naveguen a través o al voltant de la mar Mediterrània. La capacitat d'aquestes espècies per adaptar-se al canvi climàtic en les seves àrees de cria i on passen l'hivern, així com al llarg de les seves rutes de migració, és crucial per a la seva supervivència. L'ajust de patrons de migració per assegurar l'arribada a les zones de reproducció en el moment òptim per a la cria és potser el factor més crític. Per tant, aquests migradors de llarga distància estan enfrontats a les dificultats d'adaptació als canvis climàtics en les seves zones d'hivernada, al llarg de les seves rutes migratòries, i a les zones de cria. Això correspon a aquelles aus d'Europa que fan la ruta migratòria entre Àfrica i Europa occidental. Doncs, aquestes sembla que seran les qui patiran les conseqüències més greus del canvi climàtic. Això es deu al fet que el sud d'Espanya, el nord d'Àfrica i la regió africana del Sahel, que són els llocs més importants on els ocells fan escala en la seva ruta migratòria, s'han de sotmetre als canvis més greus, és a dir, a la desertificació o a la conversió d'hàbitats més secs. Per exemple, la taxa anual de la desertificació al Sahel és de 80.000 km² per any (o un 0,5%) (Bairlein i Hüppop, 2004). Això vol dir que els ocells migradors possiblement hagin de creuar hàbitats més hostils, amb àrees on fer escala cada vegada més petites i més espaciades entre elles per a fer front a condicions idònies per a aquestes espècies. Aquests canvis en el règim hídric és l'amenaça més generalitzada que a la qual s'enfronten les espècies migratòries (DEFRA, 2005). "D'aquesta manera sorgeixen preguntes si els ocells migradors procedents d'Europa són capaços d'adaptar-se a aquests canvis", segons Bairlein i Hüppop (2004). Això és de gran preocupació si el canvi climàtic fa que la distància entre les zones reproductives i les no reproductives augmenten, tal i com els models indiquen així serà en el cas per moltes de les espècies migradores entre Europa i Àfrica (Huntley et al., 2006).

El moment de la migració de llarga distància ha canviat en molts casos. Moltes espècies migradores que es reproduïxen al Paleàrtic occidental han tendit a arribar més d'hora a la primavera durant l'última part del segle XX i els primers anys del segle XXI. Aquesta tendència sembla haver augmentat en les últimes dècades.

L'anàlisi de més de dues dotzenes d'estudis a tota Euràsia mostra, en primer lloc, que la data d'arribada dels primer ocells migradors es van avançar una mitjana de 0.373 dies/any (3,73 dies per dècada) cap al final del segle XX, en relació amb l'escalfament climàtic. Això inclou els ocells de Noruega, Rússia, Finlàndia, Estònia, Dinamarca, Lituània, França, Polònia, Alemanya i Gran Bretanya (Lehikoinen et al., 2004).

A Europa els migradors de curta distància estan arribant clarament substancialment abans en moltes de les localitats que quan ho feien fa 50 o 100 anys. Aquest patró es mostra per un anàlisi de tendències de les migracions de primavera per 44 localitats en la major part d'Europa, des del sud d'Itàlia al nord de Noruega, i des d'Anglaterra fins a l'oest de Rússia, durant el període 1960 – 2006. Per 104 espècies migratòries de curta distància, les primeres dates d'arribada tendien a avançar-se sobre 5,6 dies per dècada, considerant que la data mitjana de migració del conjunt de les aus migratòries s'avançà uns 2,1 dies per dècada.

Al Regne Unit, on hi ha dècades de registres extensos, tres estudis han trobat que entre el 26% i el 72% de les espècies d'ocells migradors registrats han arribat abans en la migració primaveral, amb dates d'arribada de fins a dues setmanes abans en les últimes dues o tres dècades (DEFRA, 2005).

A l'istme de Curlàndia, a l'est del mar Bàltic, 11 dels 14 migradors de curta distància van avançar la seva data d'arribada durant un període de 44 anys. Per un d'ells, el **tord comú** (*Turdus philomelos*), l'arribada primerenca sembla estar afavorida per les condicions més càlides allà on passa l'hivern, a la península Ibèrica, i també per l'augment de la freqüència de vents favorables durant els vols primaverals cap a la regió del Bàltic. Tres espècies van mostrar correlacions significatives amb la calor i condicions de primavera humides relacionades amb la fase positiva de la Oscil·lació Atlàntica del Nord (NAO). Finalment, en dos d'aquestes tres espècies també es van mostrar arribades primerenques correlacionades simplement amb un clima càlid a la primavera a la regió del Bàltic.

Els patrons són una mica diferents a les zones septentrionals d'Europa i a l'est de Rússia. A prop de Tromsø, al nord de Noruega, per exemple, durant el període 1970-2000, els migradors de curta distància tendeixen a arribar més d'hora en els anys amb temperatures més càlides a la primavera. No obstant això, no existeix una tendència progressiva d'arribada primerenca en els últims anys totalment evident. Tot i que les arribades, de fet, van ser influïdes per les

temperatures de primavera en diferents anys, cap tendència d'escalfament progressiva era evident en aquesta regió.

D'altra banda, en un estudi fet a rapinyaires, a Oxfordshire (Anglaterra), el **falcó mostatxut** (*Falco subbuteo*) no ha canviat la seva data d'arribada a la migració de la primavera, però sí que ha retardat la seva marxa a la tardor al voltant de 2 setmanes durant el període 1971 – 2000.

Un altre cas concret, és el del **mastegatxex** (*Ficedula hypoleuca*), que presenta un cas interessant, el qual el patró de la seva migració primaveral aparentment varia al llarg d'Europa. Les aus que es reproduïxen a l'Europa occidental i central mostren patrons de migració primerencs en comparació a aquelles que crieu a l'est i al nord d'Europa. Als Països Baixos i, pel que sembla, a Espanya i en altres zones d'Europa occidental, analitzant la mitjana de les dates d'arribada a la primavera d'aquest ocell des de 1969 no ha mostrat un avançament.



Figura 6: Imatge de mastegatxex (*Ficedula hypoleuca*)

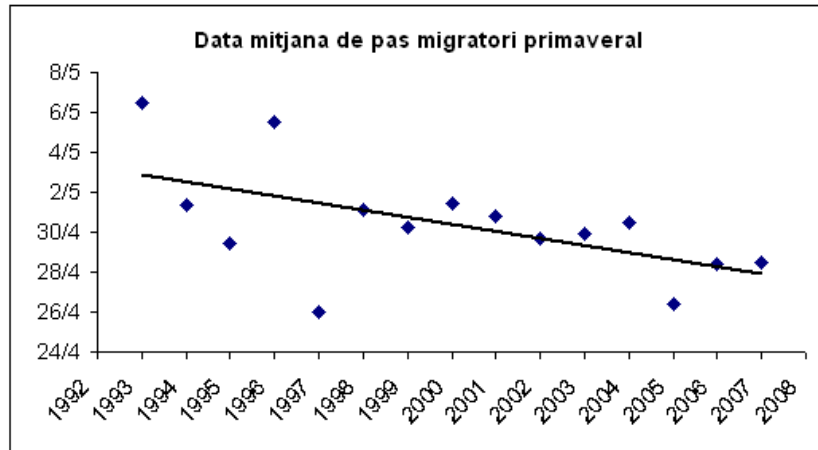
Font: The Internet Bird Collection

Els ocells mascles, però, arriben a principis d'any quan es troben temperatures més càlides en els llocs on fan parada al nord d'Àfrica i en les seves àrees de nidificació als Països Baixos. Més cap a l'est i al nord, però, les aus han avançat la seva arribada a la primavera. La migració a la primavera a Helgoland, una petita illa del mar del Nord, presentava una arribada més d'hora, al voltant d'una setmana abans, al 2000 en comparació al 1960, i l'arribada de les aus a l'illa de Christiansø, a l'istme de Curlàndia, ha esdevingut significativament més primerenca. Les arribades a la primavera en aquestes àrees també es correlacionen amb l'Oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO), que tendeixen a donar arribades més primerenques després d'hiverns càlids i humits. Les aus que no han avançat les seves arribades són les que durant la seva migració no troben temperatures càlides, mentre que aquells que sí que les han avançat es troben amb temperatures més favorables i, en conseqüència, poden accelerar els seus viatges migratoris.

Als Països Catalans, l'actual procés d'escalfament global està produint que l'estació freda tingui menys durada i sigui menys rigorosa que temps enrere i sembla que els ocells estan canviant la seva estratègia de migració per adaptar-se a la nova situació. Les dades obtingudes

de primeres arribades en 3 illes de la mediterrània occidental (Columbrets, Cabrera i illa de l'Aire a Menorca) han donat com a resultat que, en conjunt, les espècies migradores que retornen a Europa a la primavera han avançat el seu retorn 3,5 dies cada 10 anys (ecco.cat).

Figura 7: Data mitjana de pas migratori primaveral a Menorca



Font: Servidor d'Informació sobre els efectes del canvi climàtic en els ocells i els seus hàbitats

D'altra banda, amb la migració de tardor, tenim varis exemples que no mostren un resultat homogeni.

Alguns dels migradors de llarga distància han tendit a retardar la seva migració de tardor a l'oest de l'ecozone del Paleàrtic. Doncs, moltes de les espècies estan passant més temps a les seves àrees de cria durant l'estiu. De totes maneres, un estudi revela que almenys sis espècies no han experimentat canvis en aquesta migració.

Els ocells que passen l'hivern al sud del Sàhara han avançat la migració de tardor una mitjana de 2,5 dies en els últims 40 anys, possiblement perquè puguin creuar el Sahel abans que el període sec estacional arribi. Per contra, els ocells migradors que passen l'hivern al nord del Sàhara han retardat el pas de la tardor a 3,4 dies de mitjana durant el mateix període (Jenni i Kery, 2003).

Canviant d'àrea d'estudi, als Alps suïssos es va fer una comparació de les dates de pas migratori a la tardor de 65 espècies durant tres períodes: 1958-1969, 1970-1982 i 1988-1999. Aquesta anàlisi va mostrar que es retarda la seva migració almenys alguns graus. La majoria dels pinsans i els tords havien retardat els seus temps de migració, mentre que els tallarols i els reietons les havien avançat. En tots aquests casos són migradors de curta distància.

La migració a Nord-Amèrica

Si ens centrem en l'anàlisi dels migradors del Neàrtic-neotropical, incloent les espècies que es reproduïxen a les zones temperades de les regions àrtiques i passen l'hivern al sud de Mèxic, Amèrica Central i Amèrica del Sud, trobem que el canvi climàtic està tenint una influència fortament marcada. Aquesta influència es centra sobre les condicions tant de les seves àrees reproductives com de les no reproductores, i també, en aquelles que travessa durant la seva migració, així com la modificació dels sistemes meteorològics importants que influeixen en el temps i l'eficiència dels moviments migratoris. Per tant, els migradors neotropicals de llarga distància han avançat les seves arribades de primavera a l'Amèrica del Nord en resposta a un clima més càlid a la primavera, però només lleugerament, i molt menys que les arribades primerenques mostrades pels migradors de curta distància. Els cicles climàtics de El Niño Southern Oscillation (ENSO), l'Oscil·lació del Pacífic (PDO), i l'Oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO) influeixen en els patrons de migració. Alguns migradors de llarga distància estan retardant la migració cap al sud a la tardor, altres avançant les seves sortides. Les condicions meteorològiques en les àrees hivernals també afecten la supervivència i el temps de migració cap al nord.

Al Centre de Conservació de Manomet, a Massachusetts, hi ha registrades les migracions de primavera que cobreixen el període 1970 - 2002. En aquest cas, a la primavera les temperatures van augmentar 1,5°C durant aquests anys. De 21 ocells neotropicals per als quals es disposa de bona informació, tan sols només 5 espècies van mostrar arribades primerenques significatives en les dates mitjanes de migració. L'arribada primerenca mitjana feta del promig d'aquestes cinc espècies és només d'una mica més d'1 dia per dècada. Alguns migradors neotropicals també van mostrar tendències d'arribades primerenques en primaveres càlides o durant La Niña¹⁰, quan les condicions relativament càlides prevalen al sud-est dels Estats Units. En general, però, hi va haver poca evidència d'una migració primerenca en les dates de migració per a les aus migratòries neotropicals.

Un conjunt de dades d'un període de 63 anys que registrava els primers albiraments de l'arribada primaveral de 96 espècies d'ocells al Canadà van revelar que 27 espècies arribaven abans alterant significativament les dates d'arribada. El motiu era perquè les temperatures mitjanes mensuals també van augmentar (0,6 - 3,8 °C). Tan sols 2 espècies de les 96 estudiades arribaven més tard. També al Canadà, al Delta del Marsh, a Manitoba, diferents

¹⁰ La Niña: és un fenomen climàtic amb la configuració atmosfèrica contrària a la d'El Niño. La Niña és el reforçament de la situació anticiclònica habitual a la costa americana del Pacífic al mateix temps que els vents alisis de l'est s'intensifiquen.

migradors de curta distància, com la la **tortoreta cuallarga** (*Zenaida macroura*), la **griva americana** (*Turdus migratorius*), la **Certhia americana**, la **merla cuada comuna** (*Quiscalus quiscula*) i l'**Haemorhous purpureus**, van mostrar tendències significatives per tenir arribades primerenques a la primavera durant el període 1939 - 2001. Molts altres, però, no ho van fer, però diverses d'aquestes espècies van demostrar tendències significatives en arribar més d'hora a la primavera en anys amb condicions primaverals més càlides.

Al llac Cayuga, a Nova York, i al comtat de Worcester, a Massachusetts, les primeres dates d'arribada de la primavera van ser registrades pels membres d'un club d'ocells durant gairebé un segle. Aquests resultats suggereixen que moltes espècies van arribar abans durant el període 1951 – 1993 en comparació amb el període 1903 - 1950. De mitjana, els migradors de curta distància van arribar 13 dies abans durant la segona meitat del segle passat, tot i que la temperatura mitjana de febrer a maig a Ithaca, Nova York i Boston, Massachusetts, semblava mostrar només un lleuger escalfament. Però també existeixen espècies que no varen avançar la seva arribada, en les quals s'inclou la família dels **víreònids**, dels **parúlids** i dels **passèrids**. Per tant, és possible que molts hagin respòs a canvis temporals significatius en quant a la disponibilitat de diversos tipus d'aliments durant la primavera. Pel que fa als migradors de llarga distància, tan sols van arribar només quatre dies abans (Butler, 2003).

En el cas dels rapinyaires, els patrons de migració també han canviat per alguns migradors de curta distància. Al comtat de Worcester, a Massachusetts, per exemple, l'**aura** (*Cathartes aura*) va avançar la seva arribada a la migració primaveral al voltant de 55 dies durant el període 1932-1993.

En casos concrets, podem fixar-nos amb el **mosquiter xiulaire** (*Phylloscopus sibilatrix*) i la **bosquerola cua-roja** (*Setophaga ruticilla*).

El **mosquiter xiulaire**, que no va mostrar cap tendència significativa a migrar més d'hora des de les seves àrees tropicals on passa l'hivern. D'acord amb Strode (2003), aquests resultats suggereixen que el canvi climàtic pot forçar algunes espècies migradores de llarga distància a separar-se dels seus recursos alimentaris que estan determinats per la temperatura durant la primavera.



Figura 8: Imatge del mosquiter xiulaire (*Phylloscopus sibilatrix*)

Font: The Internet Bird Collection

Per la **bosquerola cua-roja**, que passa l'hivern a Jamaica, les condicions climàtiques li afecten el subministrament d'aliments, l'engreix premigratori i la sortida cap al nord per fer la migració primaveral. Les precipitacions durant el període de gener a març determina la disponibilitat d'aliments d'insectes i la condició dels ocells que es preparen per a la migració. Com més gran sigui la seva massa corporal, abans podran emprendre el viatge cap al nord.



Figura 9: Imatge de la bosquerola cua-roja (Setophaga ruticilla)

Font: The Internet Bird Collection

Des del 1995 fins el 2005, les pluges de l'estació seca van disminuir substancialment, i les migracions cap al nord tendiren a retrassar-se. Les futures poques precipitacions de les zones tropicals on passen l'hivern els migradors nord-americans podrien alterar així el temps de migració de primavera, així com també la reducció de la supervivència en aquests territoris.

Fixant-nos en la migració de tardor, de les 13 espècies d'aus passeriformes d'Amèrica del Nord, sis espècies van retardar les seves dates de migració en relació amb l'escalfament global (Mills, 2005). A l'Observatori de Long Point Bird, al llarg d'Ontario, per exemple, els cinc migradors de curta distància per als quals es disposa de dades suficients tendien a mostrar una migració més tardana a la tardor entre 1975 i 2000.

La migració a l'hemisferi Sud

Els migradors terrestres d'aquestes regions estan gairebé totalment confinats a les mateixes àrees continentals, igual que els seus ajustos en el canvi climàtic. La consciència dels canvis en els patrons de migració han sorgit recentment en aquestes àrees, i la seva documentació és difícil a causa de l'escassetat de conjunts de dades a llarg termini que revelen les tendències.

A Austràlia, les dates d'arribada per 24 espècies van ser analitzades utilitzant dades que abasten un període de 40 anys. De mitjana, els ocells estan arribant 3,5 dies abans per dècada des de 1960. Aquests resultats, reportats per Beaumont et al. (2006), "afegeixen una prova més que l'escalfament experimentat durant les últimes dècades ha tingut efectes biològics significatius a escala global." En aquest mateix país, on l'escalfament climàtic és significatiu i ja ha aparegut, moltes espècies migradores del sud-est i del sud-oest han mostrat arribades

primerenques i retards en les seves sortides a la tardor. A la serra de les Snowy Mountains els migradors altitudinals han mostrat arribades més primerenques.

La migració a l'Antàrtida

Les aus marines antàrtiques de l'est, incloent els **pingüins d'Adèlia** (*Pygoscelis adeliae*), comuns a tota l'Antàrtida i les illes properes, i sis espècies de **petrells** de la família *Procellariidae*, arriben a les colònies una mitjana de 9,1 dies més tard que en la dècada de 1950. Altres ocells, estan arribant uns 30 dies més tard que la dècada de 1950. Els resultats s'han relacionat amb el canvi climàtic global que ha disminuït l'extensió del gel del mar en aquesta regió en el seu conjunt, però que en canvi ha causat un increment en la durada d'aquest gel marí de més de 40 dies a causa del refredament localitzat des de la dècada de 1970. Aquests canvis estan associats amb la disminució de krill, una espècie clau per a l'alimentació d'aquestes espècies. El retard en l'arribada de les aus i les dates de posta poden reflectir un temps d'alimentació més llarg per tal d'acumular reserves d'energia necessàries per criar (Barbraud i Weimerskirch, 2006).

A la següent taula-resum podem observar els principals impactes en la migració, tant a la primavera com a la tardor, dels territoris d'on s'ha extret informació. Cal tenir en compte que tan sols s'han classificat les àrees geogràfiques més grans.

Figura 10: Taula – resum dels impactes del canvi climàtic en la migració i els canvis provocats

ÀREA GEOGRÀFICA	CANVIS EN LA MIGRACIÓ	CAUSANT	FONT
Curlàndia	+	NAO+/càlid àrees no reproductives/ augment vents favorables	Miller-Rushing et al., 2008
Països Catalans	+	Primaveres càlides	Servidor d'Informació sobre els efectes del canvi climàtic en els ocells i els seus hàbitats
Canadà	+	Primaveres càlides	MacMynowsky et al., 2007
Estats Units (Manomet)	+	Primaveres càlides	
Estats Units (Cayuga i Worcester)	+	Escalfament en les temperatures	Butler, 2003
Estats Units (Cayuga i Worcester)	/		Butler, 2003
Estats Units (Ontario)	--	Escalfament global	Mills, 2005
Austràlia	+	Escalfament global	Beaumont et al. (2006)
Antàrtida	-	Escalfament global, disminució extension del gel, disminució krill	Barbraud i Weimerskirch, 2006

Font: Elaboració pròpia a partir de la informació extreta dels llibres i articles científics.

- + Arribada abans d'hora a la migració primaveral
- Retard en l'arribada a la migració primaveral
- Retard en la marxa a la migració de tardor
- / No hi ha canvi

6.2. LA POSTA D'OUS

Hi ha proves creixents d'estudis a llarg termini que les aus estan avançant la seva data de posta d'ous i que aquest fet està associat amb l'augment de les temperatures mitjanes (Moller et al, 2010). Estudis a llarg període han estudiat la data de la posta d'ous de 68 espècies. Durant aquests anys hi ha hagut un avançament significatiu en la posta d'ous d'un 59% de les espècies (40/68), i el 79% (53/67) han post els ous abans durant anys més càlids, almenys en un dels estudis. Aquests ocells estan avançant la seva posta d'ous en una mitjana de 0,13 dies per any, i 2,40 dies abans per cada grau centígrad més càlid (veure apèndix de l'apartat).

De fet, cada vegada és més evident que el moment de cria, el nombre i mida de les postes, la durada de l'atenció dels pares, i la supervivència estan integrats i responen de manera coordinada als factors ambientals, particularment a l'abundància relativa d'aliments (Both i Visser, 2005; McNamara et al., 2008). Amb l'avançament de l'època de cria, el canvi climàtic pot afectar altres aspectes de la reproducció com el nombre (Verboven et al., 2001) i la mida (Both i Visser, 2005) de les postes, o bé el comportament de la incubació (Cresswell i McCleery, 2003).

L'increment de les temperatures és un factor clau per entendre els resultats, però s'han de tenir en compte altres factors que poden influenciar sobre aquest procés de la dinàmica vital dels ocells. Per tant, tot i que una majoria dels ocells ponen els ous abans amb temperatures més càlides a la primavera (Dunn, 2004), existeixen altres factors que influencien l'inici de la cria incloent la precipitació (Skinner et al., 1998; Leitner et al., 2003; Rodríguez i Bustamante, 2003), l'abundància en aliments, la densitat de cria, el fotoperíode i les hormones (Dawson, 2008). Es dedueixen quines són les causes del canvi en l'època de reproducció, però s'ha d'anar en compte perquè la majoria dels estudis es basen en correlacions entre l'època de cria i la temperatura o altres variables climàtiques com la precipitació o la NAO. Per tant, les anàlisis podrien ser confoses ja que tampoc es valoren altres processos de canvi global com els canvis en els usos del sòl o la contaminació humana.

En les projeccions que es dona un augment de les temperatures de fins a 4°C (IPCC, 2007), podríem esperar que cap a finals d'aquest segle els ocells acabin ponent els ous 15 dies abans. Per tant, sembla probable que encara que aquestes espècies que encara no han respòs al canvi climàtic amb el temps mostrin un progrés en la data de la cria encara que la magnitud d'aquests canvis encara no està clara (Moller et al, 2010).

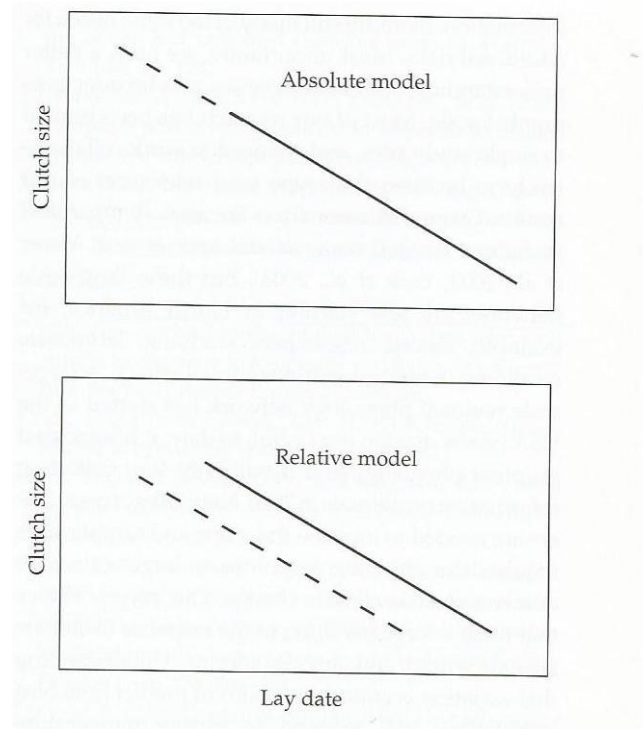
Les diferències entre regions en les dates de posta d'ous rau en un motiu geogràfic i és que tot i que les temperatures globals hagin augmentat, s'han produït augments molt més grans en

algunes regions, particularment per sobre dels 50°N (Myneni et al., 1997). Encara que el 94% de les espècies crien abans en primaveres més càlides, l'explicació més probable per les diferències geogràfiques en el temps de cria és la variació local del canvi en les temperatures. En algunes espècies ben estudiades, com la **mallerenga carbonera** (*Parus major*) i la **mallerenga blava** (*Parus caeruleus*) (Visser et al., 2003), el **mastegatxes** (*Ficedula hypoleuca*) (Both et al., 2004) i les **orenetes** (*Hirundo rustica*) (Moller, 2008), hi ha una considerable variació entre els llocs d'estudi que es relaciona amb les diferències de temperatura locals. Inclús amb la mateixa àrea de cria, les respostes de les espècies poden diferir entre elles depenent de cada període de cria particular ja que cadascuna d'elles és més o menys sensible als canvis en les temperatures. Per exemple, basant-nos en un model de gran escala (Both i te Marvelde, 2007), l'**estornell vulgar** (*Sturnus vulgaris*) es preveu que estigui avançant la seva data en la posta d'ous al llarg de tota Europa, però el **mastegatxes** sembla que l'estigui avançant però a l'oest i al centre d'Europa només, i retardant-ne la posta al nord. Aquestes diferències entre les espècies és probable que sigui perquè l'estornell pon els ous 25 dies abans que el mastegatxes i les temperatures estan canviant de manera diferent durant aquests dos períodes. Doncs, aquestes diferències intra-específiques en resposta al canvi climàtic són comunes i semblen que estiguin causades per les diferències geogràfiques.

Atès que moltes espècies mostren un avanç a llarg termini en la data de posta, també podríem esperar un augment en la grandària de posta en aquestes espècies, i possiblement un major èxit reproductiu. De totes maneres, els resultats són molt més complicats. Hi ha avançaments en la posta i també postes més grans documentades en algunes poblacions de **mastegatxes** (Winkel i Hudde, 1997) i en les primeres niuades d'**orenetes** (Moller, 2002), però no hi ha aquestes mateixes respostes en d'altres espècies com els **papamosques de collar** (*Ficedula albicollis*) (Sheldon et al., 2003), en les **mallerengues carboneres i blaves** (Winkel i Hudde, 1997), en les **orenetes bicolor** (Winkler et al., 2002) o bé, en els **siàlids de l'est** (Torti i Dunn, 2005). No està clar perquè la mida de les postes no han crescut en poblacions amb postes primerenques, però hi ha explicacions ecològiques. Una d'elles és que la possibilitat que en anys més càlids és més fàcil per tots els individus començar a pondre abans, però això no dona lloc a cap canvi en el nombre d'ous perquè hi ha un canvi en la relació entre la mida de posta i la data d'aquesta posta sense cap canvi en el pendent. Tal i com es veu a la figura 11, la línia es desplaça cap a l'esquerra (que això vol dir més d'hora), de manera que una data de posta primerenca dona com a resultat una mida de posta similar. Aquest és un tipus de resposta no contínua amb el canvi climàtic, ja que hi ha una nova relació entre la mida de posta i la data de posta. Per contra, les poblacions d'aus que segueixen el model absolut es desplaça cap amunt

(i avall) la mateixa línia de regressió de cada any, de manera que quan la primavera és més càlida i la posta es fa més d'hora, augmenta la mitjana de la mida de la posta. Això seria una resposta contínua, com la relació entre la mida de posta i la seva data que fonamentalment és el mateix (Winkler et al., 2002).

Figura 11: Models de resposta als canvis en la posta d'ous

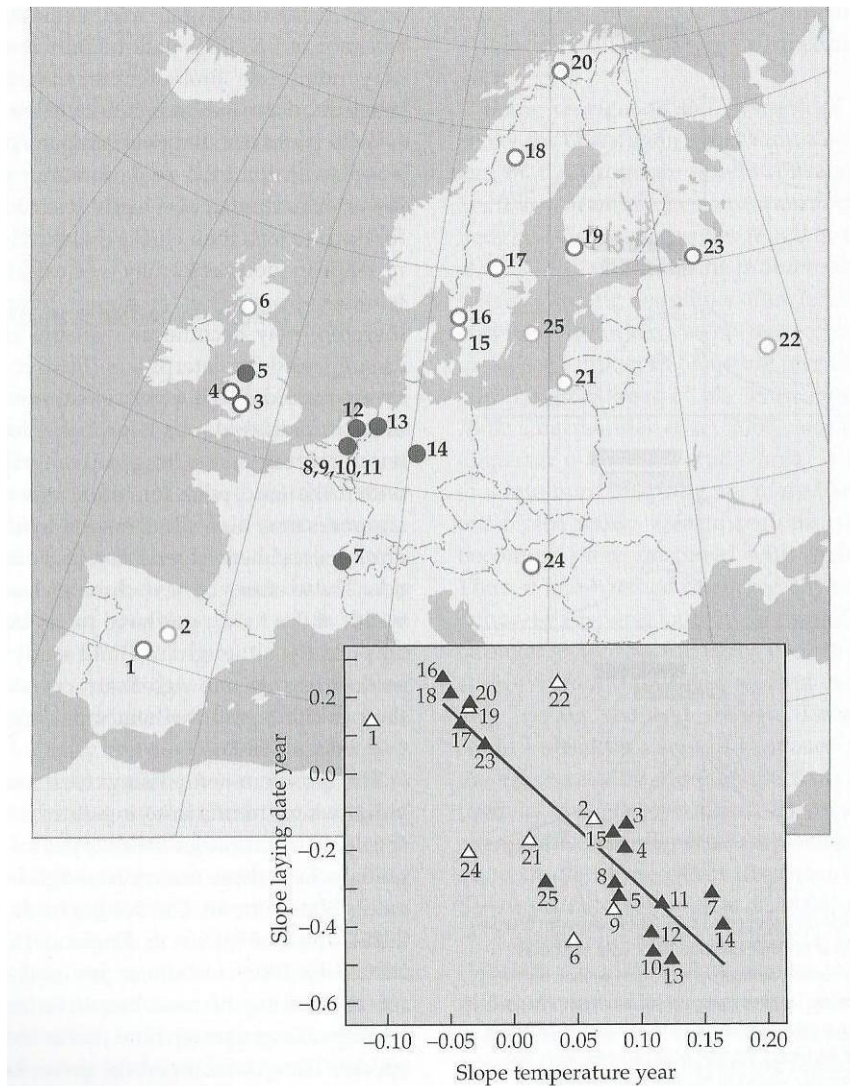


Font: *Effects of Climate Change on Birds, 2010, a partir de Winkler et al., (2002)*

Les diferències de la data de posta dins una mateixa espècie és una de les millors evidències que els canvis locals en la temperatura en l'època abans de la cria en són els responsables. Aquest avançament en l'època de cria provenen d'una anàlisi exhaustiva de tendències temporals en dates de posta de 25 poblacions de **mastegatxes** i **papamosques de collar** (figura 12). Les principals dates de cria difereixen al voltant d'un mes entre poblacions depenent de la latitud i l'altitud. Els ocells es reproduïxen més d'hora en primaveres més càlides. Les tendències en la temperatura durant el període 1980 – 2001 per aquesta finestra de temps va ser molt diferent, amb absència d'augment al nord i al sud d'Europa, i amb un clar augment de les temperatures a l'oest del continent. Les dates de posta observades eren consistents amb la tendència de les temperatures: no es van produir avançaments en les dates de posta en aquells territoris sense escalfament, mentre que els ocells van avançar les seves dates de posta en aquells territoris on va haver-hi un augment de les temperatures major

(Both et al., 2004). Dunn (2004), qui va comprovar l'efecte de les temperatures a la primavera en les dates de cria anuals va trobar que en un 79% de les 57 espècies d'ocells ponien els ous significativament abans en anys més càlids.

Figura 12: Tendències en la data de posta d'ous de 25 poblacions de mastegatxes i papamosques de collar



Font: Effects of Climate Change on Birds, 2010, a partir de Both et al. (2004)

Per tant, tot plegat fa que a trets generals s'observi com el canvi climàtic ja està afectant a la dinàmica de les poblacions d'ocells. Això passa perquè el clima local i els patrons climàtics regionals tenen una forta influència en el comportament dels ocells en totes les èpoques de l'any (Crick, 2004; Saether et al., 2004), i en definitiva, es mostra com hi ha una gran variació dins i entre les espècies.

Canvis en la posta d'ous d'espècies nidificants a Europa

George W. Cox, al seu llibre *Bird Migration and Global Change*, comenta que algunes espècies europees estan criant més d'hora del que era habitual. A l'oest d'Europa, per exemple, moltes espècies d'ocells, tant sedentàries com migradores, han començat a fer el niu més d'hora. Per algunes d'aquestes espècies, com el **verdum** (*Chloris chloris*), la tendència a la reproducció primerenca semblava ser gairebé íntegrament una resposta als patrons de temperatura i precipitacions durant els mesos de març i abril. Al Regne Unit, almenys sis espècies de migradors de llarga distància han avançat la seva cria entre els anys 1971 i 1995. Per algunes espècies com el **mosquiter de passa** (*Phylloscopus trochilus*), el canvi va ser atribuït als patrons de temperatura i precipitació en les seves àrees de cria. Per altres, incloent molts migradors de llarga distància, tendeixen cap a la reproducció primerenca tot i que independentment de la influència de la temperatura i les precipitacions.

Per altra banda, trobem diferències dins una mateixa espècie. Aquest és el cas de la **mallerenga carbonera** (*Parus major*). Un estudi fet a Anglaterra (Charmantier et al., 2005) i als Països Baixos (Nussey et al., 2005) ha assenyalat que les diferències entre aquestes poblacions en resposta a les temperatures dona com a resultat que les mallerengues angleses semblen seguir el ritme dels canvis en les temperatures i a més, la mida de les seves poblacions estan creixent, mentre que la cria dels ocells holandesos està disminuint. Una possible hipòtesi per a explicar aquesta diferència és que els ocells estan responenent a diferents senyals per començar a criar (Lyon et al., 2008). Un factor pot ser la isolació de les poblacions de la mallerenga carbonera a la Gran Bretanya comparada amb la població continental dels Països Baixos. El major flux de gens al continent pot haver reduït la taxa d'adaptació local de la població holandesa, donant lloc a temps no òptims de cria.

Altres estudis amb dades més generals, demostren una avançament en la posta d'ous. Un notable conjunt de dades sobre la data de la primera posta d'ous de la **fredeluga** (*Vanellus vanellus*) als Països Baixos demostren que durant el període de 1897 a 2003, la data de la primera posta d'ous ha avançat uns 10 dies de mitjana (George W. Cox, 2010). Un altre estudi de 25 anys d'ocells del Regne Unit va trobar que 20 de les 65 espècies estudiades van posar ous 8,8 dies de mitjana més d'hora de l'habitual (Crick et al., 1997). I finalment, una anàlisi de 23 estudis a llarg termini de **mastegatxes** amb dades de 40.000 nius mostra que les dates de posta d'ous s'han avançat en 9 de 25 poblacions. Com més augmenta la temperatura en el lloc, més s'avança la data de posta (Both et al., 2004).

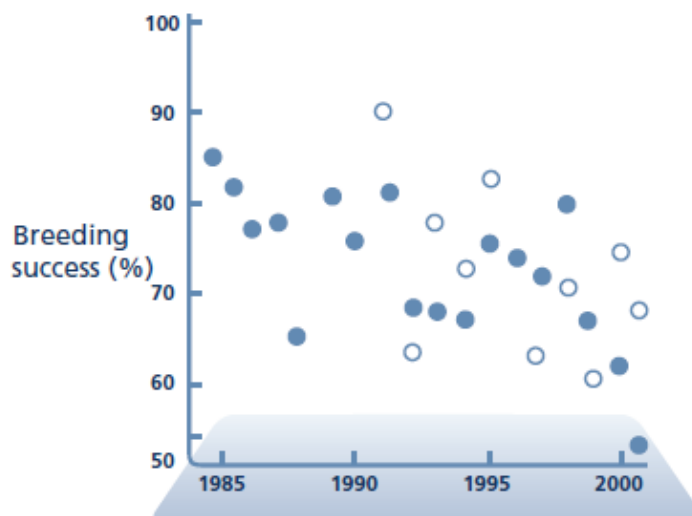
Aquesta darrera espècie, el mastegatatxes, és el que podrem veure amb més deteniment i a fons. El mastegatatxes és un ocell petit que s'alimenta d'insectes. És migrador de llarga distància amb una sincronització relativament fixa. Passa l'hivern a l'Àfrica Occidental i migra a milers de quilòmetres per reproduir-se a Europa, amb poblacions molt destacades al Regne Unit, al nord-oest d'Europa, a Polònia i Rússia. Tot i que no és una espècie amenaçada actualment, l'evidència recent revela que algunes poblacions estan disminuint front l'existència de canvi climàtic en els territoris europeus on cria. Aquests ocells sembla que estan niant més ràpidament després de la seva arribada a la primavera, el que ajuda a compensar l'aparició de les seves preses com l'eruga, que també creixen i es transformen en crisàlides més ràpidament en resposta a l'escalfament (Tant i Visser, 2001; Tant et al, 2006). No obstant això, segons aquest estudi, i en contraposició al que s'ha comentat a l'apartat de la migració a Europa, no sembla que l'hora d'arribada de la migració primaveral estigui canviant. Si les poblacions d'erugues surten massa d'hora, els mastegatatxes no seran capaços de criar, pondre els ous i incubar a temps per caçar.

Una nova investigació d'una població de mastegatatxes a Holanda entre el 1987 i el 2003 revela que el 90% disminueix en número d'ocells en les àrees on els recursos alimentaris surten abans, i en canvi, tan sols disminueix un 10% en àrees on els recursos alimentaris surten més tard. D'altra banda, les poblacions que mostren la pitjor adaptació als canvis ambientals mostren la pitjor baixada de poblacions (Both et al., 2006).

En una població Mediterrània de mastegatatxes aquest desajust també s'ha vist relacionat amb la reducció de la crescuda dels pollets i en una reducció del 15% en la supervivència d'aquests. Segons Sanz et al. (2003) l'època de cria no ha canviat i és l'entorn que s'ha allunyat de la sincronització de la temporada de reproducció dels mastegatatxes. Aquests autors afirmen que si el canvi climàtic i els efectes d'aquest tipus són sostenibles a llarg termini poden implicar un nou col·lapse en les poblacions reproductores dels migradors de llarga distància a la regió mediterrània.

Al següent gràfic es mostra la reproducció de les poblacions mediterrànies de mastegatatxes, que han disminuït en aproximadament un 15% entre 1984 i 2001. Aquesta espècie migradora de llarga distància no va arribar als seus llocs de cria amb temps suficient per reproduir-se i criar els pollets coincidint amb l'època de majors recursos alimentaris (Sanz et al., 2003). Els punts sòlids representen l'àrea d'estudi de La Hiruela (Comunitat de Madrid) i els punts buits l'àrea d'estudi de Valsaín (Castella-La Manxa).

Figura 13: La reproducció de les poblacions mediterrànies de mastegatxtes (*Ficedula hypoleuca*)



Font X: Bird species and global change. Climate Risk Pty Limited.

Canvis en la posta d'ous d'espècies nidificants a Nord Amèrica

Migradors de curta distància àmpliament distribuïts per Amèrica del Nord han mostrat criar més d'hora en els últims 50 anys, però hi ha una variació considerable entre les espècies i la ubicació. La **griva americana** (*Turdus migratorius*) i el **pardal melòdic** (*Melospiza melodia*), per exemple, no mostren cap tendència en criar abans d'hora. Val a dir, però, que les dades de temperatura de primavera al llarg de la seva extensa àrea de reproducció tampoc no van mostrar cap tendència general d'escalfament durant aquest període d'estudi (George W. Cox, 2010). Un altre migrador de distància curta, l'**oreneta bicolor** (*Tachycineta bicolor*), ha mostrat un avançament de prop de 9 dies en la data de la posta d'ous al nord dels Estats Units i Canadà entre 1952 i 1992. La tendència a la reproducció primerenca estava estretament relacionada amb l'augment de la temperatura mitjana durant el mes de maig (George W. Cox, 2010).

A la costa oest del Canadà durant dues dècades, entre 1975 i 2002, de temperatures inusualment càlides associades amb el canvi climàtic van portar a disminuir dràsticament les taxes de creixement i l'èxit dels pollets de **frarets** (*Fratercula cirrhata*). Això provocaria que el lloc de la major colònia de frarets de Canadà no fos apta per a la cria d'aquesta espècie (Gjerdrum et al., 2003).

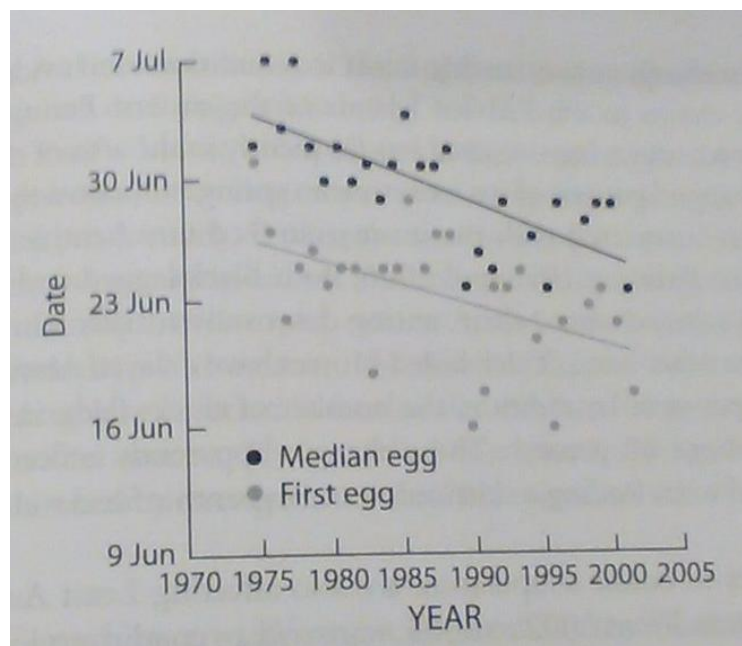
A la costa sud de Califòrnia, l'èxit de la reproducció de quatre espècies d'aus (*Aimophila ruficeps*, *Chamaea fasciata*, *Pipilo maculatus* i *Pipilo crissalis*) en el semi-àrid matoll costaner es va reduir a un 3%, de 2,37 pollets per parella el 2001 (considerat un any normal) a 0,07 pollets per parella durant l'any 2002, l'any més sec en el registre climàtic de 150 anys de la

regió. Només el 6,7% de les parelles van intentar fer niu aquell any, enfront del 88,4% el 2001. Si bé és difícil vincular la sequera de 2002 amb el canvi climàtic, s'espera que les precipitacions en aquesta regió disminueixin i siguin més variables amb l'escalfament global. Fins i tot un modest augment en la freqüència de les condicions àrides faria que aquestes espècies fossin vulnerables a l'extinció (Bolger et al., 2005).

Les aus marines també s'han vist afectades pels canvis en la posta d'ous. Al nord-oest de l'Oceà Atlàntic, la debilitació de la corrent del Labrador ha portat a l'escalfament de les aigües costaneres i un desplaçament cap al nord d'algunes de les principals preses de peix d'aquestes aus marines, particularment el capelí (*Mallotus villosus*). Les aus marines han mantingut les seves poblacions, tot i que la nidificació s'ha fet més tard del que era habitual. A la badia de Hudson, l'escalfament climàtic ha permès algunes d'aquestes espècies marines niar a principis de temporada, i cap al nord s'esperen canvis de les àrees de reproducció d'algunes espècies.

Les àrees de reproducció del **somorgollaire alablanc** (*Cephus grylle*) s'han estès cap al nord, cap a localitats com l'illa de Cooper, prop de la punta Barrow, a l'extrem nord d'Alaska, on la cria no era coneguda abans de la dècada dels 60. Al 1972, una colònia reproductora de 10 parelles de somorgollaires va ser descoberta en aquesta illa. El període de la posta d'ous s'ha avançat fins a una velocitat de 3 dies per dècada durant el període d'estudi, des del 1975 fins el 2002 (George W. Cox, 2010).

Figura 14: Primera i mitjana data de posta del somorgollaire alablanc a l'illa de Cooper



Font X: Effects of Climate Change on Birds a partir de www.cooperisland.org

Canvis en la posta d'ous d'espècies nidificants a l'Àrtic

Aproximadament la meitat de les àrees de cria àrtiques dels Calidris, un gènere d'ocells migradors que sovint es coneixen amb els noms comuns de **territ o corriol**, es perdrien amb una duplicació del CO₂ durant el període 2080-2099, segons el PNUMA. Una extrapolació simplista podria suggerir la pèrdua de l'hàbitat de reproducció de 4-5 milions d'oques (enfront dels actuals 10,4 milions) i 7,5 milions de limícoles (actualment 14,5 milions) (Zöckler i Lysenko, 2000).

Canvis en la posta d'ous d'espècies nidificants a l'hemisferi Sud

Tot i que en aquesta part del món els estudis no són tan freqüents, a Nova Zelanda, l'**oreneta australiana** (*Hirundo neoxena*) ha avançat la posta al voltant d'un mes. Les dades d'altres racons del planeta és informació genèrica sense donar detalls de quina ha estat l'evolució de la posta d'ous, però sí que ens parlen d'alguns problemes al voltant de la reproducció. Aquest és el cas de les baldrigues del Pacífic, a Austràlia, i els pingüins de les Galàpagos, a les illes de les Galàpagos.

Les altes temperatures anormals en superfície de l'oceà l'any 2002 a la part sud de la Gran Barrera de Corall d'Austràlia, van alterar la disponibilitat i l'accessibilitat de les preses per a les **baldrigues del Pacífic** (*Puffinus pacificus*) de la regió. Es mostra una relació forta entre les aigües inusualment càlides, la poca capacitat dels adults per proveir de menjar els seus pollets, la disminució de les taxes de creixement d'aquests pollets, i el fracàs reproductiu. Segons Smithers et al. (2003), si les temperatures superficials del mar segueixen augmentant amb el canvi climàtic global, els resultats prediuen efectes perjudicials importants en les poblacions d'aus marines que es troben a la Gran Barrera de Corall.

Les poblacions de **pingüins de les Galápagos** (*Spheniscus mendiculus*), que estan en perill d'extinció, s'han reduït a la meitat des de principis de la dècada de 1970 a causa que els pingüins adults estan esquelètics i no s'han pogut reproduir durant anys severos amb el fenomen d'El Niño (Boersma, 1998). Les poblacions es van reduir dràsticament després del Niño del 1982 – 1983, i actualment s'estan recuperant molt lentament. No existeixen àrees idònies per a la seva alimentació fora de les Galàpagos (Boersma, 1999). Atès que els models climàtics prediuen que el fenomen d'El Niño pot ser més freqüent de cara al futur (Timmerman et al., 1999), s'espera que el canvi climàtic redueixi encara més aquestes petites poblacions de pingüins i, alhora, els amenaci amb l'extinció (Boersma, 1998).

Canvis en la posta d'ous d'espècies nidificants a l'Antàrtida

Les aus marines antàrtiques de l'est, incloent els **pingüins d'Adèlia** (*Pygoscelis adeliae*), comuns a tota l'Antàrtida i les illes properes, i sis espècies de **petrells** de la família *Procellariidae*, fan la posta d'ous 2,1 dies més tard que en la dècada de 1950 (Barbraud and Weimerskirch, 2006).

Figura 15: Canvis en la posta d'ous de 68 espècies d'ocells

Table 10.1 Change in laying dates of 68 species of birds from long-term studies.

Common name	Species	N years	Laydate change/year	Laydate change/°C	N broods	Sources
Sparrowhawk	<i>Accipiter nisus</i>	20		-0.65	*	1 Nielsen and Møller (2006)
Great reed warbler	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	33	-0.55	*	*	1 Halupka <i>et al.</i> (2008), Dyrz and Halupka (2009)
Sedge warbler	<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>	56		-2.04	*	2 Crick and Sparks (1999)
Eurasian reed warbler	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	56	-0.48	*	*	1 Crick and Sparks (1999)
Long-tailed tit	<i>Aegithalos caudatus</i>	56	0.05	*	*	1 Crick and Sparks (1999)
Red-winged blackbird	<i>Agelaius phoeniceus</i>	30	-0.15	*	*	1 Torti and Dunn (2005), P. Dunn (unpublished data)
Meadow pipit	<i>Anthus pratensis</i>	46		-3.93	*	2 Crick and Sparks (1999)
Mexican jay	<i>Aphelocoma ultramarina</i>	28	-0.38	*	*	1 Brown <i>et al.</i> (1999)
Swift	<i>Apus apus</i>	25	-0.20	*	*	1 Rubolini <i>et al.</i> (2007)
Barnacle geese	<i>Branta leucopsis</i>	24	-0.30	*	*	1 van der Jeugd <i>et al.</i> (2009)
Linnet	<i>Carduelis cannabina</i>	57	0.12	*	*	2 Crick and Sparks (1999)
Greenfinch	<i>Carduelis chloris</i>	57	0.04	*	*	2 Crick and Sparks (1999)
Ringed plover	<i>Charadrius hiaticula</i>	52		-1.09	*	2 Crick and Sparks (1999)
Killdeer	<i>Charadrius vociferous</i>	37	-0.08		*	2 Torti and Dunn (2005), P. Dunn (unpublished data)
White-throated dipper	<i>Cinclus cinclus</i>	53	0.15	*	*	2 Crick and Sparks (1999)
Carion crow	<i>Corvus corone</i>	57	-0.32	*	*	1 Crick and Sparks (1999)
Yellowhammer	<i>Emberiza citrinella</i>	57			*	2 Crick and Sparks (1999)
Reed bunting	<i>Emberiza schoeniclus</i>	53		-2.64	*	2 Crick and Sparks (1999)
European robin	<i>Eritacus rubecula</i>	57		-3.51	*	2 Crick and Sparks (1999)
Little penguin	<i>Eudyptula minor</i>	21	0.03		*	1 Chambers (2004), Cullen <i>et al.</i> (2009)
Collared flycatcher	<i>Ficedula albicollis</i>	22.7	-0.30	*	*	1 Both <i>et al.</i> (2004), Weidinger and Král (2007)
Pied flycatcher	<i>Ficedula hypoleuca</i>	21.5	-0.15	*	*	1 Laaksonen <i>et al.</i> (2006), Both <i>et al.</i> (2004)
Tufted puffin	<i>Fratercula cirrhata</i>	28	-0.80	*	*	1 Gjerdrum <i>et al.</i> (2003)
Chaffinch	<i>Fringilla coelebs</i>	57	-0.07	*	*	2 Crick and Sparks (1999)
American coot	<i>Fulica americana</i>	28	0.25		*	2 Torti and Dunn (2005), P. Dunn (unpublished data)
Common moorhen	<i>Gallinula chloropus</i>	34		-0.68	*	1 Crick and Sparks (1999)
Australian magpie	<i>Gymnorhina tibicen</i>	21		-0.08	*	1 Gibbs (2007)
Eurasian oystercatcher	<i>Haematopus ostralegus</i>	34	0.03	*	*	1 Crick and Sparks (1999)
Barn swallow	<i>Hirundo rustica</i>	29.5	-0.15	*	*	2 Crick and Sparks (1999), Rubolini <i>et al.</i> (2007), Nielsen and Møller (2006), Møller (2008)
White-tailed ptarmigan	<i>Lagopus leucurus</i>	25	-0.60	*	*	1 Wang <i>et al.</i> (2002)
Common gull	<i>Larus canus</i>	37	0.02		*	1 Brommer <i>et al.</i> (2008)
Song sparrow	<i>Melospiza melodia</i>	32	-0.28		*	2 Torti and Dunn (2005), P. Dunn (unpublished data)
Pied wagtail	<i>Motacilla alba</i>	57		-0.75	*	2 Crick and Sparks (1999)
Grey wagtail	<i>Motacilla cinerea</i>	47			*	2 Crick and Sparks (1999)
Spotted flycatcher	<i>Muscicapa striata</i>	57	0.11	*	*	2 Crick and Sparks (1999)

6.3. LA DISTRIBUCIÓ

Si la distribució dels animals i de les plantes són principalment determinats per factors climàtics, llavors es prediu que el ràpid escalfament de les darreres dècades faci que organismes moguin la seva distribució cap als pols i cap a altes altituds (Parmesan et al., 2000). Així doncs, nombrosos autors afirmen que hi ha hagut canvis en els límits en la distribució dels ocells en dècades recents (Soutward et al., 1995; Parmesan et al., 1999; Thomas i Lennon, 1999; Walther et al., 2002; Hickling et al., 2006). Root (1988) també afirma que hi ha una forta relació entre la distribució de les aus i el clima, referint-se a que quan els límits climàtics canvien, la distribució dels ocells s'espera que també ho faci. Per tant, si els climes locals i regionals segueixen les mitjanes globals d'escalfament podem esperar que els ocells canviïn les seves àrees de distribució, ja sigui en altitud o latitud, per a realitzar un seguiment de les seves temperatures òptimes. No obstant, nombroses espècies no han mostrat cap canvi en la distribució en resposta recent al canvi climàtic (Parmesan i Yohe, 2003), el que suggereix que hi ha altres factors diferents al clima que es tenen en compte en els canvis en els límits de distribució. Per tant, tot i que hi ha altres factors climàtics, o no climàtics, que poden intervenir directa o indirectament afectant les distribucions de les poblacions d'ocells, tenen igualment un paper clau la temperatura, la humitat, les precipitacions i la invasió d'espècies competidores (DEFRA, 2005).

Les distribucions d'algunes espècies possiblement s'expandiran i d'altres romandran sense afectació a causa del canvi climàtic (DEFRA, 2005) però, sobretot, hi ha indicis que seran més freqüents les limitacions que les expansions (Huntley et al., 2006; Böhning-Gaese and Lemoine, 2004; Erasmus et al., 2003). Una investigació sobre les aus d'Europa duta a terme per Huntley et al., (2006) indica canvis substancials de fins a 1000 km o més per a moltes espècies sota un escalfament global mitjà de 2,5°C per a l'any 2100. En termes generals, les espècies més vulnerables a l'extinció són les que tenen distribucions restringides o distribucions limitades, com aquelles localitzades en illes petites o en altituds elevades. Les aus que es reproduïxen en ambients àrids també estan en alt risc (Bolger et al, 2005; Reid et al, 2005). Segons l'IPCC publicat el 2001, s'esperava que les espècies que ja estaven canviant les seves distribucions en resposta al canvi climàtic, eren aquelles de l'Antàrtida, Amèrica del Nord, Europa i Austràlia, que es movien cap als pols.

Els canvis en la distribució són una gran preocupació per als esforços internacionals, que se centren en aquelles àrees amb un alt nombre d'espècies endèmiques o bé amenaçades. Molts dels territoris amb una elevada riquesa d'espècies es localitzen dins d'àrees protegides. A

mesura que avanci l'escalfament global, algunes poblacions d'ocells es veuran forçades a canviar i a moure's d'aquestes àrees protegides i possiblement hauran de desplaçar-se, per exemple, cap a territoris amb més presència humana. Tal i com diu Walther (2002), les espècies que tinguin una baixa adaptabilitat o capacitat de dispersió tindran poques probabilitats de trobar hàbitats distants per colonitzar, el que es tradueix en un augment de les taxes d'extinció.

Així doncs, una de les respostes més geogràfiques dels ocells davant un escenari d'escalfament global és el canvi de la seva distribució geogràfica, intentant buscar aquells territoris amb un clima que els resulti apropiat. Tot i que els organismes es desplacin cap el nord, en les nostres latituds, en la recerca de millors indrets on viure no significa necessàriament que aconseguixin trobar la zona climàtica a la que estan adaptats, i això és el que demostren els dos estudis següents.

Els estudis realitzats per la revista Nature i el Museu d'Història Natural de París demostren com els ocells intenten adaptar-se al canvi climàtic desplaçant-se cap als territoris amb temperatures més òptimes però no ho estan fent prou ràpid. Ens referim:

El primer el realitzà la revista del grup Nature, especialitzada en la comunicació dels nous descobriments sobre el canvi climàtic, Nature Climate Change, va realitzar un estudi el 2012 que es dugué a terme amb dades de Finlàndia, Suècia, el Regne Unit, els Països Baixos, la República Txeca, França i Catalunya. En el segon estudi, el protagonitzen científics del Museu d'Història Natural de París, mostrant resultats d'una investigació publicada el 2008 i realitzada amb les dades del seguiment d'ocells comuns a França. En ambdues investigacions es dona el cas que els ocells adopten canvis en la seva distribució desplaçant-se cap al nord des de la dècada dels 90. La base de la qual partien els estudis era que cada espècie d'ocell pot viure en un rang de temperatures determinat.

Per a fer-ho, en el primer estudi els investigadors van haver de calcular la temperatura mitjana del lloc on viu cada espècie i, a partir d'aquest valor específic i de les dades dels seguiments d'ocells, es va poder calcular la temperatura associada a cada comunitat, el que s'anomena CTI (Community Temperature Index). Analitzant el valor del CTI per a més de 10.000 àrees de mostreig de biodiversitat, des d'Escandinàvia a la conca Mediterrània, s'observava que aquest índex havia augmentat en el període 1990-2008 desplaçant-se cap al nord. A partir d'aquesta evidència indirecta que representava el CTI, els investigadors van determinar que, en promig, les comunitats d'ocells s'haurien mogut cap al nord 37 km durant aquest període.

Pel que fa al segon estudi, se seguí una metodologia similar, ja que s'analitzaren les temperatures adequades de les espècies presents en un territori determinat. Es descobreix

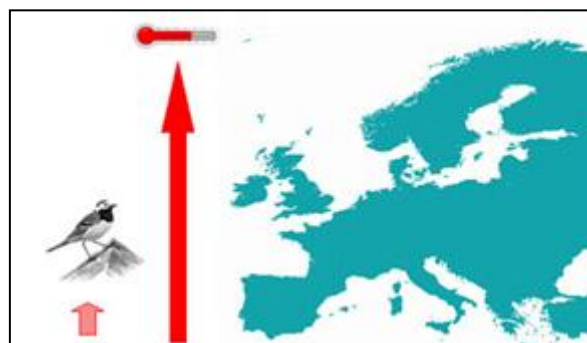
que en cadascun dels punts de l'indret estudiat, any rere any, les espècies d'ambients càlids es van fent més abundants i les d'ambients freds més escasses. Es tracta, doncs, d'un increment progressiu de la temperatura mitjana apropiada de les espècies presents en aquella mateixa localitat. En aquest cas, l'augment de la temperatura vol dir que hi ha un desplaçament d'espècies de 91 km cap al nord des de la dècada dels 90.

Segons aquests resultats podria ser evident pensar que els organismes s'adapten al canvi climàtic modificant la seva àrea de distribució, però els estudis no ho demostren.

En la primera investigació, tot i que sí que els ocells tenen cada cop distribucions més septentrionals, els canvis fets no s'adeqüen a les seves zones de temperatura òptima per a desenvolupar el seu cicle vital. Durant les darreres dues dècades la temperatura mitjana europea es desplaçà 249 km cap el nord, molt superior a la xifra del desplaçament dels ocells. Per tant, es produeix un decalatge de 212 km, anomenant a aquest procés deute climàtic. En el segon cas, es detecta que la temperatura d'un lloc en particular sigui ara la que fa 20 anys hi havia 273 km més al sud.

Aquests estudis el que demostren és que els ocells no només no estan seguint els canvis del canvi climàtic a una velocitat suficient, sinó que hi ha un desacoblament espacial de conseqüències negatives, ja que hi ha un lligam entre els ecosistemes i els diferents grups d'organismes que hi viuen. Per exemple, molts ocells s'alimenten d'erugues de papallones, i això podria repercutir en una menor disponibilitat de recursos per a un bon nombre d'espècies. A més, també s'afirma que l'increment del CTI durant el període d'estudi de la primera investigació es manifestava a bona part dels països europeus, però les dades analitzades revelaven que el desplaçament septentrional era molt més acusat als països escandinaus, on els efectes del canvi climàtic serien més pronunciats, que no pas als mediterranis.

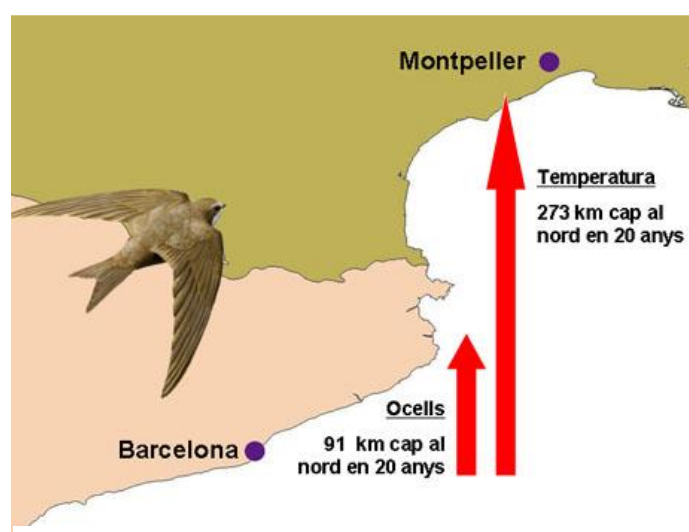
Figura 16: Canvis en la temperatura i en la distribució septentrional dels ocells



Font: Servidor d'Informació sobre els efectes del Canvi Climàtic en els ocells i els seus hàbitats, a partir de Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale.

Per finalitzar els resultats d'aquests estudis, es pot exemplificar com això podria estar afectant a casa nostra. És a dir, mentre avui a Montpeller hi ha una temperatura similar a la que fa gairebé dues dècades hi havia a Barcelona, els ocells, en la seva recerca de territoris òptims desplaçant-se cap al nord, tan sols han arribat a la Costa Brava. Tot i que aquest exemple es focalitza a les nostres latituds, encara s'ha de veure si la magnitud del canvi que s'observa a França varia entre països. Això fa pensar que si els ocells que són un dels grups d'animals amb major mobilitat es queden al sud del seu clima favorable, les conseqüències del canvi climàtic poden ser desastroses per altres animals amb una menor mobilitat o inclús

Figura 17: Comparació dels canvis en la temperatura i en la distribució septentrional dels ocells



Font: Servidor d'Informació sobre els efectes del Canvi Climàtic en els ocells i els seus hàbitats, a partir de Birds are tracking climate warming, but not enough.

Un dels majors estudis dels canvis en la distribució dels ocells és el que dugué a terme l'Atlas climàtic dels ocells nidificants d'Europa. Els autors d'aquest llibre han analitzat el rang de condicions climàtiques dins del qual una espècie d'ocell pot nidificar basant-se en les dades de l'Atlas dels ocells d'Europa i del clima de finals del segle XX. Amb aquestes dades, han aplicat aquestes relacions espècie-clima als escenaris climàtics esperats a finals de segle XXI per determinar les distribucions potencials futures associades al canvi climàtic. Les projeccions es basen en els efectes d'un probable augment de 3°C a la temperatura global per sobre de la mitjana dels nivells pre-industrials.

Cal remarcar que en aquest Atlas es fan prediccions de futur fonamentades exclusivament en dades climàtiques. Altres possibles canvis ambientals, com les modificacions en els usos del sòl o en el grau de protecció dels espais naturals no són l'objecte d'estudi d'aquest atlas. Aquest treball tampoc té en consideració les capacitats de les diferents espècies per colonitzar nous

territoris a la cerca d'un clima que els resulti més òptim. Per tant, cal tenir present que no fa prediccions futures reals. Aquesta distinció és important per diverses raons. Totes les espècies d'ocells estan influenciades pel clima, ja sigui directe o indirectament, però aquest no és l'únic factor que influeix en la distribució dels ocells, sinó que hi ha altres processos de canvi global que hi afecten com la disponibilitat d'hàbitat. A tall d'exemple, algunes poblacions de rapinyaires han disminuït arran de la persecució humana, o bé algunes àrees de distribució estan limitades per la manca d'hàbitats que per naturalesa ja són reduïts, com els penya-segats, que són importants per a la nidificació d'algunes aus marines, o també hàbitats que són degradats o destruïts per l'activitat humana, com ara les zones humides. Els canvis en la distribució també poden patir un retard ja que es necessita temps per tenir unes condicions adequades, ja sigui per a que l'hàbitat adequat es desenvolupi o per la disponibilitat d'aliments. Per tant, no es pot proporcionar amb seguretat quina pot ser l'àrea de distribució. A continuació es presenta dos exemples de com l'àrea de distribució pot canviar cap a finals del segle XXI sota els efectes d'un probable augment de 3°C a la temperatura global per sobre de la mitjana dels nivells pre-industrials.

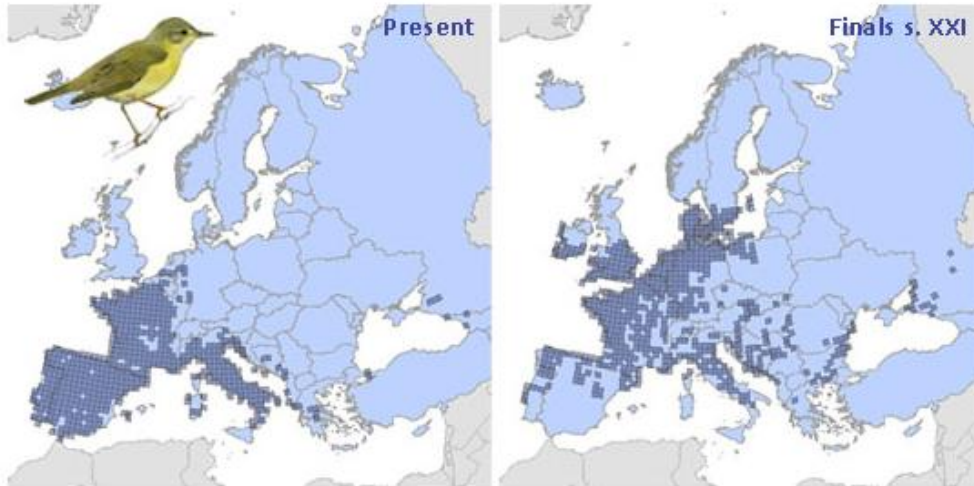
A trets generals, les distribucions de les espècies es creu que es desplaçaran 550 cap al nord-est. Per algunes espècies la nova àrea de distribució no se superposa amb l'actual, però l'Atlas prediu que el solapament entre les distribucions actuals i potencials futures és només d'un 40%, amb una reducció areal mitjana d'un 20%. Algunes espècies poden ser incapaces d'estendre la seva àrea de distribució geogràfica a causa de la capacitat limitada per dispersar o per la falta d'hàbitat adequat. La fragmentació dels hàbitats a causa dels canvis d'usos del sòl també poden fer més difícil aquesta dispersió. Algunes espècies incrementen les seves distribucions a causa del canvi climàtic, però la majoria entren en regressió o fins i tot s'extingeixen del continent.

Els ocells que patiran una major pèrdua d'àrea de distribució s'estima que seran els ocells àrtics i sub-àrtics i algunes espècies ibèriques. Els canvis projectats per a algunes espècies que només es troben a Europa, o amb només petites poblacions en altres indrets, suggereixen que el canvi climàtic és probable que augmenti el seu risc d'extinció. A casa nostra, s'espera que desapareguin bona part de les espècies nidificants d'alta muntanya, com ara la **perdiu blanca** (*Lagopus muta*), la **piula dels arbres** (*Anthus trivialis*), la **merla de pit blanc** (*Turdus torquatus*) o el **reietó** (*Regulus regulus*), però també d'altres pròpies de climes menys freds, com el **mosquiter comú** (*Phylloscopus collybita*) o el tord comú (*Turdus philomelos*). D'altres, com la **bosqueta vulgar** (*Hippolais polyglotta*), redueixen molt la seva distribució a l'àrea mediterrània, tot desplaçant-se cap al nord pels països de l'Europa Atlàntica. En aquest darrer

cas, si les prediccions climàtiques en què es basen acaben succeint, el clima adequat per aquesta espècie mediterrània el trobaríem, a la façana atlàntica europea.

Figura 18: Àrea de distribució actual i futura de la bosqueta vulgar (*Hippolais polyglotta*)

La bosqueta vulgar (*Hippolais polyglotta*)



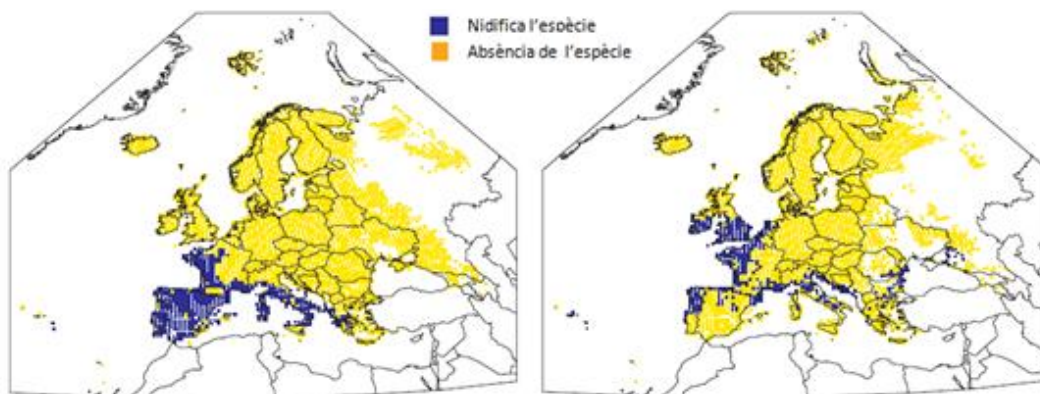
Font: Servidor d'Informació sobre els efectes del Canvi Climàtic en els ocells i els seus hàbitats, a partir de *Climatic Atlas of European Breeding Birds*, 2007

Figura 19: Àrea de distribució actual i futura de la tallareta cuallarga (*Sylvia unadata*)

La tallareta cuallarga (*Sylvia unadata*)

Distribució 1961 - 1990

Distribució futura per finals del segle XXI



Cada quadrat blau equival a una àrea de 50 km²
 Les àrees blanques tenen condicions climàtiques fora del rang per al qual es pot fer una simulació

Font: *Climatic Atlas of European Breeding Birds*, 2007

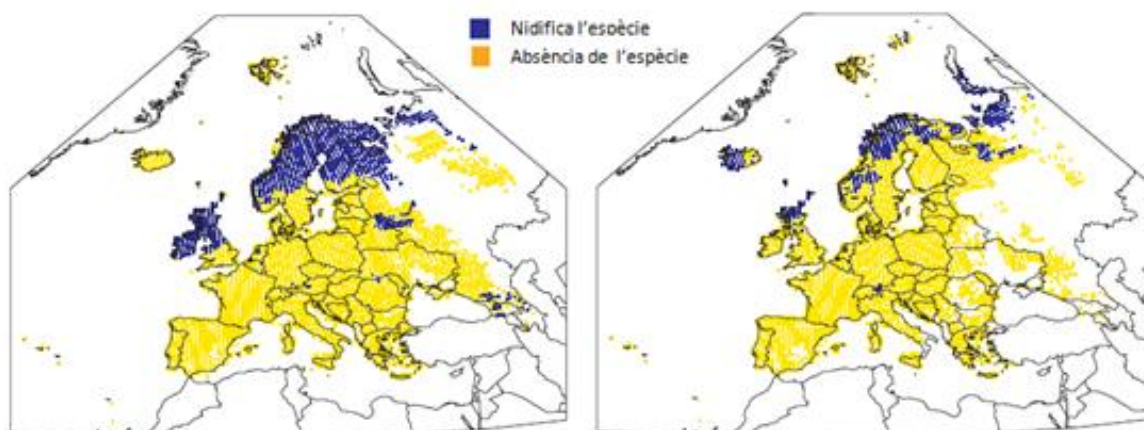
La tallareta cuallarga nidifica, actualment, al sud-oest d'Europa, des de la Península Ibèrica fins al sud d'Anglaterra, i també ho fa al sud d'Itàlia. Fora d'Europa es reproduïx només en una estreta franja de la costa del nord-oest d'Àfrica, des del Marroc fins a Tunísia. L'àrea de distribució potencial futura es desplaça cap al nord i cap a l'est. Noves zones climàtiques adequades s'estenen cap al nord per incloure la major part de les Illes Britàniques i part de l'Europa occidental que fins ara no eren adequades, així com a través de la Mediterrània oriental, els Balcans i fins al sud de Rússia. Més del 60% de la seva àrea de distribució nidificant actual, però, incloent gran part de la Península Ibèrica i la Mediterrània Occidental, es preveu que no siguin territoris adequats per a la nidificació d'aquesta espècie.

Figura 20: Àrea de distribució actual i futura de la perdiu d'Escandinàvia (*Lagopus lagopus*)

La perdiu d'Escandinàvia (*Lagopus lagopus*)

Distribució 1961 - 1990

Distribució futura per finals del segle XXI



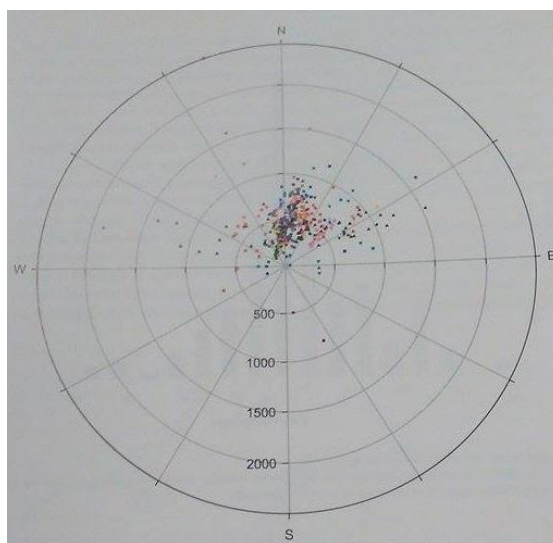
Cada quadrat blau equival a una àrea de 50 km²
 Les àrees blanques tenen condicions climàtiques fora del rang per al qual es pot fer una simulació

Font: *Climatic Atlas of European Breeding Birds, 2007*

Actualment, la perdiu d'Escandinàvia nidifica al nord d'Europa, des de les Illes Britàniques, passant per Fennoscàndia i fins al nord de Rússia. L'àrea de nidificació potencial futura a Europa es desplaça cap al nord-oest, arribant fins i tot a Islàndia. Aquest canvi suposa que una gran majoria dels territoris de cria actuals del sud inadequats.

Els resultats de l'Atles prediuen que sota l'escenari de HadCM3, els canvis projectats d'una gran majoria de les espècies es desplaçaran generalment cap al nord i nord-est, tal i com s'observa a la figura 21.

Figura 21: Canvis en l'àrea de distribució a Europa



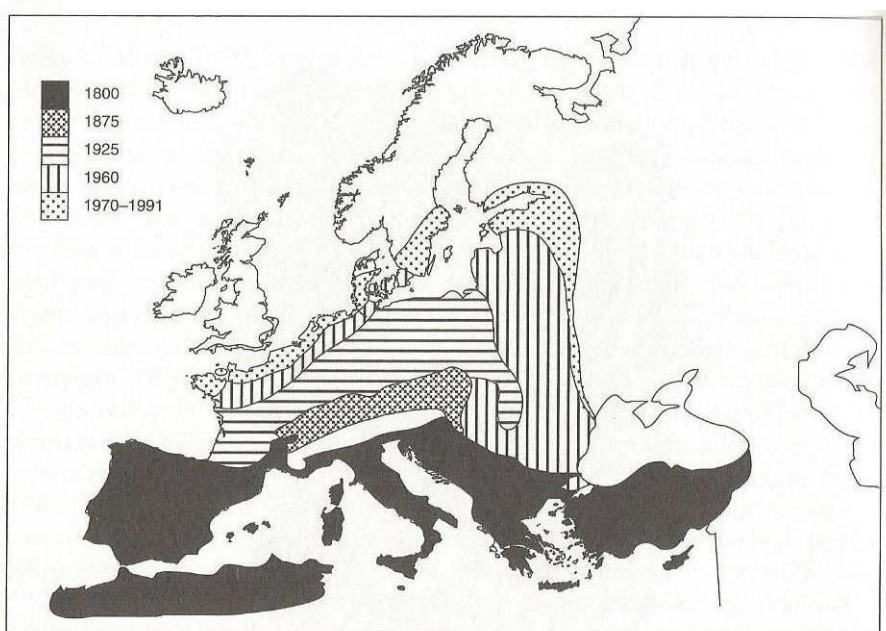
Font: *Climatic Atlas of European Breeding Birds, 2007*

Un altre dels estudis realitzats fou el de John F. Burton en el seu llibre "Birds and climate change" l'any 1995. Des de finals del segle passat, ja s'afirmava que si el deteriorament climàtic al nord d'Europa continuava, i la seva influència cada vegada era més pronunciada i generalitzada, es podria anticipar que hi hauria un avanç gradual cap al nord d'espècies meridionals, almenys en molts casos. Per tant, en moltes de les espècies estudiades en aquest llibre s'estava produint un avanç cap al nord, nord-oest i oest de moltes espècies. A continuació en tenim dos exemples:

Abans del 1750 el **gafarró** (*Serinus serinus*) es limitava als boscos oberts i assolellats a la part central i occidental de la regió mediterrània, la cria al nord-oest d'Àfrica i des de la Península Ibèrica a través d'Itàlia fins a Turquia, arribant quasi bé al Caucas. En algun moment poc després d'aquesta data, però, va començar a ampliar la seva àrea de reproducció cap al nord, i cap a 1875 ja havia ocupat Suïssa, el sud d'Alemanya, Àustria, Hongria occidental, República Txeca i Eslovàquia. Cinquanta anys més tard havia colonitzat la major part de França, excepte el nord, gran part d'Alemanya i l'oest de Polònia, arribant fins alguns punts del nord de Romania. Durant un temps, entre 1940 i 1960, la taxa d'expansió es va desaccelerar en gairebé tot el nord, encara que menys al nord-est i est, on al llarg d'aquest segle havia estat més ràpid que l'expansió en el nord-oest. No obstant això, el 1960 el gafarró havia consolidat els èxits anteriors i va ampliar els seus límits de cria habituals per incloure tota l'Europa continental (a part de la franja costanera des de la Bretanya fins a la península de Jutlàndia) fins a l'est, seguint una línia que va des del centre d'Estònia cap al sud, al Mar Negre, en un punt no molt lluny a

l'oest d'Odessa (Ucraïna). Després del 1960, el gafarró va accelerar el seu avanç un cop més, de manera que per a la dècada de 1970 criava amb regularitat gairebé en tots els àmbits costaners del nord de França i els Països Baixos, el sud de Dinamarca, el sud de Suècia, els districtes costaners del sud de Finlàndia, i des de Sant Petersburg fins al sud d'Odessa. No obstant això, des de la dècada de 1970 el ritme s'alentí. Des de 1981 fins a nou parelles es van registrar anualment al sud d'Anglaterra. És evident que l'espècie tenia dificultats per establir-se aquí. Segons l'autor, amb el clima més fred a la regió de l'Àrtic des de 1950 que afecta gran part del nord-oest d'Europa a finals de la dècada dels 90, creu que el gafarró havia arribat als últims límits de la seva expansió, almenys pel que fa al nord. És ben sabut, més o menys, que el gafarró es va adaptar a una varietat d'hàbitats, a més del bosc, sobretot en territoris en associació amb l'ésser humà, com ara parcs i jardins, vinyes i horts, i fins i tot les zones industrials abandonades. Sharrock (1976) va comentar que no se sap si l'adaptació a la nova situació va desencadenar l'expansió, o si la propagació va obligar als ocells adoptar una opció més adient del lloc. L'autor creu en el canvi climàtic com la causa principal i està a favor d'aquesta última idea.

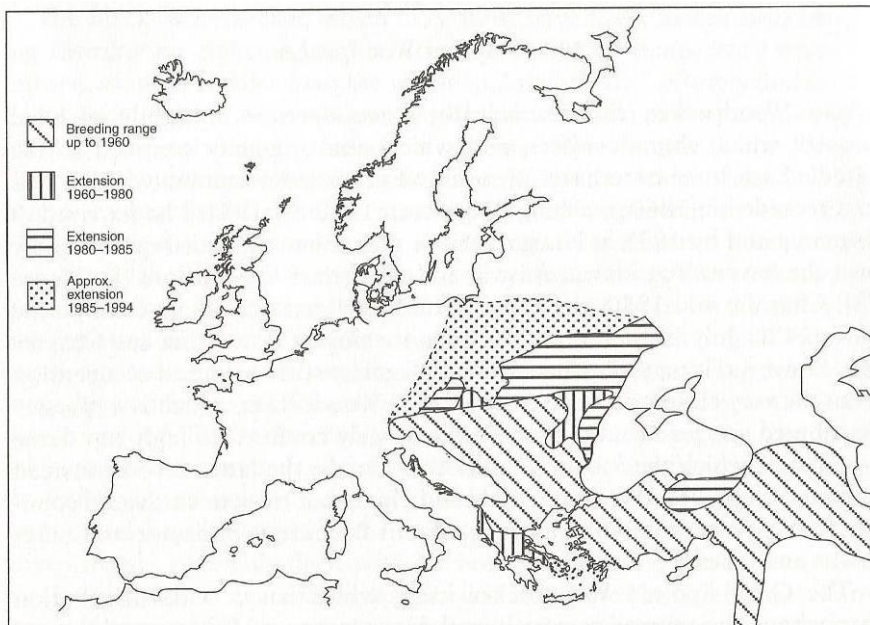
Figura 22: Canvis en l'àrea de distribució del gafarró (*Serinus serinus*)



Font: *Birds and climate change*. Burton, John F. 1995.

El següent exemple presentat és el del **picot garser siríac** (*Dendrocopos syriacus*), característicament un picot que habita boscos, terres de conreu, ciutats i oasis, que fuig de les coníferes, i el qual es limitava inicialment a Orient Mitjà. En l'estudi realitzat per John F. Burton semblava haver-se estès a Europa des d'Istanbul, on es va registrar per primera vegada el 1860, arribant a Bulgària el 1890. El 1931 havia arribat a Romania i el 1939 a Hongria. Des de llavors s'expandí molt ràpidament en parts de Sèrbia, Croàcia, Bòsnia, Àustria, República Txeca i Eslovàquia. A mitjans de la dècada dels 50, semblava trobar el seu límit de tolerància climàtica en als 21º, i el seu avanç es va alentir. No obstant això, és possible que també hagi hagut d'enfrontar la competència ecològica amb el **picot garser gros** (*Dendrocopos major*), que és una espècie escassament distribuïda a l'est d'Europa, confinada als boscos alts i densos, els quals el picot garser siríac evita. Es pot veure fins i tot als jardins i parcs de Bucarest, Budapest i altres pobles i ciutats.

Figura 23: Canvis en l'àrea de distribució del picot garser siríac (*Dendrocopos syriacus*)



Font: *Birds and climate change*. Burton, John F. 1995.

Tot seguit veurem alguns exemples dels canvis soferts en algunes espècies en diferents territoris del món.

Canvis en la distribució a Europa

Un estudi realitzat per Berry et al, 2011, revela que les futures distribucions de 10 espècies de les Illes britàniques canviïn algunes distribucions, algunes romandran sense canvis i d'altres l'ampliaran. El model va revelar greus conseqüències negatives per a la població del Regne Unit de la **mallerenga capnegra** (*Poecile montanus*), de la població del **gall fer** (*Tetrao urogallus*) amb una reducció del 99% de la seva distribució actual, la pèrdua de la població dels sítids (família d'ocells de l'ordre dels passeriformes) al sud-est d'Anglaterra, una disminució del **cabussó petit** (*Gavia stellata*), i finalment, la possible desaparició del **sit blanc** (*Plectrophenax nivalis*) d'els Grampians d'Escòcia a causa de la pèrdua d'hàbitat adequat.

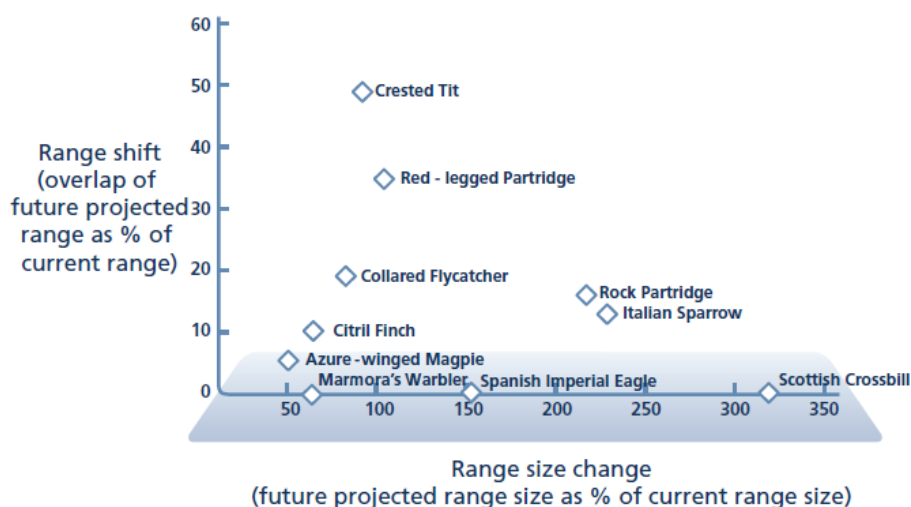
Una enquesta massiva mostra que l'hàbitat de les espècies del Regne Unit estan canviant en resposta a l'escalfament global mitjançant l'extensió cap al nord, desplaçant-se una mitjana de 18,9 km durant més de dos dècades. No obstant això, no es va detectar cap canvi consistent en el límit meridional de distribució de les espècies. Segons Thomas i Lennon, el canvi climàtic fou l'única explicació per entendre els canvis observats.

També s'han notat modificacions fruit del canvi climàtic en les àrees on passa els hiverns l'**ocariallera grossa** (*Anser albifrons*), el **cigne cantaire** (*Cygnus cygnus*) i el **cigne de Bewick** (*Cygnus columbianus bewickii*). Les seves rutes de migració s'han desplaçat cap a l'est i cap al nord, i com a resultat, aquestes aus estan utilitzant noves zones d'estacionament al Bàltic oriental (la regió costanera de Lituània). En aquest cas, per aquest motiu s'han integrat noves àrees protegides en aquest territori (Žalakevicius i Švažas, 2005).

En un estudi fet amb 10 espècies d'aus terrestres a Europa, mostrava com l'àrea climàtica òptima de sis d'aquestes espècies disminuiria. Tot i això, fins i tot quan no disminueix hi ha una petita superposició entre l'actual i el futur rang òptim per viure-hi. Per a 8 espècies, es preveu que el 20% de territori o menys sigui superposat, i per 3 espècies no hi haurà superposició en cap cas (Birdlife, 2004). Al següent gràfic es mostra el solapament dels rangs actuals de distribució de 10 aus endèmiques d'Europa i els rangs futurs al final del segle XXI, d'acord un model climàtic¹¹. L'eix Y mostra la superposició i l'eix X el canvi de mida. El rang òptim de la **llucareta** (*Carduelis citrinella*), per exemple, es reduirà a la meitat, i el seu espai climàtic futur es solaparà amb el seu actual rang en només el 10% (Birdlife, 2004a).

¹¹ El model es de Gordon et al., 2000

Figura 24: Solapament dels rangs actuals amb els rangs futurs a final del segle XXI de 10 espècies endèmiques d'Europa



Font: Bird species and global change. Climate Risk Pty Limited.

Segons l'IPCC publicat el 2001, la pèrdua d'aiguamolls costaners, hàbitats importants per a les aus, serà extrema en alguns territoris europeus. A la costa atlàntica, entre un 0-17% dels estocs de les zones humides s'haurà perdut l'any 2080 a causa del canvi climàtic, a la costa del Bàltic 84-98%, i a la costa mediterrània entre el 31-100%. Aquest fet, doncs, pot repercutir en un canvi poblacional però també de distribució de les espècies aquàtiques. El mateix passa amb els estèrnids, una família d'ocells marins, juntament amb altres aus marines que es troben a Europa, són vulnerables a l'augment del nivell del mar, ja que nien en territoris de baixa altitud prop de la costa. L'augment de mareas fruit de la major freqüència de tempestes arran del canvi climàtic, en particular al Mar del Nord, posarà més pressió sobre els estèrnids a causa de l'amenaça d'aquestes condicions climàtiques pels seus nius (Rehfish et al., 2004).

Canvis en la distribució a Nord Amèrica

Als Estats Units, els models climàtics suggereixen que l'escalfament global causarà una disminució de les aus migratòries neotropicals, aquelles espècies que crien a Nord Amèrica però migren cap als tròpics de Centre i Sud Amèrica, sud-est dels Estats Units i Mèxic. A la regió dels Grans Llacs, per exemple, tot i que es preveu una pèrdua del 53% d'espècies, serà compensat per l'arribada d'altres espècies al territori. Per tant, s'espera que hi hagi una disminució neta del 29%.

Figura 25: Pèrdua neta i bruta dels ocells migradors neotropicals dels Estats Units

Neotropical Migrants	Gross loss %	Net loss %
California	-29	-6
Eastern Midwest	-57	-30
Great Lakes	-53	-29
Great Plains - Central	-44	-8
Great Plains - Northern	-44	-10
Great Plains - Southern	-32	-14
New England	-44	-15
Pacific Northwest	-32	-16
Rocky Mountains	-39	-10
Southeast	-37	-22
Southwest	-29	-4
Mid-Atlantic	-45	-23

Font: Bird species and global change. Climate Risk Pty Limited.

La Breeding Bird Survey (BBS), un dels programes més importants pel registre de la distribució i el seguiment de cria de Nord Amèrica, va fer un estudi a l'est dels Estats Units i al sud-est del Canadà, que ens mostrava que des del 1960 els petits ocells terrestres migradors de curta distància en general havien canviat els seus límits septentrionals del seu rang de cria en uns 23,5 km per dècada. Només dos d'aquests ocells, la **merla mexicana** (*Quiscalus mexicanus*) i la *Polioptila caerulea*, han mostrat expansions cap al nord, mentre que sis espècies han mostrat retrocesos significatius cap al sud. L'atles d'aus reproductores de Nova York indiquen que els límits meridionals d'àrees de reproducció de diversos migradors de curta distància, incloent el **lluer dels pins** (*Spinus pinus*) i el **trencapinyes d'ala blanca** (*Loxia leucoptera*), han avançat cap al nord al llarg d'un període de 20 anys. Segons George W. Cox, 2010, a Nord Amèrica moltes de les regions on els migradors de curta distància passen l'hivern estan avançant cap al nord. De mitjana, el desplaçament cap al nord de l'àrea de distribució va ser d'uns 44km durant el període 1975 -2004, encara que varia considerablement entre les espècies. D'altra banda, una anàlisi quantitativa per La Sorte i Thompson (2007) calcula un desplaçament cap al nord amb una mitjana de 0,45-1,48 km/any en un grup de 254 espècies a Amèrica del Nord.

Un altre estudi indica que el canvi climàtic a Amèrica del Nord durant aquest segle és probable que condueixi a grans canvis en les àrees de distribució dels migradors Neotropicals. Les regions dels Estats Units és probable que perdin des d'un 29 a un 57% dels migradors neotropicals que crien actualment en aquest territori. Aquestes pèrdues, però, seran compensades per altres migradors neotropicals que s'estendran per aquestes regions.

Figura 26: Pèrdua neta i bruta dels ocells migradors neotropicals dels Estats Units

United States Region	Species Lost	Percentage of Neotropical Migrant Birds	
		Species Gained	Net Loss
New England	44	29	15
Mid-Atlantic	45	22	23
Southeast	37	15	22
Great Lakes	53	24	29
Eastern Midwest	57	27	30
Great Plains: Northern	44	34	10
Great Plains: Central	44	36	8
Great Plains: Southern	32	18	14
Rocky Mountains	39	29	10
Pacific Northwest	32	16	16
California	29	23	6
Southwest	29	25	4

Font: Bird species and global change a partir de Price and Root, 2005

Al nord de les Grans Planes de Nord Amèrica, l'anomenada regió de la Praderia Pothole, dos models de circulació generals, basats en una doble emissió de CO₂, prediu majors pèrdues d'hàbitat per a les aus aquàtiques. Per AD 2060, aquests models suggereixen, a la regió que s'estén des del nord d'Iowa fins a Alberta, que el nombre d'estanys de reproducció disminuirà des dels actuals 1,3 milions fins als 0,6 milions. Això correspon a una reducció de la població d'ànecs des dels 5 milions als 2,1 milions. Les espècies que es veuran més afectades poden ser l'ànec collverd, l'ànec cuallarg o bé, el morell petit.

Exemplificant aquests canvis en espècies directament, s'observa que a l'est de Nord Amèrica, diversos rapinyaires sembla que estiguin estenent tant la seva àrea reproductiva com la no reproductiva cap al nord, possiblement en resposta del canvi climàtic. L'**aura** (*Cathartes aura*), el qual utilitza tant la vista i l'olfacte per localitzar animals morts, poden haver-se beneficiat d'un clima més càlid i una reducció de la capa de neu. Es va estendre cap al nord a les praderies canadenques cap a finals del segle passat.

Per altra banda, la **baldriga grisa** (*Puffinus griseus*) també ens mostra un canvi important. És una au marina molt abundant, amb una estimació de 20 milions d'individus arreu del món, i coneguda per ser altament sensible a la temperatura de l'aigua. Migra des de l'hemisferi sud on té la seva àrea de cria per passar l'estiu boreal a l'oest de les costes d'Europa i de Nord Amèrica per alimentar-se de peix i calamars.

Una població molt important de baldriga grisa a la costa oest d'Amèrica del Nord, a Califòrnia, va reduir-se un 90% fins a mitjans dels anys 90, a partir d'una població inicial de tan sols 5 milions (Viet et al., 1996). Això va ocórrer en conjunció amb un augment de les temperatures de la superfície marina a conseqüència de l'escalfament global, i una reducció dels nutrients disponibles per al plàncton i les preses. Encara no se sap si realment la població va disminuir o es va redistribuir pel Pacífic Nord i Central, on el menjar pot haver estat més abundant. Tot i això, d'acord amb Viet et al. (1997), si l'escalfament observat en les aigües de la Corrent de Califòrnia és una manifestació irreversible del canvi climàtic global, llavors l'impacte sobre les poblacions de baldriga grisa sembla que puguin ser profundes.

En els darrers anys una recuperació lenta i parcial s'ha observat en aquesta població actual a Califòrnia amb una baixa taxa de reproducció (Sydeman, 2005). Això també podria reflectir una tornada cap al territori californià. De totes maneres, s'estima una lenta recuperació a partir d'una disminució de la població.

Canvis en la distribució a Centre i Sud Amèrica

L'escalfament de les terres baixes tropicals, juntament amb la tala d'arbres, poden alterar les condicions físiques i biòtiques d'aquestes regions, utilitzades per molts migradors altitudinals durant l'època no reproductiva. A Costa Rica, per exemple, el *Procnias tricarunculatus*, se'n pot veure perjudicat ja que depèn de la vessant del Pacífic i dels seus boscos de baixes altituds durant la seva època no reproductiva.

Posant altres exemple, el **tucà de bec multicolor** (*Ramphastos sulfatus*), a Costa Rica, que prèviament només criaven en terres baixes estan niant actualment al costat dels quetzals resplendents, aus que representen un símbol de la selva nebulosa de la regió de latituds mitges d'Amèrica (Middle America), boscos de les muntanyes sempre verdes embolicades en núvols o boira. Aquesta tendència, que normalment eren intolerants als boscos nebulosos, per colonitzar terres més altes s'ha correlacionat positivament amb l'elevació del banc de núvols i les condicions climàtiques estacionals més seques, amb una vinculació al canvi climàtic. Entre 1979 i 1998, 15 d'aquestes espècies van colonitzar aquest hàbitat i van establir-hi poblacions reproductores (Pounds et al., 1999). Per tant, hi ha hagut un canvi altitudinal en l'àrea de distribució d'aquestes espècies.

Per altra banda, els **pingüins de les Galápagos** (*Spheniscus mendiculus*) que estan en perill d'extinció, s'han reduït a la meitat des de principis de la dècada de 1970 a causa de que els pingüins adults estan esquelètics i no han pogut reproduir-se durant els anys severs amb el fenomen d'El Niño (Boersma, 1998). Les poblacions es van reduir dràsticament després del

Niño del 1982 – 1983, i actualment s'estan recuperant molt lentament. No existeixen àrees idònies per a la seva alimentació fora de les Galàpagos (Boersma, 1999). Atès que els models climàtics prediuen que el fenomen d'El Niño pot ser més freqüent de cara al futur (Timmerman et al., 1999), s'espera que el canvi climàtic redueixi encara més aquestes petites poblacions de pingüins i, alhora, els amenaci amb l'extinció (Boersma, 1998). Tot i no ser un cas de modificació de la seva àrea de distribució, si que s'observa com una espècie queda restringida en un territori per manca d'àrees exteriors idònies. Així doncs, les poblacions de **pingüins de les Galápagos (*Spheniscus mendiculus*)**, corren el greu risc d'extingir-se ja que la seva àrea de distribució queda reduïda.

Canvis en la distribució a l'Àrtic

S'espera que el canvi climàtic tingui la seva influència més pronunciada en els hàbitats de l'Àrtic (DEFRA, 2005) i per tant s'espera que les aus àrtiques siguin les més vulnerables. L'Àrtic s'ha escalfat més ràpid que qualsevol altra regió de la Terra durant el segle passat, gairebé dues vegades més ràpid que la mitjana global. Això ja està contribuint a profunds canvis ambientals i aquesta tendència continuarà, augmentant la temperatura entre 4-7 °C en els propers 100 anys segons alguns models climàtics (ACIA¹², 2004). La mitjana de gel marí a l'estiu ha disminuït un 15-20% per dècada en els últims 30 anys, reduint el volum total de gel en aproximadament un 40% de mitjana. Si aquesta tendència continua s'espera que el gel marí desaparegui per complet a finals d'aquest segle (ACIA, 2004).

L'Àrtic té una gran importància pels ocells a causa de que aproximadament el 15% de les espècies de tot el món es reproduïxen en aquest indret del món. Gairebé totes les espècies d'aus àrtiques són migratòries, i diversos centenars de milions d'aquestes espècies visiten l'Àrtic cada any (ACIA, 2004), incloent 20 milions d'oques i aus limícoles que passen l'hivern a Europa, Àsia i Amèrica del Nord (WWF, 2005a). La majoria de les aus àrtiques crien a la tundra, a la immensa plana sense arbres, que es troba entre la capa de gel de l'Àrtic i la línia d'arbres al sud, i que es caracteritza pel subsòl permanentment congelat anomenat permafrost (DEFRA, 2005).

El canvi climàtic causarà pèrdues ràpides i dramàtiques en els hàbitats de cria dels ocells aquàtics de l'Àrtic (Birdlife, 2004a). Les pèrdues globals d'àrea de la tundra actual es preveu que sigui entre el 40-57% (Böhning-Gaese i Lemoine, 2004), això inclou els hàbitats per a diverses espècies d'aus marines en perill d'extinció a nivell mundial (ACIA, 2004). Vastes àrees de la tundra se sotmetran a un canvi alt, amb més densitat de vegetació afavorint

¹² ACIA: Arctic Climate Impact Assessment

l'expansió forestal (UNEP, 2005; ACIA 2004; IPCC, 2002). Aquest canvi podria procedir-se a una velocitat de 0,2 km/any (Birdlife, 2004a), entre els índexs més alts de migració del món, i moltes espècies poden ser incapaces de canviar amb la suficient rapidesa per mantenir-se al dia (WWF, 2000). Les aus que crien a la tundra com les limícoles no seran capaces d'adaptar-se a un terreny més espès o conquerits per arbres i així, a excepció d'algunes zones guanyades per glaceres en retrocés, seran incapaces de guanyar nous hàbitats (Zöckler, 2000). S'espera, per tant, que grans àrees importants de reproducció i nidificació disminueixin ràpidament. A mesura que s'estenen els boscos boreals cap al nord, també es sobreposaran en un 60% amb aquells territoris on hi regaven els arbustos, hàbitats crucials per a la reproducció del **corb gran** (*Corvus corax*), l'**escribà nival** (*Plectrophenax nivalis*), la família dels escolopàcids i els xatrans (WWF, 2005a).

El canvi climàtic es preveu que tingui els seus efectes més immediats sobre les aus marines àrtiques (Meehan, 1998). De fet, els desplaçaments ja han començat per algunes espècies d'aus marines (ACIA, 2004). Aquelles que s'alimenten als marges del gel marí patiran una dràstica reducció en conjunció amb la ràpida disminució del volum de gel marí. S'espera que aquesta tendència continuï amb un major canvi climàtic, empenyent a algunes espècies d'aus marines cap a l'extinció (ACIA, 2004). Una altra amenaça vindrà quan les espècies les qual la seva àrea de distribució es concentra més al sud comencin a canviar-la per desplaçar-se cap al nord arran de l'escalfament global. Com a resultat d'això, les espècies àrtiques poden patir una major competència i ser desplaçades per espècies invasores (ACIA, 2004).

Un estudi de 25 aus aquàtiques de l'Àrtic va mostrar la pèrdua d'àrea de reproducció d'ampli abast a causa dels canvis en l'escalfament global amb una duplicació de CO₂ entre el 2070-2099 (Zöckler i Lysenko 2000). Això inclou:

- L'oca de coll roig (*Branta ruficollis*), un ocell que cria al territori europeu de l'Àrtic i passa l'hivern al sud-est d'Europa, perdria el 67% del seu hàbitat amb un escalfament moderat d'1,7°C i el 99% del seu hàbitat amb un increment de 5°C.
- L'oca pradenca (*Anser fabalis*) perdria el 76% del seu hàbitat amb un escalfament moderat (1,7 ° C) i el 93% del seu hàbitat amb l'escalfament més extrem (5 ° C).

També l'enretirada de gel tindrà greus conseqüències negatives per a les **gavines d'ivori** (*Pagophila eburnea*), que nien als penya-segats i s'alimenten de peixos a través d'esquerdes en el gel marí. Les poblacions canadenques d'aquest tipus de gavines ja han disminuït un 90% en les últimes dues dècades (ACIA, 2004).

Algunes espècies d'aus migratòries amb àrees de reproducció en latituds molt altes poden estar en risc d'extinció si l'escalfament global elimina el seu hàbitat o altera les condicions de l'hàbitat, permetent espècies competidores envair aquests hàbitats i per tant, desplaçar-les.

Canvis en la distribució a l'Antàrtida

La taxa actual de canvi climàtic a l'Antàrtida implica canvis sense precedents en els processos oceànics, processos els quals afecten els depredadors de la part superior de la cadena alimentària, incloses les aus marines (Croxall, 2004). La Península Antàrtica, la part més septentrional i la que alberga la major biodiversitat d'aquest continent, s'està escalfant més ràpid que qualsevol altra part de l'hemisferi sud. Aquest ecosistema sec i amb fred polar marí està sent reemplaçat per un clima marítim més càlid i humit. Les tendències d'augment de la temperatura i la salinitat actuen per reduir la producció de gel marí (Meredith i King, 2005). Les preses marines són extremadament sensibles als augments molt petits en la temperatura, i l'eliminació de la població pot ser el resultat de fins i tot petits canvis en l'oceà (Meredith i King, 2005). La capa de gel estacional a la Península Antàrtica Occidental és un important viver i territori de cria per al krill, que sustenta la xarxa tròfica de l'Oceà Antàrtic i serveixen com a presa crucial per a moltes espècies d'aus (IPCC 2001b). La producció de krill antàrtic ja ha descendit notablement amb la disminució del gel marí de l'hivern (Moline et al., 2004). Per tant les conseqüències ecològiques del canvi climàtic per a aquesta àrea són significatives.

Les aus marines antàrtiques també es poden veure afectades per un desplaçament cap al sud o reduïdes a l'extensió de la zona marginal de gel, que uneix l'oceà obert a la bossa de gel sòlid. Les aus que es reproduïxen al continent es poden veure afectades positivament, mentre que s'espera que els criadors subantàrtiques es vegin afectats negativament.

Canvis en la distribució a l'Àfrica

El *Macronyx croceus* és un ocell endèmic del sud d'Àfrica bastant comú i que es troba en hàbitats diversos, des de les pastures de la costa fins a les muntanyes. Els models climàtics utilitzen la humitat i la temperatura per fer models de la seva nova distribució, deixant al descobert que l'espècie patiria una retirada cap al sud. Es limitaria, doncs, a un terreny més elevat a Sud-Àfrica i s'hauria extingit localment a Botswana (Birdlife, 2004).

Canvis en la distribució a Oceania

S'han dut a terme pocs estudis a Oceania, alguns dels quals no mostren directament el paper que tindrà el canvi climàtic sobre les seves àrees de distribució. Per posar un exemple del fenomen al continent, estudis mostren que els **arquers**, uns ocells passeriformes tropicals terrestres, que viuen a les muntanyes de Queensland, són altament sensibles al canvi climàtic. Un escalfament d'1°C és probable que redueixi l'hàbitat on cria en un 50%. En cas que aquest escalfament s'incrementi fins als 3°C, l'espècie quedaria restringida a unes poques àrees elevades.

Canvis en la distribució a l'Àsia

Molt poca informació està disponible en quant als ocells migradors de l'est asiàtic. Tot i això, un recent estudi dels canvis en l'àrea de cria dels ocells al Japó, va trobar que alguns d'aquests migradors de llarga distància estan disminuint. Àrees com les del **capsigrany bru** (*Lanius cristatus*) o bé, del **sit caranegre** (*Emberiza aureola*), s'han reduït fins al 50%. El canvi climàtic contribueix a aquesta reducció, però sobretot ho és la destrucció dels hàbitats. El **xarxet del Baikal** (*Anas formosa*) és un ocell aquàtic que es reproduïx a Sibèria i passa els hiverns a Corea del Sud, Japó i el nord-est de la Xina. El 1990 es va calcular que tan sols quedaven 50.000 individus, i es declarà aquest ocell com a vulnerable. Essent un ocell que nia només en els pantans és declara particularment vulnerable al canvi climàtic. Nivells freàtics més baixos i majors taxes de sequera equivalen a una reducció d'hàbitat disponible. La pèrdua d'hàbitat pot posar en perill la capacitat de l'au per completar el seu viatge migratori (DEFRA, 2005). Per tant, és vulnerable a la modificació de la seva àrea de distribució.

7. CONSIDERACIONS FINALS

Els ocells són un grup d'animals molt dinàmics que estan sota la influència dels ecosistemes, territoris els quals estan sotmesos a alteracions vàries i constants fruit de l'acció humana. Això fa que el tema presenti un grau de complexitat elevat per arribar a unes conclusions clares ja que en cas de voler determinar quins han estat i quins seran els factors concrets d'aquest impacte caldria analitzar moltes variables. No obstant, s'ha intentat recopilar allò més important que ha anat afectant i alterant la dinàmica dels ocells fins ara, a més de poder saber com pot evolucionar el seu cycle vital sota un escenari de canvi climàtic.

Durant els darrers anys la gran majoria d'espècies d'ocells migradors han avançat la seva data d'arribada a les seves zones de cria. Hi ha una clara evidència en els estudis publicats que demostren que la migració a la primavera està avançant intentant adaptar-se a l'escalfament global i és que aquest avançament, en una majoria dels casos, es deu a la bonança de les temperatures durant la primavera. Però la qüestió és que tot i arribar abans, no ho fan prou aviat. Es demostra com hi ha un desajustament entre el desenvolupament de les plantes i els pics d'abundància dels insectes dels quals s'alimenten els ocells, i l'arribada d'aquests. Aquest desenvolupament de la natura avança al ritme que ho fa la primavera, però els ocells migradors són incapaços de seguir el mateix ritme. Això pot comportar greus conseqüències i és que en cas de no poder alimentar els seus polls, el nombre de cries supervivents poden reduir-se dràsticament, fet que conduiria a una disminució en les poblacions.

El canvi climàtic es pot notar en tots aquells territoris per on passa i on s'hi estableix, referint-nos a les àrees no reproductives, als territoris al llarg de les seves rutes migratòries i en els seus llocs de cria. Els ocells migradors de llarga distància no semblen respondre al canvi climàtic, desplaçant el seu calendari de migració, tan ràpidament com els migradors de curta distància. De totes maneres, s'espera que el canvi climàtic faci els ocells migradors de llarga distància més vulnerables que els de curta distància a causa del gran risc per al primer de desajust entre l'arribada a les zones de cria amb el període de major disponibilitat d'aliments. Els migradors de llarga distància que s'enfronten a majors dificultats són els que fan la ruta migratòria entre l'Àfrica i l'Europa occidental. Alguns dels territoris importants pels quals creuen, com el sud d'Espanya, el nord d'Àfrica o la regió del Sahel, es veuran afectats per la desertificació o es convertiran en hàbitats més secs. Això farà que els recursos disminueixin i aquests territoris siguin més hostils.

Pel que fa a la posta d'ous, hi ha proves creixents d'estudis a llarg termini que els ocells estan avançant la seva data de posta i que aquest fet està associat amb l'augment de les temperatures mitjanes. Tot i que en molts estudis es focalitza en les temperatures més càlides a la primavera com a principal motiu d'aquest avançament, existeixen altres factors que l'influencien, com la precipitació o l'abundància en aliments. A més, altres processos de canvi global com els canvis en els usos del sòl o la contaminació humana tampoc es contemplen. Cal tenir en compte que tot i que hi ha una tendència clara a pondre els ous abans en primaveres més càlides, aquest avançament no és homogeni ni per tots els territoris ni per totes les espècies, sinó que es mostren diferències geogràfiques. Aquestes, es donen per la variació local del canvi en les temperatures i la influència dels patrons climàtics regionals. Això, per tant, fa que es mostrin variacions dins i entre les espècies.

En quant a l'impacte sobre les àrees de distribució cal dir que hi ha una clara resposta desplaçant-se cercant temperatures òptimes. Per tant, si els climes locals i regionals segueixen les mitjanes globals d'escalfament podem esperar que els ocells canviïn les seves àrees de distribució, ja sigui en altitud o latitud, per a realitzar un seguiment de les seves temperatures idònies per a desenvolupar-se. De totes maneres, tot i que el clima és un factor clau que influencia els ocells, ja sigui directe o indirectament, no és l'únic factor sinó que n'hi ha d'altres que s'han de tenir en compte per entendre els canvis en les àrees de distribució.

Tot i que puguin desplaçar-se cap el nord, en les nostres latituds, en la recerca de millors indrets on viure, no significa que finalment aconseguixin establir-se en una zona climàtica a la qual estan adaptats. A trets generals, les distribucions de les espècies es creu que es desplaçaran cap al nord, i en el cas d'Europa, cap al nord-est. Tot i que algunes espècies veuran com la seva nova àrea de distribució se superposa amb l'actual, altres espècies poden ser incapaces d'estendre la seva àrea de distribució geogràfica a causa de la capacitat limitada per dispersar o per la falta d'hàbitat adequat. A més, alguns hàbitats de cria d'ocells migradors és probable que es redueixin o bé s'eliminin arran del canvi climàtic. A part, una de les conseqüències majors també serà la prolongació de la ruta de migració i, per tant, una major demanda d'energia per a fer front a aquesta migració.

El canvi climàtic i la fragmentació de l'hàbitat són un greu problema per a la supervivència de les espècies. Els esforços que es requereixen per a la seva protecció hauran de ser enormes. Sobretot els ocells migradors, però, presenten reptes de conservació inusuals a causa de la seva dependència de varietat d'entorns. Els migradors de llarga distància tenen una característica particular i és que necessiten àrees on poder descansar i recuperar el subministrament d'energia per emprendre altra vegada el llarg viatge de la migració. Per les

aus terrestres aquestes àrees de descans acostumen a ser territoris amb vegetació abundant i resseguint oceans, llacs, rius o deserts. Per a les aus costaneres, els hàbitats pantanosos i les costes són essencials per a les migracions. Doncs, calen esforços per protegir aquests llocs que poden proporcionar aliment i refugi.

Pel que fa als ocells més vulnerables s'espera que siguin els àrtics i sub-àrtics, especialment els ocells de la tundra alpina, així com les espècies costaneres que patiran una major pèrdua d'hàbitat de cria a causa de les activitats humanes i l'escalfament global. Pel que fa a aquelles espècies més vulnerables a l'extinció són les que tenen distribucions restringides o distribucions limitades, com aquelles localitzades en illes petites o en altituds elevades. Els ocells que es reproduïxen a les illes oceàniques, tant les espècies marines com les terrestres, són les més nombroses en perill d'extinció.

Així doncs, tot i que els ocells ja estan modificant la seva dinàmica vital no estan seguint els canvis del canvi climàtic a una velocitat suficient, i això es tradueix en un desacoblament espacial de conseqüències negatives ja que hi ha un lligam entre els ecosistemes i els diferents grups d'organismes que hi viuen. De totes maneres, i tal i com s'ha anat comentat al llarg del treball, a l'hora d'interpretar els resultats cal tenir present que el clima només és un dels factors implicats, i que altres canvis ambientals, com les modificacions en els usos del sòl, no es tenen en compte en molts dels estudis tot i tenir-hi un paper important. Tot i aquestes limitacions ens podem fer una idea dels efectes del canvi climàtic en els ocells, a l'espera de poder veure's incrementat en els propers anys si el canvi climàtic s'agreuja.

D'aquesta manera serà molt important el paper que hi jugarà l'administració per a la conservació d'aquests animals i dels seus hàbitats. S'estan realitzant grans esforços a tot el món per aconseguir la seva protecció però aquests esforços han d'enfortir-se per garantir la supervivència de les espècies. Algunes de les recomanacions, però, podrien anar en aquesta línia: expandir la xarxa de monitoratge ja que el coneixement que tenim és deficient quan parlem d'ocells de l'est i sud-est asiàtic, Sud Amèrica i Àfrica. També augmentar les àrees de protecció on nidifiquen colònies i millorar les xarxes de connectors ecològics ja que el canvi climàtic i l'augment de la transformació humana dels ecosistemes fan més fràgils els hàbitats essencials per als ocells. Especialment seran important els hàbitats forestals, les zones humides i les àrees naturals que voregen deserts i oceans. Als tròpics, on els moviments altitudinals hi són destacats, s'han de mantenir els lligams entre els boscos de les altes altituds i les zones baixes utilitzades com a àrees no reproductives.

Per tant, els humans a part de tenir l'obligació de preservar els hàbitats i garantir la supervivència d'aquests animals ja que arran de la nostra activitat hem alterat la seva dinàmica, hem de tenir en compte que els ocells tenen una funcionalitat ecològica molt important i que encara ara cal reivindicar i demostrar.

8. FONTS BIBLIOGRÀFIQUES

- Ahola M., Laaksonen T., Sippola K., Eeva T., Rainio K. i Lehikoinen E. (2004) Variation in climate warming along the migration route uncouples arrival and breeding dates. *Global Change Biology* 10.
- Bairlein F. i Hüppop O. (2004) Migratory fuelling and global climate change. In: Møller, A., Berthold, P. I Fiedler, W (Eds) *Birds and Climate Change*, pp. 33. *Advances in Ecological Research* 35. Elsevier Academic Press.
- Barbraud C. i Weimerskirch H. (2001). Emperor penguins and climate change. *Nature* 411: 183.
- Beaumont L.J., McAllan I.A.W. i Hughes L (2010) A matter of timing: changes in the first date of arrival and last date of departure of Australian migratory birds. *Global Change Biology*.
- Boersma P.D. (1998) Population trends of the Galapagos penguin: Impacts of El Niño and La Niña. *The Condor*: Vol. 100(2): 245.
- Boersma P.D. (1999) Impacts of El Niño on Galapagos penguins' body condition and movement. *Proceedings of the American Association for the Advancement of Science*, Pacific Division 18 (1): 43.
- Böhning-Gaese, K. i Lemoine N. (2004) Importance of Climate Change for the Ranges, Communities and Conservation of Birds.
- Bolger D.T., Patten M.A. i Bostock D.C. (2005) Avian reproductive failure in response to an extreme climatic event. *Oecologia* 142: 398-406.
- Both C., Artemyev A.V., Blaauw B., Cowie R.J., Dekhuijzen A.J., Eeva T., Enemar A., et al., (2004) Large-scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. *Proceedings of the Royal Society of London* 271: 1657.
- Both C., Bouwhuis S., Lessells C.M. i Visser M.W. (2006) Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature* 441: 81.
- Both, C., I Visser, M.E. (2005) The effect of climate change on the correlation between avian life-history traits. *Global Change Biology* 11, 1606 – 1613.
- Burton, J. F., (1995) *Birds and climate change*.
- Butler C.J. (2003) the disproportionate effect of global warming on the arrival dates of short-distance migratory birds in North America. *Ibis* 145.
- Chambers L.E., Hughes L. i Weston M.A. (2005) Climate change and its impact on Australia's avifauna. *Emus* 105:1.
- Coppack, T. i Both, C. (2002) Predicting life-cycle adaptation of migratory birds to global climate change. *Ardea* 90: 369.
- Coppack, T. i Both, C. (2002) Predicting life-cycle adaptation of migratory birds to global climate change. *Ardea* 90: 369.
- Cox, G.W., (2010) *Bird Migration and Global Change*.
- Cresswell, W., I McCleery, R. (2003) How great tits maintain synchronization of their hatch date with food supply in response to long-term variability in temperature. *Journal of Animal Ecology* 72, 356-366

- Crick, H.Q.P. (2004) The impact of climate change on birds. *Ibis* 146, 48.
- Dawson, A (2008) Control of the annual cycle in birds: endocrine constraints and plasticity in response to ecological variability. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B – biological Sciences* 1497, 1621-33
- Devictor, V., Julliard, R., Couvet, D., Jiguet, F., Devictor, V. (2008) Birds are tracking climate warming, but not enough. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol.275(1652), pp.2743-2748.
- Devictor, V., Van Swaay, C., Brereton, T., Brotons, Ll., Chamberlain, D., Heliölä, J., et al., (2012) Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale. *Nature Climate Change*, 2012, Vol.2(2), p.121.
- Dunn, P.O. (2004) Breeding dates and reproductive performance. *Journal of Animal Ecology* 76, 139 – 148
- Erasmus B.F.N, van Jaarsveld A.S., Chown S.L., Kshatriya M. i Wessels K.J. (2002) Vulnerability of South African animal taxa to climate change. *Global Change Biology* 8: 679.
- Folch, R., Lladó, O., Hervàs, L., et al., (2008) Suarem: el clima que ens espera.
- Gjerdrum, C., Vallee, A.M.J., St.Clair, C.C., et al. (2003) Tufted puffin reproduction reveals ocean climate variability. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 100
- Gregory, R., Butchart, H.M., Walpole, M., Collen, B., Van Strien, A., (2010) Global biodiversity: indicators of recent declines, *Science* 328
- Hansen J., Ruedy R., Sato M. i Lo K. (2005) GISS surface temperature analysis: Global temperature trends, 2005 summation. NASA Goddard Institute for Space Studies and Columbia University Earth Institute. Available at: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/2005/>.
- Huntley B., Collingham Y.C., Green R.E., Hilton G.M., Rahbek C. i Willis S. (2006). Potential impacts of climate change upon geographical distributions of birds. *Ibis* 148: 8.
- Huntley B., Green R.E., Collingham Y.C. i Willis S.G. (2007) A Climatic Atlas of European Breeding Birds.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC; 1996), *Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Contribution of Working Group 1 to the Second Assessment Report*. Houghton J.T., Filho L.G.M., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A. i Maskell, K. (Eds). Cambridge Univ. Press, New York, 1995.
- IPCC (2001c) *Climate change 2001: Synthesis report. Summary for policymakers*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2007) *Climate change 2007: Synthesis report. Summary for policymakers*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2014) *Climate change 2014: Synthesis report. Summary for policymakers*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jenni L. i Kery M. (2003) Timing of autumn bird migration under climate change: advances in long-distance migrants, delays in short-distance migrants.
- Landres, P. B., J. Verner, I J. W. Thomas (1988) Ecological uses of vertebrate indicator species: a critique. *Conservation Biology* 2:316-328.
- Lehikoinen E., Sparks T. i Žalakevicius M. (2004) Arrival and departure dates. *Advances in Ecological Research* 35.

- Leitner, S., Van't Hof, T.J, i Gahr, M (2003) Flexible reproduction in wild canaries is independent of photoperiod. *General and Comparative Endocrinology* 130, 102-108
- Lyon, B.E., Chaine, A.S., i Winkler, D.W. (2008) A matter of timing. *Science* 321, 1051-1052
- MacMynowski, D.P., Root, T., Ballard, G., I Geupel, G., (2007) Changes in spring arrival of Nearctic-Neotropical migrants attributes to multiscalar climate. *Global Change Biology* 13:1-13
- Mcnamara, J.M., Barta, Z., Wikelski, M. i Houston, A.I (2008) A theoretical investigation of the effect of latitude on avian life histories. *American Naturalist* 172, 331 – 345
- Meredith, M. P. i King J. C. (2005) Rapid climate change in the ocean west of the Antarctic Peninsula during the second half of the 20th century. *Geophysical Research Letters* 32.
- Mills A.M. (2005) Changes in the timing of spring and autumn migration in North American migrant passerines during a period of global warming. *Ibis* 147 (2): 259.
- Moline M.A., Claustre H., Frazer T.K., Schofield O. i Vernet M. (2004) Alteration of the food web along the Antarctic Peninsula in response to a regional warming trend. *Global Change Biology*.
- Møller A.P., Berthold P. i Fiedler W. (2004) The challenge of future research on climate change and avian biology. . In: Møller, A., Berthold, P. i Fiedler, W. (Eds) *Birds and Climate Change*, pp. 237. *Advances in Ecological Research* 35. Elsevier Academic Press.
- Møller A.P., Berthold P. I Fiedler W. (2004) The challenge of future research on climate change and avian biology. . In: Møller, A., Berthold, P. i Fiedler, W. (Eds) *Birds and Climate Change*, pp. 237. *Advances in Ecological Research* 35. Elsevier Academic Press.
- Moller, A.P. (2002) North Atlantic Oscillation (NAO) effects of climate on the relative importance of first and second clutches in a migratory passerine bird. *Journal of Animal Ecology* 71, 201-210
- Moller, A.P., Fiedler, W., Berthold, P. (2010) *Effects of Climate Change on Birds*.
- Myneni, R.B., Keeling, C.D., Tucker, C.J., et al (1997) Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386, 698-702
- Newton, I. (2008) *The Migration Ecology of Birds*. *Academic Press*.
- Nussey, D.H., Postma, E., Gienapp, P., I Visser, M.E. (2005) Selection on heritable phenotypic plasticity in a wild bird population. *Science* 310, 304-306
- Oficina catalana del canvi climàtic (2011) *Guia sobre finançament i canvi climàtic* .
- Parmesan C. (2005) Biotic response: Range and abundance changes. In: Lovejoy T.E. and Hannah. L. (Eds) *Climate Change and Biodiversity*, pp. 41. Yale University Press, New Haven i London.
- Parmesan C. i Yohe G. (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37.
- Reid W. V., Mooney H.A., Cropper A., Capistrano D., Carpenter S.R., Chopra K., et al., (2005) *Ecosystems and Human Well Being*. Millennium Ecosystem Assessment Synthesis report. Island Press, Washington DC.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Folke, C., Nykvist, B., De Wit, C., Rodhe, H., Sörlin, S., Constanza, R., Svedin, U. et al. (2009) *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*.

- Rodríguez, C. i Bustamante, J (2003) The effect of weather on lesser kestrel breeding success: can climate change explain historical population declines? *Journal of Animal Ecology* 72, 793-810
- Saether, B.E., Engen, S., Moller, A.P., et al (2004) Climate variation and regional gradients in population dynamics of two hole nesting passerines. *Proceedings of the Royal Society of London Series B* 270
- Sanz J.J. (2003) Large-scale effect of climate change on breeding parameters of pied flycatchers in Western Europe. *Ecography* 26(1): 45.
- Sanz J.J., Potti J., Moreno J., Merino S. i Frias O. (2003) Climate change and fitness components of a migratory bird breeding in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 9 (3): 461.
- Şekercioğlu, Ç.H., Primack, R.B., Wormworth, J. (2014) The effects of climate change on tropical birds.
- Sheldon, B.C., Kruuk, L.E., I Merila, J. (2003) Natural selection and inheritance of breeding rime and clutch size in the collared flucatcher. *Evolution* 57, 406-420
- Sinelschikova, A., Kosarev, V., Panov, I., I Baushev, A. (2007) The influence of wind conditions in Europe on the advance in timing of the spring migration of the song thrush (*Turdus philomelos*) in the south-east Baltic Region. *International Journal of Biometeorology* 51, 431-440.
- Skinner, W.R., Jefferies, R.I., Carleton, T.J. et al. (1998) Prediction of reproductive success and failure in lesser snow geese based on early season climatic variables. *Global Change Biology* 4, 3-16
- Sokolov, L.V., Markovets, M.Yu, Shapoval, A.P. i Morozov, Yu G. (1998) Long-term trends in the timing of spring migration of passerines on the Courish Spit of the Baltic Sea. *Avian Ecology and Behavior*.
- Thomas C.D., Cameron A., Green R.E., Bakkenes M., Beaumont L.J., Collingham Y.C., et al., (2004) Extinction risk from climate change. *Nature* 427: 145.
- Thomas, C.D., i Lennon, J.J. (1999) Birds extend their ranges northwards. *Nature* 399, 213
- Torti, V.M. I Dunn, P.O. (2005) Variable effects of climate change on six species of North American birds. *Oecologia* 145, 486-495
- Tryjanowski P., Kuniak S. i Sparks T. 2002. Earlier arrival of some farmland migrants in western Poland. *Ibis* 144: 62.
- Tryjanowski P., Kuniak S. i Sparks T. 2002. Earlier arrival of some farmland migrants in western Poland. *Ibis* 144: 62.
- Verboven, N., Tinbergen, J.M, I Verhulst, S. (2001) Food, reproductive success and multiple breeding in the great tit *Parus major*. *Ardea* 89, 387 – 406
- Walther G.-R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C., Fremont J.-M., Hoegh-Guldberg O. i Bairlein F. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389.
- Walther G.-R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C., Fremont J.-M., Hoegh-Guldberg O. i Bairlein F. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389.
- Winkel, W. i Hudde, H. (1997) Long term trends in reproductive traits of tits (*Parus major*, *Parus caeruleus*) and pies flycatchers *Ficedula hypoleuca*. *Journal of Avian Biology* 28, 187-190

Winkler, D.W., Dunn, P.O., I McCulloch, C.E. (2002) Predicting the effects of climate change on avian life-history traits. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99, 1395-13599.

Wormworth, J., Mallon, K., Birds (2006) species and climate change. The Global Status Report. Managing Protected Areas Under Climate Change: Challenges and Priorities.

Zockler C. i Lysenko I. (2000) Water birds on the edge: First circumpolar assessment of climate change on Arctic-breeding water birds. United Nations Environment Programme i World Conservation Monitoring Centre. Disponible a: <http://www.unep-wcmc.org/climate/waterbirds/report.pdf>.