

FACTORES AMBIENTALES QUE DETERMINAN LA VARIACIÓN INTERANUAL EN LA MIGRACIÓN DE LAS POBLACIONES DE PARDELA BALEAR Y PARDELA CENICIENTA DEL MEDITERRÁNEO

Beatriz Martín
Alejandro Onrubia
Lola Cano
FUNDACION MIGRES



INSTITUTO DE ESTUDIOS CEUTÍES

2023

**FACTORES AMBIENTALES QUE
DETERMINAN LA VARIACIÓN
INTERANUAL EN LA MIGRACIÓN
DE LAS POBLACIONES DE PARDELA
BALEAR Y DE PARDELA CENICIENTA
DEL MEDITERRÁNEO**

Beatriz Martín
Alejandro Onrubia
Lola Cano
Fundación Migres



INSTITUTO DE ESTUDIOS CEUTÍES
CEUTA 2023

© Fotografía de portada, Javier Elorriaga

© Del texto, del autor, 2023

© De la imágenes, sus autores, 2023

Colección *Trabajos de Investigación*

Ciencias

El contenido de esta publicación procede de la Beca concedida por el Instituto de Estudios Ceutíes, perteneciente a la Convocatoria de Investigación de 2017.

© EDITA: INSTITUTO DE ESTUDIOS CEUTÍES

Apartado de correos 593 • 51080 Ceuta

Tel.: + 34 - 956 51 0017

E-mail: iec@ieceuties.org

www.ieceuties.org

Comité editorial:

Gabriel M^a Fernández Ahumada • José Luis Ruiz García

José María Campos Martínez • Santiago Ramírez Fernández

Fernando Villada Paredes • María Jesús Fuentes García

Jefe de publicaciones:

Saúl Yubero Hierro

Diseño y maquetación:

Enrique Gómez Barceló

Realización e impresión:

Papel de Aguas S. L. - Ceuta

ISBN: 978-84-18642-32-6

Depósito Legal: CE 7 - 2023

Quedan reservados todos los derechos:

Esta publicación no puede ser reproducida, ni en todo ni en parte, ni registrada en, ni tramitada por, sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia, o cual otro, sin permiso previo del Instituto de Estudios Ceutíes.

Las opiniones, hechos o datos consignados en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Objetivos	14
Análisis espacial de la migración de la pardela balear	14
Análisis de la fenología de la migración postnupcial de la pardela balear y la pardela cenicienta en el estrecho de Gibraltar.....	15
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	17
2.1. Especies de estudio	17
Pardela balear	17
Pardela cenicienta	18
2.2. Métodos	19
Análisis espacial de la migración de la pardela balear	19
• Descripción de las variables y fuentes de datos	19
• Modelos predictivos	24
Análisis de la fenología de la migración postnupcial de la pardela balear y la pardela cenicienta en el estrecho de Gibraltar.....	26
• Área de estudio.....	26
• Descripción de los datos analizados.....	26
• Variables del modelo	28
• Análisis estadístico.....	31
3. RESULTADOS	35
3.1 Análisis espacial de la migración de la pardela balear.....	35
3.2 Análisis de la fenología de la migración postnupcial de la pardela balear y la pardela cenicienta en el estrecho de Gibraltar.....	44

Patrones diarios y estacionales	44
Modelos predictivos	47
Análisis de los datos recogidos desde Ceuta.....	55
• Tendencia interanual.....	55
• Correlación de los datos recogidos en Ceuta y Tarifa.....	56
4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	59
4.1 Análisis espacial de la migración de la pardela balear.....	59
Conclusiones.....	61
4.2 Análisis de la fenología de la migración postnupcial de la pardela balear y la pardela cenicienta en el estrecho de Gibraltar	62
Incrementos en la supervivencia y / o éxito reproductivo.....	63
Cambio climático y abundancia de pardelas	63
¿Más pardelas saliendo del Mediterráneo?.....	64
Fuentes potenciales de sesgos en los conteos.....	65
Conclusiones.....	65
5. DIFUSIÓN DEL PROYECTO Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA.....	67
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y FUENTES DOCUMENTALES	71
7. ANEXOS.	81
ANEXO I. Difusión en el ámbito científico	83
ANEXO II. Publicaciones científicas	87
ANEXO III. Trabajo de Fin de Máster y premios	89

**FACTORES AMBIENTALES QUE
DETERMINAN LA VARIACIÓN
INTERANUAL EN LA MIGRACIÓN
DE LAS POBLACIONES DE PARDELA
BALEAR Y DE PARDELA CENICIENTA
DEL MEDITERRÁNEO**

Autores:

Concepción del proyecto, diseño, análisis e interpretación de los resultados; redacción de contenidos y creación de figuras: Dra. Beatriz Martín.

Coordinación de la campaña de seguimiento de aves marinas; asesoramiento científico: Dr. Alejandro Onrubia.

Difusión de resultados: Lola Cano.

Beatriz Martín Morcuende es doctora en Biología por la Universidad Complutense de Madrid y especialista en investigación aplicada a la conservación de la fauna. Durante veinte años ha estudiado los diversos conflictos a los que se enfrentan las aves y otras especies animales (desde aves esteparias, rapaces o aves marinas, hasta grandes mamíferos, reptiles e insectos), como consecuencia de diversas actividades humanas, incluyendo la fragmentación del hábitat, las colisiones con infraestructuras artificiales, la contaminación lumínica, la presión turística o el cambio climático. A lo largo de su carrera ha trabajado para diversas entidades nacionales e internacionales, tanto públicas (Museo Nacional de Ciencias Naturales, Estación Biológica de Doñana, COI-UNESCO, *European Flood Awareness System* -EFAS-, Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Programa Copernicus -ECMWF-) como privadas (Fundación Oso Pardo, Fundación Migres, *Randbee Consultants*). Es experta en modelación estadística y espacial. Su experiencia abarca también el campo de la docencia, con la impartición de cursos y seminarios acerca de su ámbito de trabajo, así como con diversos alumnos tutorizados, tanto de universidades nacionales como internacionales. En la actualidad trabaja como especialista en “Data Science” para el análisis de información ambiental, es directora de proyectos en *Randbee Consultants*, y colabora en la elaboración de los resultados del *Butterfly Monitoring Scheme* en la Red de Parques Nacionales de España.

Alejandro Onrubia Baticón. Valladolid (1966). Doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad de León, sobresaliente Cum laude por la tesis doctoral “Patrones espacio-temporales de la migración de aves planeadoras por el estrecho de Gibraltar”. 30 años implicado de forma profesional en diversos trabajos y proyectos relacionados con conservación de la naturaleza y gestión de la vida silvestre, vinculado a la Universidad de Cantabria (1988-1989), Fundación para la Ecología y Protección del Medio Ambiente (1989), Federación Navarra de Caza (1990), Sociedad Española de Ornitología (1991-1993) y Universidad de León (1991-1997); 14 años de experiencia en una consultora ambiental en el norte de España (1993-2006) y 15 años en la Fundación Migres (2006-2021). Experto en captura y marcaje de fauna silvestre; 39 años como anillador experto de aves acreditado por el Ministerio de Medio Ambiente y la Sociedad Española de Ornitología. Submarinista científico desde 1990. Diplomado en Flauta Travesera por el Conservatorio de León. Desde 2006 trabaja

como técnico de la Fundación Migres, actualmente responsable del programa Migres de seguimiento de la migración de aves por el estrecho de Gibraltar.

Lola Cano es graduada en Biología por la Universidad de Barcelona. Inició su carrera profesional con distintas colaboraciones en proyectos de investigación para entidades como la Universidad de Sevilla y la Estación Biológica de Doñana. Fue directora de la Fundación Migres entre los años 2016 y 2020. Los últimos años ha ejercido como docente de Biología de secundaria y bachillerato para la Junta de Andalucía.

1. INTRODUCCIÓN

Las aves marinas son los principales depredadores al final de la cadena trófica acuática, por lo que son de gran interés para el seguimiento de los ambientes marinos, ya que son buenos indicadores del estado de los ecosistemas pelágicos y de los cambios que tienen lugar en estos ambientes (Zacharias y Roff, 2001). Por este motivo, el seguimiento estandarizado a largo plazo de estas especies puede convertirse en una herramienta sumamente útil para detectar alteraciones en la pesca y/o cambios en los ambientes marinos debido al clima y otras alteraciones inducidas por el ser humano. Además, muchas de estas especies de aves marinas están en peligro de extinción por lo que, para conocer la evolución de su estado de conservación, requieren de estimaciones precisas de las tendencias de sus poblaciones (UICN, 2001; Paleczny et al., 2015). La mayor parte de los esfuerzos realizados hasta la fecha dirigidos al seguimiento de las poblaciones de aves marinas se han realizado fundamentalmente sobre los ejemplares reproductores. La razón principal es que es más fácil hacer recuentos precisos de aves en reproducción, tanto en lo que se refiere a la logística como en términos de los costes requeridos (Furnes, y Camphuysen, 1997). Sin embargo, los cambios en el número de reproductores pueden no reflejar las tendencias generales de la población, ya que no proporcionan información sobre la parte no reproductiva de la misma (es decir, aves inmaduras y adultos no reproductores). Por otra parte, incluso cuando el seguimiento se centra en el número de reproductores, el monitoreo de las aves marinas sigue siendo logísticamente costoso, por lo que no suele ser posible realizar un seguimiento a largo plazo de estas poblaciones (Becker y Chapdelaine, 2003), de manera que la información disponible sobre las tendencias poblacionales en estas especies está muchas veces incompleta o incluso resulta ser inexacta (Carboneras et al., 2013). Sin embargo, muchas aves marinas son especies migratorias, por lo que el muestreo de sus ejemplares durante la migración puede ofrecer un método alternativo, rentable y eficiente, que permita el seguimiento de la población de estas especies (Arroyo et al. 2014).

El estrecho de Gibraltar es un cuello de botella utilizado por numerosas especies de aves marinas que se reproducen en el Mediterráneo, constituyendo la única conexión entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo (Tellería, 1981). En consecuencia, esta área es un punto clave para la observación directa desde tierra de las poblaciones de estas aves marinas durante su viaje migratorio (Hashmi 2000; Arroyo et al. 2014). La mayor parte de la población de la pardela balear (*Puffinus mauretanicus*), así como la de la pardela cenicienta (*Calonectris diomedea*), abandonan el Mediterráneo cada año después de la reproducción, atravesando el estrecho de Gibraltar (Guilford et al., 2012; Reyes-González y González-Solís, 2016), para pasar la temporada no reproductora en aguas del Atlántico. La pardela balear únicamente se reproduce en las Islas Baleares y está considerada como una de las aves marinas más amenazadas del mundo, incluida como "En Peligro Crítico" en la Lista Roja de la UICN (BirdLife International, 2017a). Respecto a pardela cenicienta, aunque se considera globalmente como de "menor preocupación" (BirdLife International, 2017b), es una especie endémica que se reproduce en el Mediterráneo (Anselme y Durant, 2012), y está incluida como "En peligro" en el Libro Rojo de las Aves de España (Carboneras, 2004), ya que, de acuerdo a recuentos efectuados en sus áreas de cría, sus poblaciones estarían disminuyendo (Carboneras et al., 2013; Derhé, 2012). No obstante, estimas obtenidas a partir de datos de paso migratorio registrados desde Ceuta parecen indicar que la población de esta especie habría permanecido más o menos estable, al menos desde 1995 (Navarrete et al., 2006; Navarrete, 2007; Navarrete, 2008a; Navarrete, 2008b; Navarrete, 2009; López, 2010; López, 2011; López, 2014; López y Navarrete, 2019). Ambas especies de pardela también se consideran aves amenazadas a nivel europeo (es decir, especies de aves raras o vulnerables según se enumera en el Anexo I de la Directiva de aves de la UE). Sin embargo, no existe un programa de seguimiento global y sistemático para ninguna de estas dos especies (BirdLife International, 2017a, 2017b). De este modo, las estimas obtenidas en las colonias de cría acerca de la tendencia de la población de pardela cenicienta se basan en datos procedentes de tan solo el 6% de la población total (Carboneras et al., 2013; Derhé, 2012). Sin embargo, a partir de datos de ejemplares en migración, las estimas en esta especie pueden basarse en una proporción de la población mucho mayor, posiblemente superior al 80% (Navarrete, 2008b; Navarrete, 2011). En el caso de la pardela balear, los conteos en las áreas de reproducción proceden de muestreos indirectos (por ejemplo, a partir de vocalizaciones) debido a la inaccesibilidad de estas áreas de reproducción y, por lo tanto, las estimas de población para esta especie son altamente inexactas, por lo que no es posible derivar tendencias fiables (BirdLife International, 2017a). Frente a la dificultad que entraña la realización de conteos en las áreas de cría, los recuentos de aves en puntos estratégicos a lo largo del viaje migratorio, como aquellos que se efectúan desde Ceuta (López y

Navarrete, 2019) y desde Tarifa (Arroyo et al., 2014), en el estrecho de Gibraltar, pueden permitirnos detectar la tendencia global de la población de las pardelas, pudiendo convertirse estas tendencias en un sistema de alerta temprana para identificar problemas de conservación y cambios ambientales que afecten a estas y otras especies.

Por otra parte, aunque existe una información bastante amplia sobre los efectos que el clima y otras variables ambientales producen durante la reproducción, y en menor medida también durante la invernada de las aves marinas (ICES, 2008; Daunt y Mitchell, 2013), la información disponible acerca del comportamiento migratorio en estas especies es mucho más escasa (Dias, Granadeiro y Catry, 2012). Sin embargo, para poder comprender el impacto real que el clima y otros factores ambientales pueden tener sobre estas especies, es necesario conocer sus efectos a lo largo del todo el año (Daunt y Mitchell, 2013), desde la cría a la invernada, pasando por las diferentes etapas intermedias a lo largo del viaje migratorio.

El desarrollo tecnológico reciente ha permitido el seguimiento detallado de los ejemplares de algunas especies de aves marinas, incluidas las pardelas baleares, mediante el uso de técnicas de telemetría, bien por radio o bien por satélite (Meier et al., 2015), así como mediante el uso de otros dispositivos electrónicos como los geolocalizadores (Guilford et al., 2012). Estos dispositivos electrónicos se colocan en las aves y permiten un seguimiento detallado de los movimientos que el animal realiza, tanto en lo que se refiere a su posición (en tres dimensiones), como al tiempo de desplazamiento. Sin embargo, aunque la información proporcionada por esta clase de dispositivos es sumamente precisa, tanto en lo que se refiere a las características del propio ejemplar – sexo, edad, condición física –, como a su resolución temporal y espacial, debido a las limitaciones, tanto en términos de costes económicos y de personal, como en lo que se refiere a los costes de supervivencia para el propio ejemplar que está siendo marcado, no es posible realizar seguimientos masivos de muchos ejemplares a través de este método, de manera que los análisis del comportamiento migratorio deben basarse entonces en una muestra referente a tan sólo unos pocos ejemplares durante periodos más o menos reducidos (e.g., Meier et al., 2015; Guilford et al., 2012). Sin embargo, como casi cualquier otro comportamiento, el comportamiento migratorio puede ser enormemente variable entre individuos, no sólo debido a diferencias atribuibles a variables fácilmente identificables como el sexo, la edad o el lugar de nacimiento y/o de reproducción del ejemplar, sino con otros factores relacionados con la variabilidad interindividual, y que tienen que ver tanto con la genética del propio individuo como con el aprendizaje realizado por el ejemplar a lo largo de su vida. Este aprendizaje puede ser especialmente relevante a la hora de modular el comportamiento migratorio en el caso de animales con larga esperanza de vida

como las aves marinas (Martín, Onrubia y Ferrer, 2016). Aunque existen trabajos en los que se ha estudiado el patrón migratorio de la pardela balear a partir de ejemplares provistos de dispositivos electrónicos (Guilford et al., 2012; Meier et al., 2015), debido al limitado número de ejemplares estudiados, los resultados obtenidos pueden no ser completamente representativos del comportamiento de la totalidad de la población de pardela que se reproduce en el Mediterráneo, y no nos permiten realizar tampoco un seguimiento a largo plazo del comportamiento migratorio.

Frente a la precisión de los datos proporcionada por estos dispositivos electrónicos, cada vez más podemos encontrar disponibles datos masivos que se recogen en el marco de iniciativas de ciencia ciudadana o, simplemente, en plataformas que permiten almacenar, compartir y visualizar la información recogida por los diferentes usuarios. Este tipo de datos de observación directa obtenidos mediante voluntarios, resultan además muy “baratos” de recoger, y se han utilizado ya con éxito en la elaboración de mapas de distribución de aves marinas (Ward et al., 2015). No obstante, estos datos masivos adolecen de muchas imprecisiones y, normalmente, no son recogidos ad hoc por el observador. En contraste con estas debilidades, presentan la ventaja de proporcionar información referente a un amplio rango de áreas espaciales y periodos temporales, permitiendo recabar información sobre numerosos individuos diferentes de una misma población o especie durante amplios periodos de tiempo.

1.1. Objetivos

Análisis espacial de la migración de la pardela balear

En este proyecto, utilizamos datos de abundancia de pardela balear obtenidos a través de la RAM y de otras redes de observación de aves europeas con el fin de identificar áreas importantes a lo largo de la ruta migratoria de la pardela balear, así como los principales factores ambientales (meteorológicos, climáticos, oceanográficos, de productividad marina, descartes de actividad pesquera, entre otros), directos o indirectos, que determinan el uso de esta especie de diferentes áreas marinas durante la migración. Con la serie de datos disponible, hemos establecido la variabilidad interanual en el uso de estas áreas, con el fin de detectar la existencia de tendencias espaciales relacionadas con el cambio climático o con otros cambios ambientales recientes.

Análisis de la fenología de la migración postnupcial de la pardela balear y la pardela cenicienta en el estrecho de gibraltar

Por otra parte, a partir del seguimiento sistemático y estandarizado que se realiza desde la isla de Tarifa (en el estrecho de Gibraltar) desde el año 2005, se han determinado los factores ambientales (meteorológicos, climáticos, de productividad marina, descartes de actividad pesquera, entre otros) locales y regionales (en el mar de Alborán y en las áreas de reproducción en el Mediterráneo) que modulan la variación interanual en la fenología de la migración de la pardela balear y la pardela cenicienta.

La metodología aplicada en este proyecto a estas dos especies de pardela podrá extenderse a otras especies de aves y mamíferos marinos de interés para las que también se están recogiendo datos a lo largo de diferentes redes de observatorios europeos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

1.2. Especies de estudio

Para poder formular adecuadamente los modelos e identificar las variables más relevantes a la hora de determinar la abundancia de la pardela balear durante la migración, así como identificar los principales factores ambientales que afectan a la fenología de la migración de ambas especies de pardela, necesitamos conocer aspectos concretos acerca de la biología y el comportamiento de estas especies. Estos detalles clave sobre ambas especies se describen a continuación.

Pardela balear

La pardela balear se reproduce únicamente en el Mediterráneo, fundamentalmente en las Islas Baleares. Durante el periodo de cría sus áreas de alimentación se sitúan principalmente en la plataforma continental de la península Ibérica (Arcos y Oro, 2002; Louzao et al., 2006; Meier et al., 2015), aunque algunos ejemplares también explotan áreas de alimentación situadas en la plataforma continental de Argelia y Marruecos (Ruiz y Martí, 2004; Louzao et al., 2011; Meier et al., 2015; Afán, 2016), así como aguas próximas al archipiélago balear (Ruiz y Martí, 2004; Louzao et al., 2011). La mayor parte de la población abandona el Mediterráneo después de la cría (meses de mayo a julio) para concentrarse en las costas de Europa suroccidental, principalmente en España, Portugal y Francia, aunque también pueden alcanzar el suroeste de Reino Unido y el noroeste de Marruecos (Ruiz y Martí, 2004; Guilford et al., 2012). Las aves regresan al Mediterráneo occidental en otoño (principalmente en octubre y noviembre, datos propios), y pasan los meses invernales en las mismas áreas de alimentación que utilizan durante la reproducción (Le Mao y Yésou, 1993; Ruiz y Martí 2004; Guilford et al., 2012). Su dieta se compone principalmente de peces de pequeño tamaño, como sardinas (*Sardina pilchardus*) y boquerones (*Engraulis encrasicolus*), aunque también se alimentan de los descartes procedentes de las pesquerías y de los organismos que constituyen el plancton (Arcos y Oro 2002; Louzao et al., 2006; Navarro et al.,

2009; Meier et al., 2015). En el mar tienden a seleccionar las áreas más productivas de la plataforma continental, ocupando áreas costeras a menudo relacionadas con frentes oceanográficos (Louzao et al., 2006; Afán, 2016). En los desplazamientos relacionados con la alimentación, suelen utilizar vientos favorables (Afán, 2016). Durante la invernada y la migración, la especie parece hacerse más costera (Arroyo et al., 2014), agregándose en áreas que varían a lo largo del año, pero que se repiten de unos años a otros, probablemente en relación a la distribución espacial de sus presas (Le Mao y Yésou, 1993). Gracias a esta migración costera, podremos modelar la abundancia de la especie durante la migración a partir de datos recogidos desde la costa (ver las variables y fuentes de datos a continuación).

Pardela cenicienta

Existen dos subespecies de pardela cenicienta, *Calonectris d. diomedea*, que se reproduce en el Mediterráneo, y *C. d. borealis*, que lo hace mayoritariamente en el Atlántico. De acuerdo con las primeras estimas efectuadas en las colonias de cría, la población de la subespecie Mediterránea constaba de menos de 50.000 parejas y sufría una elevada mortalidad artificial (Belda y Sánchez, 2001), lo que hizo sospechar de un declive continuado de las poblaciones de la especie durante las últimas décadas, especialmente en el extremo occidental del Mediterráneo (BirdLife International, 2017b). No obstante, de acuerdo con estimas derivadas de conteos de migración, el número de parejas existente parece ser considerablemente mayor, ascendiendo a unas 130.000 (Navarrete, 2008b; Navarrete, 2011), que han sido confirmadas con posterioridad por el descubrimiento de 75.000 nuevas parejas reproductoras en el Archipiélago de Zembra (Anselme y Durant, 2012). Esta subespecie Mediterránea es la más común en el mar de Alborán, aunque la subespecie Atlántica puede reproducirse en las Islas Chafarinas (Navarro et al. 2009), donde se han encontrado parejas mixtas de ambas subespecies. *C. d. diomedea* cría en todas las islas del Mediterráneo (Birdlife International, 2017b) pero la mayoría de la población pasa la época no reproductiva en el océano Atlántico, principalmente en las costas de África occidental aunque también en el este de Brasil (BirdLife International, 2017b). Se trata de una especie migratoria que atraviesa el estrecho de Gibraltar entre mediados de octubre y finales de noviembre, durante su migración postnupcial, y que regresa al Mediterráneo entre finales de febrero y principios de abril (Jiménez y Navarrete, 2001). Su dieta se compone fundamentalmente de peces epipelágicos, como boquerones (*Engraulis encrasicolus*) y jureles (*Trachurus sp*), junto con cefalópodos y, en mucha menor medida, crustáceos (Reyes-González y González-Solís 2016). A diferencia de la

pardela balear, es un ave marina que pasa la mayor parte del año mar adentro, y solo llega a las costas mediterráneas para criar.

2.2. Métodos

A continuación, describiremos de manera separada los métodos correspondientes a cada uno de los dos objetivos previamente planteados.

Análisis espacial de la migración de la pardela balear

- **Descripción de las variables y fuentes de datos**

1) Variable dependiente: abundancia de pardela balear durante el periodo migratorio.

Los datos acerca de la abundancia de pardela balear a lo largo de su ruta migratoria se obtuvieron, por un lado, a partir de observaciones recogidas en Trektellen (<http://www.trektellen.nl/>), un sitio web en el que usuarios de diferentes países europeos comparten sus datos de observaciones de aves desde distintos observatorios. En concreto, teniendo en cuenta cuáles son las zonas de reproducción y de invernada (puntos de origen y destino del viaje migratorio), se han seleccionado las observaciones realizadas desde un número fijo de observatorios situados en España, Francia, Gran Bretaña y Portugal, y que han sido recogidas desde que comenzara esta iniciativa, en el año 2005, hasta la actualidad, año 2018. En total se trata de 123 observatorios desde los que se han recogido 7.619 observaciones diferentes de pardela que suman un total de 378.112 ejemplares avistados. Gran parte de estas observaciones se han recogido en el marco de la RAM (Red de Avistamiento de Aves y Mamíferos Marinos; <http://redavesmarinas.blogspot.com/>). Dentro de la RAM, la observación de aves se realiza durante tres horas (con un mínimo de una hora), en intervalos de 30 minutos, por un mínimo de dos observadores. Con el fin de complementar la muestra obtenida de Trektellen, se ha hecho también una solicitud de datos para esta especie a la plataforma “eBird” (<https://ebird.org>), que ha respondido favorablemente, facilitando un total de 8,244 avistamientos, recogidos desde 1964 a 2018, que suman 258.730 ejemplares de pardela balear, y que han sido realizados por los diferentes colaboradores de esta base de datos global gestionada por “The Cornell Lab of Ornithology”. eBird es un proyecto de ciencia ciudadana en el que participan millones de colaboradores de todo el mundo, entre los que se incluyen tanto ornitólogos aficionados como expertos. Una buena parte de los registros contenidos en eBird procede también de conteos realizados durante periodos diarios amplios, aunque otros son fruto de observaciones casuales de la especie. De entre todos los datos disponibles, con el

fin de reducir al máximo el ruido presente, se seleccionaron únicamente aquellos registros que podrían corresponder a ejemplares en migración (observados entre el mes de mayo y de agosto, migración de salida del Mediterráneo tras la reproducción, es decir, postnupciales; y aquellos observados entre octubre y diciembre, migración de regreso al Mediterráneo antes de la reproducción, es decir prenupciales; De la Cruz et al. 2011; Louzao, García, y Arcos, 2016) y que pueden consultarse en la Figura 1. Además, se descartaron aquellas observaciones realizadas en las Islas Canarias, por pertenecer presumiblemente a pardelas residentes en las Canarias, las cuales son sedentarias, por lo que no realizan movimientos migratorios. También se suprimieron las observaciones efectuadas en tierra y que, por lo tanto, correspondían a ejemplares en sus áreas de cría que no estaban en migración.

Los datos de Trektellen y de eBird acerca de la abundancia de pardelas constituyeron la variable dependiente en los modelos, que se relacionó con los diferentes predictores ambientales. Se ha preferido modelar la abundancia frente a una variable binaria de presencia/ausencia con el fin de evitar que observaciones debidas a individuos enfermos, jóvenes en periodos de dispersión, aves varadas por condiciones climatológicas adversas, entre otros, que no serían representativas del comportamiento general de la población tengan una importancia elevada en el

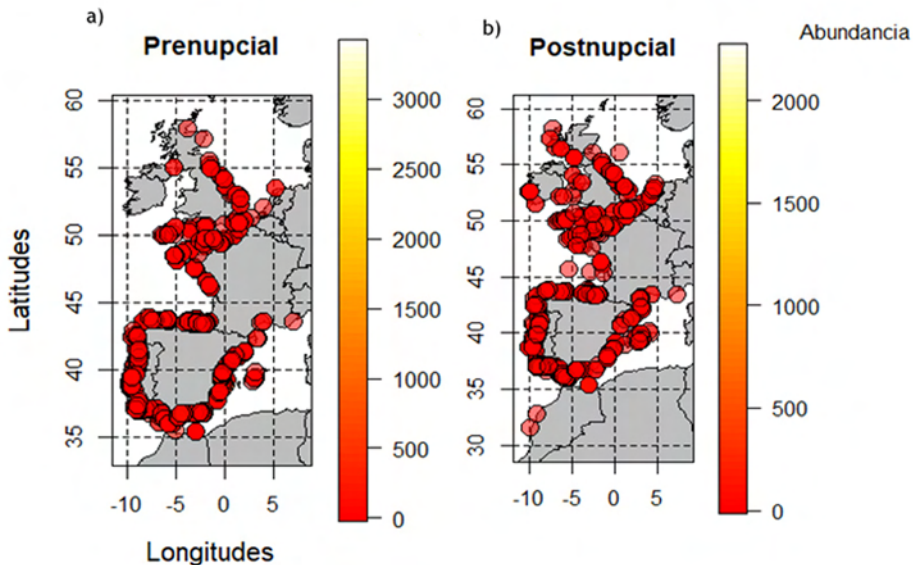


Figura 1. Distribución espacial de la abundancia de pardela balear durante los periodos de migración prenupcial (a) y postnupcial (b) a partir de datos de eBird y Trektellen. Años 2005-2017. Fuente: elaboración propia.

análisis de los datos. Por otra parte, la modelación de la abundancia nos permite describir con mayor precisión el fenómeno migratorio, que no tiene lugar simultáneamente para todos los ejemplares de la población, sino que se inicia con la migración de unos pocos individuos más “tempranos” y es seguida después por el grueso de la población migradora para, al final, quedar sólo unos pocos ejemplares que serían los más retrasados a la hora de realizar el viaje. Es decir, que la distribución temporal de la abundancia de pardela durante la migración, tiene forma de campana (Martín, Onrubia y Ferrer, 2019). Finalmente, el uso de la abundancia frente a datos de presencia ofrece también ventajas en cuanto a la precisión de los modelos resultantes (Gomes et al., 2018).

2) Variables predictoras: justificación y descripción.

La mayoría de las variaciones observadas en las poblaciones de aves marinas parecen estar mediadas por cambios en la abundancia de sus presas (Frederiksen et al., 2006; Benoit-Bird et al., 2013), que a su vez se ven moduladas por otros cambios ambientales como las variaciones en la temperatura marina (ICES, 2008). Cuantificar las presas de las aves marinas es difícil, pero podemos determinar su distribución indirectamente a través de la distribución del alimento del que dependen las propias presas (el plancton), que sí que puede medirse de manera sencilla a partir de imágenes recogidas por satélite. Esta información obtenida a partir de sensores de satélite, proporciona imágenes acerca de las condiciones ambientales que tienen lugar en los océanos, ofreciendo una información espacial detallada que presenta, a un mismo tiempo, una elevada resolución temporal (Longhurst, 2007). En estrecha relación con la distribución de las presas de las aves marinas, los predictores que otros autores han utilizado con éxito para explicar la distribución espacial de estas especies, y que serán también los que aplicaremos en este estudio, se detallan a continuación. En concreto, se indican la fuente, el formato, unidades de medida y una breve descripción de la naturaleza de los diferentes datos considerados como variables predictoras en los análisis.

- Utilizamos la batimetría porque se han encontrado asociaciones entre las aves marinas y condiciones particulares de esta variable (Yen, Sydeman, y Hyrenbach, 2004). Los valores de batimetría se obtuvieron a partir de la EMODnet (European Marine Observation and Data Network). Estos datos tienen forma de Modelo Digital del Terreno (MDT), generado para diferentes regiones europeas a partir de diversos muestreos batimétricos, otros MDTs y batimetría derivada de satélite (SBD). De acuerdo con el área de interés en este estudio, se ha trabajado con los datos correspondientes a las siguientes zonas:

- Mar del Norte y Kattegat (zona B2)

- Costa Ibérica y Bahía de Vizcaya (zona B3)
- Océano Atlántico (zona B4)
- Mediterráneo Occidental y Central y mar Jónico (zona C3)
- Mar Adriático (zona C4)

Estos datos están disponibles en formato ascii (.asc) en <http://www.emodnet-bathymetry.eu/data-products>, y tienen una resolución aproximada de unos 200 m, aunque fueron agregados a 1 km² y 10 km² para generalizar el resultado de su análisis.

- La Oscilación del Atlántico Norte (NAO) es un índice utilizado frecuentemente para evaluar el efecto del cambio climático (Louzao, García y Arcos, 2016). El índice NAO se obtuvo a partir del Centro de Predicción del Clima del Servicio Nacional de Meteorología de Estados Unidos (NOAA), en forma de datos mensuales desde 1950 hasta 2018 (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>). Los datos se descargaron originalmente en formato texto (.txt). Aunque hay datos diarios, se ha preferido esta resolución temporal para considerar el efecto climático en un sentido temporal más amplio. Sin embargo, sí que se utilizarán datos de precisión diaria acerca de temperatura (ver más abajo), con el fin de complementar la información mensual del NAO con datos meteorológicos de mayor resolución temporal.
- La fase lunar también afecta a la migración de las pardelas (Dias, Grana-deiro y Catry, 2012) debido a los efectos que tiene sobre los movimientos verticales diarios que realizan los organismos planctónicos de los que se alimentan las presas de las pardelas (Hernández-León, Almedia, Yebra, y Arístegui, 2002). En concreto, utilizamos la fracción de luna iluminada a media noche (GTM), facilitada por el Departamento de Astronomía Aplicada del Observatorio Naval de Estados Unidos, que suministra datos diarios desde 2005 hasta 2018 (<http://aa.usno.navy.mil/data/docs/MoonFraction.php>). Estos datos han sido descargados en un formato de texto (.txt).
- La información sobre la distribución de barcos pesqueros nos dará una idea de la distribución de las pesquerías y de los posibles descartes de pescado procedentes de los barcos pesqueros, que pueden representar también una fuente de alimento para las pardelas (Bécares et al., 2015). En concreto, hemos obtenidos datos de intensidad pesquera a partir del JRC Data Catalogue (Natale, Gibin, Alessandrini, Vespe y Paulrud, 2015). Estos datos se obtienen con el “Automatic Identification System”

(AIS), que se emplea en todo el mundo para identificar y localizar barcos mediante los sistemas de intercambio de datos con otras embarcaciones cercanas, estaciones base y satélites. Esta información ofrece un detalle espacial elevado a escala europea (basado en hasta 150 millones de localizaciones diferentes correspondientes a embarcaciones de más de 15 m de longitud que operan en las áreas 27, 34 y 37 de la FAO), aunque sólo aporta datos acerca del periodo comprendido entre septiembre de 2014 y septiembre de 2015. En concreto, los datos descargados del catálogo JRC han sido datos espaciales correspondientes a un formato ráster de tipo .TIFF (<http://gmis.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-fad-ais1415>). Estos datos tienen una resolución aproximada de 1 km².

- La concentración superficial de clorofila (Freeman et al., 2013) es un indicador de la biomasa de los productores primarios que constituyen el alimento de las presas de las pardelas. Hemos obtenido valores de concentración de clorofila (a partir de datos obtenidos con el MEdium Resolution Imaging Spectrometer -MERIS-; Gons, Auer y Effer 2008), en mg*m⁻³, con una resolución temporal mensual y una resolución espacial de 4 km (JRC Data Catalogue; <http://gmis.jrc.ec.europa.eu/satellite/4km/>, desde el año 2004 hasta 2017. Estos datos están disponibles en formato espacial de tipo NetCDF (.ncdf)
- La temperatura de la superficie del mar (SST, de acuerdo con sus siglas en inglés) se relaciona indirectamente con las presas de las pardelas, tal y como ya adelantábamos previamente (Ramos et al., 2012; Afán et al., 2014; Robinson, Dornelas y Ojanguren, 2013). Por otra parte, la velocidad y dirección del viento influyen tanto en el comportamiento migratorio (Arroyo et al., 2014; Afán, 2016), como en la detectabilidad de las pardelas por parte de los observadores (Martín, Onrubia y Ferrer, 2018). Los datos acerca de la temperatura superficial marina y aquellos referentes a la velocidad y dirección del viento, están también disponibles en formato NetCDF (.ncdf), y pueden obtenerse de una forma sencilla a partir de la librería RNCEP del programa R, que los descarga a partir de modelos climáticos procedentes del Centro Nacional para la Predicción Ambiental de Estados Unidos (NCEP). En concreto, utilizamos una función del citado paquete (NCEP.interp) que permite hacer peticiones vía internet de los conjuntos de datos NCEP/NCAR denominados Reanálisis II (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>), a partir de los cuales se calcula el valor de la variable requerida en una localización y un tiempo especificados por el usuario gracias a métodos de interpolación. Mediante esta función, se ha descargado información diaria (a las 12:00h

GMT; Martín, Onrubia y Ferrer, 2018), acerca de temperatura y viento a nivel de la superficie marina en cada una de las localizaciones donde fueron observadas las pardelas (Tabla 1). Se ha elegido esta altura de referencia porque las pardelas vuelan a muy poca altura cuando desarrollan su viaje migratorio (obs. pers.). En concreto, las variables para las que se ha extraído información son las siguientes:

Tabla 1. Variables meteorológicas obtenidas mediante la librería RNCEP.

Nombre	Descripción	Unidades
‘air.sig995’	Temperatura del aire	° K
‘uwnd.sig995’	U-Wind – componente Este/Oeste	m/s
‘vwnd.995’	V-Wind – componente Norte/Sur	m/s

Respecto al viento y la temperatura, se han considerado también como variables la desviación estándar, calculada para los valores de estas variables a partir de los cuáles se realizó la interpolación.

- Junto con estas variables espaciales, se consideraron también como predictores las coordenadas geográficas (latitud y longitud) medidas en grados, la fecha (cuantificada como fecha juliana, es decir, como una cuenta de días continua que se efectúa desde el uno de enero de cada año) y el año en el que se registró cada observación concreta de pardela balear.

• Modelos predictivos

Aunque en la propuesta original del proyecto (ver informe parcial presentado en octubre de 2018) se planteaba utilizar como análisis de los datos los Modelos Aditivos Generalizados (GAM), una exploración de este tipo de modelos frente a diferentes técnicas de aprendizaje automático realizado en el marco del Trabajo de Fin de Máster presentado por la investigadora principal en diciembre de 2018 (ver Anexo III al final de esta memoria), demostró que los modelos de Bosque Aleatorio ofrecían una mejor capacidad predictiva y una mayor precisión que modelos equivalentes contruidos mediante análisis GAM. Por este motivo, los resultados que se presentan en esta memoria corresponden a un análisis efectuado mediante Bosque aleatorio, para el que se ha utilizado la librería randomForest del programa R (R Development Core Team, 2018). Se construyó un modelo para la migración prenupcial y otro para la migración postnupcial. La precisión de los modelos se ha

Migración de pardela balear y de pardela cenicienta del Mediterráneo

evaluado utilizando 5 validaciones cruzadas, en las que se ha separado la muestra inicial de datos en dos subconjuntos. El primero de ellos, con el 80% del total de datos disponible, sirvió para calibrar los modelos, mientras que el 20% restante de los datos ha servido para su validación. La correspondencia entre los valores predichos por el modelo y los observados se ha evaluado mediante el coeficiente de correlación de Pearson, mientras que la precisión y capacidad explicativa de los modelos se ha cuantificado mediante el RMSE (siglas en inglés de la Raíz del Error Cuadrático Medio) y el R², respectivamente.

Tabla 2. Resumen descriptivo de las variables utilizadas en los modelos.

Nombre	Descripción	unidad	Fuente	Vínculo	Periodo
Totals	abundancia de pardela balear	número de aves	TrekStellen, eBird	http://www.trekstellen.nl/ ; https://ebird.org	2005-2018; 1964-2018
	fecha de la observación	fecha	TrekStellen, eBird	http://www.trekstellen.nl/ ; https://ebird.org	2005-2018; 1964-2018
XLONG	longitud	grados	TrekStellen, eBird	http://www.trekstellen.nl/ ; https://ebird.org	2005-2018; 1964-2018
YLAT	latitud	grados	TrekStellen, eBird	http://www.trekstellen.nl/ ; https://ebird.org	2005-2018; 1964-2018
batim	batimetría	metros	EMODnet (European Marine Observation and Data Network)	http://www.emodnet-bathymetry.eu/data-products	2012
fish	intensidad pesquera	número de embarcaciones	JRC Data Catalogue; "Automatic Identification System" (AIS)	http://gmis.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-fad-aix1415	2014-2015
source	tipo de dato de abundancia (TrekStellen/eBird)	tipo de observatorio	TrekStellen, eBird	http://www.trekstellen.nl/ ; https://ebird.org	2005-2018; 1964-2018
tmmean	temperatura media	° K	Centro Nacional para la Predicción Ambiental de Estados Unidos (NCEP); Reanálisis II	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noep.reanalysis2.html	1964-2018
tmstd	desviación estándar en la temperatura	° K	Centro Nacional para la Predicción Ambiental de Estados Unidos (NCEP); Reanálisis II	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noep.reanalysis2.html	1964-2018
uw mean	velocidad media del viento (componente E-W)	m/s	Centro Nacional para la Predicción Ambiental de Estados Unidos (NCEP); Reanálisis II	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noep.reanalysis2.html	1964-2018
uw std	desviación estándar en la velocidad del viento (componente E-W)	m/s	Centro Nacional para la Predicción Ambiental de Estados Unidos (NCEP); Reanálisis II	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noep.reanalysis2.html	1964-2018
vw mean	velocidad media del viento (componente N-S)	m/s	Centro Nacional para la Predicción Ambiental de Estados Unidos (NCEP); Reanálisis II	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noep.reanalysis2.html	1964-2018
vw std	desviación estándar en la velocidad del viento (componente N-S)	m/s	Centro Nacional para la Predicción Ambiental de Estados Unidos (NCEP); Reanálisis II	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noep.reanalysis2.html	1964-2018
chlora	clorofila	mg m ⁻³	JRC Data Catalogue; MERIS	http://gmis.jrc.ec.europa.eu/satellite4km/	2004-2017
mao2	índice MAO	sin unidades	Centro de Predicción del Clima del Servicio Nacional de Meteorología de Estados Unidos (NOAA)	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CVlink/pna/mao.shtml	1950-2018
moon	fracción de luna	%	Departamento de Astronomía Aplicada del Observatorio Naval de Estados Unidos	http://aa.usno.navy.mil/data/docs/MoonFraction.php	2005-2018
jdlen	fecha juliana de la observación	fecha juliana	TrekStellen, eBird	http://www.trekstellen.nl/ ; https://ebird.org	2005-2018; 1964-2018
year	año de la observación	año	TrekStellen, eBird	http://www.trekstellen.nl/ ; https://ebird.org	2005-2018; 1964-2018

Análisis de la fenología de la migración postnupcial de la pardela balear y la pardela cenicienta en el estrecho de Gibraltar

- **Área de estudio**

El estrecho de Gibraltar constituye un corto brazo de mar (sólo 14 km entre Europa y África) por el que atraviesan las aves marinas pelágicas que se reproducen en el Mediterráneo. A través del Estrecho, las aves marinas en migración son canalizadas desde ambas orillas hasta constituir un frente de avance concentrado (Hashmi 2000). De este modo, esta zona registra movimientos de aves marinas con dirección este-oeste, tanto en primavera como en otoño. En concreto, se han contado pardelas desde un observatorio situado en el extremo sur de la isla de Tarifa ($36^{\circ} 00'2.96''N$, $05^{\circ} 36'36.51''W$), que constituye el punto más meridional de la costa norte del estrecho de Gibraltar, a unos 5 m sobre el nivel del mar. De manera adicional, esta información recogida en Tarifa se ha contrastado con los datos obtenidos desde la Punta del Desnarigado, en Ceuta ($35^{\circ}53'38.51''N$ $5^{\circ}16'52.93''W$), publicados en distintos números de la revista Alcudón (Navarrete et al., 2006; Navarrete, 2007; Navarrete, 2008a; Navarrete, 2008b; Navarrete, 2009; López, 2010, López, 2011; López, 2014; López y Navarrete, 2019).

- **Descripción de los datos analizados**

- 1) Conteos desde Tarifa.

Los conteos de aves marinas en la isla de Tarifa realizados por la Fundación Migres se iniciaron en 2005 y han continuado hasta la fecha. En concreto, estos conteos se realizan anualmente durante todo el periodo de migración postnupcial. De acuerdo con la particular fenología de migración de las pardelas balear y cenicienta, los conteos de pardela balear se han realizado diariamente desde mediados de mayo hasta mediados de julio, en este caso concreto únicamente desde el año 2007 hasta la actualidad, entre las 06:00 y las 11:00 h UTC, mientras que los recuentos de pardela cenicienta se remontan al año 2005, y se han efectuado también diariamente, aunque durante los meses de octubre y noviembre, entre las 06:00 y las 13:00h UTC. Ambos conteos se efectúan siguiendo protocolos estandarizados que se repiten año tras año (e.g., Arroyo et al., 2014). Los conteos se llevan a cabo por un mínimo de dos observadores, siendo al menos uno de los observadores un ornitólogo entrenado, y el resto de observadores voluntarios y colaboradores participantes en las diferentes campañas que la Fundación Migres convoca anualmente para la realización del seguimiento de esta especie, habiendo estado la campaña de seguimiento del año 2018 parcialmente financiada por la beca del Instituto de Estudios Ceutíes objeto de la

presente memoria (ver apartado 4 sobre la Difusión del proyecto más abajo). Todos los observadores están equipados con telescopios (aumento x 20) y prismáticos (10 x 42). El observador principal realiza conteos continuos en los que se escanea la porción de mar contenida en el campo del telescopio y situada frente al observatorio, mientras que un observador secundario dotado de prismáticos observa a las aves fuera del campo de visión del telescopio que no son detectadas por el observador principal. Con la óptica descrita, se estima que el rango de cobertura desde la costa hasta el mar oscila entre 100 y 3.000 m (Arroyo et al. 2014), dependiendo de las condiciones de visibilidad. Junto con el número de aves, se registraron también la dirección de vuelo de las aves observadas. Además, se registró cada hora la dirección del viento (dirección cardinal) y la velocidad (escala de Beaufort) utilizando una estación de medición local ubicada en el observatorio. El esfuerzo de seguimiento diario (número de horas de seguimiento al día) fue el mismo a lo largo de los años. En el caso de la pardela balear, los conteos se realizaron de forma continua durante el período de seguimiento diario mientras que, en el caso de la pardela cenicienta, los conteos se realizaron en secuencias de 10 minutos, con tres secuencias cada hora. Los conteos no pudieron realizarse en aquellos momentos del día en los que se produjo lluvia fuerte y persistente.

2) Conteos desde Ceuta.

Durante los meses de octubre-noviembre de los años 2006 a 2010 (ambos inclusive), y de los años 2013, 2017 y 2018 (Navarrete et al., 2006; Navarrete, 2007; Navarrete, 2008a; Navarrete, 2008b; Navarrete, 2009; López, 2010, López, 2011; López, 2014; López y Navarrete, 2019), se ha realizado también el seguimiento postnupcial de aves marinas, incluida la pardela cenicienta, desde la Punta del Desnarigado, en Ceuta. Este trabajo se realizó dentro del Programa de Voluntariado Ambiental desarrollado por OBIMASA, en colaboración con la Consejería de Medio Ambiente y la Sociedad de Estudios Ornitológicos de Ceuta, con un esfuerzo de muestreo diario y estacional variable de unos años a otros, pero siguiendo el protocolo que se describe a continuación. El seguimiento se llevó a cabo a lo largo de un mínimo de seis horas diarias, basándose el método de censo en tres secuencias de 10 minutos a la hora realizadas con telescopio por un mínimo de dos observadores. El último descanso de la hora consta de 20 minutos, de tal manera que a la hora se obtiene un balance total de media hora de observación y media de descanso. Estos datos no cubren el periodo de migración postnupcial de la pardela balear que, como indicábamos ya en apartados previos de esta memoria, a diferencia de otras aves marinas tiene lugar en el Estrecho entre mayo y julio. Aunque existen disponibles datos de pardela balear avistados desde Ceuta durante el periodo de migración prenupcial (meses de octubre y noviembre) publicados en la revista Alcudón (Navarrete, 2007; Navarrete, 2008a; Navarrete 2009; López,

2010; López, 2011), los avistamientos efectuados desde Ceuta para esta especie son muy bajos en comparación con las aves que se registran en esos mismos meses desde Tarifa (entorno a un 2-3%, de acuerdo con datos de los años 2006 y 2010 para los que existe información simultánea de ambas fuentes). Por estos motivos, en esta memoria centraremos la comparación entre ambos observatorios en el análisis de los datos de migración postnupcial de pardela cenicienta recogidos en Ceuta y Tarifa. En este particular, los datos disponibles, publicados en los distintos números de la revista Alcudón, son conteos anuales totales, aunque también se proporcionan los datos diarios de migración en forma de gráficos. En general, en la mayoría de estas publicaciones no están disponibles los datos diarios absolutos, sino que se ofrece el número de aves/hora observado, debido a que los periodos diarios de observación han diferido tanto entre campañas como a lo largo de una misma campaña anual. No obstante, a partir de estos gráficos, y utilizando el programa “WebPlotDigitizer” versión 4.2, hemos podido cuantificar el número de aves/hora contenido en los gráficos publicados (ver Navarrete et al., 2006; Navarrete, 2007; Navarrete, 2008a; Navarrete, 2008b; Navarrete, 2009; López, 2010, López, 2011; López, 2014; López y Navarrete, 2019).

A diferencia de las observaciones efectuadas desde Ceuta, la muestra disponible recogida desde Tarifa cubre el periodo postnupcial de ambas especies de pardela, ha sido realizada siguiendo un esfuerzo constante de muestreo y recogiendo información no sólo acerca del número de aves sino también de las condiciones meteorológicas imperantes en el momento de recogida de los datos. Por estas razones, los modelos estadísticos que se describen a continuación se construyeron para la serie de datos obtenidos en Tarifa, mientras que los datos de pardela cenicienta avistados desde Ceuta se utilizaron posteriormente para su análisis y comparación con los resultados derivados de dichos modelos.

- **Variables del modelo**

Debido a la posibilidad de presencia de lluvia, el esfuerzo de seguimiento efectivo (número de horas de conteo en el caso de las pardelas baleares, número de secuencias de 10 minutos en el caso de las pardelas cenicientas) se incluyó como una variable adicional en los modelos. Los registros de aves solo se consideraron en el análisis si tenían asignado un movimiento con orientación oeste (flujo de salida del mar Mediterráneo hacia el océano Atlántico), con el fin de evitar una posible sobrestima del número de aves que migran. Por otra parte, los conteos de aves migratorias están sujetos a sesgos relacionados con errores dependientes del observador que pueden confundirse con la verdadera fuente ambiental de variación (Farmer et al., 2007). Además, los conteos de migración diaria pueden tener una

distribución muy sesgada causada por la meteorología y la variación estacional en el número de aves que migran (Francis y Hussell, 1998). Mediante un registro estandarizado de los datos, podemos reducir al mínimo esta variación producida conjuntamente por el observador y por la meteorología, pero no podemos eliminarla completamente (Dunn, 2005). Sin embargo, al incluir como predictores de los modelos las principales fuentes de este sesgo (que son la visibilidad, la velocidad y la dirección del viento, la cobertura de nubes y la distancia estimada entre el observador y el ave, y que fueron recopiladas durante la realización de los conteos), podemos controlar el efecto de estos errores en los conteos. La estimación de la cobertura de nubes, la visibilidad y la distancia fue realizada por observadores previamente entrenados y de acuerdo con categorías discretas definidas previamente (ver Tabla 2). La dirección del viento (dirección cardinal) y la velocidad (escala de Beaufort) a unos 10 m sobre el nivel del mar se cuantificaron con una estación de medición situada en el propio observatorio.

Por otra parte, variables meteorológicas tales como el viento, la precipitación y la temperatura, pueden influir en la fenología migratoria y en el número de aves que salen del Mediterráneo cada año (Guilford et al., 2012; Jovani Grimm Volker, 2008). Por este motivo, utilizamos también la media diaria de las medidas de velocidad de viento recogidas cada hora en el observatorio. En lo que se refiere a la dirección del viento, dividimos el viento en las componentes este-oeste y norte-sur, y luego calculamos cuál era la proporción de los registros existentes para cada componente de viento cada día. Para complementar la información proporcionada por las variables anteriores recogida en el propio observatorio, incluimos también como predictores la precipitación y la temperatura diarias (temperaturas diarias máximas y mínimas) provenientes de la Agencia Meteorológica Española (AEMET, <https://opendata.aemet.es/>). La fecha de paso (medida como fecha juliana) y el año de la observación se incluyeron también como predictores en los modelos, con el fin de estudiar posibles variaciones interanuales en las fechas de paso. En lo que se refiere al clima, es conocido que el cambio climático tiene un efecto en la fenología de la migración de muchas especies de aves diferentes (Rubolini et al., 2007; Végvári et al., 2010). Por este motivo, con el fin de considerar los posibles efectos del cambio climático sobre la migración de estas especies, consideramos la anomalía térmica media de la superficie marina (STM) durante la época de reproducción (de febrero a abril en el caso de la pardela balear; de mayo a septiembre en el caso de pardela cenicienta; Cramp et al., 1977) para cada año particular. La anomalía térmica se obtuvo a partir de la base de datos global HadCRUT4, que proporciona promedios mensuales de anomalías térmicas de la superficie marina para el hemisferio norte (Hadley Center, Kennedy et al., 2011). La SST se expresa en esta base de datos como anomalías desde 1961-1990 (Unidad de Investiga-

ción Climática, Universidad de East Anglia; <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow>). Por otra parte, también como predictor relacionado con el cambio climático, se obtuvo índice de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) como un promedio de los valores mensuales durante la temporada de reproducción de las pardelas, datos que se obtuvieron a partir del Centro de Predicción del Clima (Servicio Nacional de Meteorología de EE. UU, de acuerdo con sus siglas en inglés), que ofrece datos mensuales de 1950 a 2018 (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>).

Como ya mencionábamos antes, la dieta de la pardela balear incluye peces pelágicos pequeños y peces demersales, que frecuentemente obtienen a partir de los descartes de la pesca de arrastre, aunque esta especie también se alimenta de plancton y macrozooplancton, y más concretamente krill (Arcos y Oro, 2002; Louzao et al., 2015). Frente a esta dieta más variada, la mayoría de las presas de la pardela cenicienta son peces, aunque también se alimentan de calamares (Granadeiro et al., 1998; Xavier et al., 2011) y pueden hacer también uso de los descartes de pesca (Bartumeus et al., 2010; Cortés et al., 2018; Soriano-Redondo et al., 2016). Tal y como ya señaláramos previamente, si bien es difícil obtener datos precisos sobre la disponibilidad de alimento y su variación año tras año en condiciones naturales, incluimos en nuestros modelos dos indicadores que, indirectamente, nos ofrecen información acerca de la disponibilidad de alimento para ambas especies de pardelas y, en concreto, acerca de la biomasa de fitoplancton y de las pesquerías. Específicamente, utilizamos la biomasa de algas (concentración de clorofila en mg.m^{-3}) como indicador de la biomasa de fitoplancton. Obtuvimos la concentración de clorofila como producto de sensores ópticos satelitales (Gons et al., 2008) disponibles mensualmente a una resolución de 4 km para el período 2003-2017 (Catálogo de datos del JRC; <http://gmis.jrc.ec.europa.eu/satelite/4km/>). En el caso de la pardela balear, consideramos la concentración promedio de clorofila en el área 37.1.1 de la División pesquera de la FAO de Baleares, que coincide en gran medida con el área de reproducción de esta especie. Para la pardela cenicienta, la concentración de clorofila se midió como el promedio de esta variable en todo el mar Mediterráneo, cubriendo las siguientes áreas de la División pesquera de la FAO: Golfo de los Leones (División 37.1.2), Cerdeña (División 37.1.3), Adriático (División 37.2.1), Jónico (División 37.2.), Egeo (División 37.3.1) y Levante (División 37.3.2), coincidiendo con el rango de reproducción de esta especie. En concreto, los valores promedio de clorofila se midieron durante la temporada de reproducción (de febrero a abril en el caso de la pardela balear; de mayo a septiembre para la pardela cenicienta). Debido a que la supervivencia de las aves marinas depende no solo de las condiciones ambientales durante la reproducción, sino también de las que se producen después de la cría (Furness, y Camphuysen,

1997), también consideramos los valores promedio de concentración de clorofila para el período tras la reproducción (de mayo a julio para la pardela balear y de octubre a noviembre para pardela cenicienta, datos propios). La información sobre las pesquerías se obtuvo de las estadísticas de captura por áreas y especies proporcionadas por la Comisión General de Pesca para el Mediterráneo (GFCM; <http://www.fao.org/gfcm/data/capture-production/en/>). De esta base de datos, que abarca desde 1970 hasta 2016, seleccionamos específicamente los peces, pulpos y sepias, excluyendo atunes, otros moluscos, corales, crustáceos, tortugas, esponjas, erizos y otros invertebrados. Las áreas de pesca se seleccionaron también a partir del área de reproducción de ambas especies de pardela previamente descrita de acuerdo con los criterios de división de áreas de pesca marinas de la FAO, tal y como describíamos anteriormente para la concentración de clorofila.

- **Análisis estadístico**

El cambio en el tamaño de la población migratoria de ambas especies de pardela se estimó a partir de Modelos de Aditivos Generalizados (GAM; Hastie y Tibshirani, 1990) que se ajustaron para los recuentos de pardelas frente al año de observación. Específicamente, modelamos los recuentos diarios de las pardelas durante la migración postnupcial, que tiene lugar después de la reproducción. El GAM incluyó una respuesta binomial negativa y una función de enlace de tipo “log”, para cuya aplicación, utilizamos el paquete *mgcv* (Wood, 2013) en R (R Development Core Team, 2018). Usando modelos GAM, pudimos compensar la falta de datos existente (Arroyo et al., 2014) en la serie correspondiente a las pardelas cenicientas para el año 2014, así como los datos faltantes existentes durante los años 2013, 2015 y 2016 en el caso de la pardela balear. Del conjunto total de los predictores ambientales previamente descritos y que se detallan en la Tabla 2 solo se mantuvieron aquellas variables que no estaban correlacionadas. Se utilizó REML como método de suavizado durante la estimación de los parámetros. Los “splines” solo se calcularon para aquellos predictores que, después de una inspección preliminar, mostraron relaciones no lineales con los conteos de pardelas. Para la selección de los modelos, se aplicó el criterio de información de Akaike (AIC; Akaike, 1973). Si varios modelos tenían valores AIC bajos y similares ($\Delta AIC < 2$), seleccionamos el más parsimonioso (Burnham y Anderson 2002).

Puesto que la presencia de autocorrelación puede dar como resultado magnitudes exageradas o significación demasiado baja a la hora de realizar estimas de tendencias temporales, inspeccionamos las funciones de autocorrelación temporal (ACF) y autocorrelación parcial temporal (PACF) de los modelos, a fin de determinar la posible presencia de una estructura de autocorrelación temporal

y, en caso de detectarse una autocorrelación significativa, que esta estructura de autocorrelación pudiera especificarse en el modelo (Box et al. 2008) por medio de Modelos Mixtos Aditivos Generalizados (GAMM). En estos casos, el mejor de entre los diferentes modelos de ARIMA evaluados también se determinó utilizando AIC (Hyndman y Khandakar, 2008).

Tabla 2. Resumen descriptivo de las variables utilizadas en los modelos.

Predictor	Descripción	Fuente
effort	Esfuerzo de seguimiento diario	Secuencias (pardela cenicienta); horas de seguimiento (pardela balear); ver Métodos
visib	Visibilidad media a la hora (a partir de 4 categorías discretas de visibilidad: desde visibilidad total a visibilidad nula) y estimada por observadores entrenados	Estimada por el observador en el observatorio
dir.W	Proporción de horas/secuencias con vientos de componente oeste (dirección este, noroeste y suroeste)	Medida en el observatorio (estación meteorológica)
dir.E*	Proporción de horas/secuencias con vientos de componente este (dirección este, noreste y sureste)	Medida en el observatorio (estación meteorológica)
dir.N	Proporción de horas/secuencias con vientos de componente norte (dirección norte, noreste y noroeste)	Medida en el observatorio (estación meteorológica)
dir.S*	Proporción de horas/secuencias con vientos de componente sur (dirección sur, sureste y suroeste)	Medida en el observatorio (estación meteorológica)
Dis	Distancia al bando estimada por el observador en el observatorio	Estimada por el observador en el observatorio
prec	Precipitación (mm)	Agencia Española de Meteorología (AEMET, https://opendata.aemet.es/). Datos de la estación meteorológica de Tarifa
year	Año de la observación	Medida en el observatorio
julian	Fecha (Juliana) de la observación	Medida en el observatorio

Migración de pardela balear y de pardela cenicienta del Mediterráneo

Predictor	Descripción	Fuente
wind	Velocidad media del viento a la hora (escala Beaufort)	Medida en el observatorio
cob	Cobertura media de nubes a la hora (categorías de cobertura estimadas por observadores entrenados: 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%)	Estimada por el observador en el observatorio
tmin	Temperatura mínima diaria (°C)	Agencia Española de Meteorología (AEMET, https://opendata.aemet.es/). Datos de la estación meteorológica de Tarifa
tmax*	Temperatura máxima diaria	Agencia Española de Meteorología (AEMET, https://opendata.aemet.es/). Datos de la estación meteorológica de Tarifa
chlorophyll*	Concentración de clorofila (mg.m-3) a 4 km (valores medios en las áreas de reproducción durante el periodo migratorio; ver Métodos)	Gons, Auer y Effer 2008. JRC Data Catalogue; http://gmis.jrc.ec.europa.eu/satellite/4km/
fisheries	Capturas de pesca anuales en las áreas de reproducción (i.e., peces, calamares, pulpos y sepias; ver Métodos)	General Fisheries Commission for the Mediterranean (GFCM; http://www.fao.org/gfcm/data/capture-production/en/)
SST	Promedio de la anomalía en la temperatura superficial del mar (SST) en el hemisferio Norte, expresada como la anomalía durante el periodo 1961-1990 (media primaveral; ver Métodos)	HadCRUT4 (Hadley Centre, Kennedy et. al 2011). Climatic Research Unit, University of East Anglia (https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow)
NAO index	Índice NAO, valores mensuales desde 1950 hasta 2018	Climate Prediction Center (US National Weather Service, NOAA) (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml)

* tmax resultó estar altamente correlacionada con tmin, y la concentración de clorofila durante la migración, sumamente correlacionada con la clorofila durante la reproducción ($r > 0.9$, $p < 0.001$). De manera similar, también lo estuvieron dir.E with dir.W, y dir.S con dir.N. Por este motivo, únicamente tmin, clorofila durante la reproducción, dir.W y dir.N se conservaron durante la selección del mejor modelo.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis espacial de la migración de la pardela balear

Una exploración de los datos disponibles nos mostró que los datos contenidos en eBird previos al año 2005 (periodo 1964-2004) eran muy escasos. Por este motivo, con el fin de garantizar una muestra anual mínima para la estimación de los análisis, en la construcción de los modelos se excluyeron los datos previos al año 2005. Excluimos también los datos correspondientes al año 2018, por resultar ser incompletos (no se disponía de la serie anual completa en el momento de solicitud de los datos) y porque para ese año carecíamos de información acerca de la clorofila (Tabla 2). Una vez excluida esta información, existe una buena representatividad de datos para los diferentes meses del año (Figura 2). Finalmente, tras filtrar los datos para los diferentes periodos de migración, contamos con 4.510 datos durante la migración postnupcial (meses de mayo a agosto), y 4.690 datos para el periodo prenupcial (octubre a diciembre). La representatividad espacial durante ambos periodos, de acuerdo con la Figura 1, es también adecuada, teniendo en cuenta cuáles son las áreas de reproducción y de invernada de la especie (ver apartado sobre la especie de estudio en la sección de Métodos).

La validación del modelo se realizó con la muestra de datos postnupcial. De acuerdo con el análisis de los remuestreos procedentes de la validación cruzada, el valor medio de RMSE medio para este modelo fue de 103,62, mientras que el valor de R^2 alcanzó el 0.70 tras una transformación exponencial de la variable dependiente. Este modelo ofrece también una correlación elevada entre predichos y observados ($r=0,70$; $p<0,05$).

Para determinar con mayor exactitud la importancia de las variables, se construyeron nuevos modelos contruidos con la totalidad de la muestra (sumando los datos que previamente se habían dividido en muestras de calibración y validación), en este caso distinguiendo entre los dos conjuntos de datos correspondientes a la migración postnupcial y a la migración prenupcial. Con estos modelos, determinamos la importancia de las variables predictoras en función de su asociación con

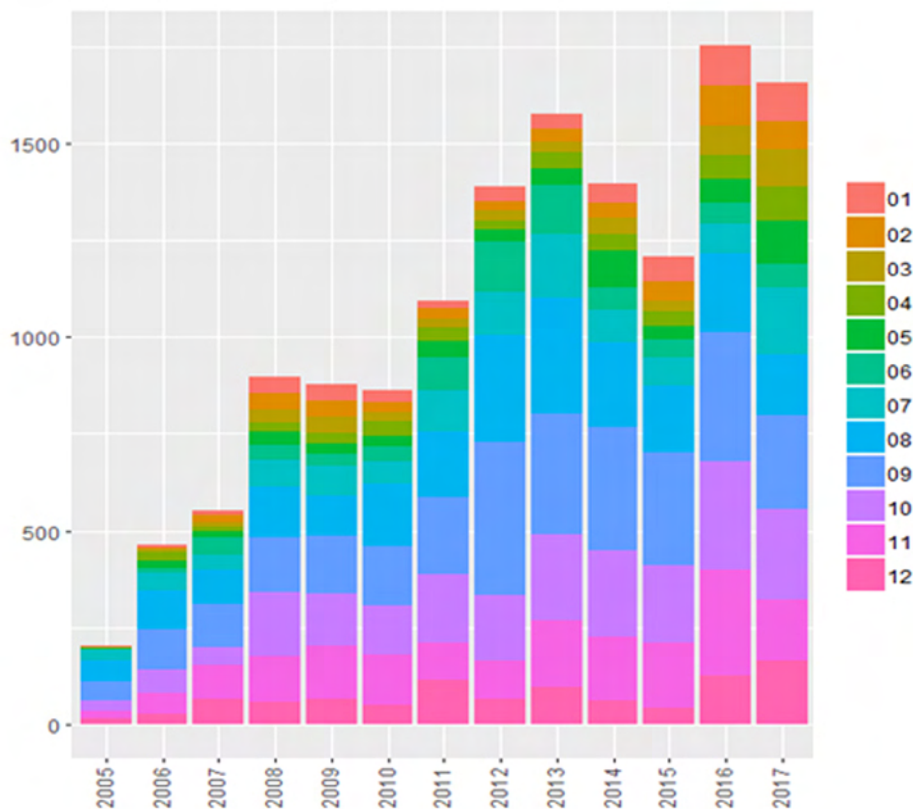


Figura 2. Distribución temporal (meses y años) de los datos de abundancia de pardela balear (muestra de datos anuales totales). Años 2005-2017. Fuente: elaboración propia.

la variable dependiente. Para ello se utilizaron distintas variables descriptivas: la distancia a la raíz (eje “y” en la Figura 7); y la profundidad mínima del nodo correspondiente a esa variable (eje “x” en la Figura 7). Estas medidas nos dan información acerca de la estructura del árbol de bosque aleatorio. En la Figura 7, el tamaño del punto indica el número de nodos dentro del árbol para esa variable. En azul, se representan las diez mejores variables de acuerdo con valores de importancia.

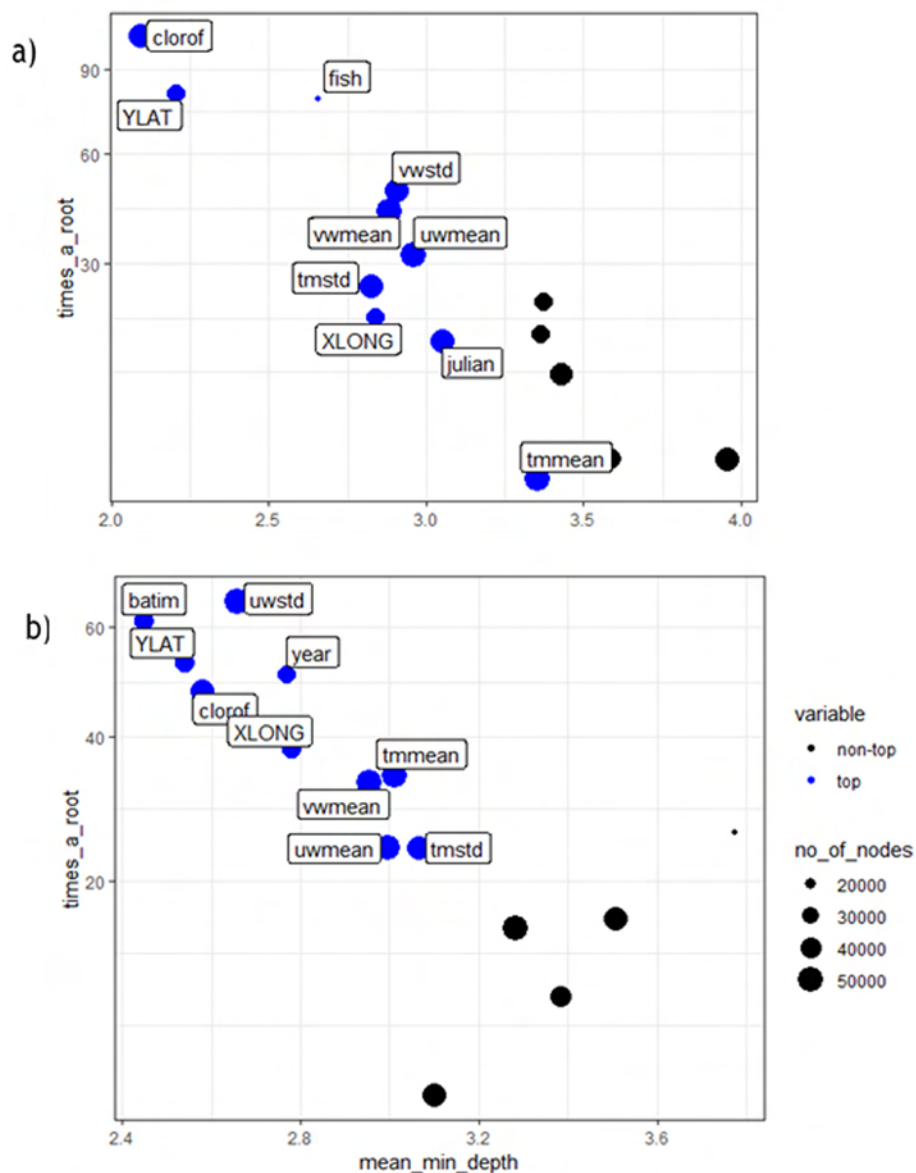


Figura 3. Importancia de las variables de acuerdo con la distancia a la raíz (eje y) y con el valor medio de profundidad mínima del árbol (eje x) en el modelo de bosque aleatorio para la migración prenupcial (a) y postnupcial (b). Fuente: elaboración propia.

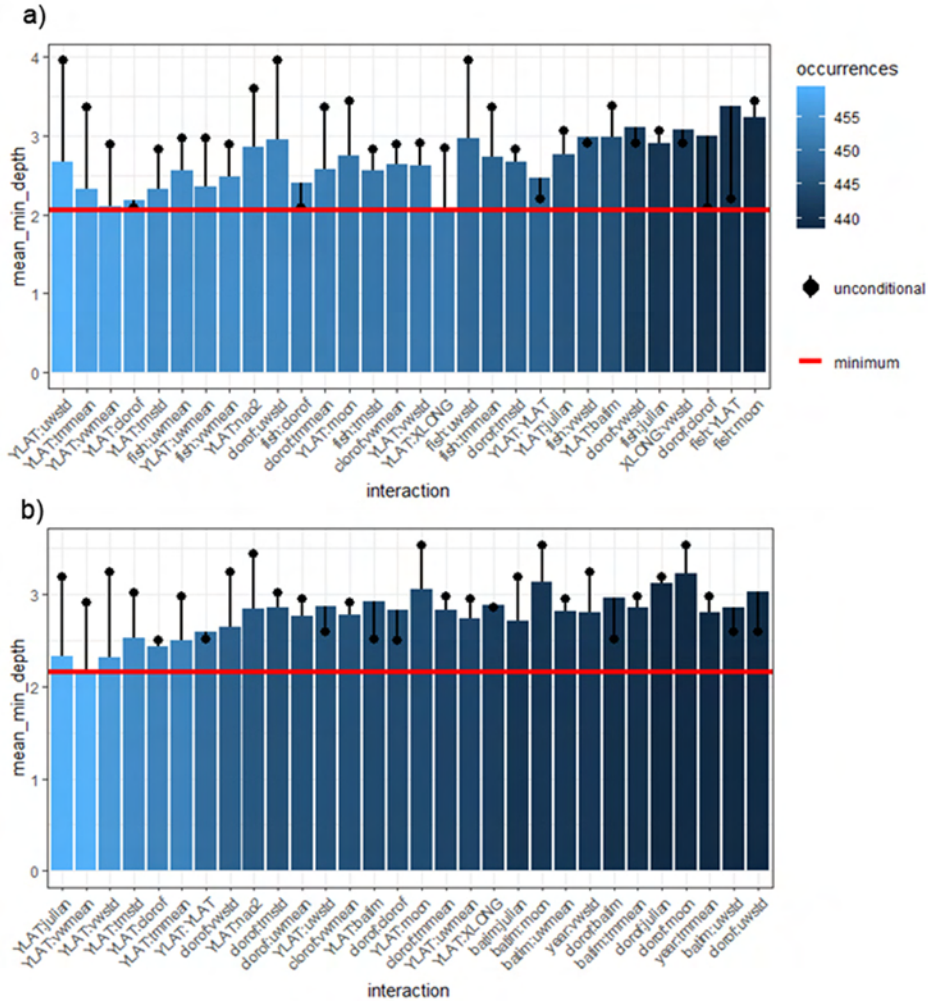


Figura 4. Interacciones entre variables en el mejor modelo de bosque aleatorio para los datos de migración (a) prenupcial y (b) postnupcial. Fuente: elaboración propia.

A partir de estas dimensiones, para el modelo construido con datos prenupciales (Figura 7a), identificamos dos variables principales, latitud (YLAT) y clorofila (clorof). Sin embargo, dependiendo de la dimensión a la que prestemos atención (profundidad mínima de nodo, distancia a la raíz o importancia), existen otra serie de variables que sólo destacan en una o dos de las dimensiones: variabilidad del viento con componente norte-sur (vwstd), variabilidad de la temperatura (tmastd), intensidad pesquera (fish), valor medio de la velocidad del viento (ambas com-

ponentes, este-oeste y norte-sur: uwmean y vwmean), longitud (XLONG), fecha juliana (julian) y temperatura media (tmamean). En lo que se refiere al modelo construido con los datos de migración postnupcial (Figura 7b), de acuerdo con las tres dimensiones cuantificadas hay una clara superioridad de la batimetría (batim), la latitud (YLAT) y la variabilidad del viento (componente este-oeste, uwstd), y en menor medida de la clorofila (clorof) y del año (year) de la observación, seguidas por la longitud de la localización (XLONG).

En cuanto a las interacciones entre variables, las interacciones más frecuentes fueron también las que presentaron la menor profundidad mínima de nodo (Figura 8). En concreto, la interacción entre la latitud (YLAT) y la variabilidad del viento este-oeste (uwstd), la latitud y la temperatura (tmmean), la latitud y la clorofila (clorof), la latitud y la variabilidad de la temperatura (tmstd), la latitud y la velocidad del viento este-oeste (uwmean), y las pesquerías (fish) y la velocidad del viento norte-sur (vwmean), están entre las interacciones más frecuentes y con menor profundidad de nodo en el caso de la migración prenupcial. Mientras que la interacción entre la latitud (YLAT) y la fecha (julian), entre la latitud y la componente de viento norte-sur (valor medio -vwmean- y variabilidad -vwstd-), entre la latitud y la clorofila (clorof), y entre la latitud y la temperatura media (tmmean), representaron las interacciones más frecuentes entre variables a la hora de determinar la abundancia durante la migración postnupcial.

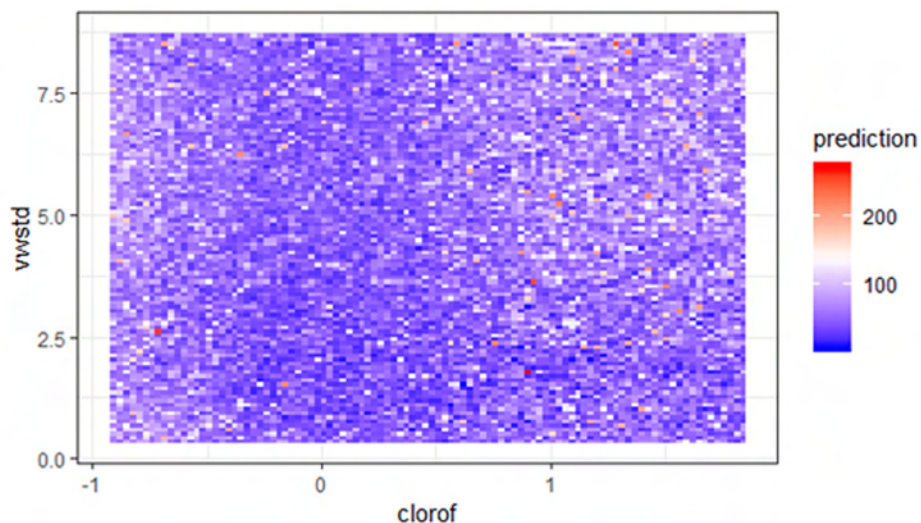


Figura 5. Efecto de interacción entre la variabilidad del viento (componente norte-sur, vwstd) y la clorofila (clorof) sobre la abundancia de pardela balear durante la migración postnupcial de acuerdo con el mejor modelo de bosque aleatorio. Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, la interacción entre la clorofila (clorof) y la variabilidad del viento (vwstd), así como la existente entre la intensidad pesquera (fish) y la velocidad del viento (uwmean, vwmean), aun no siendo de las más frecuentes, resultan sumamente interesantes de cara a interpretar las variables que condicionan el avance migratorio, es decir, la velocidad del desplazamiento, que está modulada por el viento y por la disponibilidad de alimento de acuerdo con nuestros resultados.

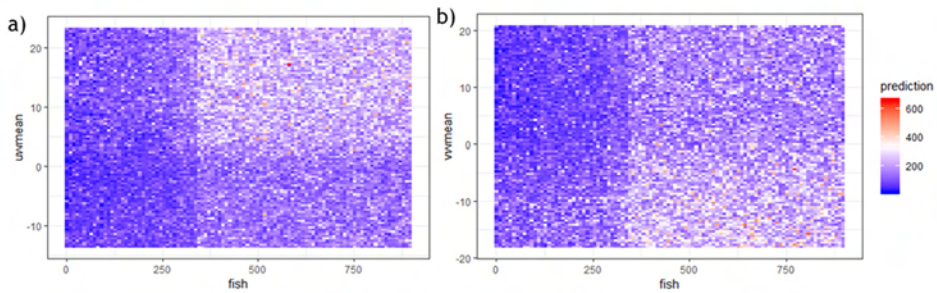


Figura 6. Efecto de interacción entre la intensidad del viento, (a) componente este-oeste (uwmean) y (b) componente norte-sur (vwmean), y la intensidad pesquera (fish) sobre la abundancia de pardela balear durante la migración prenupcial, de acuerdo con el mejor modelo de bosque aleatorio. Fuente: elaboración propia.

En cuanto al cambio climático se refiere, es de destacar la existencia de una interacción entre el año y la temperatura que resultó ser muy poco frecuente durante la migración postnupcial, y que está ausente durante la migración prenupcial, además de la ausencia de interacción entre el año y la latitud en ambos movimientos migratorios.

Migración de pardela balear y de pardela cenicienta del Mediterráneo

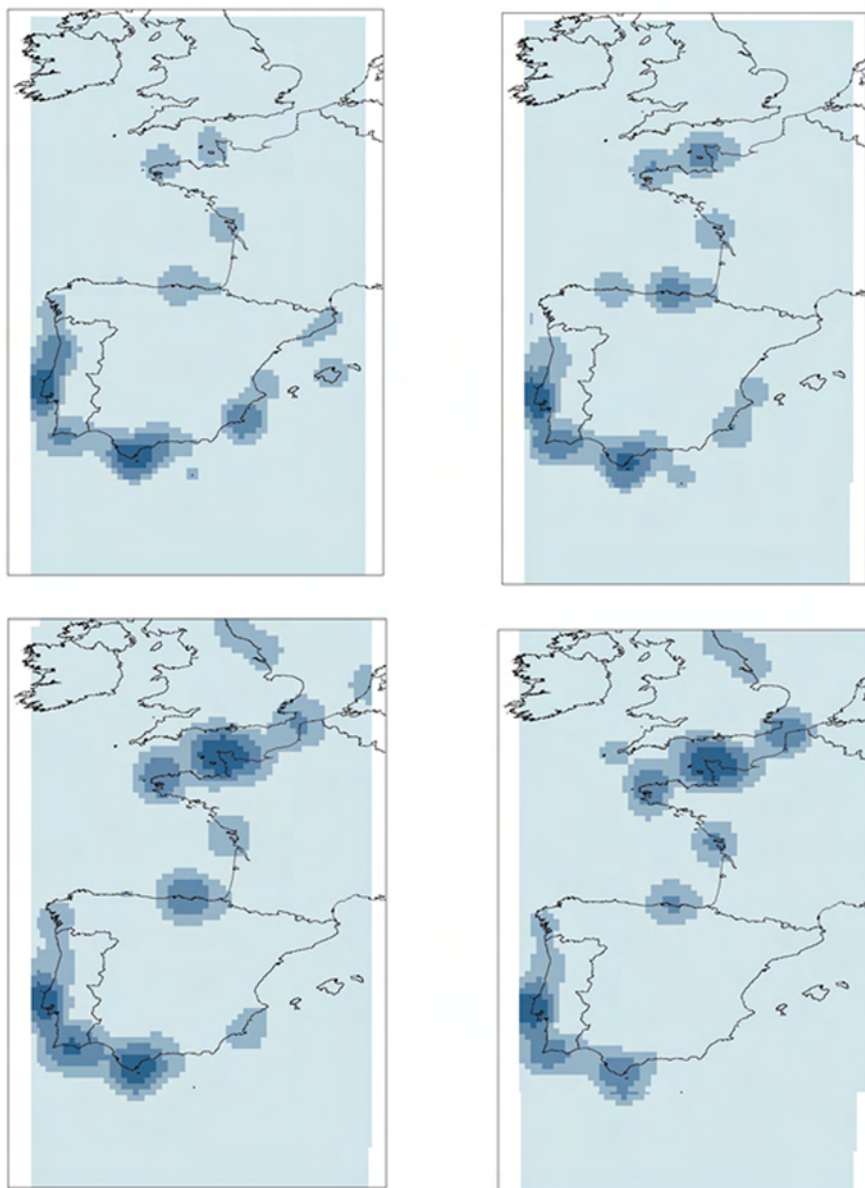


Figura 8. Migración postnupcial: de arriba abajo y de izquierda a derecha, “kernels” de densidad de las localizaciones de pardela en los meses de mayo, junio, julio y agosto, respectivamente. Años 2005-2017.

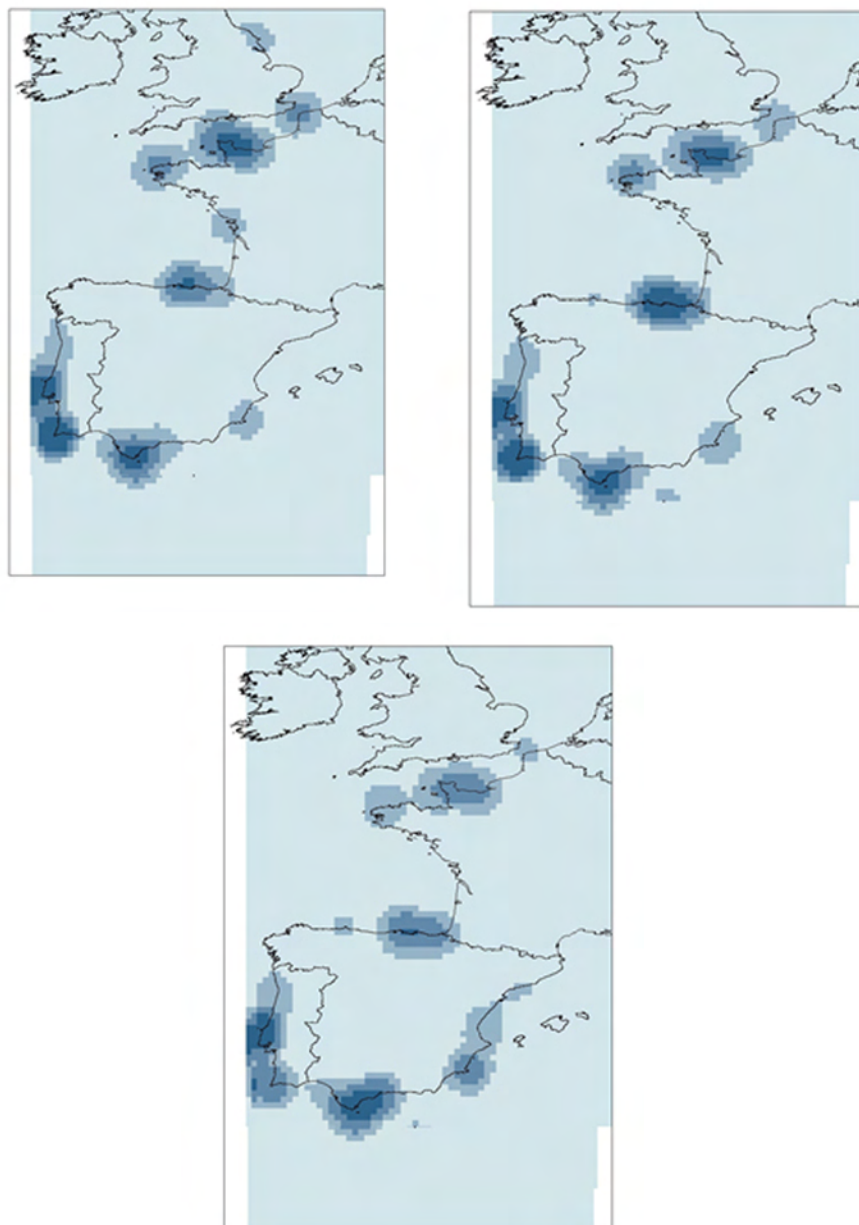


Figura 9. Migración prenupcial: de arriba abajo y de izquierda a derecha, “kernels” de densidad de las localizaciones de pardela en los meses de octubre, noviembre y diciembre, respectivamente. Años 2005-2017.

Migración de pardela balear y de pardela cenicienta del Mediterráneo

En las Figuras 8 y 9 puede observarse como a partir de las observaciones efectuadas desde tierra a lo largo del periodo migratorio es posible seguir el desplazamiento de las pardelas baleares a través de su viaje migratorio, tanto durante el periodo prenupcial como durante el periodo postnupcial.

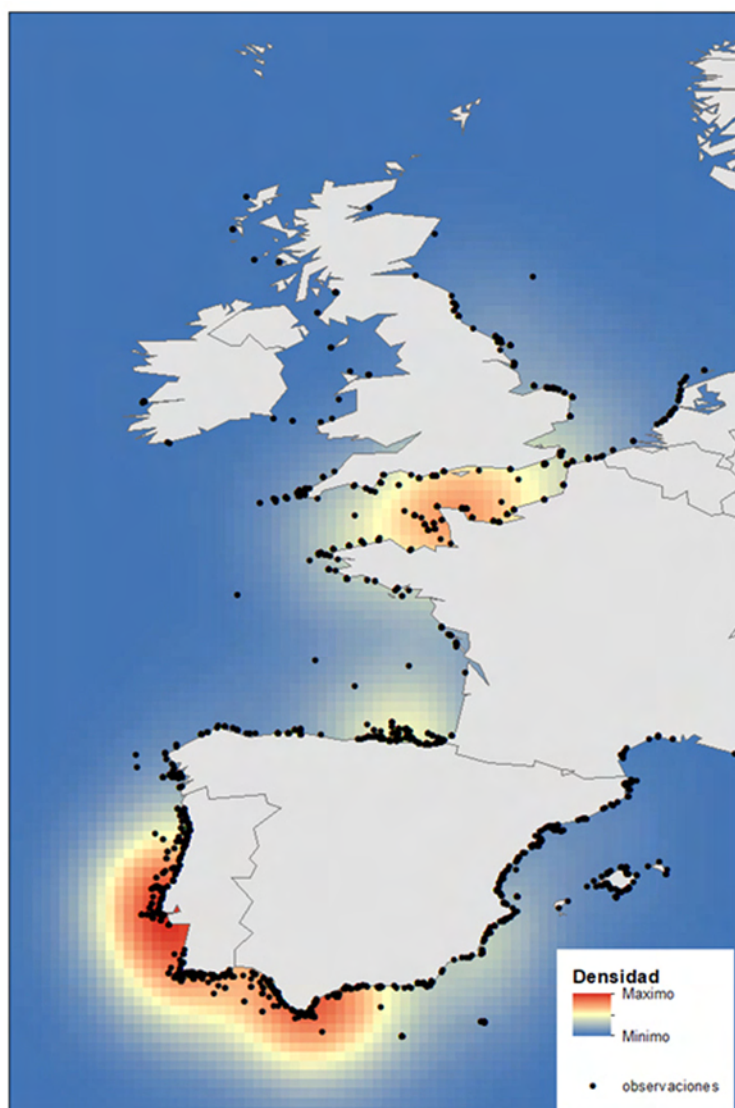


Figura 10. Suma de los *kernels* anuales de densidad y observaciones de pardela balear durante ambos movimientos migratorios. Años 2005-2017.

En estas figuras, al igual que en la Figura 10, la densidad observada es la que se deriva directamente de las observaciones, por lo que la presencia está condicionada por la existencia de observatorios de aves marinas y por la frecuencia con la que estos son utilizados a lo largo del periodo de estudio. No obstante, estos kernels de densidad nos permiten identificar zonas con presencia frecuente de pardelas durante el periodo migratorio. De este modo, a pesar de que existen observaciones de pardela a lo largo de toda la costa mediterránea y atlántica, dichas observaciones tienen lugar con mayor frecuencia en el estrecho de Gibraltar, costa occidental y suroccidental de Portugal, y en Canal de la Mancha, y en menor medida también en la costa Atlántica del norte peninsular durante los periodos de migración de la especie (Figura 10).

3.2. Análisis de la fenología de la migración postnupcial de la pardela balear y la pardela cenicienta

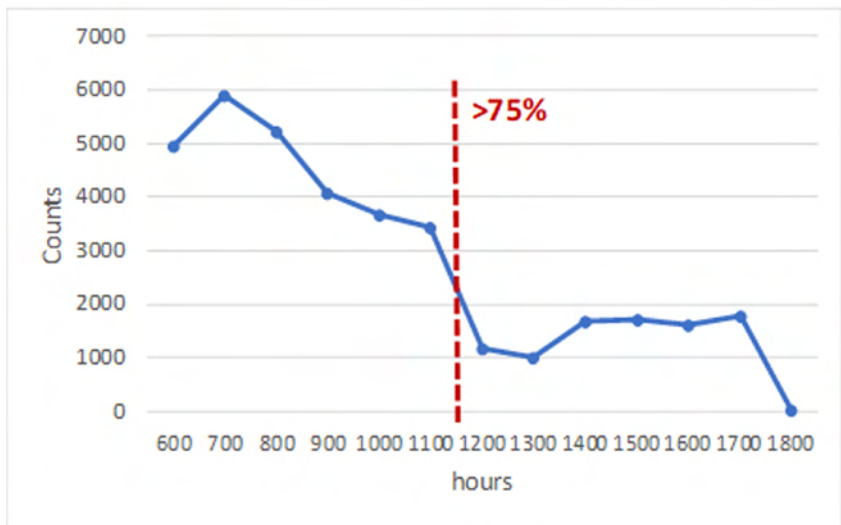
Patrones diarios y estacionales

De acuerdo con los datos analizados, la mayoría de los movimientos de las pardelas que salen del Mediterráneo observadas desde la isla de Tarifa ocurren durante la primera mitad del día (Figura 11). No obstante, cabe señalar que esta actividad migratoria concentrada en la primera parte del día difiere de la actividad diaria que las pardelas cenicientas exhiben a su paso por la punta del Desnarigado, en Ceuta. En contraste con lo que ocurre en Tarifa, en Ceuta se ha observado un repunte después de las 12:00h (hora solar) que, aunque oscila en magnitud y en cuanto a la hora concreta en que tiene lugar a lo largo de los años, ha sido consistente en todos los censos realizados (Navarrete et al., 2006; Navarrete, 2007; Navarrete, 2008a; Navarrete, 2008b; Navarrete, 2009; López, 2010, López, 2011; López, 2014; López y Navarrete, 2019). Esta divergencia en la actividad registrada en dos puntos diferentes a lo largo del estrecho de Gibraltar, podría estar reflejando un patrón de migración diario diferente a lo largo de la ruta migratoria, probablemente en relación a las diferentes condiciones meteorológicas y de disponibilidad de alimento en distintas áreas del Estrecho.

En lo que se refiere al período de conteo estacional, este parece cubrir la totalidad la migración postnupcial en ambos observatorios (Figuras 12 y 13, respectivamente). Es de destacar que, en comparación con la pardela cenicienta, la variación interanual en la abundancia de pardela balear es alta, tanto en términos de fecha como en magnitud (Figura 12).

Migración de pardela balear y de pardela cenicienta del Mediterráneo

a)



b)

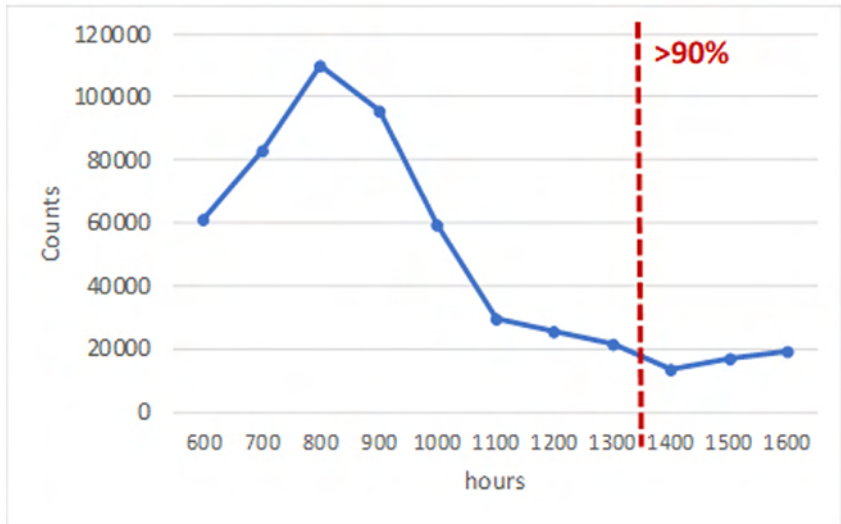
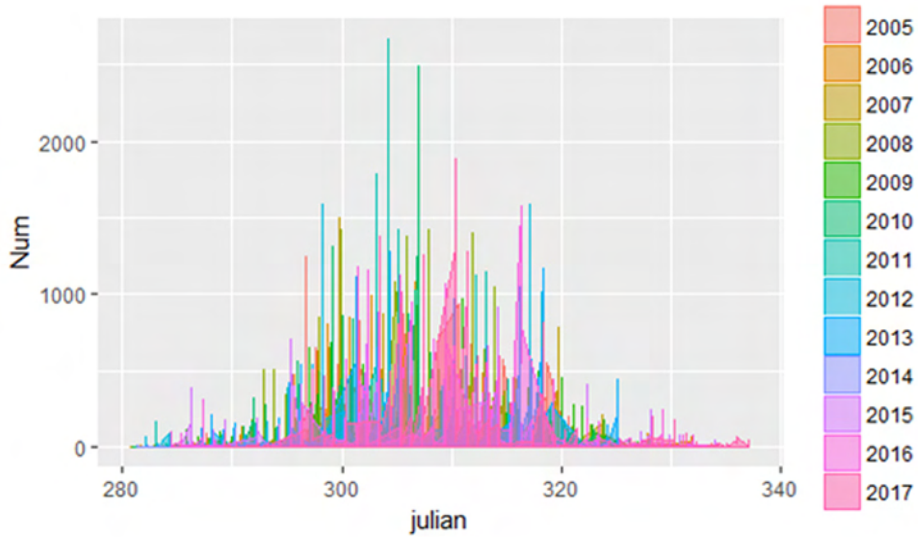


Figura 11. Conteos horarios acumulados de pardelas (2005-2018) efectuados desde la isla de Tarifa durante la migración postnupcial. (a): pardela balear (2005-2011); (b): pardela cenicienta (2005-2011). Se resaltan en rojo los conteos acumulados al final del periodo diario considerado en este estudio (6:00-13:00h).

a)



b)

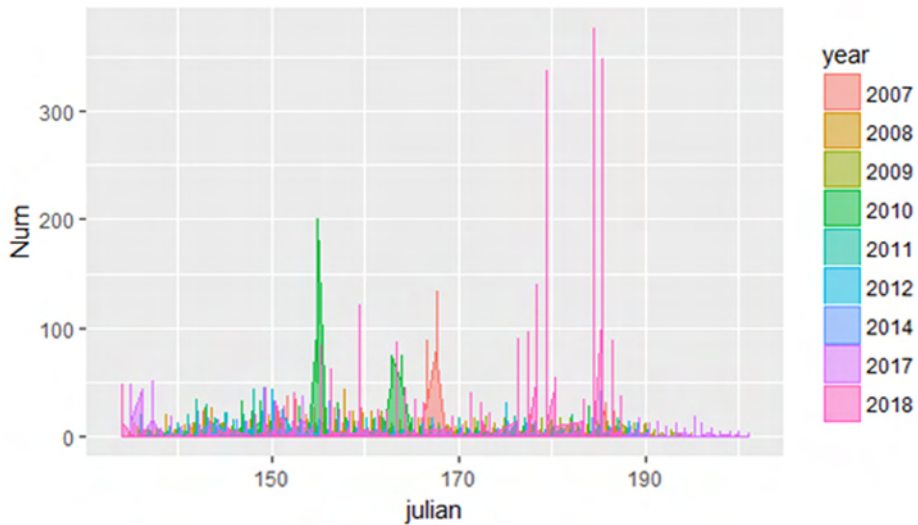


Figura 12. Conteos estacionales de pardelas registrados desde Tarifa durante la migración postnupcial. a) Pardela cenicienta; b) Pardela balear. Fuente: elaboración propia.

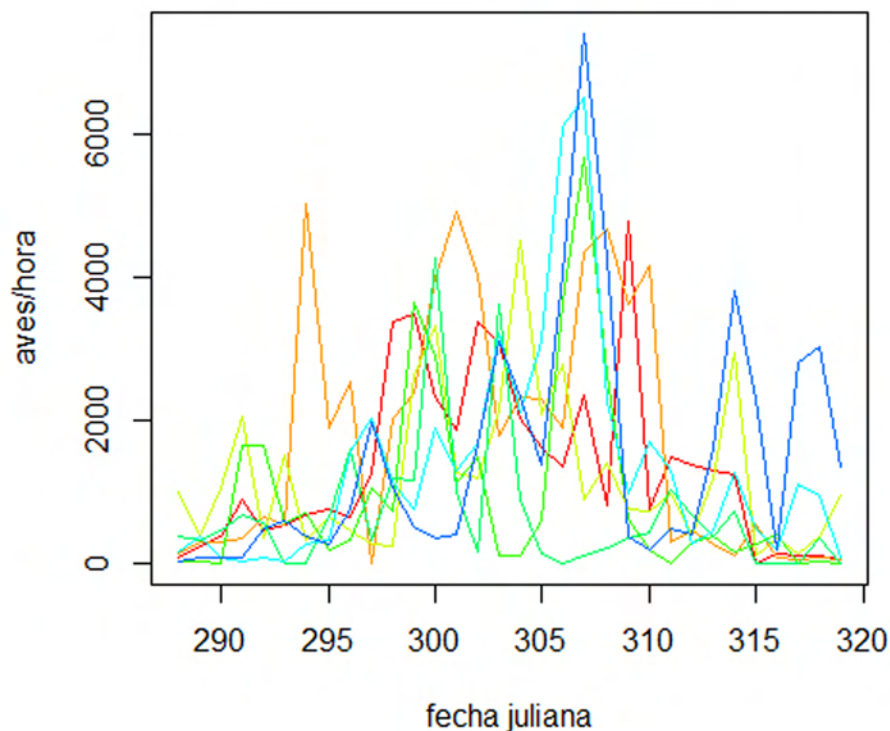


Figura 13. Número de pardelas cenicientas registrado durante la migración posnupcial en la playa del Desnarigado (Ceuta), entre los años 2005 y 2018. Fuente: elaboración propia a partir de los datos publicados en la revista Alcudón.

De este modo, a diferencia de lo que sucede con la pardela balear (Figura 12b) los máximos de pardela cenicienta a lo largo del periodo de migración postnupcial son altamente consistentes a lo largo de los años, tanto en la serie registrada en Tarifa (Figura 12a) como en la obtenida en Ceuta (Figura 13), y tienen lugar en el momento central del seguimiento, tanto en Ceuta como en Tarifa, entre el 22 de octubre (fecha juliana = 295) y el 6 de noviembre (fecha juliana = 310), aproximadamente, dependiendo del año concreto de la observación.

Modelos predictivos

Las temperaturas diarias máximas y mínimas ($r = 0,92$; $p < 0,001$), y la concentración de clorofila durante los periodos de reproducción y migración ($r = 0,98$ y $r = 0,96$, para las pardelas balear y cenicienta, respectivamente; $p < 0,001$) estuvieron altamente correlacionadas. Por este motivo, sólo la temperatura mínima

y la clorofila durante la reproducción se mantuvieron como variables candidatas del modelo. Las funciones de autocorrelación temporal (ACF y PACF) de los modelos GAM no mostraron una autocorrelación significativa en ningún intervalo de tiempo en el caso de la pardela cenicienta (Figura 14). Sin embargo, los conteos de pardela balear requirieron de un modelo GMM que incorporara una estructura de correlación temporal debido a la presencia de autocorrelación detectada gracias a los gráficos de ACF y PACF (Figura 14). De acuerdo con este modelo GMM, el efecto de la fecha en la abundancia de la pardela varió a lo largo del periodo de estudio, es decir, que existe una variación temporal en los conteos. A pesar de la existencia de autocorrelación temporal, la significación y la magnitud de los coeficientes en los modelos GMM y GAM para la pardela balear resultaron ser muy consistentes de tal manera que, por simplicidad, las tendencias temporales que se muestran a continuación son las cuantificadas en el modelo GAM.

De acuerdo con los mejores modelos GAM para las dos especies (Tabla 3), ambas pardelas mostraron tendencias crecientes no lineales durante el período de estudio (Tabla 4). La tasa de cambio promedio anual, obtenida para el período 2012-2018, se estimó en unas 44 aves en el caso de la pardela cenicienta, y de 5 aves en el caso de la pardela balear. Junto con el año de la observación, los vientos con componente oeste, el esfuerzo de muestreo y el día de observación, son las variables que mejor predicen la abundancia de las pardelas baleares durante la migración, mientras que la abundancia de las pardelas cenicientas depende fundamentalmente del esfuerzo de muestreo, la visibilidad, la precipitación, la velocidad del viento, la temperatura, el año y el día de la observación.

Dado que los predictores regionales (es decir, la concentración de clorofila, la anomalía en la temperatura de la superficie marina y las pesquerías) se correlacionaron entre sí, y especialmente con el año, estas variables se evaluaron alternativamente en diferentes modelos GAM. Estos modelos alternativos muestran que las tendencias anuales en la pardela balear están afectados a escala regional fundamentalmente por las pesquerías (Figura 15) y, en menor medida, por la concentración de clorofila durante la primavera. En la pardela cenicienta, sin embargo, fue la concentración de clorofila la variable que mejor predecía la variación interanual en la abundancia (Tabla 5). En comparación con estos modelos, los modelos que incluyen la anomalía en la temperatura de la superficie marina (SST) y el índice NAO mostraron un valor AIC mucho menor en las dos especies de pardela estudiadas.

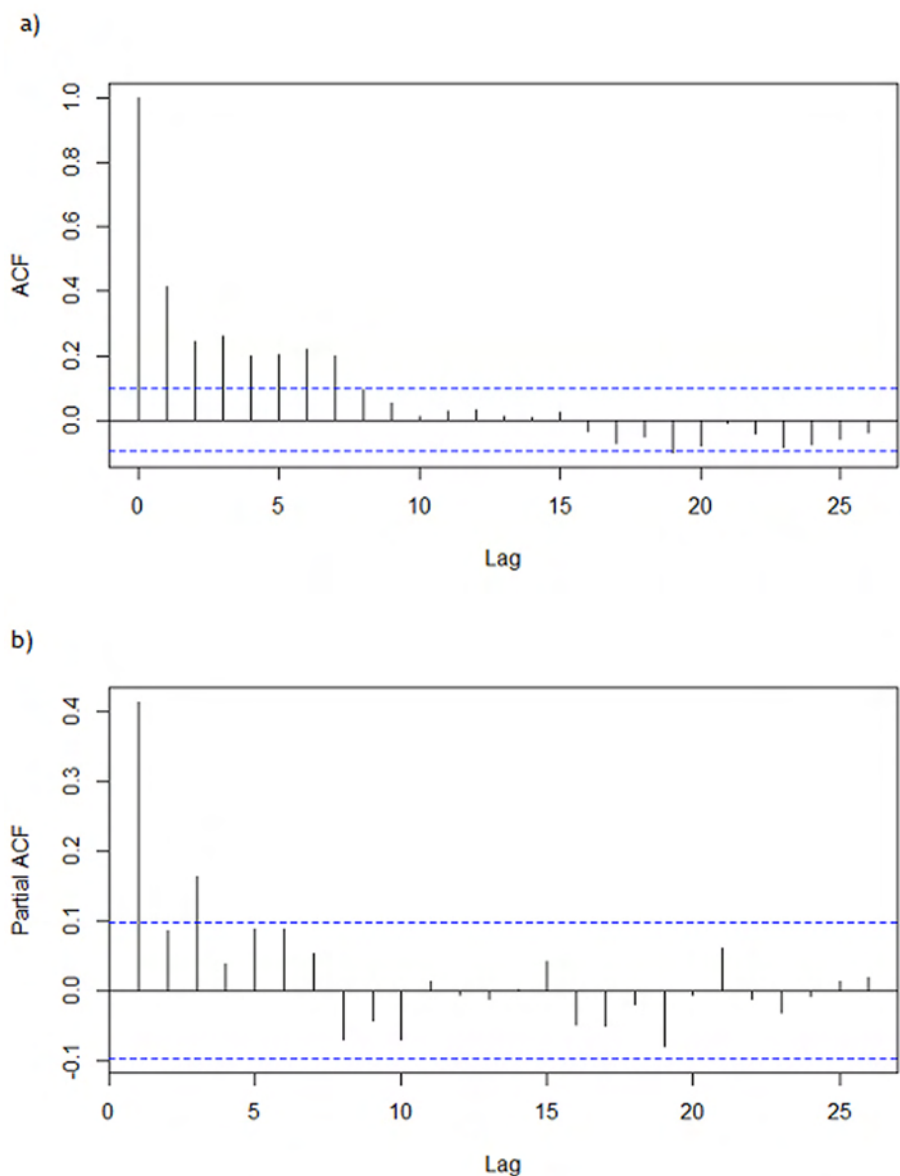


Figura 14. Correlación temporal en el mejor modelo GAM para la pardela balear. (a) Gráficas ACF y (b) PACF. Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Selección mediante AIC del mejor modelo que predice los conteos de migración de pardelas en el estrecho de Gibraltar. (a) Pardela balear; (b) Pardela cenicienta. counts: conteos de pardela; g.l: grados de libertad; logLik: logaritmo de la verosimilitud (log likelihood).

(a)

Modelo	g.l	logLik	AIC	DeltaAIC
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + (year) + (year2)	10	-2581.841	5185.352	0
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + (year) + (year2) + (year:julian)	11	-2581.732	5186.227	0.875
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + year	10	-2600.764	5223.138	37.786
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + s(wind) + year	10	-2600.764	5223.144	37.792
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + s(cob) + year	10	-2600.761	5223.176	37.824
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + (visib) + year	11	-2600.088	5223.8	38.448
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + (prec) + year	11	-2600.417	5224.408	39.056
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.N) + (dir.W) + year	11	-2600.428	5224.458	39.106
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + (Dis) + year	11	-2600.517	5224.62	39.268
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + s(tmin) + year	12	-2599.575	5224.832	39.48
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.N) + (dir.W) + (Dis) + (prec) + s(cob) + s(tmin) + s(wind) + (visib) + year	16	-2598.064	5229.456	44.104

Migración de pardela balear y de pardela cenicienta del Mediterráneo

(b)

Model	df	logLik	AIC	Delta AIC
counts ~ s(julian) + (effort) + (prec) + s(cob) + s(tmin) + s(wind) + (visib) + (year) + (year2)	24	-3653.175	7354.39	0
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.N) + (dir.W) + (Dis) + (prec) + s(cob) + s(tmin) + s(wind) + (visib) + (year) + (year:juliana)	25	-3657.437	7366.297	11.907
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + (prec) + s(tmin) + s(wind) + (visib) + (year)	25	-3658.223	7367.432	13.042
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + (prec) + s(cob) + s(tmin) + s(wind) + (visib) + (year)	25	-3658.22	7367.437	13.047
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.N) + (dir.W) + (prec) + s(tmin) + s(wind) + (visib) + (year)	26	-3658.269	7369.13	14.74
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + (Dis) + (prec) + s(tmin) + s(wind) + (visib) + (year)	26	-3658.342	7369.59	15.2
counts ~ s(julian) + (effort) + (prec) + s(tmin) + s(wind) + (visib) + (year)	23	-3661.078	7369.864	15.474
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + (prec) + s(tmin) + s(wind) + (visib)	24	-3660.938	7370.132	15.742
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.W) + s(tmin) + s(wind) + (visib) + (year)	24	-3660.27	7370.277	15.887
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.N) + (dir.W) + (Dis) + (prec) + s(cob) + s(tmin) + s(wind) + (visib) + (year)	27	-3658.36	7371.255	16.865
counts ~ s(julian) + (effort) + (Dis) + (prec) + s(cob) + s(tmin) + s(wind) + (visib) + (year)	19	-3666.459	7372.221	17.831
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.N) + (dir.W) + (Dis) + (prec) + s(cob) + s(wind) + (visib) + (year)	24	-3666.56	7381.667	27.277
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.N) + (dir.W) + (Dis) + (prec) + s(cob) + s(tmin) + s(wind) + (year)	21	-3674.61	7392.349	37.959
counts ~ s(julian) + (effort) + (dir.N) + (dir.W) + (Dis) + (prec) + s(cob) + s(tmin) + (visib) + (year)	19	-3681.36	7401.353	46.963

Tabla 4. Estimaciones obtenidas a partir de los mejores modelos GAM que predicen la abundancia de pardelas en migración en el estrecho de Gibraltar (isla de Tarifa). (a) Pardela balear; (b) Pardela cenicienta. Datos durante 2005-2018.

(a)

Coefficientes paramétricos	Estimas	Error estandar	Valor z	Pr(> z)
effort	0.299	0.050	5.987	< 0.001
dir.W	0.023	0.004	6.240	< 0.001
year	-78.670	0.009	-8352.652	< 0.001
(year2)	0.020	0.000	4165.062	< 0.001
Términos suavizados	edf	Ref.df	Chi.sq	p-valor
s(julian)	5.528	9	67.36	<0.001

(b)

Coefficientes paramétricos	Estimas	Error estandar	Valor z	Pr(> z)
(Intercept)	4.65E+04	<0.000	>8	< 0.001
effort	0.166	0.009	0.166	< 0.001
visib	0.168	0.060	0.168	0.005
prec	0.015	0.006	0.015	0.010
year	-46.260	0.011	-46.260	< 0.001
(year2)	0.012	<0.000	0.012	< 0.001
Términos suavizados	edf	Ref.df	Chi.sq	p-valor
s(julian)	7.548	9	476.69	< 0.001
s(wind)	5.922	9	32.52	< 0.001
s(tmin)	2.125	9	11.06	0.0020

Tabla 5. Comparación de modelos alternativos contruidos con diferentes predictores regionales (datos durante 2005-2016). En el caso de la pardela balear, la relación es cuadrática (predictor2), mientras que en la pardela cenicienta dicha relación es lineal. (a) Pardela balear; (b) Pardela cenicienta. g.l: grados de libertad. En gris se destacan aquellos modelos con $\Delta AIC \leq 2$.

	(a)		(b)	
	df	AIC	df	AIC
Clorofila	11.59	3765.20	23.34	6126.47
Pesquerías	10.74	3763.08	23.20	6135.24
Índice NAO	11.71	3767.51	24.16	6135.45
SST	11.65	3775.19	22.89	6135.82
año2	10.69	3766.24	23.55	6125.60

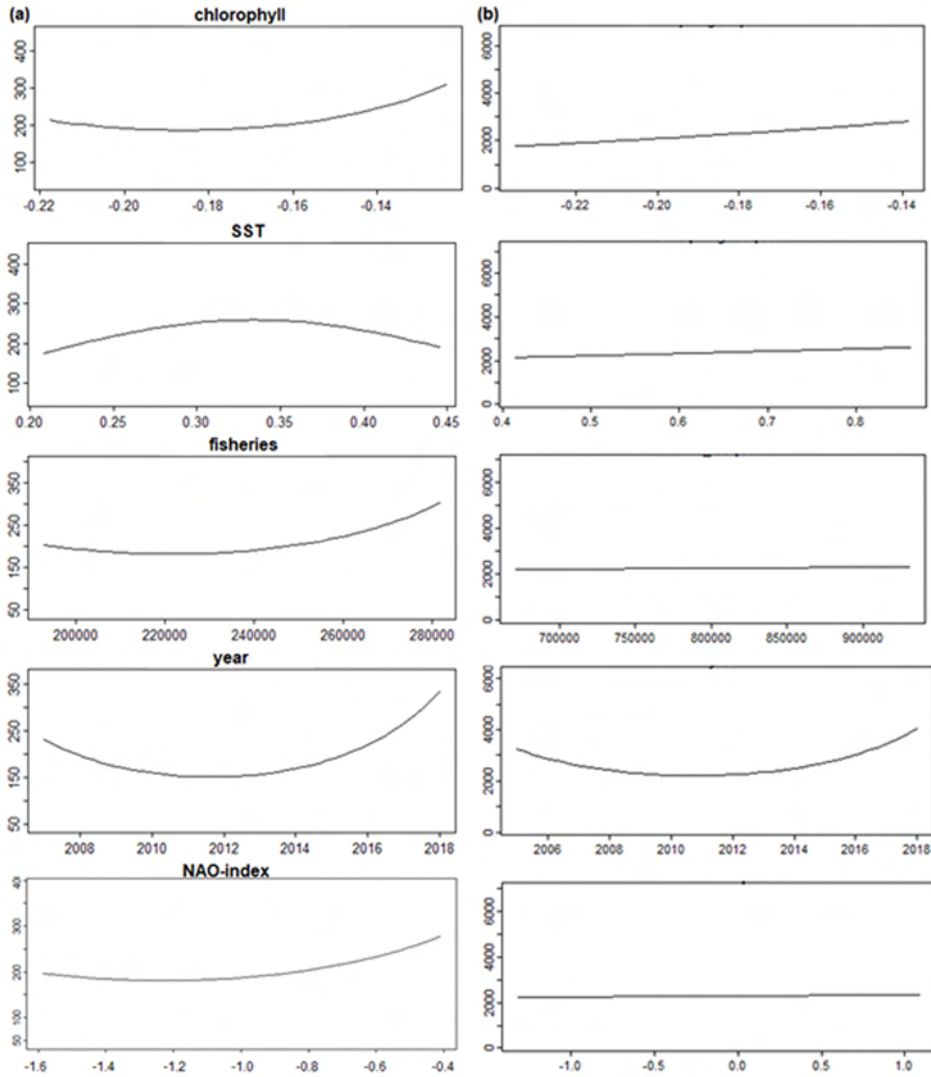


Figura 15. Valores predichos de abundancia de pardelas en migración en el estrecho de Gibraltar a partir de modelos alternativos contruidos con diferentes predictores regionales. chlorophyll concentration: concentración de clorofila, SST: anomalía en la temperatura de la superficie marina; fisheries: pesquerías; year: año. Datos durante 2005-2018). (a) Pardela balear; (b) Pardela cenicienta. En el caso de la pardela cenicienta solo los resultados para clorofila son estadísticamente significativos ($p < 0.05$). Fuente: elaboración propia.

Análisis de los datos recogidos desde Ceuta

• Tendencia interanual

A diferencia de los censos efectuados en Tarifa, el esfuerzo de muestreo diario en los conteos realizados en Ceuta ha sido variable de unos años a otros, a pesar de lo cual, el número absoluto de aves registrado cada año en Ceuta y Tarifa ha sido de una magnitud similar (Figura 16), a excepción del año 2006, en el que el esfuerzo diario de seguimiento en Ceuta fue de entorno a un 40% superior al aplicado en otros años (120 horas en promedio entre 2007-2018 frente a 158 horas en 2006).

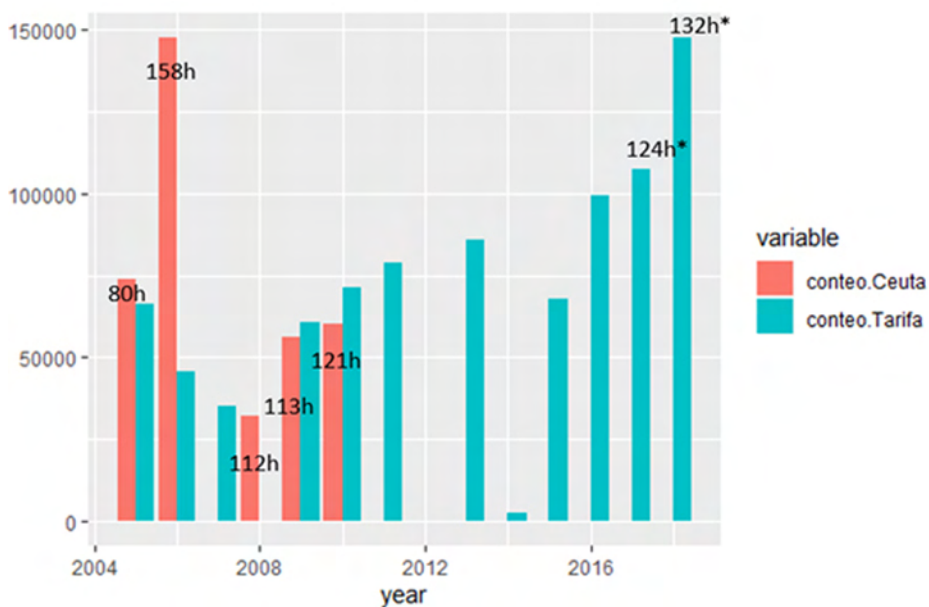


Figura 16. Conteos anuales absolutos de pardela cenicienta en migración postnupcial registrados desde Ceuta y Tarifa. Se indica el esfuerzo de muestreo (horas) empleado en los conteos efectuados en Ceuta. El esfuerzo de muestreo realizado en Tarifa fue constante (censo diario entre las 6:00-13:00h hora solar). *Los conteos absolutos de los años 2017-2018 no han sido publicados (ver López y Navarrete, 2019).

En la Figura 17, se comparan las estimas totales anuales de aves recogidas en Ceuta con los conteos absolutos anuales registrados en Tarifa (entre las 6:00-13:00h; hora solar). En este gráfico, podemos observar que el aumento detectado en

los últimos años en el número de pardelas cenicientas en la serie de Tarifa puede apreciarse también en los dos últimos años para los que existen conteos desde Ceuta (2017-2018). Estos resultados, están en consonancia con el aumento reciente de la población de pardela cenicienta identificado en los modelos que describíamos previamente y que han sido recientemente publicados (Martín, Onrubia y Ferrer, 2019; ver Anexo II). De este modo, las observaciones de pardela cenicienta realizadas desde la punta del Desnarigado, al igual que los conteos efectuados en la isla de Tarifa, apoyan la existencia de un aumento reciente en la población de esta especie de pardela en el Mediterráneo.

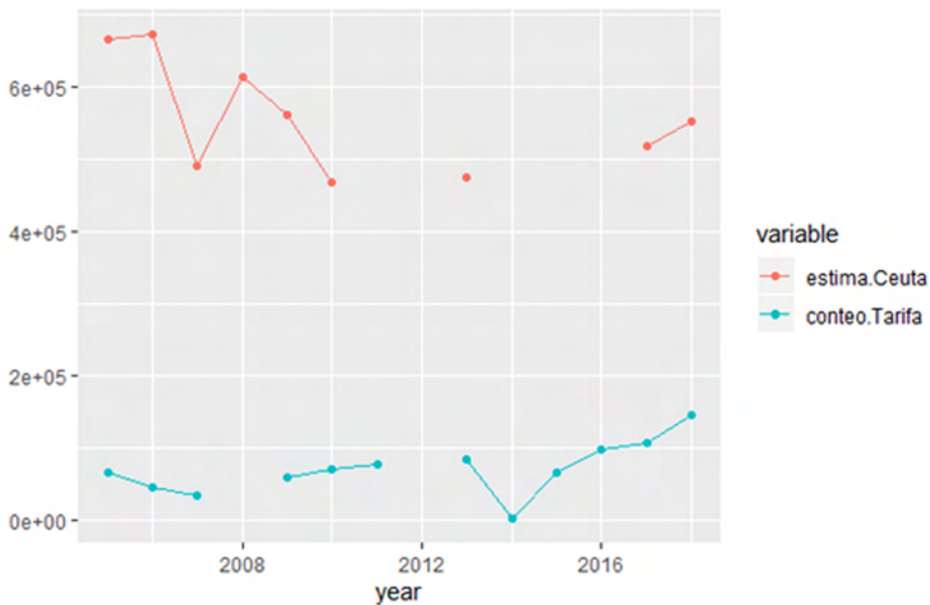


Figura 17. Número de pardelas cenicientas registrado durante la migración postnupcial (15 octubre- 15 noviembre) en el estrecho de Gibraltar. Playa del Desnarigado (Ceuta): estimas de paso totales (López y Navarrete, 2019). Isla de Tarifa (Tarifa): conteos absolutos registrados con esfuerzo constante entre las 6:00 y las 13:00h (hora solar).

- **Correlación entre los datos diarios recogidos en Ceuta y Tarifa**

Con el fin de poder evaluar la consistencia en la abundancia diaria recogida en ambos observatorios, así como el tiempo invertido por las pardelas en desplazarse desde Ceuta hasta Tarifa, los datos diarios de aves/hora de pardela cenicienta registrados en Ceuta se han “cruzado” con los diarios absolutos de la especie recogidos en Tarifa (periodo diario comprendido entre las 6:00 y la 13:00h; hora solar)

Migración de pardela balear y de pardela cenicienta del Mediterráneo

mediante una función de correlación cruzada (Figura 18). En general, si atendemos a los datos de los años 2005, 2006, 2007 y, en menor medida también, a los años 2009 y 2017, observamos que la máxima correlación de las aves observadas en Ceuta tiene lugar con las pardelas registradas en Tarifa 2-4 días después (“lags” comprendidos entre -2 y -4). De este modo, interpretaríamos que las aves que se cuentan en Ceuta en un día concreto de su paso postnupcial, tardarían entre 2 y 4 días en llegar hasta Tarifa, habiendo una consistencia entre el número de aves observado en Ceuta y el que posteriormente se observa en Tarifa. Sin embargo, los resultados en 2010, 2013 y 2018 no han sido concluyentes, no ofreciendo un intervalo temporal (“time lag”) coherente.

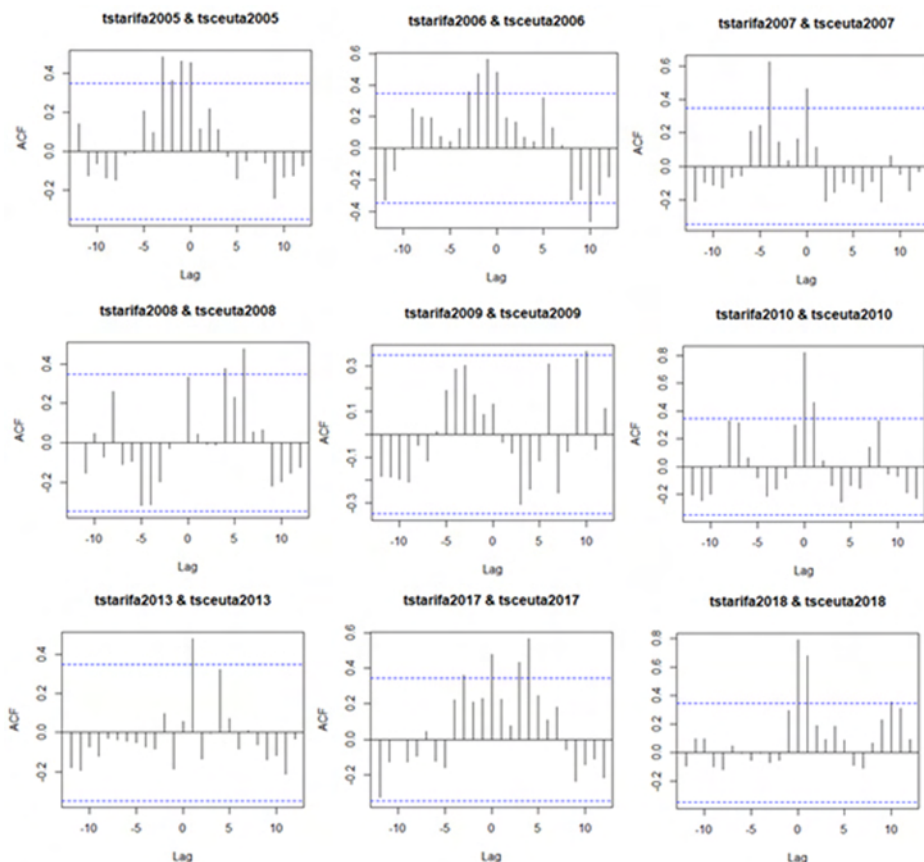


Figura 18. Correlación cruzada a diferentes intervalos temporales (“lags”) entre las series diarias de conteo de pardela cenicienta durante la migración postnupcial registrados en Ceuta y Tarifa.

El motivo de esta falta de coherencia en estos años podría encontrarse en la forma de medir la abundancia de las pardelas registradas en Ceuta, donde partimos del número de aves/hora. Cuando se calcula la proporción de aves/hora, se pretende corregir los conteos de migración por el esfuerzo de muestreo, efectuando una ponderación basada en las horas de observación. Sin embargo, tal y como muestran las distintas publicaciones de Alcudón (Navarrete et al., 2006; Navarrete, 2007; Navarrete, 2008a; Navarrete, 2008b; Navarrete, 2009; López, 2010, López, 2011; López, 2014; López y Navarrete, 2019), la abundancia de pardela cenicienta registrada en las diferentes horas del día no es constante, como tampoco lo es la abundancia diaria registrada en distintos días a lo largo del periodo de migración postnupcial. De este modo, el cálculo de las aves/hora puede provocar sesgos en los datos si cada año o cada día se ha contado en unas horas diferentes. De este modo, para una correcta correlación entre los datos recogidos en ambos observatorios del Estrecho, sería necesario poder contar con los datos horarios recogidos en Ceuta, y poder corregirlos por las condiciones meteorológicas existentes en el momento en que se efectuaron los conteos, tal y como se ha hecho en los modelos que describen la tendencia de la población de las pardelas que se presentan a lo largo de esta memoria.

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Análisis espacial de la migración de la pardela balear

Las interacciones entre la latitud y los predictores ambientales que detectamos en los modelos nos indican el gradiente latitudinal que existe en las variables analizadas, que presentan un patrón de variación espacial en el eje norte-sur, en relación con las temperaturas que tienen lugar en el hemisferio Norte. No obstante, y a pesar del incremento que ha tenido lugar en las temperaturas en época reciente como consecuencia del cambio climático (que queda reflejada en nuestros análisis por la interacción detectada entre el año y la temperatura), dentro del periodo de estudio no parece haber existido un desplazamiento de las áreas utilizadas por las pardelas durante la migración, ni durante la época prenupcial ni durante la postnupcial, como se deduce de la ausencia de interacción entre el año y la latitud de la observación. De este modo, en contra de lo que algunos estudios previos habían señalado (Yésou, 2003), y reforzando lo que otros investigadores han concluido también previamente (Votier, Bearhop, Attrill y Oro, 2008), nuestros resultados no indican que se esté produciendo una variación latitudinal en la distribución de esta especie en relación con el cambio climático, a pesar de que la temperatura en un año concreto esté relacionada con la migración de la especie. Sin embargo, en lo que a la influencia del cambio climático se refiere, debemos tener en cuenta lo corto que resulta el periodo de estudio en términos climáticos. La recogida de nuevos datos en el futuro, y la repetición de los análisis aquí descritos con series temporales más largas, podrá en un futuro arrojar luz acerca de este punto y proporcionar una mejor perspectiva acerca de la influencia del cambio climático en la migración de esta especie.

En cuanto a la variabilidad interanual en la distribución espacial de las pardelas baleares durante la migración, esta es especialmente marcada durante el desplazamiento postnupcial (ver el importante efecto que presenta la variable “año” en este modelo) mientras que durante la migración prenupcial, el modelo nos indica que esta variabilidad tiene escasa importancia.

A pesar de tratarse de modelos predictivos basados en observaciones puntuales realizadas desde tierra, los modelos construidos nos ofrecen una interesante información acerca de la velocidad del desplazamiento migratorio y de las paradas realizadas por las pardelas a lo largo del viaje para alimentarse. Esta información, puede derivarse de la interpretación de las interacciones entre la clorofila y el viento, así como entre la intensidad pesquera y el viento. De este modo, podemos afirmar que la distribución de la clorofila en el mar determina la presencia de esta especie durante el desplazamiento migratorio, y que esta relación está mediada por el viento. No obstante, la clorofila influye más el movimiento prenupcial que el postnupcial, mientras que los vientos condicionan más el movimiento de salida del Mediterráneo (migración postnupcial). En nuestros modelos, una abundancia elevada de pardelas refleja una actividad migratoria postnupcial elevada. De este modo, una mayor concentración de clorofila supone una menor abundancia de pardelas, que aprovechan la mayor disponibilidad de alimento para recuperar energía. La variabilidad en la velocidad del viento, sin embargo, contribuye a mantener a las pardelas en movimiento, de acuerdo con nuestros modelos. De manera similar, la relación entre la intensidad pesquera y la abundancia de pardelas durante la migración prenupcial está condicionada por la intensidad y la dirección del viento. La abundancia es mayor con vientos de oeste (uwmean positivo) en comparación con vientos de este (uwmean negativo), y menor con vientos de norte (vwmean negativo) que con vientos de sur (vwmean positivo), resultando máxima cuando el viento es de oeste o de sur y la intensidad pesquera es elevada.

En los estudios observacionales que se realizan habitualmente en el ámbito de la Ecología y de la Biología de la Conservación, en los que, a diferencia de los estudios experimentales, el investigador no puede controlar los factores que se están evaluando, la capacidad de los modelos de explicar la variabilidad existente en la muestra de datos suele ser relativamente baja (frecuentemente, una variabilidad explicada inferior al 10%). Esto es debido tanto al ruido como al azar inherente a los fenómenos biológicos (Møller y Jennions, 2002.). Sin embargo, el mejor modelo obtenido en este trabajo, resultante de la aplicación de técnicas de aprendizaje automático (i.e. modelo de bosque aleatorio), logra explicar hasta un 70% de la variabilidad observada en la migración de la pardela balear y, además, genera unas predicciones que se correlacionan altamente (70%) con los valores observados de abundancia de pardela. Estos resultados superan notablemente los obtenidos con modelos estadísticos tradicionales como los modelos aditivos generalizados. No obstante, a pesar de los buenos resultados que el bosque aleatorio proporciona, de acuerdo con este trabajo, si queremos aplicar esta técnica para modelar datos de abundancia de otras especies animales, debemos tener en cuenta que la capacidad explicativa del modelo de bosque aleatorio está fuertemente condicionada por la

muestra de datos de partida con la que calibramos el modelo. Por este motivo, la aplicación de este tipo de técnicas para la modelación de la migración animal exige de un adecuado y cuidadoso pre-procesamiento de los datos, con el fin de garantizar que partimos de una muestra para el análisis lo más “limpia” posible para así conseguir que los resultados sean óptimos.

El análisis de las variables que se incluyen en el modelo de bosque aleatorio, así como de las interacciones que tienen lugar entre ellas, nos ofrece información que puede ayudarnos a interpretar los factores que determinan el desplazamiento migratorio de la pardela balear. En primer lugar, cabe señalar que, de acuerdo con nuestros resultados, estos factores son diferentes durante la migración prenupcial y la migración postnupcial, indicándonos que las motivaciones y requerimientos de las aves son diferentes en ambos periodos. En concreto, el recurso alimenticio que parece estar guiando el desplazamiento de las aves en un periodo y otro es diferente. Así, mientras que las presas seleccionadas durante el periodo postnupcial parecen ser de menor tamaño y más directamente relacionadas con la productividad primaria (i.e. concentración de clorofila), entre las presas capturadas durante la migración prenupcial, los peces parecen ser más importantes, y muy probablemente también los descartes procedentes de la pesca (Meier et al., 2015), de acuerdo con la relación que observamos entre la abundancia de pardelas y la presencia de embarcaciones pesqueras en este periodo. Por otra parte, comprobamos que el papel que la clorofila y la abundancia de peces tiene sobre el movimiento migratorio de las pardelas está claramente modulado por la presencia del viento, tanto por su intensidad como por su variabilidad, lo que refleja el compromiso que representa para estas aves el volar con vientos en contra o con vientos favorables de cola. De nuestros resultados podemos inferir que existe un balance entre la velocidad de desplazamiento (relacionada con el viento) y el tiempo invertido en detenerse para alimentarse (que dependerá de los niveles de productividad primaria y/o de peces, que son los que determinan la disponibilidad de alimento).

Conclusiones

El análisis de Big Data se aplica cada vez más con el fin de sacar partido a este tipo de datos masivos que, hasta hace no demasiado tiempo, debido a su volumen y variedad, no eran posibles de analizar con las capacidades informáticas disponibles. Sin embargo, con las nuevas herramientas computacionales, y junto con ellas, las nuevas técnicas de análisis disponibles, estos datos pueden ser analizados y proporcionar información relevante en campos muy diversos. En este trabajo, demostramos que el análisis de Big Data puede representar una alternativa sumamente atractiva e interesante a la hora de estudiar el patrón migratorio de las

aves y otros animales. Frente a las aproximaciones tradicionales, que dependen de colocar dispositivos electrónicos en los animales, el análisis de datos recogidos por voluntarios, que son cada vez más comunes y abundantes, a pesar del ruido y de las imprecisiones que los caracteriza, puede ofrecer una información muy interesante y útil con unos costes muy bajos, tanto en términos económicos como de molestias a los animales. Estos datos, además, pueden proporcionarnos información sobre amplios periodos de tiempo y acerca de grandes proporciones de la totalidad de la población de las especies de estudio. En este trabajo, utilizando la pardela balear como modelo de estudio, demostramos que, a partir de estos datos, podemos estudiar los patrones generales de migración y los factores ambientales que determinan dicho patrón, obteniendo unos resultados de gran calidad en cuanto a la precisión y a la capacidad predictiva de los modelos.

4.2. Análisis de la fenología de la migración postnupcial de la pardela balear y la pardela cenicienta en el estrecho de Gibraltar

Los resultados obtenidos muestran que las pardelas balear y cenicienta han aumentado significativamente en la última década. En concreto, en lo que se refiere a la pardela cenicienta, este aumento es consistente de acuerdo con las observaciones efectuadas en dos observatorios diferentes a lo largo del estrecho de Gibraltar, en Ceuta y Tarifa. De acuerdo con nuestros modelos, dicho aumento se ha producido, principalmente, en relación a la disponibilidad de alimento en sus áreas de reproducción en el mar Mediterráneo, pero también como consecuencia del impacto directo e indirecto que representan las pesquerías. Estos hallazgos contrastan con las tendencias negativas que se habían descrito para ambas especies en el Mediterráneo (BirdLife International, 2017b, 2017a) hasta la fecha basadas en estimas realizadas en las colonias de cría. La solidez de nuestros resultados queda garantizada tanto por los protocolos estandarizados de recogida de datos aplicados (Arroyo et al., 2014; Navarrete et al., 2006), como por el control de aquellas variables que afectan al esfuerzo de seguimiento y al error del observador durante el muestreo. Respaldando los resultados de este estudio, las estimaciones de la población de ambas pardelas derivadas de los recuentos realizados en el Estrecho habían permitido ya revisar las estimas, mucho más reducidas, que existían en las colonias de cría (Arroyo et al., 2014; du Rau et al., 2015; Arcos et al., 2017; Carboneras et al., 2013). Los aumentos detectados en los últimos años podrían explicarse a partir de las siguientes causas que no son mutuamente excluyentes: (1) Debido a aumentos en la supervivencia de las pardelas; (2) debido a una me-

jora del éxito en la cría; (3) como resultado de los cambios en el comportamiento migratorio pardelas.

Incrementos en la supervivencia y / o éxito reproductivo

En contraste con los recuentos en las colonias de cría, el número de pardelas en migración no solo contiene ejemplares adultos y reproductores, sino que engloba también la fracción no reproductora de la población (incluidos los juveniles, inmaduros y adultos no reproductores). Esta fracción puede ser grande en estas especies (Oro et al., 2004; Péron et al., 2012) de manera que la divergencia observada entre la tendencia de las aves reproductoras y las aves en migración podría estar reflejando un cambio diferente en estas dos fracciones. Sin embargo, nuestros resultados apuntan a la existencia de aumentos en todas las fracciones de población en ambas especies, ya que la tendencia observada fue consistente para todas las fases migratorias a lo largo de las series estacional (es decir, no detectamos ninguna interacción significativa entre el día y el año que afecte a abundancia de las pardelas). Estudios previos han mostrado que, en estas especies, la disponibilidad de alimento, modulada por diferentes factores ambientales, explica gran parte de la variación observada tanto en la supervivencia de los adultos como en el éxito reproductor (e.g., Genovart et al., 2016; Luczak C. et al., 2011; Tavecchia et al., 2016). En lo que se refiere a las pardelas en particular, la supervivencia de adultos (Afán et al., 2019; Cortés et al., 2018; Genovart et al., 2016) y y juveniles (Afán et al., 2019; Cortés et al., 2018) depende enormemente del impacto de las capturas accidentales durante la pesca (“bycatch”). Sin embargo, la pesca puede favorecer también la supervivencia de estas especies gracias al efecto beneficioso que suponen los descartes pesqueros, que constituyen una fuente de alimento importante en estas especies (e.g., Cortés et al., 2018; Genovart et al., 2016), siendo un factor clave para la viabilidad de ambas especies de pardela (Genovart et al., 2016; Soriano-Redondo et al., 2016). En este sentido, nuestros modelos indican que una mayor concentración de clorofila y una reducción en las capturas de peces en el Mediterráneo se relacionan con una mayor abundancia de pardelas. Esta relación es especialmente marcada entre 2010 y 2018, años en los que la clorofila alcanzó niveles relativamente elevados.

Cambio climático y abundancia de pardelas

Otros estudios han encontrado una relación entre la supervivencia y el éxito reproductivo de la pardela cenicienta con índices climáticos como NAO y SOI (Genovart et al., 2013a), aparentemente porque existe una relación entre estos índices y

las poblaciones de peces pelágicos de pequeño tamaño (Tsikliras et al., 2019), que son las presas preferidas de las pardelas (Louzao et al., 2015; Xavier et al., 2011). Sin embargo, en nuestro trabajo no encontramos relaciones significativas entre indicadores climáticos regionales (NAO y anomalía en la temperatura superficial del mar en el hemisferio Norte) y la abundancia de pardelas. De acuerdo con estos resultados, el cambio climático no tendría una gran influencia en las tendencias observadas en el número de pardelas, al menos en lo que al periodo de estudio se refiere. Sin embargo, tal y como ya mencionábamos previamente, debemos tener en cuenta que un plazo de 10-14 años puede resultar insuficiente a la hora de describir los impactos del clima que tienen lugar en marcos temporal amplios.

¿Más pardelas saliendo del Mediterráneo?

Para que la tendencia medida en el Estrecho refleje la tendencia de la población global de pardela es necesario que la proporción de aves que migra a través de Gibraltar sea más o menos constante a lo largo de los años (Martín et al., 2016). Sin embargo, los individuos de especies longevas como las pardelas tienen una gran capacidad para modular su comportamiento migratorio en respuesta a la variabilidad ambiental (e.g., Martín et al., 2014; Scholer et al., 2016). De acuerdo con lo que se sabe de estas especies, la totalidad de la población de pardela cenicienta mediterránea, y una gran parte de la población de pardela balear, abandonan el Mediterráneo cada año tras la reproducción (Ruiz y Martí, 2004; Guilford et al., 2012; Péron y Grémillet, 2013). Sin embargo, en otras especies de aves marinas se sabe que la proporción de aves que migra varía con la temperatura de la superficie del mar (Orben et al., 2015). Esta temperatura ha aumentado en el hemisferio norte desde 1980 y ha sido particularmente alta durante los últimos cinco años (Morice et al., 2012). No obstante, aunque nuestros modelos indican un efecto de dicha anomalía en la tendencia observada en la población, son otros los factores ambientales que explican la mayor parte de la variabilidad en la abundancia de pardelas cada año. Estos factores, que como veíamos anteriormente, parecen estar más directamente relacionados con los parámetros demográficos de ambas especies, son la concentración de clorofila y las pesquerías. Nuestros resultados muestran que una mayor abundancia de pardelas se relaciona con años en los que la clorofila es mayor en el Mediterráneo. Si asumimos que esta clorofila es un indicativo de disponibilidad de alimento, mayores niveles de clorofila no deberían suponer una mayor salida de pardelas del Mediterráneo sino lo contrario, reforzando que las tendencias detectadas en nuestro trabajo se corresponden, efectivamente, con incrementos poblacionales.

Fuentes potenciales de sesgo en los conteos

Sabemos que existe una cierta dispersión de las especies de pardela cenicienta (*Calonectris* sp.) mediterránea y atlántica (*C. diomedea* y *C. borealis*, respectivamente) desde el Atlántico hasta el Mediterráneo (Genovart et al., 2013b). Sin embargo, la pardela atlántica no se ha observado en la cuenca del Mediterráneo, con excepción de dos colonias de reproducción en las islas Chafarinas (aproximadamente 20-30 parejas reproductoras) y el islote Terreros-Almería (aproximadamente 10 parejas (Reyes-González y González-Solís, 2016). No obstante, se sabe que la proporción de pardela atlántica ha aumentado en las islas Chafarinas del 6% al 14% entre 2000 y 2010 (Genovart et al., 2013a). Sin embargo, aparte de estos individuos reproductores, no se han observado otros movimientos de alimentación o dispersión de pardelas cenicientas atlánticas en el mar Mediterráneo (Reyes-González y González-Solís, 2016). Aunque no existe un esfuerzo sistemático para desentrañar si los individuos de pardela cenicienta observados en el Estrecho son de la especie atlántica o de la mediterránea, un esfuerzo de muestreo específico (182 horas de esfuerzo de muestreo en 52 días) permitió identificar una proporción de 6 pardelas atlánticas por 147.455 mediterráneas. Este resultado parcial indica que, virtualmente, todas las pardelas cenicientas observadas en el Estrecho de Gibraltar pertenecen a la especie mediterránea, demostrando que las tendencias observadas en nuestro trabajo corresponden efectivamente a cambios en la población de esta especie y no a un mayor número de incursiones en el Mediterráneo de la especie atlántica. En lo que se refiere a la pardela balear, durante el período de no reproductivo, todos los ejemplares permanecen en el Atlántico nororiental (Guilford et al., 2012). Sin embargo, al final de la temporada de reproducción, las baleares pueden alimentarse a lo largo de la costa del norte de África (Louzao et al., 2012), siguiendo al alimento disponible (Guilford et al., 2012). Si hay aves que se alimentan en el Estrecho durante el periodo de migración, podrían producirse duplicados en los conteos de los mismos ejemplares y aumentar artificialmente los números de pardelas baleares que se cuentan en el Estrecho. Sin embargo, de acuerdo con nuestras observaciones, las pardelas baleares rara vez efectúan vuelos en sentido contrario al desplazamiento migratorio principal (salida del mediterráneo, desplazamiento este-oeste) excepto durante 2-3 días cada temporada en los que pueden observarse algunas aves volando en dirección este. Estas aves no han sido consideradas en nuestros análisis con el fin de reducir el “ruido” presente en los resultados.

Conclusiones

Contrariamente a las estimaciones actuales de las colonias reproductoras, a partir de conteos de aves en migración efectuados desde la costa en distintos

observatorios a lo largo del estrecho de Gibraltar, encontramos que las pardelas balear y cenicienta han aumentado recientemente en el Mediterráneo. Sin embargo, nuestros resultados, lejos de mostrar una tendencia simple en el tamaño de población subrayan que los patrones demográficos en estas especies son complejos y cíclicos, y están estrechamente relacionados con factores ambientales muy vinculados con las actividades humanas. Aunque parece que estamos presenciando un aumento en la población mundial de pardelas, no sabemos cuánto tiempo puede durar este crecimiento positivo, ni tampoco cuál era el tamaño inicial de la población antes de producirse su declive entre los años 80 y el año 2010 (Genovart et al., 2016; presente estudio). En cualquier caso, nuestro trabajo demuestra que los conteos de aves en migración desde puntos estratégicos de la costa representan una aproximación complementaria a los conteos realizados actualmente en las colonias de cría, permitiendo completar el conocimiento que se tiene del estado de conservación de estas especies a través de una evaluación eficiente y rápida de los números de estas y otras aves marinas.

Los datos recogidos en dos observatorios diferentes a lo largo de la ruta migratoria de la pardela cenicienta a su paso por el estrecho de Gibraltar, ofrecen resultados coherentes y consistentes, respaldando la solidez de los conteos de migración como una herramienta válida y fiable a la hora de determinar tendencias poblacionales o en la exploración de los patrones migratorios de actividad, diarios o estacionales. La combinación de datos recogidos en diferentes observatorios de migración puede contribuir a completar la información acerca de los patrones temporales y espaciales en esta y otras especies de aves marinas, así como a realizar un seguimiento barato, en términos de costes económicos, que puede ser sostenido en el tiempo a largo plazo.

5. DIFUSIÓN DEL PROYECTO Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA

Con motivo de las campañas de seguimiento de la migración postnupcial de pardela balear y de aves marinas en general (entre ellas la pardela cenicienta), realizadas los meses de mayo a julio y de octubre a noviembre de 2018 respectivamente, la Fundación Migres publicó en su web y redes sociales una convocatoria de colaboración en la que, a través de un formulario web, todos aquellos interesados podían inscribirse como participantes en la campaña de seguimiento de 2018, con el fin de contribuir a las labores de conteo de aves desarrolladas por los técnicos de la Fundación Migres. Esta convocatoria de participación ciudadana ha sido financiada gracias a la beca concedida por el Instituto de Estudios Ceutíes objeto de esta memoria, con la que se han cubierto los gastos de formación, alojamiento, manutención, seguros obligatorios y de desplazamiento al observatorio de todos los participantes.

A lo largo de las dos campañas correspondientes al año 2018 se ha contado con la participación de un total de 34 voluntarios diferentes. En concreto, durante la campaña de pardela balear, participaron 7 voluntarios procedentes de España, Portugal e Italia, 3 hombres y 4 mujeres entre los 23 y los 48 años. Mientras que en la campaña de aves marinas se contó con un total de 27 voluntarios, de los cuales 13 fueron mujeres y 14 hombres, pertenecientes también a diferentes nacionalidades (de España, Reino Unido y Holanda; ver Imagen 1).

Todos los voluntarios recibieron una formación práctica y teórica, antes y durante el desarrollo de las tareas de seguimiento, con el fin de garantizar que contaban con unos conocimientos mínimos que les permitieran una participación satisfactoria en el programa de seguimiento.

Además de esta difusión entre los voluntarios, el Proyecto y sus resultados se han difundido entre el público general a través de la web y las redes sociales de la Fundación Migres, mediante la publicación de diversas noticias y mensajes breves, tanto a lo largo de 2018 como de 2019.



Imagen 1. Voluntarios junto con un técnico de la Fundación Migres (el primero por la derecha) durante el seguimiento postnupcial de aves marinas (que incluye el seguimiento de pardela cenicienta) realizado desde la Isla de Tarifa en noviembre de 2018.

Cumpliendo con los compromisos de difusión en el ámbito científico, los resultados obtenidos tras el análisis de los patrones fenológicos han sido presentados en el 3rd International Congress on Bird Migration and Climate Change, celebrado el mes de septiembre de 2018 en Tarifa (Cádiz). La comunicación presentada puede verse como anexo al final de este documento (Anexo I). Estos resultados se han convertido en un artículo científico (Martín, Onrubia y Ferrer, 2019) que ha sido recientemente publicado en la revista *Global Ecology and Conservation* (<https://www.journals.elsevier.com/global-ecology-and-conservation>), incluida en el Science Citation Index (SCI). Un segundo manuscrito, relativo al análisis espacial realizado con la pardela balear, ha sido enviado también a la revista *PLOS ONE* (<https://journals.plos.org/plosone/>) y, en estos momentos, está siendo evaluado por revisores anónimos con el fin de que reúna los requisitos necesarios para su publicación en dicha revista.

Con el fin de ampliar el alcance y la solidez de los análisis espaciales que se presentan en esta memoria, en el marco del Trabajo de Fin de Máster (TFM) presentado en diciembre de 2018 por la investigadora principal, se aplicaron técnicas de aprendizaje automático para generar modelos adicionales a los incluidos en la propuesta inicial del Proyecto. Este TFM ha recibido el primer premio al mejor trabajo de investigación dentro del Máster en Big Data y Data Science aplicados a la Economía y Administración de Empresas organizado por la UNED (ver Anexo

PROGRAMA MIGRES 2018

Seguimiento científico de aves
Campaña de seguimiento de la

PARDELA BALEAR

14 mayo - 6 julio



Más información:

956 679 857

954 468 383

(L-V 9:30-13:30)



Abierto plazo
de inscripción

colaboradores@fundacionmigres.org

Descárgate el programa y haz tu reserva en:

www.fundacionmigres.org

Con la colaboración del IEC
Instituto de Estudios Ceviles:



Proyecto de:

CIMA

CENTRO INTERNACIONAL
DE MIGRACIÓN DE AVES
OBSERVATORIO DEL ESTRECHO



XXI PROGRAMA MIGRES · 2018

Seguimiento
científico de

AVES MARINAS

15 OCTUBRE - 30 NOVIEMBRE

PLAZAS SUBVENCIONADAS incluyen

ALOJAMIENTO Y MANUTENCIÓN

PLAZAS LIMITADAS

Más información:

954 468 383

(L-V 9:30-13:30)



Inscripciones
hasta 25/11/18

colaboradores@fundacionmigres.org

Descárgate el programa y haz tu reserva en:

www.fundacionmigres.org



Colaboran:



Organiza:

CIMA

CENTRO INTERNACIONAL
DE MIGRACIÓN DE AVES
OBSERVATORIO DEL ESTRECHO



Imagen 2. Carteles preparados para la difusión de la campaña de seguimiento de pardela balear y de aves marinas.

III). Los resultados de este trabajo analítico se han presentado a través de una ponencia en el I Congreso y II Jornadas de Big Data y Matemáticas, que se ha celebrado en Madrid el 20 y 21 de mayo de 2019 (Anexo I). Con motivo de este Congreso y dada la calidad de la ponencia, desde la organización del Congreso se ha recibido una solicitud, que ha sido aceptada, para la elaboración de un artículo científico (Anexo II) derivado de dicha ponencia, que será publicado en un monográfico relativo al Congreso en la revista Empiria (Scopus, Q2; <http://revistas.uned.es/index.php/empiria/index>).

Con un carácter más divulgativo, se ha impartido también una charla invitada en las XIV Jornadas del Medio Natural de Ceuta y su entorno, que tuvo lugar el día 28 de mayo de 2019, y en la que se expusieron los principales resultados obtenidos a lo largo del estudio descrito en esta memoria.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y FUENTES DOCUMENTALES

- Afán, I., Navarro, J., Cardador, L., Ramírez, F., Kato, A., Rodríguez, B., Ropert-Coudert, Y. y Forero, M.G. 2014. Foraging movements and habitat niche of two closely related seabirds breeding in sympatry. *Marine Biology*, DOI 10.1007/s00227-013-2368-4.
- Afán, I. 2016. Ecological response of marine predators to spatio-temporal environmental variability in resource availability. *Tesis doctoral, Universitat de Barcelona, Spain*. 265 p.
- Afán, I., Navarro, J., Grémillet, D., Coll M., Forero, M. 2019. Maiden voyage into death: are fisheries affecting seabird juvenile survival during the first days at-sea? *Royal Society Open Science*, 6: 181151. <https://doi.org/10.1098/rsos.181151>
- Anselme, L. y Durant, J.P. 2012. Le Puffin Cendré, *Calonectris diomedea diomedea*, état des connaissances et de conservation actualisé des populations nicheuses des petites îles de Méditerranée, initiative PIM. 18 p.
- Arcos, J.M. y Oro, D. 2002. Significance of fisheries discards for a threatened Mediterranean seabird, the Balearic shearwater *Puffinus mauretanicus*. *Marine Ecology Progress Series*, 239: 209-220.
- Arcos, J., López, I., Alonso, J. y Mayo, J. 2017. Study, monitoring and conservation of the Balearic shearwater in Spain: an update Fourth Meeting of the Population and Conservation Status Working Group Wellington, New Zealand (2017), pp. 7-8.
- Arroyo, G.M., Mateos-Rodríguez, M., Muñoz, A.R., De la Cruz, A., Cuenca, D. y Onrubia, A. 2014. New population estimates of a critically endangered species, the Balearic Shearwater *Puffinus mauretanicus*, based on coastal migration counts. Bird Conservation International, Available on CJO 2014 doi:10.1017/S095927091400032X.

- Bartumeus, F., Giuggioli, L., Louzao, M., Bretagnolle, V., Oro, D. & Levin, S.A. 2010. Fishery discards impact on seabird movement patterns at regional scales *Curr. Biol.*, 20: 215-222.
- Bécares, J., García-Tarrasón, M., Villero, D., Bateman, S., Jover, L., García-Matarranz, V., et al. 2015. Modelling Terrestrial and Marine Foraging Habitats in Breeding Audouin's Gulls *Larus audouinii*: Timing Matters. *PLoS ONE* 10(4): e0120799. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120799>
- Becker, P., and Chapdelaine, G. 2003. Further development of seabird monitoring. In *Seabirds as monitors of the marine environment*. Edited by M.L. Tasker and R.W. Furness. ICES Cooperative Research Report No. 258. pp. 52–60.
- Belda, E.J. y Sánchez, A. 2001. Seabird mortality on longline fisheries in the western Mediterranean: factors affecting bycatch and proposed mitigating measures. *Biological Conservation*, 98: 357-363.
- Benoit-Bird, K.J., Battaile, B.C., Heppell, S.A., Hoover, B., Irons, D., Jones, N., et al. 2013. Prey Patch Patterns Predict Habitat Use by Top Marine Predators with Diverse Foraging Strategies. *PLoS ONE* 8(1): e53348. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.005334>.
- BirdLife International. 2017a. Species factsheet: *Puffinus mauretanicus*. Descargado en <http://www.birdlife.org> el día 02/08/2017
- BirdLife International. 2017b. *Calonectris diomedea*. (amended version published in 2016) The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T45061132A111157821. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-1.RLTS.T45061132A111157821.en>. Descargado el día 7/8/2017
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M.. & Reinsel, G.C. 2008. Time Series Analysis, Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. DOI:10.1002/9781118619193.
- Burnham, K.P. y Anderson, D.R. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. New York: Springer New York.
- Carboneras, C. 2004. Pardela Cenicienta *Calonectris diomedea diomedea*. In A. Madroño, C. González y J.C. Atienza (eds.). Libro Rojo de las Aves de España. DG Biodiversidad – SEO/BirdLife, Madrid.
- Carboneras, C., Derhé, M., y Ramírez, I. 2013. Update on the population status and distribution of Mediterranean shearwaters. Report to Seventh Meeting of the ACAP Advisory Committee, La Rochelle, France, 6-10 mayo 2013.

- Cortés, V., García-Barcelona, S. y González-Solís, J. 2018. Sex- and age-biased mortality of three shearwater species in longline fisheries of the Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 588: 229-241.
- Cramp, S. y Simmons, K. 1977. Handbook of the birds of Europe, the middle east and the north Africa. 1: 136-140. Oxford University Press, Oxford.
- Daunt, F. y Mitchell, I. 2013. Impacts of climate change on seabirds, MCCIP *Science Review*: 125-133.
- De la Cruz, A., Onrubia, A., Pérez, B., Torralvo, C., Arroyo, G.M., Elorriaga, J., Ramírez, J., González, M. y Benjumea, R. 2011. Seguimiento de las aves en el estrecho de Gibraltar: resultados del Programa Migres 2009. *Revista Migres*, 2: 65-78.
- Derhé, M. 2012. Developing a Population Assessment for Scopoli's and Cory's Shearwaters *Calonectris diomedea/Calonectris borealis*. En: Yésou, P., Baccetti, N., Sultana, J. (ed.), *Ecology and Conservation of Mediterranean Seabirds and other bird species under the Barcelona Convention – Proceedings of the 13th Medmaravis Pan- Mediterranean Symposium. Alghero (Sardinia) 14-17 octubre 2011*, pp. 29–38. Medmaravis, Alghero.
- Dias, M.P., Granadeiro, J.P. y Catry, P. 2012. Do seabirds differ from other migrants in their travel arrangements? On route strategies of Cory's shearwater during its trans-equatorial journey. *PLoS One*: 7(11):e49376. doi: 10.1371/journal.pone.0049376. Epub 2012 Nov 7. PMID: 23145168; PMCID: PMC3492286.
- Du Rau, D., Bourgeois, P., Thévenet, K., Ruffino, M., Dromzée, L., Ouni, S., Abiadh, R., Estève, A., Durand, R., Anselme, J.-A., Faggio, L., et al. 2015. Reassessment of the size of the Scopoli's Shearwater population at its main breeding site resulted in a tenfold increase: Implications for the species conservation. *Journal of Ornithology*. 156. 877-892. 10.1007/s10336-015-1187-4.
- Dunn, Erica H. 2005. Counting migrants to monitor bird populations: state of the art. In: Ralph, C. John; Rich, Terrell D., editors 2005. Bird Conservation Implementation and Integration in the Americas: Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference. 2002 March 20-24; Asilomar, California, Volume 2 Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191. Albany, CA: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station: p. 712-717.
- Farmer, C.J., Hussell, D.J.T., & Mizrahi, D. 2007. Detecting Population Trends in Migratory Birds of Prey, *The Auk*, 124 (3): 1047–1062, <https://doi.org/10.1093/auk/124.3.1047>

- Francis, C.M., & Hurrell, D.J.T. 1998. Changes in numbers of land birds counted on migration at Long Point Bird Observatory, 1961–1997. *Bird Populations*, 4: 37–66.
- Frederiksen, M., Wright, P.J., Harris, M.P., Mavor, R.A., Heubeck, M., y Wanless, S. 2006. Regional patterns of kittiwake *Rissa tridactyla* breeding success are related to variability in sandeel recruitment. *Marine Ecology Progress Series*, 300: 201–211.
- Freeman, R., Dean, B., Kirk, H., Leonard, K., Phillips, R.A., Perrins, C.M. y Guilford, T. 2013. Predictive ethoinformatics reveals the complex migratory behaviour of a pelagic seabird, the Manx Shearwater. *Journal of the Royal Society Interface*, 10: 20130279. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2013.0279>
- Furness, R.W., y Camphuysen, C.J. 1997. Seabirds as monitors of the marine environment. *ICES Journal of Marine Science*, 54: 726–737.
- Genovart, M., Sanz-Aguilar, A., Fernández-Chacón, A., Igual, J.M., Pradel, R., Forero, M.G., & Oro, D. 2013a. Contrasting effects of climatic variability on the demography of a trans-equatorial migratory seabird. *J. Anim. Ecol.*, 82: 121–130. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2012.02015.x>
- Genovart, M., Thibault, J.-C., Igual, J.M., Bauzá-Ribot, M., Rabouam, M. del C. C., & Bretagnolle, V. 2013b. Population structure and dispersal patterns within and between Atlantic and Mediterranean populations of a large-range pelagic seabird. *PLoS One*, 8: e70711–e70711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070711>
- Genovart, M., Arcos, J.M., Álvarez, D., McMinn, M., Meier, R., Wynn, R., Guilford, R.T. & Oro, D. 2016. Demography of the critically endangered Balearic shearwater: the impact of fisheries and time to extinction, *J. Appl. Ecol.*, 53: 1158–1168.
- Gomes, V.H., IJff, S.D., Raes, N. et al. Species Distribution Modelling: Contrasting presence-only models with plot abundance data. *Sci Rep* 8, 1003 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18927-1>
- Gons, H.J., Auer, M.T. & Effler, S.W. 2008. MERIS satellite chlorophyll mapping of oligotrophic and eutrophic waters in the Laurentian Great Lakes, *Remote Sensing of Environment*: (11)112: 4098–4106, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.06.029>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425708002083>)

- González-Solís, J., Croxall, J.P., Oro, D. y Ruiz, X. 2007. Trans-equatorial migration and mixing in the wintering areas of a pelagic seabird. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(6): 297–301.
- Granadeiro, J.P., Monteiro, L.R. y Furness, R.W. 1998. Diet and feeding ecology of *Calonectris diomedea* in the Azores, north-east Atlantic Marine Ecology Progress Series 166: 267-276.
- Guilford, T., Wynn, R., McMinn, M., Rodríguez, A., Fayet, A., Maurice, L., Jones, A. y Meier, R. 2012. Geolocators reveal migration and pre-breeding behavior of the critically endangered Balearic shearwater *Puffinus mauretanicus*. *PLoS ONE* 7(3): e33753.
- Hashmi, D. 2000 Opportunities for monitoring seabirds and cetaceans in the Strait of Gibraltar. In Yesou, P. and Sultana, J. (eds.), *Monitoring and Conservation of Birds, Mammals and Sea Turtles of the Mediterranean and Black Seas*. Ministry for the Environment, MEDMARAVIS and BirdLife International, Malta 176-191.
- Hastie, T.J. & Tibshirani, R.J. 1990. *Generalized Additive Models*. Chapman and Hall, New York.
- Hernández-León, S., Almeida, C., Yebra, L. y Arístegui, J. 2002. Lunar cycle of zooplankton biomass in subtropical waters: biogeochemical implications, *Journal of Plankton Research*, Volume 24, Issue 9, September 2002, Pages 935–939, <https://doi.org/10.1093/plankt/24.9.935>
- Hyndman, R.J. & Khandakar, Y. 2008. Automatic Time Series Forecasting: The Forecast Package for R. *Journal of Statistical Software*, 27: 1-22.
- ICES. 2008. Report of the Working Group on Seabird Ecology (WGSE), 10-14 marzo 2008, Lisboa, Portugal. ICES CM 2008/LRC:05. 99 pp.
- Jiménez, J. y Navarrete, J. 2001. *Estatus y fenología de las aves de Ceuta*. Instituto de Estudios Ceutíes. Ceuta.
- Jovani, R. y Grimm, V. 2008. Breeding synchrony in colonial birds: from local stress to global harmony. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 275: 1557–1563. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2008.0125>
- Kennedy, J.J., Rayner, N.A., Smith, R.O., Parker, D. E., & Saunby, M. 2011. Reassessing biases and other uncertainties in sea surface temperature observations measured in situ since 1850: 1. Measurement and sampling uncertainties, *J. Geophys. Res.*, 116, D14103, doi:10.1029/2010JD01521.

- Le Mao, P. y Yésou, P. 1993. The annual cycle of Balearic Shearwaters and western-Mediterranean Yellow-legged Gulls: some ecological considerations. En: Aguilar, J. S., Monbailliu, X. y Paterson, A. M. (Eds.). *Status and conservation of seabirds. Proceedings of the 2nd Mediterranean Seabird Symposium*: 135-145.
- Longhurst, A.R. 2007. Ecological geography of the sea. Academic Press.
- López J. 2010. Seguimiento de la migración postnupcial de aves marinas desde la playa del Desnarigado. *Alcudón*, 7: 79-89.
- López J. 2011. Seguimiento de la migración postnupcial de aves marinas desde la playa del Desnarigado. *Alcudón*, 8: 88-98.
- López J. 2014. Seguimiento de la migración postnupcial de la Pardela cenicienta (*Calonectris diomedea*) desde la punta del Desnarigado (Ceuta). *Alcudón*, 11: 70-76.
- López J. y Navarrete J. 2019. Censo de Pardela cenicienta (*Calonectris diomedea*) durante el paso post-reproductor de 2017-2018 por el Estrecho de Gibraltar, para la posible designación de una ZEPA marina, en el marco del proyecto LIFE IP-PAF INTEMARES (LIFE15 IPE ES 012). *Alcudón*, 16: 47-54.
- Louzao, M., Igual, J.M., McMinn, M., Aguilar, J.S., Triay, R. y Oro, D. 2006. Small pelagic fish, trawling discards and breeding performance of the critically endangered Balearic Shearwater: improving conservation diagnosis. *Marine Ecology Progress Series*, 318: 247-254.
- Louzao, M., Navarro, J., Forero, M., Igual, J., Genovart, M., Hobson, K.A., Oro, D. 2011. Exploiting the closest productive area: geographical segregation of foraging grounds in a critically endangered seabird. *Marine Ecology Progress Series*, 429: 291-301.
- Louzao, M., Delord, K., García, D., Boué, A. y Weimerskirch, H. 2012. Protecting persistent dynamic oceanographic features: transboundary conservation efforts are needed for the critically endangered balearic shearwater. *PLoS One*, 7: e35728.
- Louzao, M., García, D., Rodríguez, B., Abelló, P. 2015. Evidence of krill in diet of Balearic Shearwaters *Puffinus mauretanicus*. *Marine Ornithology*, 43: 49-51.
- Louzao, M., García, D. y Arcos, J.M. 2016. Conservación Integral de la Pardela Balear *Puffinus mauretanicus* en Pitiüses: uniendo puentes entre los ecosistemas marino y terrestre. SEO/BirdLife, IEO, AZTI-tecnalia & IRBI. Informe de actualización 2013-2015.

- Luczak, G. Beaugrand, M. Jaffré, S. y Lenoir. 2011. Climate change impact on Balearic shearwater through a trophic cascade Biol. Lett., 7: 702-705. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.0225>
- Martín, B., Onrubia, A. y Ferrer, M. 2014. Effects of climate change on the migratory behavior of the common buzzard *Buteo buteo*. Clim. Res., 60: 187-197.
- Martín, A. Onrubia, A. de la Cruz, M. Ferrer. 2016. Trends of autumn counts at Iberian migration bottlenecks as a tool for monitoring continental populations of soaring birds in Europe Biodivers. Conserv., 25: 295-309. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1047-4>
- Martín, B., Onrubia, A. y Ferrer, M. 2016. Migration timing responses to climate change differ between adult and juvenile white storks across Western Europe. Clim Res 69:9-23. <https://doi.org/10.3354/cr01390>
- Martín, B., Onrubia, A., Ferrer, M. 2019. Endemic shearwaters are increasing in the Mediterranean in relation to factors that are closely related to human activities. *Global Ecology and Conservation*. 20. e00740. 10.1016/j.gecco.2019.e00740.
- Meier, R.E., Wynn, R. B., Votier, S.C., McMinn Grivé, M., Rodríguez, A., Maurice, L., van Loon, E.E., Jones, A.R., Suberg, L., Arcos, J.M., Morgan, G., Josey, S.A. y Guilford, T. 2015. Consistent foraging areas and commuting corridors of the critically endangered Balearic shearwater *Puffinus mauretanicus* in the northwestern Mediterranean. *Biological Conservation*, 190: 87–97.
- Møller, A. y Jennions, M.D. 2002. How much variance can be explained by ecologists and evolutionary biologists?. *Oecologia* 132, 492–500. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-0952-2>
- Morice, C., Kennedy, J., Rayner, N. y Jones, P. 2012. Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: the HadCRUT4 dataset. J. Geophys. Res., 117: D08101.
- Natale F, Gibin, M., Alessandrini, A., Vespe, M. y Paulrud, A. 2015. Mapping Fishing Effort through AIS Data. PLOS ONE: 10 (6); p. e0130746.
- Navarrete, J., Cuenca, D. y Arroyo, G.M. 2006. Seguimiento de la migración postnupcial de aves marinas desde ambas orillas del Estrecho de Gibraltar. *Alcudón*, 3: 13-22.
- Navarrete, J. 2007. Seguimiento de la migración postnupcial de aves marinas desde la playa del Desnarigado. *Alcudón*, 4: 26-41.

- Navarrete, J. 2008a. Seguimiento de la migración postnupcial de aves marinas desde la playa del Desnarigado. *Alcudón*, 5: 37-46.
- Navarrete, J. 2008b. Migración postnupcial de la Pardela Cenicienta - *Calonectris diomedea* por las aguas costeras de Ceuta. *Boletín GIAM*, 31: 2-6.
- Navarrete, J. 2009. Seguimiento de la migración postnupcial de aves marinas desde la playa del Desnarigado. *Alcudón*, 6: 43-54.
- Navarrete, J., 2011. Migración postnupcial de la pardela cenicienta *Calonectris diomedea* por las aguas costeras de ceuta. En: Valeiras, X., G. Muñoz, A. Bermejo, J.M. Arcos y A.M. Paterson (Eds.): *Actas del 6º Congreso del GIAM y el Taller internacional sobre la Ecología de Paíños y Pardelas en el sur de Europa*. *Boletín del Grupo Ibérico de Aves Marinas*, pp. 49-53.
- Navarro, J., Forero, M.G., González-Solís, J., Igual, J.M., Bécarea, J. y Hobson. K.A. 2009. Foraging segregation between two closely related shearwaters breeding in sympatry. *Biology letters*, 5: 545-548.
- Orben, R.A., Paredes, R., Roby, D.D., Irons, D.B. & Shaffer, S.A. 2015. Wintering North Pacific black-legged kittiwakes balance spatial flexibility and consistency. *Mov. Ecol.*, 3: 36–36. <https://doi.org/10.1186/s40462-015-0059-0>
- Oro, D., Aguilar, J.S., Igual, J.M. y Louzao, M. 2004. Modelling demography and extinction risk in the endangered Balearic shearwater. *Biological Conservation*, 116: 93-102.
- Paleczny M, Hammill E, Karpouzi V, Pauly D (2015) Population Trend of the World's Monitored Seabirds, 1950-2010. *PLOS ONE* 10(6): e0129342. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129342>
- Péron, C., Grémillet, D., Culioli, J.-M., Faggio, G., Gillet, P., Mante, A. y Vidal, P. 2012. Exploring marine habitats of two shearwater species breeding on French Mediterranean islands. En: Yésou, P., Baccetti, N., Sultana, J. (Eds.). *Ecology and Conservation of Mediterranean Seabirds and other bird species under the Barcelona Convention – Proceedings of the 13th Medmaravis Pan-Mediterranean Symposium. Alghero (Sardinia) 14-17 octubre 2011*, pp. 19–25. Medmaravis, Alghero.
- R Development Core Team. 2018. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>

Migración de pardela balear y de pardela cenicienta del Mediterráneo

- Ramos, R., Granadeiro, J.P., Nevoux, M., Mougin, J.L., Peixe Dias, M. y Catry, P. 2012. Combined spatio-temporal impacts of climate and longline fisheries on the survival of a trans-equatorial marine migrant. *PLoS ONE* 7(7): e40822.
- Richardson, A.J. y Poloczanska, E.S. 2008. Under-resourced, under threat. *Science*, 320: 1294.
- Reyes-González, J.M. y González-Solís, J. 2016. Pardela cenicienta mediterránea - *Calonectris diomedea*. En: Salvador, A., Morales, M. B. (Eds.). *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid*. <http://www.vertebradosibericos.org/>
- Robinson, J.P.W., Dornelas, M. y Ojanguren, A.F. 2013. Interspecific synchrony of seabird population growth rate and breeding success. *Ecology and Evolution*, 3(7): 2013–2019.
- Rubolini, D., Møller, A.P., Rainio, K. & Lehikoinen, E. 2007. Intraspecific consistency and geographic variability in temporal trends of spring migration phenology among European bird species. *Climate Research*, 35:135-146. <https://doi.org/10.3354/cr00720>
- Ruiz, A. y Martí, R. 2004. La Pardela Balear. Madrid: SEO/BirdLife-Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balear. 200 p.
- Scholer, M.N., Martín, B., Ferrer, M., Onrubia, A., Bechard, M.J., Kaltenecker, G.S. & Carlisle, J.D. 2016. Variable shifts in the autumn migration phenology of soaring birds in southern Spain. *Ardea*, 104: 83-93. <https://doi.org/10.5253/arde.v104i1.a>
- Soriano-Redondo, A., Cortés, V., Reyes-González, J.M., Guallar, S., Bécáres, J., Rodríguez, B., Arcos, J.M. & González-Solís, J. 2016. Relative abundance and distribution of fisheries influence risk of seabird bycatch. *Sci. Rep.*, 6: 37373.
- Tavecchia, G., Tenan, S., Pradel, R., Igual, J.-M., Genovart, M. & Oro, D. 2016. Climate-driven vital rates do not always mean climate-driven population, *Glob. Chang. Biol.*, 22: 3960-3966. <https://doi.org/10.1111/gcb.13330>
- Tellería, J.L. 1981. La migración de las Aves en el Estrecho de Gibraltar. Vol II. *Aves no planeadoras*. Universidad Complutense, Madrid.
- Tsikliras, A.C., Licandro, P., Pardalou, A., McQuinn, I.H., Gröger, J.P., Alheit, J. 2019. Synchronization of Mediterranean pelagic fish populations with the North Atlantic climate variability. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 159: 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2018.07.005>

- UICN. 2001. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. ii + 33 pp. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/RL-2001-001-Es.pdf>
- Valeiras, X., García, S. y Abad, E. (coord.). 2011. Observación de aves marinas desde cabos: la Red de observación de Aves y Mamíferos marinos (RAM). En: Valeiras, X., G. Muñoz, A. Bermejo, J.M. Arcos y A.M. Paterson (Eds.). *Actas del 6º Congreso del GIAM y el Taller internacional sobre la Ecología de Paiños y Pardelas en el sur de Europa. Boletín del Grupo Ibérico de Aves Marinas*, 34-42.
- Végvári, Z., Bókony, V., Barta, Z. & Kovács, G. 2010. Life history predicts advancement of avian spring migration in response to climate change. *Global Change Biology*, 16: 1-11. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01876.x>
- Votier, S.C., Bearhop, S., Attrill, M.J. y Oro, D. 2008. Is climate change the most likely factor of range expansion for a critically endangered top predator in northeast Atlantic waters. *Biology Letters*, 4: 204-205.
- Ward, E.J., Marshall, K.N., Ross, T., Sedgley, A., Hass, T., Pearson, S.F., Joyce, G., Hamel, N.J., Hodum, P.J. y Faucett, R. 2015. Using citizen-science data to identify local hotspots of seabird occurrence. *PeerJ*. 2015; 3: e704.
- Wood, S.N. 2013. gamm4: Generalized additive mixed models using mgcv and lme4. R package version 0.2-2, URL <http://CRAN.R-project.org/package=gamm4>
- Xavier, J., Magalhães, M., Mendonça, A., Antunes, M., Carvalho, N., Machete, M., Santos, R., Paiva, V., & Hamer, K. 2011. Changes in diet of Cory's Shearwaters *Calonectris diomedea* breeding in the Azores. *Marine Ornithology*. 39. 129-134.
- Yésou, P. 2003. Recent changes in the summer distribution of the Balearic shearwater *Puffinus mauretanicus* off western France. *Scientia Marina*, 67: 143-148.
- Zacharias, M.A. y Roff, J.C. 2001. Use of focal species in marine conservation and management: a review and critique. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 11: 59-76.

7. ANEXOS

Comunicación de tipo panel en congreso científico internacional: 3rd International Congress on Bird Migration and Climate Change (3-5 septiembre 2018, Tarifa, Cádiz)



Comunicación oral en congreso científico nacional: I Congreso y II Jornadas de Big Data y Matemáticas (20-21 mayo 2019, Madrid):

Resumen presentado:

Migration in an endangered seabird species: insights from citizen science and machine learning

Seabirds are indicators of the status of marine ecosystems and one of the most threatened groups of marine vertebrates. Citizen science projects provide millions of species observations each year. In addition, there is an increasing availability of large-scale open data, which can be used as environmental variables to predict species distributions over large areas. We assessed the performance of data gathered within citizen science projects to predict the spatial distribution and abundance of migrating endangered seabirds. Specifically, we undertook a comparison of the performance of eight different modelling techniques (Generalized Additive Models, Random forest, Classification and Regression Trees (CART), Bagged CART, Extreme Gradient Boosting, K-Nearest Neighbors, Stochastic Gradient Boosting, Support Vector Machines, Neural Network) to predict spatial patterns in abundance of migrating Balearic shearwater based on data gathered within eBird citizen science project. Derived from open source datasets, as predictors in the models we used proxies of frontal systems and ocean productivity domains that have been previously used to characterize the oceanographic habitats of seabirds. Random Forest was the model showing the best performance. When evaluated for the training data, it showed the lowest RMSE value and explained more than 70% of the variation in shearwater abundance. This model also showed the highest correlation between observed and predicted abundance (0.70). Variable importance, however, largely differed among models. We show that the combination of machine learning techniques and massive data provided by different open data sources are a useful approach for identifying the spatial distribution of endangered seabirds during migration.



MIGRATION IN AN ENDANGERED SEABIRD SPECIES: INSIGHTS FROM CITIZEN SCIENCE AND MACHINE LEARNING

CONGRESO. II JORNADAS DE BIG DATA & MATEMÁTICAS.
20 Y 21 DE MAYO DE 2019 MADRID, ESPAÑA

ASEPUMA
Universidad Rey Juan Carlos

UNED  Randbee

Beatriz Martín Morcuende,
Julio González Arias,
Juan Antonio Vicente Virseda



El Comité Organizador certifica que

BEATRIZ MARTÍN MORCUENDE

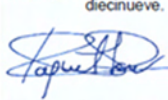
ha participado como ponente en el:

I CONGRESO Y II JORNADAS DE BIG DATA & MATEMÁTICAS

Celebrado en la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad Rey Juan Carlos, los días 20 y 21 de mayo de 2019. Con la ponencia titulada:

**"MIGRATION IN AN ENDANGERED SEABIRD SPECIES:
INSIGHTS FROM CITIZEN SCIENCE AND MACHINE LEARNING"**

Para que conste a todos los efectos, se expide el presente certificado en Madrid a 22 de mayo de dos mil diecinueve.



Directora: Raquel Ibar Alonso

Ponencia invitada en las XIV Jornadas sobre el Medio Natural de Ceuta y su Entorno (28-31 mayo 2019, Ceuta):

Título de la ponencia: Ciencia ciudadana y big data para estudiar especies de aves marinas amenazadas

En la ponencia se han incluido, con un formato de carácter divulgativo, los resultados que se describen a lo largo de la memoria de este proyecto.



Anexo II. Publicaciones científicas

Artículo publicado en la revista *Global Ecology and Conservation*:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989419301878>

Global Ecology and Conservation 20 (2019) e00740



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Global Ecology and Conservation

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/gecco>



Original Research Article

Endemic shearwaters are increasing in the Mediterranean in relation to factors that are closely related to human activities

Beatriz Martín ^{a,*}, Alejandro Onrubia ^a, Miguel Ferrer ^b

^a Fundación Migres, CIMA, ctra. N-340, Km.85, Tarifa, E-11380, Cádiz, Spain
^b Applied Ecology Group, Doñana Biological Station, CSIC, Seville, Spain

ARTICLE INFO

Article history:
Received 20 March 2019
Received in revised form 22 July 2019
Accepted 31 July 2019

Keywords:
Chlorophyll
Climate change
Fisheries
Seabird
Monitoring

ABSTRACT

The aim of this study was to estimate global population trends of abundance of two endemic migratory seabird species breeding in the Mediterranean Sea, Balearic and Scopoli's shearwaters, from migration counts at the Strait of Gibraltar. Specifically, we assessed how regional environmental conditions (i.e. sea surface temperature, chlorophyll a concentration, NAO index and fish catches), as proxies of climate change, prey availability and human-induced mortality factors, modulate the interannual variation in shearwater numbers. The change in the migratory population size of both shearwater species was estimated by fitting Generalized Additive Models (GAM) to the annual counts against the year of observation. Specifically, we modelled daily counts of migrant shearwaters during the post-breeding season. Contrary to current estimates at breeding colonies, coastal-land based counts of migrating birds provide evidence that Balearic and Scopoli's shearwaters have been recently increasing in the Mediterranean Sea. Our results highlight that demographic patterns in these species are complex and non-linear, suggesting that most of the increases have happened recently and intimately bounded to environmental factors, such as chlorophyll concentration and fisheries, that are closely related to human activities. Counts of migrating birds at strategic coastal points may provide useful estimates of the global population trend, as well as an efficient and rapid assessment of these and other seabird species in the Mediterranean.

© 2019 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Artículo publicado en la revista PLOS ONE:

PLOS ONE

RESEARCH ARTICLE

Citizen science for predicting spatio-temporal patterns in seabird abundance during migration

Beatriz Martín¹*, Alejandro Onrubia¹, Julio González-Arias^{2†}, Juan A. Vicente-Virseda^{2‡}

1 Fundación Migres, CIMA, Tarifa, Spain, **2** Business and Finance Department, Faculty of Economics and Business, UNED, Madrid, Spain

* These authors contributed equally to this work.
† These authors also contributed equally to this work.
* bmartin@fundacionmigres.org



Abstract

Pelagic seabirds are elusive species which are difficult to observe, thus determining their spatial distribution during the migration period is a difficult task. Here we undertook the first long-term study on the distribution of migrating shearwaters from data gathered within the framework of citizen science projects. Specifically, we collected daily abundance (only abundance given presence) of Balearic shearwaters from 2005 to 2017 from the online

OPEN ACCESS

Citation: Martín B, Onrubia A, González-Arias J, Vicente-Virseda JA (2020) Citizen science for predicting spatio-temporal patterns in seabird

Artículo publicado en la revista Animal Biodiversity and Conservation:

Animal Biodiversity and Conservation 44.2 (2021)

289

Machine learning as a successful approach for predicting complex spatio-temporal patterns in animal species abundance

B. Martín, J. González-Arias, J. A. Vicente-Virseda

Martín, B., González-Arias, J., Vicente-Virseda, J. A., 2021. Machine learning as a successful approach for predicting complex spatio-temporal patterns in animal species abundance. *Animal Biodiversity and Conservation*, 44.2: 289–301, Doi: <https://doi.org/10.32800/abc.2021.44.0289>

Abstract

Machine learning as a successful approach for predicting complex spatio-temporal patterns in animal species abundance. Our aim was to identify an optimal analytical approach for accurately predicting complex spatio-temporal patterns in animal species distribution. We compared the performance of eight modelling techniques (generalized additive models, regression trees, bagged CART, k-nearest neighbors, stochastic gradient boosting, support vector machines, neural network, and random forest –enhanced form of bootstrap. We also performed extreme gradient boosting –an enhanced form of radiant boosting– to predict spatial patterns in abundance

Anexo III. Trabajo de Fin de Máster y premios

D. Julio González Arias, Director del Máster en BIG DATA Y DATA SCIENCE APLICADOS A LA ECONOMÍA Y A LA ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS, en la convocatoria 2017/2018, CERTIFICA QUE:

Dña. BEATRIZ MARTÍN MORCUENDE

Estudiante del Máster, ha participado en el CONCURSO DE INVESTIGACIÓN, obteniendo el PRIMER PREMIO por su trabajo *“Estudio de los Factores que Regulan la Migración de la Pareda Balear a partir del Análisis de “Big Data”*”.

Y para que así conste, firmo la presente en Madrid a 31 de diciembre de 2018.

GONZALEZ Firmado
ARIAS JULIO digitalmente
- DNI por GONZALEZ
50201912L ARIAS JULIO -
DNI 50201912L

Fdo. Julio González Arias

Director del Máster

C/ Senda del Rey, 11
28040-Madrid
Tlf. 91 398 81 16 e-mail: jglez@cee.uned.es

