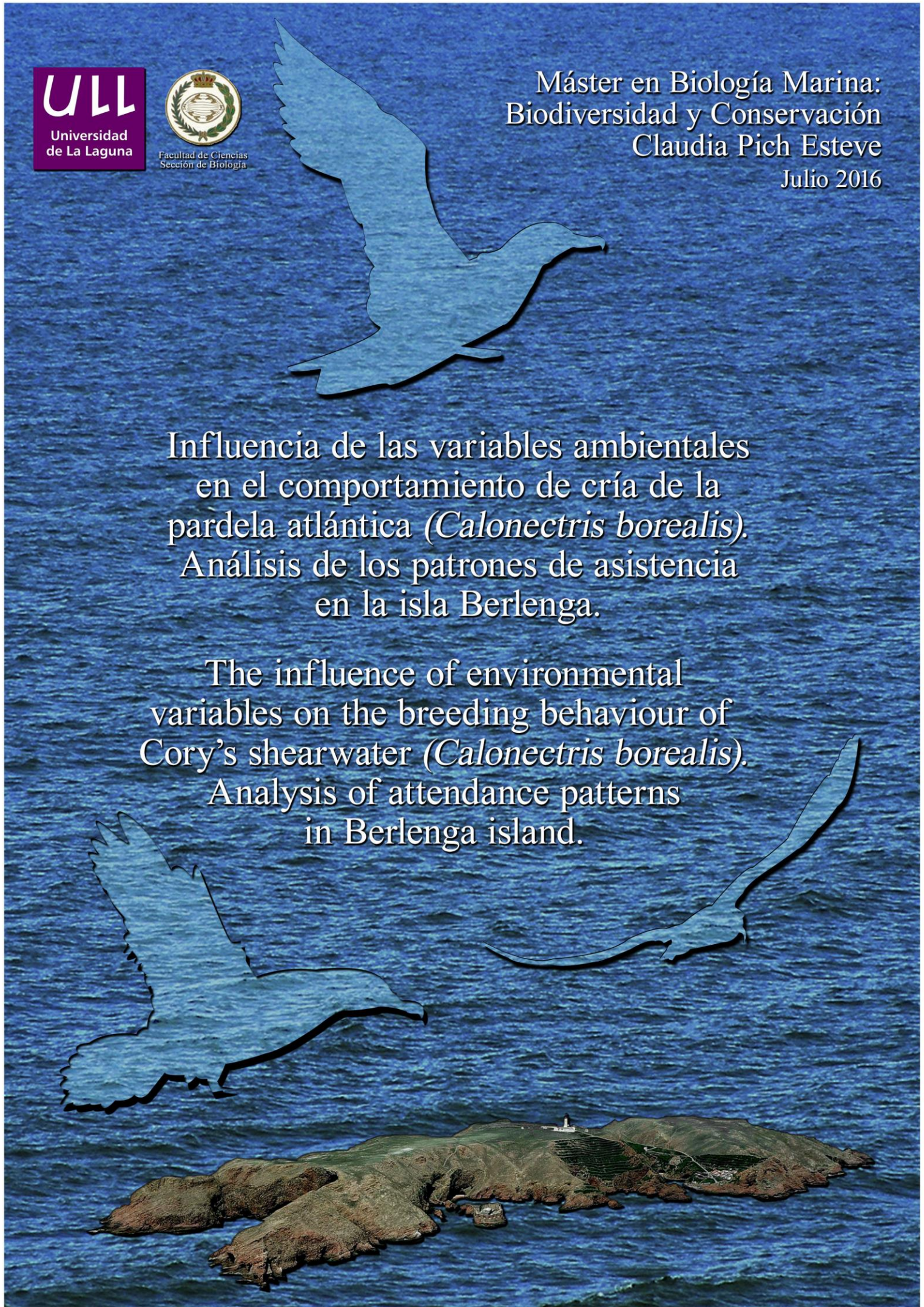


Influencia de las variables ambientales  
en el comportamiento de cría de la  
pardela atlántica (*Calonectris borealis*).  
Análisis de los patrones de asistencia  
en la isla Berlenga.

The influence of environmental  
variables on the breeding behaviour of  
Cory's shearwater (*Calonectris borealis*).  
Analysis of attendance patterns  
in Berlenga island.



*El mar lo es todo. Cubre siete décimas partes del globo terrestre. Su aliento es puro y sano. Es el inmenso desierto en el que el hombre nunca está solo, pues siente latir la vida a su alrededor. El mar es el vehículo de una existencia prodigiosa y sobrenatural. Es movimiento y amor, es el infinito hecho vida.*

*Capitán Nemo  
(Veinte mil leguas de viaje submarino)*

MARIA MERCEDES SUAREZ RANCEL, profesora titular del Departamento de Matemáticas, Estadística e Investigación Operativa de la Universidad de La Laguna, y NUNO OLIVEIRA, asistente del Departamento de Conservación Marina de la SPEA.

CERTIFICAN:

Que la memoria presentada por la Graduada en Biología Clàudia Pich Esteve, titulada “Influencia de las variables ambientales en el comportamiento de cría de la pardela atlántica (*Calonectris borealis*). Análisis de los patrones de asistencia en la isla Berlenga.”, ha sido realizada bajo nuestra dirección, alcanzando todas las competencias, condiciones de calidad y rigor científico que se requieren para optar a su presentación y defensa como Trabajo de Fin de Máster, en el Máster en Biología Marina: Biodiversidad y Conservación de la Universidad de La Laguna, curso 2014-2016.

Y para que conste a los efectos oportunos, firmamos el presente certificado, en San Cristóbal de La Laguna, a 5 de julio de 2016.



Fdo: Dra. María Mercedes Suárez Rancel



Fdo: Nuno Oliveira

## Resumen

En las aves pelágicas los adultos reproductores aseguran la supervivencia de sus crías logrando aportarles alimento aun en las más adversas condiciones marinas. Ello se debe en buena parte a su capacidad de regular la periodicidad y duración de sus estancias en la colonia. Con objeto de comprender mejor este comportamiento adaptativo en la especie de estudio, la pardela atlántica *Calonectris borealis* (Cory, 1881), analizaremos la influencia que en él ejercen cuatro factores ambientales: la productividad primaria marina medida a través de los niveles de Clorofila-*a* (CHL-*a*) y la temperatura superficial del mar (SST) junto con el viento y la iluminación de la luna. Para analizar la implicación de dichos factores se ha realizado un registro sistemático de las visitas parentales a través de cámaras trampa colocadas frente a los nidos (n=16) de la principal colonia de la isla de Berlenga (Portugal). Mediante telescopios se ha registrado a la vez la dinámica de las balsas que se establecen al reunirse las aves adultas antes de su entrada en la colonia. Los resultados obtenidos en este trabajo arrojan luz sobre el comportamiento en tierra de los adultos reproductores de pardela atlántica señalando en primer lugar una relación inversa entre el tiempo pasado en el nido y la iluminación de la luna. Se ha podido también establecer que la duración de esta estancia aumenta cuando lo hacen los niveles de clorofila. Finalmente se ha comprobado que las visitas disminuyen cuando se registran las más altas velocidades del viento. El conjunto de estos datos permite explicar mejor la capacidad de esta especie de adaptar su comportamiento reproductivo a las condiciones ambientales.

**Palabras clave:** Berlenga, *Calonectris borealis*, cámaras trampa, comportamiento de cría, variables ambientales

## Abstract

The breeding adults of pelagic seabirds ensure the survival of their chicks by providing food to them even in the most adverse marine conditions. This is due to their ability to regulate the frequency and duration of their attendance to the colony. Our aim was to analyse this behaviour through the daily variation in parental burrow attendance during chick rearing of Cory's shearwater, *Calonectris borealis* (Cory, 1881) adults. We chose four influential environmental variables on the behaviour of seabirds. The first variables were chlorophyll-*a* (CHL-*a*) and the sea surface temperature (SST), which are measurements of marine productivity, and the two further factors which we concentrated on were the wind and the moonlight. To analyse the implication of these factors we carried out a study of parental visits using camera traps positioned in front of the nests (n=16) of the main colony on the island of Berlenga (Portugal). At the same time, we used telescopes to examine rafting behaviour before the arrival of the seabirds to the colony. The results presented in this paper shed light on the behaviour on land of Cory's shearwater breeding adults, indicating an inverse relationship between the time spent in the nest and the illumination of the moon, while the length of the stay increases in correlation with the chlorophyll levels. In addition, we discovered that visits decrease when there are high wind speeds. All this data allows for a better understanding of the ability of this species to adapt their reproductive behaviour to environmental conditions.

**Key words:** Berlenga, breeding behaviour, *Calonectris borealis* camera trap, environmental variables

# ÍNDICE

<b>Introducción</b> .....	1
<b>1. Biología de la especie: <i>Calonectris borealis</i></b> .....	2
1.1 Taxonomía.....	2
1.2 Distribución y abundancia.....	3
1.3 Características morfológicas y biométricas.....	4
1.4 Ecología y reproducción.....	5
1.5 Comportamiento alimentario.....	8
1.6 Estado de conservación.....	10
<b>2. Objetivo del estudio</b> .....	11
2.1 Planteamiento general.....	11
2.2 Hipótesis.....	12
<b>3. Material y métodos</b> .....	13
3.1 Marco geográfico y temporal del estudio.....	13
3.2 Método de estudio.....	16
3.2.1 Datos biométricos y tamaño de la dieta.....	16
3.2.2 Visitas parentales determinadas mediante cámaras trampa.....	17
3.2.3 Censo de balsas mediante telescopio.....	19
3.2.4 Elección y registro de las variables ambientales.....	20
3.3 Análisis de datos.....	21
3.3.1 Estadística descriptiva: Biometrías y tamaño de la dieta.....	21
3.3.2 Estadística inferencial:Asistencia al nido y establecimiento de balsas..	22
<b>4.Resultados</b> .....	23
4.1 Desarrollo de las crías.....	23
4.2 Tamaño de la dieta.....	25
4.3 Porcentaje de la noche pasado en el nido.....	27
4.4 Porcentaje de visitas al nido.....	29
4.5 Estudio de las balsas alrededor de la isla.....	31
4.5.1 Mapas de distribución y tamaño.....	31
4.5.2 Análisis estadístico de las balsas.....	32
<b>5. Discusión</b> .....	33
<b>6. Conclusiones</b> .....	41
<b>7. Agradecimientos</b> .....	42
<b>8. Referencias</b> .....	43

## INTRODUCCIÓN

Las aves marinas pelágicas pasan la mayor parte de su vida en alta mar donde consiguen su alimento, estando únicamente ligadas a tierra firme para criar. El período de reproducción de los Procellariiformes puede ser dividido en tres fases principales: fase de apareamiento y previa a la puesta del huevo, incubación del mismo y por último el período de crianza. El comportamiento respecto a las visitas y estancias en la colonia es muy variable en cada fase, tendiendo a estabilizarse durante el crecimiento de la cría. En ese momento los progenitores visitan el nido con mayor frecuencia con objeto de asegurar el suministro de comida (Granadeiro *et al.*, 1998a).

Varios autores han demostrado que los sitios de búsqueda de alimento de las aves marinas se asocian significativamente con altas concentraciones de Clorofila-*a* y baja temperatura de la superficie del mar (Louzao *et al.*, 2006; Magalhães *et al.*, 2008; Navarro y González-Solís, 2009; Paiva *et al.*, 2010a) factores que comportan un aumento global de la abundancia y disponibilidad de una variedad de organismos marinos en los diferentes niveles de la cadena alimentaria (Mann y Lazier, 2006). Las aves pelágicas son así atraídas por estos puntos de alta productividad.

Durante el periodo de reproducción, el número de aves en tierra puede vincularse con la variación en la disponibilidad de alimentos (Granadeiro *et al.*, 2009). Cuando la comida es abundante cerca de la colonia, las aves pueden llegar a la costa más a menudo, mientras que cuando los recursos son más escasos se ven forzados a alimentarse más lejos siendo por ello menos probable que visiten la colonia. Igualmente pueden posponer durante un tiempo la búsqueda de alimento esperando mejores condiciones climáticas (Piatt *et al.*, 1990).

Otro factor que puede modelar el comportamiento de las aves marinas son las oscilaciones en la fuerza y la dirección del viento que pueden favorecer los viajes hacia o desde distantes zonas de alimentación (Granadeiro *et al.*, 2009). La variación en la velocidad del viento puede restringir los movimientos de las aves que dependen en gran medida del planeo dinámico para viajar (Furness y Bryant, 1996). Es también conocido que muchos petreles pueden ajustar sus patrones y estrategias de movimiento en función de las

condiciones del viento determinadas en pequeñas y grandes escalas (Weimerskirch *et al.*, 2000; Felicísimo *et al.*, 2008).

Los ciclos lunares son también importantes motores de diversos fenómenos observados en la biota marina (McDowall, 1970). Las especies pertenecientes al zooplancton y los peces mesopelágicos migran a la superficie durante la luna nueva, por lo que, la disponibilidad de alimento para las aves marinas suele estar sujeta a cierta periodicidad (Linkowski, 1996; Hernandez-León *et al.*, 2001; Hernandez-León, 2008). Al mismo tiempo, los niveles de luz nocturna pueden influir en los patrones de actividad de los depredadores visuales, como las pardelas (Yamamoto *et al.*, 2008). Finalmente, la influencia de la iluminación de la luna en el comportamiento es un factor conocido en la mayoría de las aves marinas, especialmente las pequeñas, porque al volverse visibles a sus posibles depredadores son más vulnerables durante su entrada a la colonia (p.ej., Riou y Hamer, 2008).

Los factores anteriormente citados van a ser analizados en el presente trabajo para determinar su implicación en el comportamiento de asistencia de la especie de estudio, la pardela atlántica, en la isla de Berlenga durante su transitoria estancia en tierra, concretamente en el periodo de desarrollo de la cría.

## **1. BIOLOGÍA DE LA ESPECIE: ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 Taxonomía**

La pardela atlántica, *Calonectris borealis* (Cory, 1881), es un ave marina pelágica que nidifica en el Atlántico Norte. Hasta hace poco más de dos años era considerada una subespecie, junto con la pardela cenicienta actualmente descrita a nivel de especie como *Calonectris diomedea* (del Hoyo y Collar, 2014). En 2006 ambas ya habían sido diferenciadas de la pardela del archipiélago de Cabo Verde, *Calonectris edwardsii* (Gómez-Díaz *et al.*, 2006).

Taxonómicamente, estas aves marinas pertenecen al orden de los Procellariiformes (*Figura 1*) que comprende la mayor parte de las aves bien adaptadas a la vida pelágica junto a los albatros, fulmares, petreles y paíños. El término “procella” proviene del latín “tormenta”, denominación con la que simbólicamente ya se subraya la enorme capacidad de adaptación a la vida pelágica que posee.



Figura 1. Encuadramiento sistemático de la especie de estudio, *Calonectris borealis* (Cory, 1881)

## 1.2 Distribución y abundancia

Más del 85% de la población mundial de esta especie concentra sus colonias en el archipiélago de las Azores, en Madeira y en las islas Berlengas. El resto nidifica en las islas Canarias (Granadeiro *et al.*, 2006). La población transcurre el invierno viajando principalmente hacia el Atlántico Sur, a lo largo de la costa Sudamericana y a la costa meridional del continente africano. Sin embargo, algunos individuos permanecen en el Atlántico Norte mientras otros llegan hasta el Océano Indico, cerca de la costa de Mozambique (Días *et al.*, 2011) (Figura 2).

La población europea se estima en torno a las 252.000-253.000 parejas con capacidad reproductora que corresponden a 504.000-507.000 individuos maduros (BirdLife International 2015).

En el archipiélago donde se procedió a realizar el presente estudio, las islas Berlengas, el censo más completo y reciente data de 2011 (Lecoq *et al.*) y concluyó con un total de 980-1070 parejas reproductoras. Alrededor de 170-210 parejas, un importante porcentaje del total, se encontraban dispersas en ocho pequeños islotes de menos de 5 hectáreas. La



mayor concentración de parejas reproductoras en la isla de Berlenga se encuentra en la colonia de Melreu.



Figura 2. Mapa de la distribución invernal de la pardela atlántica, que comprende tanto las costas del Atlántico Norte como las de Sudamérica y Sudáfrica. Algunos individuos alcanzan las costas africanas del Océano Índico.

### 1.3 Características morfológicas y biométricas

Una de las características más particulares de los procelariformes son sus orificios nasales que se encuentran unidos en uno o dos tubos rectos. Estos tubos nasales parecen estar relacionados con un marcado desarrollo del sentido del olfato que sería utilizado tanto en la búsqueda de alimento en alta mar como para la localización del nido incluso en condiciones de completa oscuridad (del Hoyo *et al.*, 1992).

Este procelárido del Atlántico presenta unas dimensiones de 45-56 cm de largo y tiene las alas estrechas con una envergadura de unos 112-126 cm. Estas proporciones son ligeramente mayores a las de la pardela cenicienta (*C. diomedea*). La cabeza está cubierta con un plumaje de color gris claro, el plumaje de la espalda es de color marrón-gris mientras que el del cuello y el vientre son blancos. El pico es de tonalidad amarilla mientras que los pies palmeados son de color rosáceo. La cría recién nacida está cubierta con un plumón gris suave y grueso, con el pico de color oscuro. Cuando la cría se ha desarrollado completamente presenta ya un plumaje indistinguible al de los adultos (del Hoyo *et al.*, 1992) (Figura 3).



Figura 3. En la imagen se muestran cuatro fases del crecimiento de los individuos de *Calonectris borealis*. En la figura 3a una cría en las dos primeras semanas de vida. En la figura 3b se muestra la cría con un mes de vida. En la figura 3c una de las crías durante los últimos días de estancia en el nido antes del abandono, donde ya presenta un aspecto similar al del adulto representando en la fotografía de la figura 3d.

Como en la mayoría de los procelariiformes, la pardela atlántica no muestra un dimorfismo sexual marcado en el plumaje. Existen sin embargo diferencias en las medidas biométricas entre machos y hembras, tendiendo el macho a ser más grande que la hembra. La medida discriminante no obstante es el pico, bastante mayor en el macho respecto a la hembra (Granadeiro, 1993). Aun así, el mejor modo de distinguir con total seguridad el sexo en estos animales es el sonido característico que producen (Thibault *et al.*, 1997), grave en las hembras y agudo en los machos.

#### 1.4 Ecología y reproducción

La pardela atlántica es un ave migratoria de vida larga pudiendo alcanzar y superar los 30 años de edad. Todos los exponentes del orden de los Procellariiformes pasan la mayor parte del tiempo en el mar volando sobre el océano abierto y vuelven a tierra para la cría, época que comienza a principios de marzo y se extiende hasta finales de octubre (Granadeiro, 1991) cuando las crías abandonan el nido.

Construyen sus nidos preferentemente en islas e islotes, en acantilados rocosos aprovechando cavidades, fisuras en la roca o pequeñas cuevas. También pueden poner el huevo en el suelo protegido por la vegetación, o incluso optar por agujeros similares a las madrigueras de conejos silvestres. En la isla Berlenga se ha podido además comprobar que fácilmente aprovechan para anidar en estructuras hechas por el hombre (Catry *et al.*, 2006).

Una vez completada la etapa en el nido pasan los primeros años de su vida en alta mar, no regresando a la colonia donde nacieron hasta los 3-4 años de edad cuando todavía son individuos no reproductores ya que no es hasta alrededor de los 9 años cuando la mayoría alcanzan la edad reproductora (Mougin, 2000). Este largo período de inmadurez sugiere que las habilidades que estas aves marinas deben aprender para obtener alimento antes de reproducirse son complejas (Zimmer *et al.*, 2011). Se sabe que, al igual que en otras especies de este orden, los adultos de ambos sexos pueden tomar años “sabáticos” en los que no se reproducen (Mougin *et al.*, 1997). Giudici *et al.* (2010) han sugerido que la capacidad para almacenar grasas y el estado inmunológico son los componentes más importantes en la decisión de los individuos de no reproducirse en un determinado año.

Entre finales de febrero y principios de marzo, los primeros ejemplares reproductores comienzan a volver a la colonia demostrando una gran fidelidad al nido y a la pareja año tras año (Thibault, 1994). El período de cópula comienza desde la llegada a la colonia y tiene una duración aproximada de 90 días, terminando a finales de mayo-principios de junio cuando ocurre la puesta del huevo (Mougin *et al.*, 2000). Este es un momento crucial porque los individuos deben alimentarse para recuperar las energías utilizadas durante la migración. Tras la cópula la hembra debe ausentarse durante un periodo aproximado de 20 días y garantizarse las suficientes reservas para la puesta de un sólo huevo (Granadeiro *et al.*, 1998b; Jouanin *et al.*, 2001). Se trata de un único huevo grande que puede alcanzar un tamaño correspondiente al 29% de la masa corporal de la hembra (Brooke, 2004). En caso de rotura accidental o pérdida del huevo no existe la posibilidad de una segunda puesta (Cramp y Simmons, 1977).

Antes de la puesta, el macho pasa mucho tiempo defendiendo el nido de los intrusos potenciales (Ramos *et al.*, 1997). Al tratarse de una especie gregaria, las colonias de anidación están densamente pobladas, con nidos muy próximos entre sí lo que induce

comportamientos agresivos entre los machos. Debido a estas luchas los individuos más jóvenes e inexpertos pueden perder el lugar elegido para poner el huevo disminuyendo así sus posibilidades de reproducción (Mougin *et al.*, 2002). El huevo por lo general, eclosiona en la segunda quincena de julio, después de un período de incubación de 54 días de media (Granadeiro, 1991; Granadeiro *et al.*, 2000). A partir de ese momento ambos padres se alternan para incubar (Mougin y Jouanin, 1997). La cría pasa así sus primeros 9 días de vida siempre en compañía de al menos uno de los padres. Después de este período, los adultos abandonan el nido durante el día y solamente vuelven durante las horas de oscuridad para alimentarlos. El pleno crecimiento de la cría se produce a los 90 días de vida aproximadamente. En la segunda quincena de octubre la mayoría de los juveniles salen del nido por primera vez (Granadeiro, 1991) y empiezan a practicar el movimiento de las alas cerca del nido, en horas nocturnas, hasta que abandonan definitivamente la colonia.

Los individuos de pardela atlántica muestran un comportamiento característico después de volver de sus viajes de alimentación y antes de entrar en la colonia de anidación. En general, se congregan antes de la puesta de sol, en formaciones denominadas “balsas” (*Figura 4*) de hasta 2.000 individuos alrededor de la costa. Después de un par de horas las balsas se empiezan a deshacer y las aves aparecen sobre la isla, rodeando sus nidos varias veces antes de aterrizar. Se ha observado que los individuos reproductores presentan un retorno más rápido a la colonia desde estas balsas que los no reproductores (Hammer y Read, 1987).





Figura 4. Comportamiento característico de reunión en balsas por parte de los individuos de pardela atlántica, previo a la entrada a la colonia y durante periodos de reposo en el mar. En la fotografía de la figura 4a se observan los individuos en reposo y en la figura 4b el momento en que los individuos comienzan a posarse sobre el agua para reunirse.

### 1.5 Comportamiento alimentario

Los océanos son ecosistemas altamente variables con recursos alimentarios irregulares y prácticamente impredecibles (Ashmole, 1971; Weimerskirch, 2007) por lo que las aves marinas deben hacer frente a las fluctuaciones que conllevan estas variaciones en la disponibilidad de su alimento (Fauchald, 2009).

Además, durante el período de cría, deben restringir su área de alimentación ya que los adultos reproductores se ven obligados a volver a la colonia frecuentemente para alimentar la cría y conseguir así la viabilidad de ésta, al mismo tiempo que garantizan su propia supervivencia. Se ven también condicionados por los costes que implica el transporte de comida (Paiva *et al.*, 2010b).

Sabemos que la pardela atlántica es un depredador generalista que se alimenta principalmente de pequeños peces (*Capros aper*, *Macroramphosus* sp., *Sardina pilchardus*, *Scomber* sp.), calamares y pequeños crustáceos que captura cerca de la superficie o sumergiéndose en el agua hasta un máximo de 13 metros de profundidad. La media de inmersión es de  $6 \pm 3$  metros (Burger, 2001). A pesar de que se alimentan principalmente durante la luz del día también son capaces de alimentarse durante la noche. A través de las áreas de invernada, las pardelas parecen tener un patrón de comportamiento más nocturno en aguas frías y profundas (Días *et al.*, 2011).

Los estudios sobre su comportamiento en la alimentación se centran básicamente en el periodo de reproducción y cría. Por ello los patrones alimentarios en esta fase se conocen con bastante precisión (Navarro *et al.*, 2007; Magalhães *et al.*, 2008; Catry *et al.*, 2009; Navarro y González-Solís., 2009).

Ya hemos visto que las aves pelágicas pueden experimentar ocasionalmente periodos de condiciones ambientales desfavorables que impiden a los padres volver regular y frecuentemente para alimentar a sus crías (Lack, 1968) por lo que la alimentación de la cría puede llegar a ser muy variable según las condiciones ambientales (Hamer *et al.*, 1999). En tales condiciones, las bajas tasas de suministro de alimento explicarían el lento crecimiento de las crías (Ricklefs, 1983).

La historia vital de los procelarifformes se define por estas restricciones espacio-temporales de alimento que implican una serie de características vitales distintivas del grupo, como son la eclosión de un sólo huevo por temporada reproductora y el patrón de desarrollo de las crías que consta de un prolongado período de cría con un crecimiento lento y gran acumulación de grasa (Granadeiro *et al.*, 1998a).

Es conocido que los dos miembros de la pareja contribuyen por igual a la alimentación de la cría, presentando frecuencias similares de visitas al nido y proporcionando cantidades equivalentes de alimento por cada visita. Pueden seguir dos estrategias (uni- o bimodal) en la búsqueda de comida. En la estrategia bimodal ambos miembros alternan viajes cortos con viajes largos (Granadeiro *et al.*, 1998b). Sin embargo, esta estrategia es usada principalmente en zonas oceánicas tales como las islas atlánticas (Azores, Canarias, Salvajes) mientras que, en las zonas neríticas, como el archipiélago de las Berlengas las poblaciones tienden a realizar en mayor proporción viajes cortos de 1 a 4 días de duración. Por lo tanto, es de esperar que la productividad sea mayor en áreas costeras (por ejemplo, en aguas costeras con patrones de “upwelling”). De hecho, en un estudio comparativo entre las colonias de las islas Atlánticas y las islas Berlengas se demostró que las poblaciones de estas últimas presentaban la menor área de búsqueda de alimento de todas las estudiadas (Paiva *et al.*, 2010b).

## 1.6 Estado de conservación

De acuerdo con la Lista Roja Europea de Aves (BirdLife International 2015) la tendencia de la población de *Calonectris borealis* es difícil de estimar y aun pareciendo estar en decadencia, ésta no es lo suficientemente rápida como para encajar dentro de los criterios de la categoría Vulnerable de las Listas Rojas (>30% de disminución en diez años o tres generaciones) definidas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Además, tanto el área de distribución de la especie (más de 20.000 km<sup>2</sup>) como el tamaño de su población (con más de 10.000 individuos maduros) son estimaciones lo suficientemente grandes para que la especie entre dentro de la categoría de riesgo mínimo o “preocupación menor” (LC). Por otra parte, esta especie está incluida en el anexo I de la Directiva Aves de la UE de 1979 (79/409 / CEE) como una especie para la que se requieren medidas especiales en la protección de los hábitats. Y está también presente en el anexo II "Especies de fauna estrictamente protegidas" de la Convención de Berna (1979).

La especie se ve amenazada principalmente por los impactos de los mamíferos introducidos en los lugares de anidación como son ratas, gatos y ratones (Hervías *et al.*, 2013). Prueba de ello es que las poblaciones manifiestan un marcado incremento en el éxito reproductor después de realizarse acciones de control de estos animales (Zino *et al.*, 2008). Otra amenaza que ha afectado especialmente a la población de las Azores es la caza furtiva. Hasta muy recientemente en la isla de Santa María se cazaban entre 50-1500 crías al año (Fontaine *et al.*, 2011). En las islas Canarias en el pasado fue una práctica problemática para la especie, pero en la actualidad y gracias a los esfuerzos de conservación la caza furtiva se reduce a episodios puntuales. Otra causa de mortalidad, sobretodo de individuos jóvenes, son los deslumbramientos producidos por las luces artificiales (Fontaine *et al.*, 2011). Además, durante la estación no reproductora se ven gravemente amenazadas por los efectos mortales de la captura accidental (“bycatch”), en los barcos de palangre. De hecho, es el ave marina más frecuentemente capturada por la flota de palangre española en el Oeste del Mediterráneo (Báez *et al.*, 2014).

La extensa literatura científica sobre la biología y el ciclo vital de esta especie ha impulsado la creación de IBAS marinas (Áreas Importantes para las Aves) en Portugal (Ramírez *et al.*, 2008) y en España (Arcos *et al.*, 2009).

## 2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

### 2.1 Planteamiento general

Si bien en la actualidad se ha alcanzado un elevado nivel de conocimiento sobre el comportamiento de la pardela atlántica, *Calonectris borealis*, no se ha propuesto aún un modelo que explique los patrones que siguen las visitas y estancias en la colonia durante su fase de cría. Los patrones de llegada a la colonia de reproducción han sido reconocidos en algunas especies de álcidos como el frailecillo, *Fratercula arctica*, y el arao, *Uria aalge* (Harris, 1984; Wilhelm y Storey, 2002) o también en petreles (Hatch y Hatch, 1989; Mougín *et al.*, 2000). Sin embargo, el significado y los mecanismos reguladores de los ciclos de asistencia a las zonas de reproducción y cría de las aves marinas son prácticamente desconocidos en la mayoría de las especies (Harris, 1984; Weidinger, 1996).

En el caso de la pardela atlántica se conoce que el número de aves en tierra puede variar en el transcurso de unos pocos días y, por lo tanto, tal variación es muy evidente incluso para el observador casual. Mientras que algunas noches se pueden observar *in situ* decenas de individuos en la colonia durante los muestreos nocturnos, en otras noches apenas pueden contabilizarse una decena de ellos. Esta observación obliga a investigar la posible participación de aquellos factores ambientales que puedan moldear dicho comportamiento, bastante sincronizado además entre los miembros de la colonia tal y como se pudo observar durante la realización de este estudio.

Con el propósito de determinar tales factores Granadeiro *et al* (2009) llevaron a cabo un estudio en las islas Salvajes y en el archipiélago de las Berlengas dónde correlacionaron varias variables ambientales con censos de adultos que realizaron en la colonia después de la puesta de sol. Sorprendentemente no obtuvieron ningún resultado positivo que permitiera relacionar las visitas con los factores ambientales. Sin embargo, en este estudio no se contempló la posibilidad de que las aves pudieran aparecer tras el muestreo, hecho que produce un sesgo en el cómputo total de las visitas nocturnas.

Con el fin de esclarecer el comportamiento de asistencia a la colonia consideramos el uso de cámaras trampa como instrumento útil para este estudio, ya que estas permiten la observación de los adultos durante toda la noche, haciendo así posible obtener datos fiables acerca de sus visitas y estancias en la colonia de anidación. Además, se ha



analizado el comportamiento previo a la llegada a la colonia, que consiste en la reunión en balsas en las cercanías de la isla que han sido localizadas y contabilizadas a través de telescopios.

Se plantea como objetivo alcanzar un modelo para predecir las visitas y estancias nocturnas de pardela atlántica en la isla Berlenga. Se han investigado también las variables que influyen en la reunión de individuos en balsas. Con tales objetivos se han contemplado aquellos factores ambientales que de acuerdo con la bibliografía pueden afectar la búsqueda de alimento de las aves, así como su posterior regreso a la colonia de anidación.

Por ello se han escogido cuatro variables ambientales entre las que se encuentran dos reconocidos indicadores oceanográficos de la productividad primaria marina que son la temperatura superficial del mar (SST) y el nivel de Clorofila-*a* (CHL-*a*). A estas variables se añaden los valores de la fuerza del viento (velocidad) y la iluminación de la luna (0-1), dos factores que podrían ayudar a modelar las visitas y estancias en la colonia de cría. Para el estudio de las balsas se ha añadido al análisis la dirección del viento predominante.

## **2.2 Hipótesis**

El objetivo de este trabajo es ampliar el conocimiento sobre el comportamiento de los individuos de la especie *Calonectris borealis* en la isla Berlenga, investigando en particular el efecto de determinadas variables ambientales sobre el patrón de las asistencias y estancias de los adultos en la colonia de anidación durante el crecimiento de la cría. Con ello tratamos en definitiva de conseguir un mayor entendimiento de la conducta de esta ave marina, de prodigiosa capacidad de resistencia a las más adversas condiciones oceanográficas. En concreto se pretende determinar la relación de las variables ambientales arriba descritas sobre tres patrones vinculados el comportamiento de las aves, especificados en los siguientes apartados:

1. Porcentaje de nidos visitados durante la noche.
2. Porcentaje de tiempo nocturno pasado en el interior del nido
3. Establecimiento de balsas de pardelas alrededor de la isla.

De forma complementaria se ha estudiado el desarrollo en el crecimiento de las crías, las variaciones en la cantidad de comida proporcionada a la cría por parte de los adultos, así como sus medidas al abandonar el nido.

El estudio que aquí se presenta se enmarca en el proyecto Life + Berlengas (LIFE13NAT/PT/000458) financiado por el programa LIFE de la Unión Europea, coordinado por SPEA (Sociedad Portuguesa para el Estudio de las Aves). El objetivo principal del proyecto en esta Reserva Natural es la conservación de los hábitats y especies amenazadas, a través de un manejo sostenible de las actividades antrópicas que ejercen presión sobre el ecosistema, como son el turismo y la pesca. Se pretende además la erradicación de las especies invasoras, con mayor presencia en la isla principal, como la uña de gato (*Carpobrotus edulis*), la rata negra (*Rattus rattus*) y el conejo común (*Oryctolagus cuniculus*) con el fin de restaurar el ecosistema previo a su llegada ya que varias de las especies de vegetación endémicas se encuentran seriamente amenazadas. Con la aplicación de estas acciones se podrán también recuperar las condiciones ideales para las especies nidificantes en la Zona de Especial Protección (ZPE) como es el caso de la pardela atlántica.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1 Marco geográfico y temporal del estudio**

La isla Berlenga (39°24'55''N, 9°30'34''O) es la mayor y única isla visitable del archipiélago de las Berlengas. A pesar de no estar habitada existe una presencia regular de pescadores a lo largo del año, que hacen uso de unas pequeñas viviendas como refugio. Sin embargo, durante la época estival la isla cuenta con la presencia de un gran número de turistas que se añade a la de los pescadores. El archipiélago de las Berlengas está compuesto por un conjunto de pequeñas islas graníticas que incluye las Estelas y Farilhões y se encuentra situado en la costa continental de Portugal a 5,5 millas de la ciudad de Peniche (*Figura 5*). El archipiélago, junto con la colonia recién formada en las islas Cíes (Munilla *et al.*, 2016) conforman un enclave único para la pardela atlántica (*Calonectris borealis*) en la península ibérica debido a que son los únicos territorios de nidificación para esta especie en la costa atlántica continental. El conjunto de las islas Berlengas está catalogado como Reserva Natural desde 1981 clasificada a su vez como Zona de Especial Protección (ZPE) para las aves y como una Área de Importancia para las Aves (IBA) (Ramírez *et al.* 2008).

Este grupo de islas atlánticas alberga una diversidad florística de más de un centenar de especies, todas de fenotipo herbáceo y arbustivo. Destaca la presencia de tres endemismos: *Armeria berlengensis*, *Herniaria berlengiana* y *Pulicaria microcephala*, amenazados por la expansión de la planta invasora uña de gato (*Carpobrotus edulis*). En lo que se refiere a fauna terrestre habitan dos especies de reptiles: el lagarto de las Berlengas (*Podarcis bocagei berlengensis*) y el lagarto ocelado (*Lacerta lepida*). Entre los mamíferos se encuentran dos especies introducidas que son el conejo común (*Oryctolagus cuniculus*) y la rata negra (*Rattus rattus*) que constituyen una de las mayores amenazas para la flora y fauna nativa. Además de la pardela atlántica, también nidifican en el archipiélago otras aves marinas como la gaviota sombría *Larus fuscus*, el cormorán moñudo, *Phalacrocorax aristotelis*, el paiño de Madeira *Hydrobates castro* y la gaviota patiamarilla, *Larus michahellis*, siendo esta última la que presenta la población más numerosa.

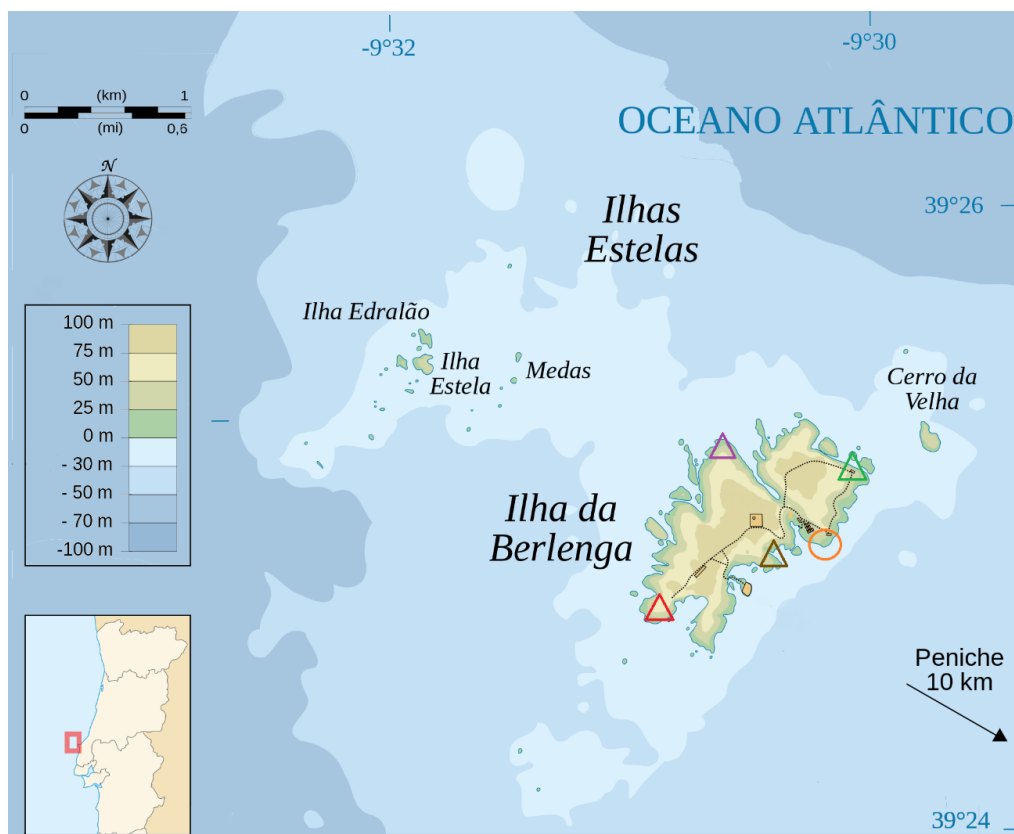


Figura 5. Mapa del archipiélago de las Berlengas (excepto las Farilhões). En la isla de Berlenga se encuentran marcados los puntos de importancia para esta tesis. El círculo naranja representa la ubicación de la colonia de estudio “Melreu”. Los triángulos simbolizan los puntos desde los cuales se realizó el censo de balsas mediante telescopio: En rojo la Ponta de França, al norte y marcado de color morado Penedo Alto, el triángulo verde representa el punto denominado Buzinas y, por último, la Ponta de Flandres marcada en castaño.

Debido a la biodiversidad descrita, tanto marina como terrestre, las islas Berlengas han sido objeto de numerosas investigaciones científicas durante los últimos años. Como en el presente estudio muchas de ellas se han centrado en el comportamiento en época de reproducción de la población de pardela atlántica aprovechando para ello el fácil acceso a la principal colonia. Esta zona de anidación, conocida como Melreu (ver Figura 5), se encuentra en la zona este de la isla Berlenga denominada localmente como “Ilha Velha” que significa isla vieja.

En la colonia de Melreu existen nidos naturales (~30) y se han construido otros artificiales (~120) que han servido para aumentar la población nidificante significativamente. Se ha evidenciado así, que para este animal la falta de cavidades naturales era un factor que limitaba el crecimiento de la población. Tales nidos son construidos de forma que se facilite el acceso a su interior, permitiendo la monitorización de la reproducción y la investigación de los factores que la condicionan como es el caso del presente trabajo. Actualmente se cifra en torno a 130 el número de parejas reproductoras de pardela atlántica en la zona. A lo largo de los últimos 20 años, diversos equipos han llevado a cabo el anillamiento de la mayoría de los individuos reproductores y de sus crías, permitiendo compilar una base de datos bastante completa.

El marco temporal del presente estudio se encuadra en el periodo de desarrollo de las crías de pardela atlántica. Para llevarlo a cabo se realizaron tres estancias en la isla: del 4 al 13 y del 17 al 28 de septiembre y del 20 de octubre al 3 de noviembre, en estos periodos se llevó a cabo el trabajo de recogida de datos biométricos. La toma de datos con cámaras trampa comenzó el 31 de agosto, fecha en la cual las crías tenían una edad media de 37,9 días de vida y se extendió hasta que abandonaron el nido. No obstante, para este estudio se han computado solamente las fechas comprendidas del 31 de agosto al 20 de septiembre y del 29 de septiembre al 9 de octubre. El censo de balsas de pardela se llevó a cabo del 17 al 28 de septiembre y del 20 de octubre al 2 de noviembre, excluyendo dos fechas en que las condiciones meteorológicas impidieron el muestreo (25 y 26 de octubre).

## 3.2 Método de estudio

### 3.2.1 Datos biométricos y tamaño de la dieta

Para las biometrías, además de las mediciones efectuadas en las fechas expuestas anteriormente, fueron cedidos por la SPEA datos desde el nacimiento de las crías que habían sido recogidos durante dos campañas anteriores para lograr las curvas de crecimiento completas. Para la realización de este estudio se seleccionaron 40 nidos de la colonia (n=40) de Melreu en base a la accesibilidad de los mismos. En la toma de medidas biométricas se hizo uso de una regla de 500 mm para el ala y un calibre para las mediciones de tarso y pico.

Al mismo tiempo se procedió a determinar el tamaño de la dieta que los progenitores proporcionaban a las crías. Concretamente se realizaron tres mediciones por día en intervalos de seis horas (18h, 24h y 6h) siguiendo el protocolo propuesto por Ricklefs (1984) y Granadeiro *et al.* (1998a). Con el fin de determinar la cantidad estimada de comida recibida se pesaron las crías con una balanza electrónica (precisión de 1 gr) en los tres turnos. Cada ronda de pesado se realizó en aproximadamente dos horas. Las crías fueron pesadas siempre en el mismo orden y ninguna de ellas regurgitó mientras estaba siendo manipulada. A continuación, se detalla la toma de datos realizada en cada turno:

- A las 18 h se pesaron las crías con una balanza electrónica. Se tomaron además, las medidas biométricas (ala, tarso y pico) (*Figura 6*), al ser este turno antes del anochecer los adultos todavía no habían llegado para alimentar a la cría.
- A las 24 h se pesaron las crías cuando la mayoría de los individuos adultos ya habían llegado para alimentarlas.
- A las 6 h se procedía de nuevo a pesar a las crías. En este momento los adultos ya habían abandonado la colonia de reproducción.

Las mediciones nocturnas de peso permitieron estimar el tamaño de las raciones de comida recibidas verificando si la cría había sido alimentada y en caso afirmativo, en qué fase de la noche. Para poder realizar el trabajo de campo los nidos se dividieron en dos conjuntos de veinte crías registrándose alternamente cada día los pesos y biometrías de uno de los bloques.



Figura 6. Toma de medidas biométricas en crías de pardela atlántica. En la imagen se muestra una cría a la cual se le están tomando las medidas del ala. También se observa a la derecha el calibre usado para medir el pico y el tarso y la balanza electrónica. Para el pesado los individuos se introducían en una bolsa de tela (técnica usada para disminuir el estrés producido a las crías) y posteriormente se colocaban dentro del recipiente, previamente tarado.

### 3.2.2 Visitas parentales determinadas mediante cámaras trampa

Las cámaras trampa (*Bushnell-Trophy Cam*) fueron colocadas a una distancia de entre 1 y 1,5 metros de los nidos (*Figura 7*) y proporcionaron imágenes de las visitas parentales, así como información sobre potenciales depredadores que pudiera ser de utilidad para posteriores estudios. Las cámaras se accionaban y registraban fotografías siempre que eran activadas por el sensor de temperatura por lo que permitieron registrar las apariciones y estancias nocturnas de los adultos en la colonia (*Figura 8*). Se definió un periodo de 10 segundos de descanso después de cada disparo. Para evitar la excesiva luminosidad producida por los LED infrarrojos fueron cubiertos con una cinta de plástico permitiendo solamente pasar la cantidad de luz suficiente para iluminar las fotografías.

Se trabajó con una muestra inicial de 25 nidos dotados de cámaras, seleccionados al azar, sobre el total de 62 nidos de parejas reproductoras pertenecientes a la colonia de estudio. Se consideró un número de muestra representativo para analizar el comportamiento parental en la colonia de anidamiento. Desafortunadamente no todas las cámaras

funcionaron correctamente. Entre los principales motivos de los fallos se encuentran los desenfocados producidos por los propios animales y en mayor medida por las inclemencias climáticas. Este hecho redujo el número de cámaras válidas a 16 (n=16). Las imágenes fueron posteriormente examinadas siguiendo un protocolo de análisis de fotografías en el que se anotó la fecha, la hora de llegada y de salida, el número de adultos presentes (1,2) y la distancia al nido del adulto (<5cm, 5-20 cm, 20-40 cm y >40 cm) contabilizándose el adulto más cercano en caso que ambos aparecieran. Estos datos permitieron obtener los valores para las dos variables estudiadas:

- El tiempo que cada pareja reproductora pasó cerca del nido, en adelante “Porcentaje de noche pasado en el nido” (% Noche). Esta variable fue transformada desde minutos a un porcentaje de noche, teniendo en cuenta así la variación temporal en las horas de oscuridad diarias. La duración de la noche fue obtenida del Observatorio Naval de los Estados Unidos ([http://aa.usno.navy.mil/data/docs/Dur\\_OneYear.php](http://aa.usno.navy.mil/data/docs/Dur_OneYear.php)).
- El promedio de nidos visitados por noche expresado como “Porcentaje de visitas” (% Visitas)



Figura 7. En la imagen se muestra una cámara trampa colocada con un soporte metálico para proporcionar estabilidad. La cámara enfoca a uno de los nidos artificiales que fueron construidos en anteriores proyectos con el objetivo de ampliar la población en la colonia de Melreu. El tubo de plástico permite la entrada al nido y se encuentra reforzado con piedras.

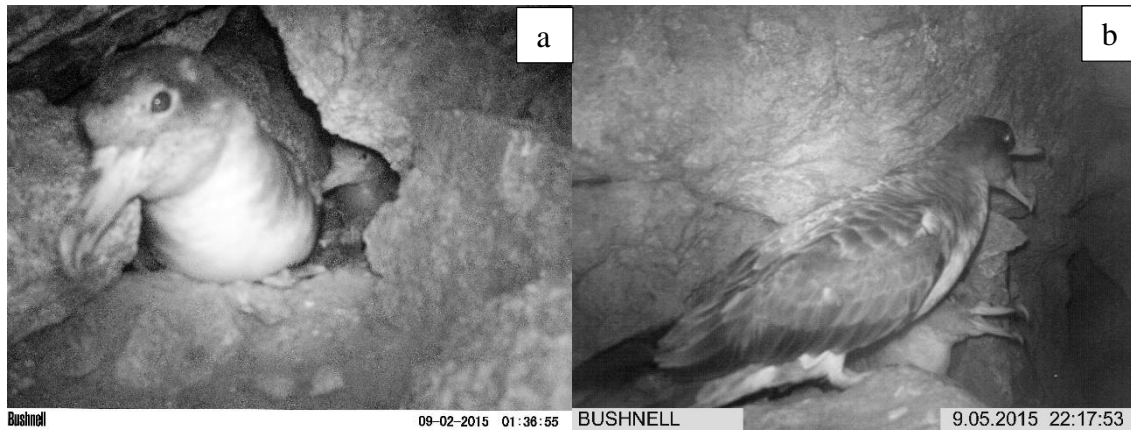


Figura 8. Se muestran dos fotografías obtenidas durante el análisis de las visitas y estancias. La figura 8a muestra uno de los adultos junto a la cría en el interior del nido y en la figura 8b dos adultos frente al nido vocalizando su sonido característico, probablemente en señal de alerta por la aparición de algún individuo cerca de ellos. Las imágenes muestran la fecha y la hora en la que la fotografía fue tomada.

### 3.2.3 Censo de balsas mediante telescopio

Se llevaron a cabo censos visuales de balsas formadas por individuos de pardela atlántica posados alrededor de la isla Berlenga. Para ello se establecieron cuatro puntos de observación en los extremos de la isla. Al norte en “Penedo Alto” ( $39^{\circ}25'05.2''N$ ,  $09^{\circ}30'41.5''O$ ), al sur la “Ponta de Flandres” ( $39^{\circ}24'50.0''N$ ,  $09^{\circ}30'34.0''O$ ), el punto “Buzinas” ( $39^{\circ}25'03.0''N$ ,  $9^{\circ}30'12.2''O$ ) y por último la “Ponta de França” ( $39^{\circ}24'36.8''N$ ,  $9^{\circ}30'57.4''O$ ) (puntos marcados en Figura 5).

Se realizaron los censos desde los cuatro puntos detallados permitiendo cubrir todo el perímetro de la isla, siempre y cuando las condiciones meteorológicas lo permitieron, comenzándose el censo una hora antes de la puesta de sol. Cada punto fue muestreado una vez por día coincidiendo con el periodo descrito anteriormente. Se formaron dos equipos compuestos por un observador y un anotador, de manera que cada pareja pudiese monitorizar dos puntos diariamente. Para reducir el error del observador los equipos turnaban los puntos de observación cada dos días.

La toma de datos consistía en el uso de un telescopio mediante el cual se barría el horizonte en busca de adultos de pardela posados formando las características balsas. El muestreo en cada uno de los puntos duraba entre 15-30 minutos. Una vez una balsa era localizada se procedía a anotar el número de animales que conformaban el grupo, la hora del registro, y la dirección desde el punto de observación anotando los grados con la ayuda de una brújula. Por último, se anotó la distancia desde el horizonte mediante una regla



que el observador sujetó con el brazo estirado anotándose los milímetros desde el horizonte hasta la balsa localizada. Con este último dato se calculó la distancia en kilómetros desde el punto de observación mediante el programa “*RangeFinder*” en el que se tiene en cuenta la altitud del punto, la altura del observador y la longitud del brazo. Una vez obtenidas la distancia y la dirección de la balsa desde el punto de observación, se consiguieron las coordenadas de la situación geográfica de las pardelas a través del cálculo realizado en el servicio web <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html> para la realización de mapas de distribución.

### 3.2.4 Elección y registro de las variables ambientales.

Con el fin de relacionar las variables obtenidas en el estudio (el porcentaje de visitas al nido, el porcentaje de noche pasado en el nido y los censos de balsas) con posibles variables explicativas ambientales se obtuvieron datos de cuatro factores que sabemos que pueden influir en el comportamiento de las aves:

- De los predictores ambientales de productividad primaria marina a pequeña escala se seleccionaron la concentración de clorofila-*a* (CHL-*a*) y la temperatura superficial del mar (SST) ya que ambos tienen un papel importante en las decisiones de forrajeo en estas aves marinas (por ejemplo, Granadeiro *et al.*, 1998b; Magalhães *et al.*, 2008). Los datos de SST como de la CHL-*a* se obtuvieron del satélite MODIS Aqua de la NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/>). Su resolución espacial es de 4x4 km en correspondencia con las fechas del estudio. También se recogieron los datos de tres días antes ya que existe un ligero retraso en la respuesta de los grandes depredadores a las variaciones ambientales debido a que las aves marinas se alimentan dos o tres niveles tróficos superiores en la cadena alimentaria respecto el fitoplancton que contiene dicha clorofila. Con el software R se calculó la media diaria para ambas variables ambientales en dos áreas distintas entorno a la isla Berlenga, obteniendo así dos rangos de distancia (a 50 km y a 150 km). Estas dos áreas se han determinado teniendo en cuenta que los viajes que estos animales realizan durante el período de cría pueden ser divididos entre breves y largos (Magalhães *et al.*, 2008; Paiva *et al.*, 2010b).
- Los datos de velocidad del viento alrededor de la isla (expresados en km/h) se obtuvieron de las previsiones ajustadas del modelo *WRF* (*Weather Research and*

*Forecasting*) de *Windguru-Pro*. Se obtuvo una media de velocidad por día y de tres días anteriores a la fecha de estudio. Asimismo, se obtuvo la dirección del viento predominante durante la fecha de estudio para el análisis de las balsas.

- La variación en la fase lunar fue medida por la fracción de luna iluminada a medianoche (expresada como una proporción de 0-1). Estos datos se obtuvieron de la base de datos “*United States Naval Meteorology and Oceanography Command*” ([www.aa.usno.navy.mil/data/docs/MoonFraction.php](http://www.aa.usno.navy.mil/data/docs/MoonFraction.php))

### **3.3 Análisis de datos**

El desarrollo de las crías, medido a través de los datos biométricos, y el tamaño de la dieta se analizaron de forma descriptiva siendo representados gráficamente con el software Microsoft Excel. El número de visitas y estancias a la colonia, obtenidos mediante las cámaras trampa, fueron analizados estadísticamente a través del modelo de regresión lineal múltiple con el paquete estadístico STATISTICA v7. Los análisis estadísticos de las balsas también fueron analizados con este software mediante un test Chi-cuadrado. El análisis descriptivo de las balsas se realizó a través de mapas creados con la herramienta ArcMap 10.4.

#### **3.3.1 Estadística descriptiva: Biometrías y tamaño de la dieta**

Los datos biométricos fueron representados en una nube de puntos frente a la edad de las crías (n=40) que fue expresada en días de vida. Así se analizó el progreso en el crecimiento de las crías a través de las distintas variables recogidas: el peso (de las 18 horas) y las medidas del ala, tarso y pico.

El tamaño de la dieta diaria se obtuvo a través de la diferencia entre el peso de las 24h y las 18h y entre el peso de las 6h y las 24h. Este estudio se llevó a cabo para todas las crías muestreadas. Para determinar el tamaño de las raciones de comida no se han tenido en cuenta las pérdidas de peso producidas por respiración y excreción. Son por ello valores que subestiman el valor real de la dieta, aunque debido al carácter comparativo de este estudio se consideran aceptables (Granadeiro et al., 1998a).

### 3.3.2 Estadística inferencial

#### a) Asistencia al nido

Dada la naturaleza de las variables y el objetivo considerado se utilizó el modelo de regresión lineal múltiple (RLM) con el fin de predecir las estancias y visitas al nido por parte de los adultos a través de variables ambientales predictivas que podrían influir en ellas. Por lo tanto, el modelo se ajustaba a nuestro propósito de comprender el comportamiento de las variables dependientes “Porcentaje de noche en el nido” (%Noche) y “Porcentaje de visitas” (%Visitas) en la época reproductora de la pardela atlántica.

A continuación, se detallan las variables predictivas para facilitar la comprensión del lenguaje usado en el paquete estadístico:

- SST\_50\_1: Temperatura superficial del mar a 50 km para el mismo día.
- SST\_50\_3: Ídem para tres días antes
- SST\_150\_1: Temperatura superficial del mar a 150 km para el mismo día.
- SST\_150\_3: Ídem para tres jornadas antes.
- Chl\_50\_1: Valor de Clorofila-*a* a 50 Km para el mismo día.
- Chl\_50\_3: Ídem para tres días antes.
- Chl\_150\_1: Valor de Clorofila-*a* a 150 Km para el día de estudio
- Chl\_150\_3: Ídem para tres días antes.
- Viento\_1: Velocidad del viento para el mismo día.
- Viento\_3: Ídem para tres días antes.
- Luna: Iluminación de la luna para el mismo día.

Una vez realizado el test de regresión lineal múltiple y diagnosticadas las hipótesis asociadas (homocedasticidad, independencia, no existencia de autocorrelación, normalidad de los errores y existencia de observaciones anómalas) se comprobó la significación del modelo, a través del contraste:

- $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$
- $H_1$ : Caso contrario, existe al menos un parámetro distinto de cero.

## b) Establecimiento de balsas

Con el fin de determinar si existe una relación significativa entre el número de aves contabilizadas por día en las balsas con la velocidad y la dirección del viento predominante se realizó un test Chi-cuadrado para cada una de las variables independientes.

Para ello se han categorizado los datos tal como se detalla a continuación:

La variable “número de aves” ha sido transformada en los siguientes rangos según el número de individuos registrados: Bajo (0-100), medio (101-500) y alto (501-2500). La variable “velocidad del viento” (km/h) se ha expresado según la escala de Beaufort mientras que la variable “dirección del viento” ha sido ajustada según el punto cardinal del que procedía el viento (N-S-E-O).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Desarrollo de las crías

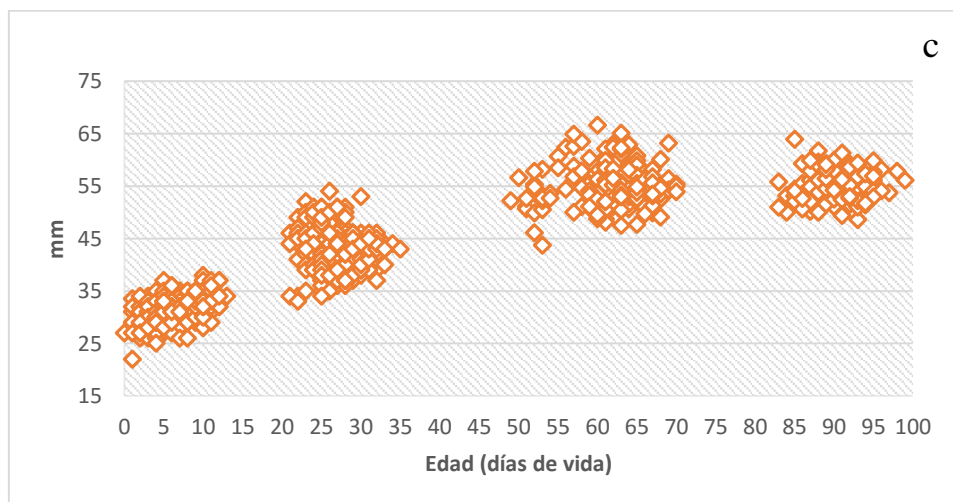
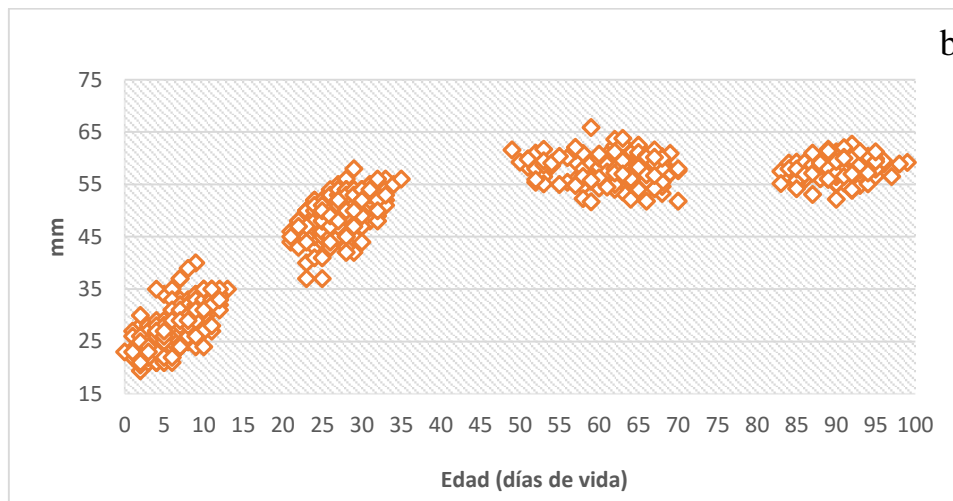
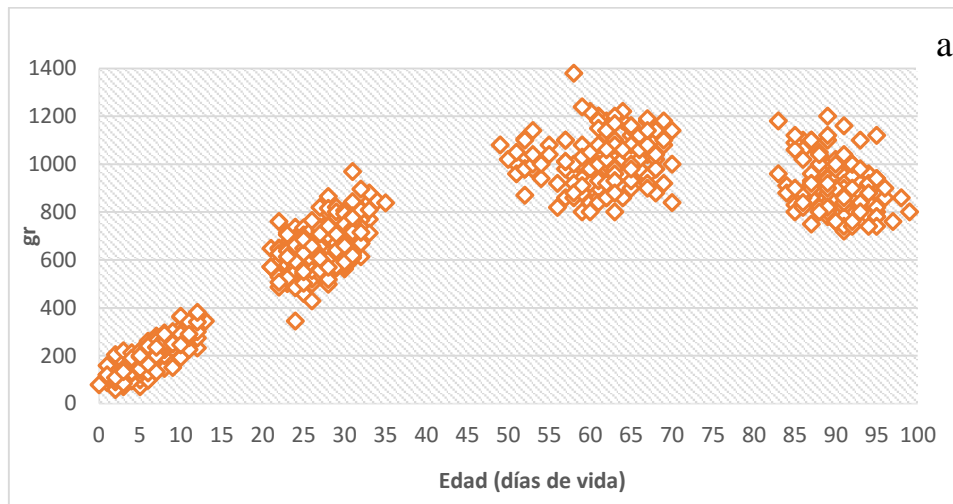
Al tener un tamaño muestral de 40 individuos y dado que nuestro estudio se focaliza en analizar promedios de los distintos datos, consideramos que las variables siguen una distribución normal haciendo uso del teorema central del límite. Se presentan las medias para los días de vida en que las crías abandonaron el nido con una probabilidad del 95%, así como las dimensiones biométricas medias de abandono para el peso, ala, tarso y pico (*Tabla 1*).

Tabla 1. Datos de las medidas biométricas medias que presentaron las crías al abandonar el nido junto con la desviación estándar.

	<b>Días de vida</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>Ala(mm)</b>	<b>Tarso(mm)</b>	<b>Pico(mm)</b>
<b>Media</b>	93,08	846,32	360,76	55,5	54,67
<b>Desviación Estándar</b>	2,44	84,48	9,53	2,12	1,53

Los resultados de los parámetros biométricos, analizados a lo largo del período de crecimiento de las crías, fueron expresados mediante gráficos de dispersión para todos los individuos mostrando el aumento de las distintas partes del cuerpo en función de la edad, expresada en días (*Figura 9*). Se observó así la evolución del crecimiento, desde la eclosión del huevo hasta el posterior abandono de nido, en las crías de pardela atlántica

muestreadas para el peso (*Figura 9a*), pico (*Figura 9b*), tarso (*Figura 9c*) y ala (*Figura 9d*).



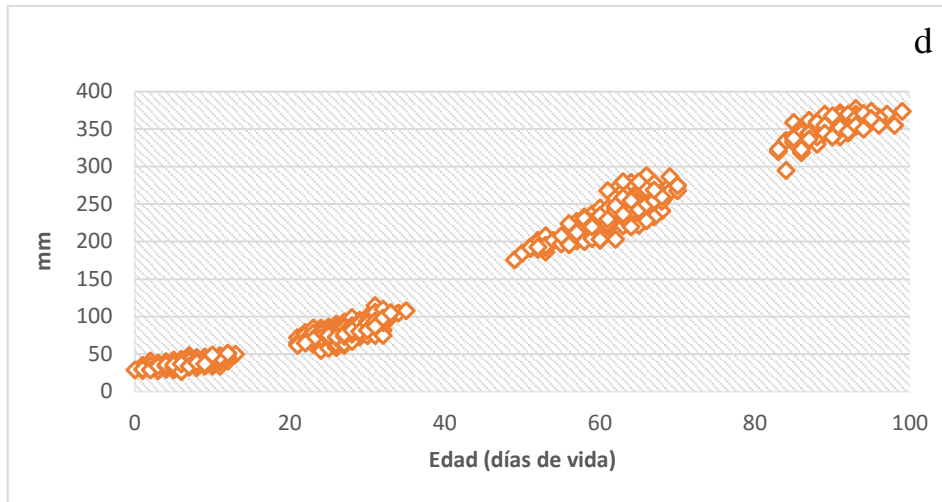


Figura 9. Se presentan los gráficos de dispersión para las medidas biométricas en las crías muestreadas de pardela atlántica desde el nacimiento hasta el abandono del nido. En la figura 9a se muestra la evolución en el peso durante el desarrollo de la cría, la figura 9b representa el crecimiento del pico, la figura 9c el desarrollo del tarso de las crías y por último en la figura 9d se presenta el crecimiento del ala durante todo el desarrollo.

#### 4.2 Tamaño de la dieta

Se realizaron diagramas de cajas para expresar la distribución de los valores del tamaño de la dieta en los distintos individuos. Estos datos correspondían a tres fases de estudio: del 4 al 13 (*Figura 10a*) y del 17 al 28 de septiembre (*Figura 10b*) y del 20 de octubre al 2 de noviembre (*Figura 10c*). Se dividió la noche en dos periodos: el primer periodo de la noche (de las 18 a las 24h) y el segundo periodo de la noche (de las 24h a las 6h) quedando así representados en los gráficos permitiendo observar diferencias entre ambos momentos de la noche.

Con el conjunto de datos se realizaron medias para los dos periodos. El tamaño de la dieta del primer periodo de oscuridad (18-24h) fue de  $70,82 \pm 50,54$  gramos y en el segundo periodo de noche (24-6h) el promedio de la muestra fue de  $62,06 \pm 45,37$  gramos.

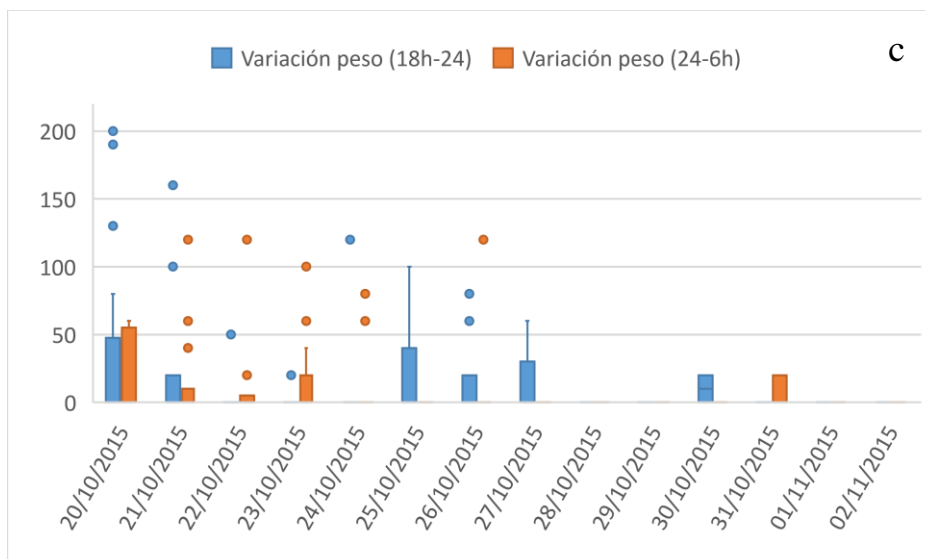
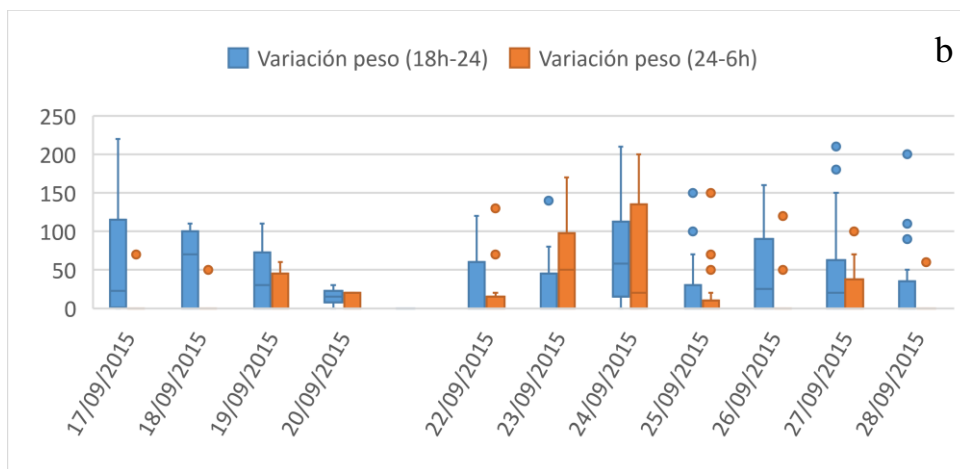
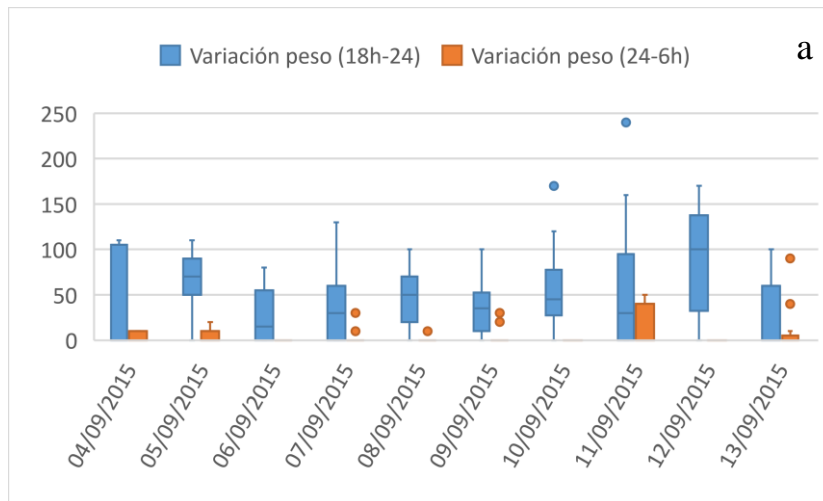


Figura 10. Diagramas de cajas para las variaciones de peso en los dos momentos de la noche que indican el tamaño de la dieta a lo largo de los tres períodos de estudio.

### 4.3 Porcentaje de la noche pasado en el nido

Con el objetivo de determinar la relación entre las variables predictivas y el porcentaje de la noche pasado en el nido (%Noche), se plantea un modelo de regresión lineal múltiple (RLM).

Como primer paso se contrastó la normalidad de dicha variable dependiente. Se obtuvieron los siguientes resultados para el test de Kolmogorov-Smirnov ( $p > 0.20$ ) y Shapiro-Wilk ( $p\text{-valor} = 0.0723 > 0.05$ ). Los resultados de los contrastes permitieron confirmar que la variable sigue una distribución normal. Una vez comprobada la normalidad y observados problemas de multicolinealidad se recurrió al método de selección hacia atrás (“*Backward elimination*”). Los supuestos del test fueron comprobados y se detallan ordenadamente a continuación: La multicolinealidad fue contrastada a través de la tolerancia, donde todas las variables predictivas presentaron un valor mayor de 0.70, por lo que se asumió que no existía colinealidad entre las variables. La independencia de los errores fue diagnosticada con la prueba de Durbin-Watson y presentó una correlación serial baja (0.11) por lo que se asumió independencia de errores. La homocedasticidad fue comprobada a través del contraste de BOX-COX y se obtuvo un valor de  $p = 0.68 > \alpha = 0.05$  [ $H_0 = \lambda = 1$ ;  $H_1 = \lambda \neq 1$ ]. De este modo, no existieron evidencias para rechazar  $H_0$  y se aceptó que  $\lambda = 1$  por lo que se pudo asumir la homocedasticidad del modelo. En el estudio de las observaciones anómalas se detectó que la naturaleza de la observación número 1 era un “*outlier*” de alto potencial e influyente. Tras un análisis exhaustivo de la naturaleza de dicha observación, fue eliminada por no cumplir los patrones establecidos en el muestreo, y ser considerada como indicador de la necesidad de un aumento del tamaño muestral.

Como resultado del “*Backward Elimination*” el modelo predictivo contempló significativas las variables: “Luna” “Chl\_50\_1”, “Chl\_50\_3” y “Chl\_150\_3” y que obtuvieron valores de  $p < 0.05$  resultaron, por tanto, significativas para la explicación de la variable dependiente y entraron en el modelo de RLM. (Tabla 2). El “*Intercept*” resultó



no significativo y en consecuencia se eliminó el parámetro del modelo aplicando de nuevo la regresión hacia atrás (Tabla 3).

Tabla 2. Análisis de regresión lineal múltiple para la variable dependiente “%Noche”. Se presentan las estimaciones de los parámetros de la regresión y los estadísticos correspondientes a los contrastes sencillos de los parámetros. La estimación de la  $\beta_0$  es 11,35. Se está realizando el contraste  $\beta_0=0$  frente a distinto de cero; el estadístico que resuelve este contraste sigue una *t de Student* con n-k grados de libertad. El p-valor es mayor que  $\alpha$ , por lo que rechazamos la hipótesis nula y eliminamos el parámetro  $\beta_0$  del modelo para volver a aplicar la selección hacia atrás.

Se muestran en la tabla las variables incluidas en el modelo, todos los p-valores son  $<0.05$ , por lo tanto, presentan una relación significativa con la variable estudiada.

	BETA	Error est.de BETA	B	Error est. de B	t(26)	p-valor
<b>Intercept</b>			11,3533	6,422210	1,76782	,088827
<b>Luna</b>	-,710105	,116565	-30,2780	4,970215	-6,09190	,000002
<b>Chl_50_1</b>	,489762	,122528	13,1287	3,284527	3,99713	,000471
<b>Chl_50_3</b>	,433112	,119347	11,3463	3,126544	3,62901	,001220
<b>Chl_150_3</b>	,420391	,130818	12,3854	3,854116	3,21355	,003484

Tabla 3. Regresión lineal múltiple para la variable dependiente “%Noche” una vez eliminado del modelo el parámetro  $\beta_0$ . Se encuentran resaltados las estimaciones de los factores que conforman la ecuación de regresión lineal múltiple.

	BETA	Error est. de BETA	B	Error est. de B	t(27)	p-level
<b>Luna</b>	-,443519	,077300	-29,5028	5,141983	-5,73764	,000004
<b>Chl_50_1</b>	,491985	,086411	16,2905	2,861232	5,69352	,000005
<b>Chl_50_3</b>	,440520	,074253	14,8628	2,505250	5,93268	,000003
<b>Chl_150_3</b>	,502483	,071211	17,6959	2,507825	7,05627	,000000

El p-valor adjunto a este modelo RLM fue de  $p<0.0001$  por lo que se rechazó la  $H_0$  y se asumió la regresión lineal como significativa (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de la varianza para el modelo RLM de la variable dependiente “%Noche”.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	p-valor
<b>Regresión</b>	4063,674	4	1015,918	16,09961	,000001
<b>Residual</b>	1640,653	26	63,102		
<b>Total</b>	5704,327				

Mientras que la estimación del coeficiente de regresión para variable de la iluminación de la luna (“Luna”) presentó un signo negativo, los otros tres coeficientes estimados

fueron positivos. Esto indica que aumentos en los niveles de clorofila-*a* implican aumentos en el porcentaje de la noche pasado en el nido mientras que aumentos en los niveles de iluminación de la luna implican una disminución del tiempo de estancia nocturna en el nido.

Así, el modelo estimado de regresión lineal múltiple para la variable dependiente “%Noche” quedó explicado mediante la siguiente ecuación:

$$\hat{Y} = -29,50 * \text{Luna} + 16,29 * \text{Chl\_50\_1} + 14,86 * \text{Chl\_50\_3} + 17,70 * \text{Chl\_150\_3}$$

#### 4.4 Porcentaje de visitas al nido

De la misma forma se procedió al análisis de regresión lineal múltiple para la variable dependiente “% Visitas” frente a las variables predictivas.

Se asumió la normalidad de la variable dependiente después de ser comprobada con los contrastes correspondientes a esta prueba, el test de Kolmogorov-Smirnov ( $p > 0.20$ ) y el contraste de Shapiro-Wilk ( $p = 0.080 > 0.05$ ). Se inició entonces el análisis de RLM con el método de Selección hacia atrás (“*Backward elimination*”). Partiendo así de nuevo del modelo completo con todas las variables predictivas, en cada paso fueron eliminaron las variables menos significativas para la predicción de la variable dependiente.

Una vez realizada la regresión, se eliminaron del modelo todas las variables excepto una “Viento\_1”, que fue la única variable que entró en la regresión con un valor de  $p < 0.05$  y con un signo negativo. Para la constante “*Beta*” se obtuvo un  $p$ -valor  $< 0.05$  por lo que se aceptó la hipótesis alternativa en la que  $Beta \neq 0$ , y se añadió la constante proporcionada por el paquete estadístico al modelo (*Tabla 5*)

Tabla 5. Análisis de regresión lineal múltiple para la variable independiente “%Viento” en la que se muestra la única variable predictiva que ha entrado en el modelo, la fuerza del viento, con un  $p$ -valor  $< 0.05$ . La estimación del parámetro  $\beta_0$  es 108,3016 y el  $p$ -valor asociado al contraste *t de Student* con  $n-k$  grados de libertad es menor que  $\alpha$  por lo que rechazamos la hipótesis nula y añadimos la constante al modelo.

	Beta	Error estándar de Beta	B	Error estándar de B	t (26)	p-valor
<b>Intercepto</b>			108,3016	5,569822	19,44436	0,000000
<b>Viento_1</b>	-0,62307	0,153395	-1,0371	0,255329	-4,06185	0,000398

De esta forma, el modelo estimado de regresión lineal múltiple para la variable dependiente “%Visitas” quedó explicado como:

$$\hat{Y} = 108.301 - 1.037 * \text{Viento}_1$$

El  $p$ -valor adjunto a este modelo RLM fue de  $p=0.000395$  por lo que se rechazó la  $H_0$  y se asumió que la regresión lineal era significativa (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de la varianza para el modelo RLM de la variable dependiente “%Visitas”. El  $p$ -valor presenta un valor menor que  $\alpha$ , por lo tanto, se asume como válido el modelo y la recta de regresión resultante.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	p-valor
<b>Regresión</b>	1943,781	1	1943,781	16,49864	0,000398
<b>Residual</b>	3063,179	26	117,815		
<b>Total</b>	5006,96				

A pesar de que solamente una variable fue significativa en el modelo de regresión las últimas dos variables predictivas en salir del modelo fueron “Chl\_150\_3” y “Chl\_50\_3”. Este dato aporta indicios de que realmente pueda existir una correlación entre los parámetros y la variable dependiente aun no habiendo sido detectada en el modelo.

Las hipótesis de la regresión lineal múltiple de todas las variables independientes fueron testadas y se detallan a continuación: La multicolinealidad fue comprobada a través de la tolerancia donde todas las variables predictivas presentaron un valor mayor de 0.90, asumiéndose por tanto la no existencia de colinealidad entre las variables predictivas. La independencia de los errores se testó con la prueba de Durbin-Watson presentando una correlación serial relativamente baja (0.2) por lo que se asume independencia de errores. La homocedasticidad fue comprobada a través del contraste de BOX-COX y se obtuvo un valor de  $p=0.05 > \alpha=0.01$  para el contraste. Existen así evidencias para rechazar la  $H_0$  y aceptar que  $\lambda=1$  asumiéndose por ello la homocedasticidad del modelo con un nivel de significación de 0.01.

En el estudio de las observaciones anómalas se encontró que la observación número 28 era una *outlier* de alto potencial e influyente. Ello sugiere la conveniencia de una revisión muestral en futuros trabajos excluyéndola ahora de este estudio.

## 4.5 Estudio de las balsas alrededor de la isla

### 4.5.1 Mapas de distribución y tamaño

Con el objetivo de analizar visualmente el tamaño y la posición de las balsas formadas por los individuos de pardela atlántica se han realizado mapas a través de los sistemas de información geográfica (GIS). Se han representado por separado los censos llevados a cabo durante el mes de septiembre (*Figura 11*) y el mes de octubre (*Figura 12*) para una mejor visualización.

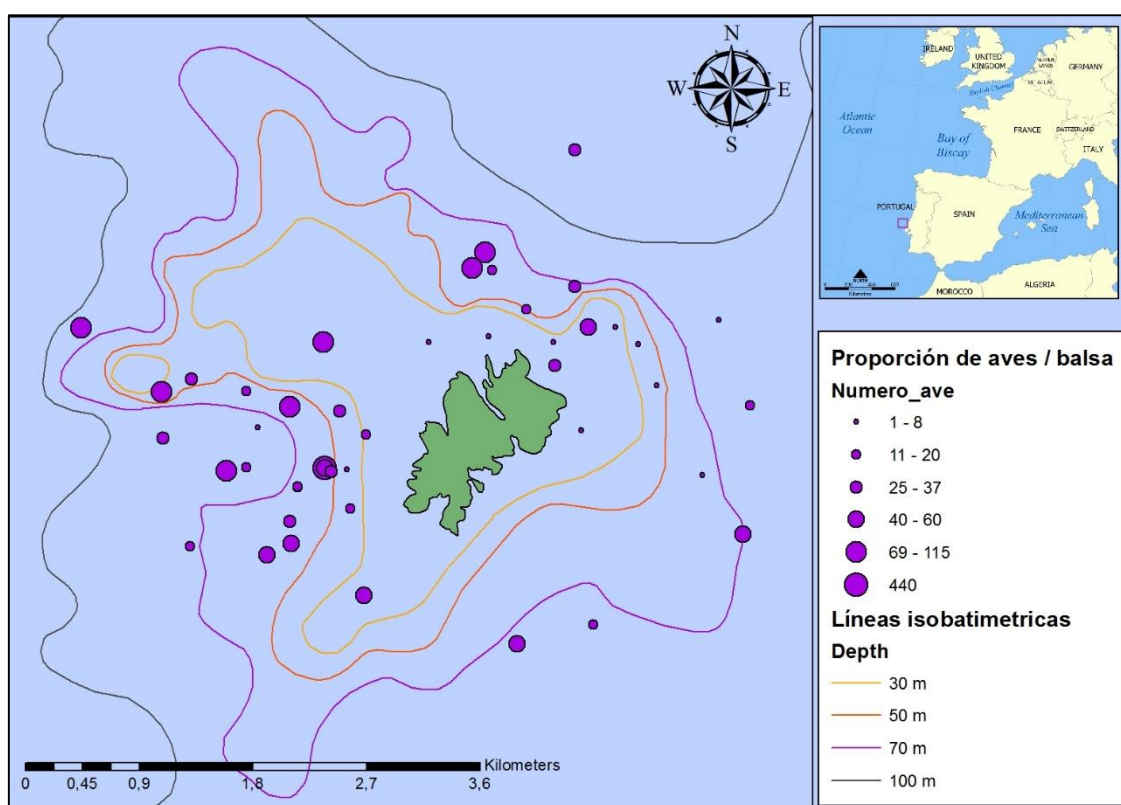


Figura 11. Mapa de la distribución de las balsas localizadas alrededor de la isla de Berlenga representándose en los círculos el tamaño proporcional de las mismas para el mes de septiembre (17/9 - 28/9).

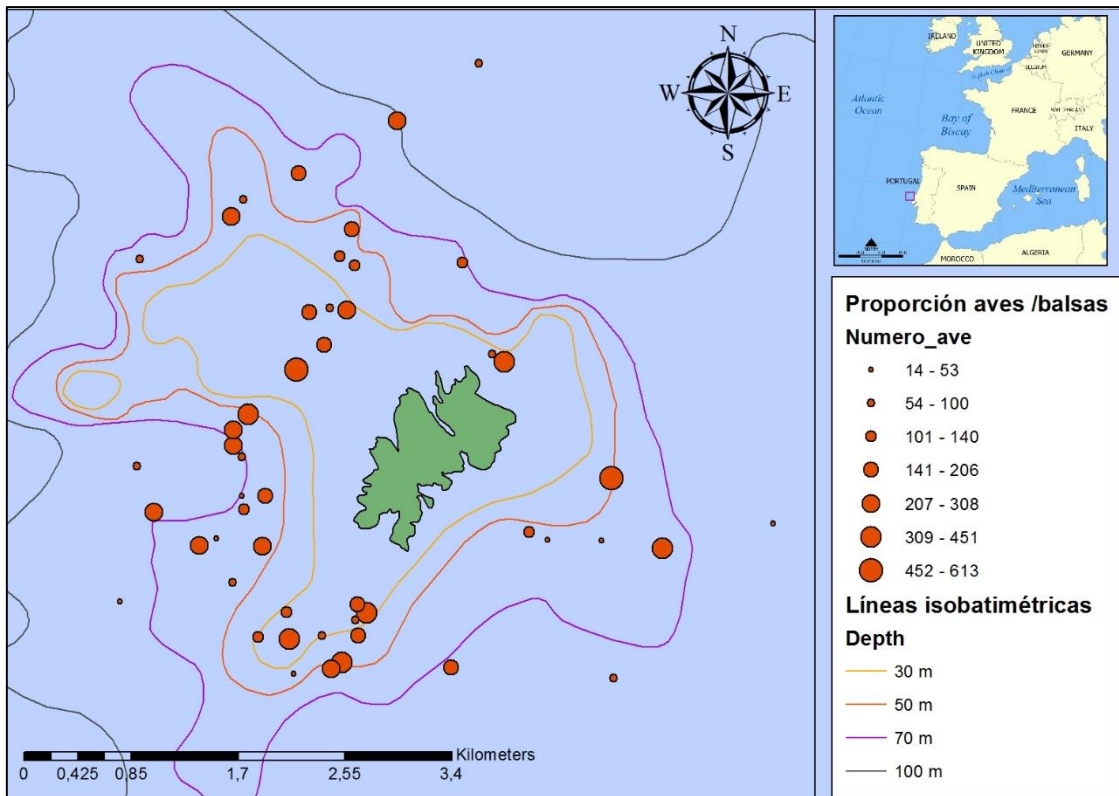


Figura 12. Mapa de la distribución de las balsas localizadas alrededor de la isla de Berlenga representándose en los círculos el tamaño proporcional de las mismas para finales de octubre y principios de noviembre (20/10 al 2/11)

#### 4.5.2 Análisis estadístico de las balsas

Una vez aplicado el test de Chi-cuadrado para analizar la relación de dependencia entre el número de aves y la velocidad del viento se ha demostrado que el número de individuos no difería en función de la velocidad del viento  $\chi^2(8, n=24) = 0.066$ . No se puede por tanto confirmar la existencia de una relación significativa entre ambas variables.

El mismo test se llevó a cabo para testar la relación entre el número de aves y la dirección del viento predominante. Tampoco en este caso se pudo comprobar la existencia de una relación significativa entre el número de aves en función de la dirección del viento  $\chi^2(6, n=24) = 0.88$ .

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 Biometrías y tamaño de la dieta

Mientras que en el abandono las medidas para el ala, el pico y el tarso no difieren prácticamente entre individuos, el peso sí que presenta una mayor variabilidad individual. Esto significa que algunos de los juveniles vuelan por primera vez del nido con mayor cantidad de grasa corporal que otros. Podemos suponer que este es un factor importante para la supervivencia durante los primeros días, debido a que los juveniles deben aprender las técnicas de forrajeo por sí mismas y pueden tardar en dominarlas.

En esta línea Mougín *et al.* (2000) sugieren que el peso con el que los juveniles abandonan el nido es una variable determinante en su tasa de supervivencia, puesto que unas mayores reservas les permiten afrontar en mejores condiciones su primer viaje migratorio. Sin embargo, las diferencias aquí observadas en el peso de abandono pueden ser entendidas como una variación debida al sexo de los individuos, dado el mayor tamaño de los machos de esta especie, algo que no ha podido ser evaluado en este estudio. Es necesario pues que futuros trabajos introduzcan este factor para determinar con precisión si estas diferencias individuales repercuten en la supervivencia o bien son simplemente fruto del dimorfismo sexual.

A través de los gráficos de dispersión obtenidos se observan las distintas curvas de desarrollo para las variables de peso, tamaño del ala, tarso y pico desde el nacimiento hasta el abandono del nido. Estos datos permiten realizar una serie de observaciones sobre el crecimiento de las crías. El peso de las crías aumenta en los 30 primeros días hasta los 800 gramos, adquiriendo en ese momento un peso similar al de los adultos. Sin embargo, posteriormente sigue en aumento hasta los 70 días que es cuando las crías alcanzan su peso máximo (alrededor de 1200 gramos). A partir de ese momento la grasa corporal disminuye hasta alcanzar de nuevo valores parecidos al peso de los adultos.

La mencionada disminución de peso a partir de los 70 días se relaciona con la baja e irregular frecuencia de visitas de los progenitores en los últimos días en que la cría se encuentra en el nido, concretamente en las últimas dos semanas de octubre. Aportando pues los adultos una menor cantidad de comida a las crías el peso de estas disminuye.

Esta relación resulta muy llamativa si observamos en los gráficos de cajas la variación en la cantidad de comida recibida y la disminución de peso en las últimas semanas del desarrollo de las crías. Cabe comentar aquí que Klomp y Furness (1992) comprobaron que existen diferencias considerables, aunque no significativas, en la cantidad de alimento proporcionada por los adultos de pardela atlántica. Las variaciones resultan en incrementos de masa irregulares entre los individuos. Este patrón de crecimiento es, probablemente, típico de depredadores pelágicos debido a la desigual e irregular distribución de los alimentos en el mar (Ashmole, 1971; Schaffner, 1990). Además, en el período final de cría, las jóvenes pardelas experimentan sus primeras salidas al exterior del nido durante la noche para probar sus alas. Es probable que este aumento de su metabolismo sea otra de las causas de dicha pérdida de peso.

Se observa también que los promedios en las medidas del pico y del tarso presentan un patrón similar entre sí siguiendo un crecimiento que se estabiliza finalmente alrededor de los 50 días de vida. Por otra parte, el desarrollo final de las alas no se alcanza hasta la última fase de su estancia en el nido, a partir de los 70 días. De estos resultados se puede deducir que la fase del crecimiento de la cría de los 50 a los 70 días se centra en la acumulación de grasa para el desarrollo de las alas y como reserva para las últimas semanas en que las visitas parentales se producen con menor regularidad.

La comparación de los datos aquí presentados con el análisis biométrico realizado por Granadeiro en el 1991, en la isla de Berlenga, que encontró unas medidas medias de peso de  $813.2 \pm 90.27$  gr, ala  $365.9 \pm 9.02$  mm y tarso  $57.93 \pm 1.87$  mm, indica que no existen prácticamente diferencias entre ambas mediciones. Sería no obstante interesante llevar a cabo un seguimiento temporal de estas variables para detectar posibles cambios en la población.

## **5.2 Análisis del porcentaje de noche pasado en el nido**

El componente que mejor explica el tiempo que pasan los adultos cerca del nido, expresado como porcentaje de la noche, es la iluminación de la luna que es el valor que presenta el coeficiente mayor en la ecuación. Muestra además signo negativo indicando que una mayor iluminación de la luna implica para los adultos un menor tiempo pasado en el nido.

Ciertamente la influencia de la luz de la luna sobre diversos aspectos del comportamiento ha sido comprobada en distintas especies de Procellariiformes (Watanuki, 1986; Klomp y Furness, 1992; Granadeiro *et al.*, 1998a) mostrándose generalmente las especies de pequeño tamaño más sensibles a la luz del ambiente (Harris, 1966; McNeil *et al.*, 1993). No obstante, es la primera vez que se consigue relacionar el tiempo pasado en el nido durante la noche con la iluminación de la luna.

A pesar de los múltiples estudios llevados a cabo en esta área, las hipótesis para explicar el comportamiento de evasión de la luz de luna en la colonia siguen siendo objeto de controversia. La explicación que cuenta con mayor soporte es la hipótesis conocida como adaptación “anti-depredación” ya que la luz torna más visibles a las aves marinas en la colonia de anidación, volviéndolas más vulnerables a posibles depredadores o al acoso por parte de gaviotas y págalos (Mougeot y Bretagnolle, 2000; Riou y Hamer, 2008). Por este motivo se han adaptado a volver a la colonia solamente en condiciones de total oscuridad.

No obstante esta explicación no se ve directamente apoyada por los estudios que demuestran como la iluminación de la luna sigue afectando a muchas colonias en las que no existe presión depredadora en el presente (Cooper y Day, 1995; Martín *et al.*, 2000). Quizás estemos así ante un comportamiento innato que persiste siendo resultado de una selección natural del pasado. De todas formas en algunas colonias de reproducción como en las islas Salvajes, donde actualmente no existen potenciales depredadores de esta especie, no se ha encontrado ningún tipo de correlación entre la periodicidad de los ciclos de asistencia a la colonia y los ciclos lunares (Jouanin *et al.*, 1989; Mougin *et al.*, 2000; Granadeiro *et al.*, 2009). Claramente nuevos trabajos deben explicar mejor la relación entre la luz de la luna y la presión depredadora.

Menos incertidumbre ofrece la hipótesis sobre la influencia de la iluminación lunar en la eficiencia durante la búsqueda de alimento (p.ej., Klomp y Furness, 1992). Es posible que la disminución del tiempo pasado en el nido durante las noches de alta iluminación de la luna sea un reflejo de una menor disponibilidad de alimento y, en consecuencia, un mayor tiempo necesario para alimentarse. Esta baja disponibilidad sería causada porque la presa favorita de las aves marinas se encuentra a mayores profundidades en las noches de luna llena, debido a las migraciones verticales de dicho alimento. Por otro lado, Rubolini *et al.*



(2015) descubrieron que los individuos de *Calonectris diomedea* presentaban elevadas actividades de vuelo durante las noches de alta intensidad de la luna, sugiriendo que incrementan su actividad de alimentación porque las presas se vuelven más detectables visualmente. Sin embargo, Días *et al* (2011) observaron paralelamente al aumento de actividad de vuelo que las aves presentaban también menor tasa de aterrizajes en el mar durante estas noches. Todo ello sugiere que el aumento en la actividad de vuelo alrededor de la luna llena representa un esfuerzo mayor de búsqueda de alimento, pero una menor eficiencia (Phalan *et al.*, 2007; Mackley *et al.*, 2011). El menor tiempo de estancia en el nido que se ha registrado en nuestro estudio concuerda con estos resultados.

Lo cierto es que para la evasión de la luz de la luna las dos explicaciones aquí mencionadas corroboran la relación entre la menor estancia en la colonia y la luna llena, así como las noches próximas, cuando la luna presenta mayor porcentaje de iluminación. El conjunto de todos estos datos nos lleva a proponer que es probable que este comportamiento no tenga una única causa, sino que sea una combinación de factores que actúan simultáneamente.

Además de la luna, las otras tres variables predictivas que se han incluido en el modelo son los valores de clorofila-*a* a 50 y 150 km de la colonia de anidación para tres días antes y el valor del pigmento a 50 km para el mismo día. Se han implementado en la ecuación de forma positiva, es decir, a mayores valores de productividad marina, se incrementa también el tiempo de noche pasado en el nido. Así, el modelo de regresión aquí propuesto sugiere que la eficiencia en la pesca debe ser mayor cuando existe alta productividad en el mar de alrededor, ya que el fitoplancton que contiene la clorofila, atrae a las presas preferidas de pardela atlántica. De este modo, la necesidad de un menor tiempo de captura de alimento, permite a las aves más tiempo de reposo nocturno en el nido. Se deduce también de esta regresión estadística que los adultos dependen en mayor medida de la productividad marina de las aguas cercanas a la colonia (a 50 km) que de las aguas más alejadas de 150 km. Se confirma así que al tratarse de islas neríticas, cercanas al continente, presentan una mayor productividad y, en consecuencia, una menor necesidad de realizar largas distancias por parte de las aves cuando se comparan con las islas oceánicas como las islas Azores y las Canarias que dependen de mayores rangos de alimentación como señalaron Paiva *et al* (2010b).

Aunque la luz de la luna puede verse afectada por los porcentajes de nubosidad, este parámetro no fue considerado previamente por lo que no se analizó su posible influencia. La inclusión de dicha variable en futuras investigaciones permitirá dilucidar su efecto en el comportamiento y ajustar con ello la recta de regresión.

A la luz del conjunto de los resultados del efecto de la iluminación de la luna en el comportamiento nocturno de pardela atlántica una posible aplicación práctica y de conservación que sugerimos desde aquí es tenerlos en cuenta a la hora de aplicar medidas de gestión de la pesca con objeto de minimizar la incidencia de las capturas accidentales. Una revisión de la regulación de la pesca nocturna durante las noches de luna llena sería altamente recomendable, ya que es cuando los individuos dedican un mayor tiempo a la búsqueda de alimento y por ello es también cuando son más vulnerables a estas capturas accidentales.

Además, conociendo la influencia de la luz en el comportamiento en tierra de estas aves pelágicas es posible que haya que dedicar una mayor atención a la incidencia de las luces artificiales en las cercanías de las colonias de anidación. Si bien es cierto que la iluminación artificial no va a perturbar la eficiencia en la búsqueda de comida sí que en cambio puede afectar a las estancias en el nido por parte de los adultos, en la medida en que este comportamiento pueda relacionarse con la hipótesis de evasión de los depredadores.

### **5.3 Análisis de visitas en el nido**

La regresión múltiple para las visitas ha mostrado una relación inversa entre éstas y la fuerza del viento, es decir, cuando las rachas de viento son elevadas las aves tienden a visitar con menor frecuencia la colonia.

Como se ha comentado anteriormente, la fuerza y dirección del viento influyen en la búsqueda de alimento y el comportamiento migratorio de una gran variedad de aves marinas (Furness y Bryant, 1996; Weimerskirch *et al.*, 2000; Felicísimo *et al.*, 2008). En concordancia con nuestros resultados para el fulmar norte, *Fulmarus glacialis*, se ha comprobado que la asistencia al nido es mayor cuando la velocidad del viento es baja cerca de la colonia, ya que las aves evitan incurrir en mayores costes de viaje (Hatch y Hatch, 1989; Furness y Bryant, 1996). Por lo tanto, podemos explicar nuestros resultados

a partir de la hipótesis del ahorro energético, si la velocidad del viento es elevada alrededor de la colonia, supone una mayor eficiencia esperar a que las condiciones mejoren para evitar una pérdida de la energía conseguida mediante los viajes de alimentación. No obstante, no podemos descartar que estas velocidades favorezcan el acercamiento a zonas de alimentación productivas lejanas implicando no regresar a la colonia ese día. En este sentido en algunas especies de aves marinas como el petrel del cabo, *Daption capense*, se ha podido establecer que su asistencia durante el periodo de cría es menor cuando existen períodos de fuertes vientos del sudeste, posiblemente porque facilitan el acceso a sus sitios de alimentación preferidos (Weidinger, 1996).

A pesar de que solamente una variable ha resultado predictiva en el modelo para la predicción de las visitas, los niveles de clorofila-*a* a 50 y 150 km de tres días antes fueron los últimos en eliminarse de la regresión “hacia atrás”. Por lo tanto, sugerimos que al aumentar el tamaño de la muestra es posible que la disponibilidad de alimento, medida a través de los niveles de productividad oceánica sea una variable explicativa de las visitas. En ese caso, los niveles de clorofila entrarían en el modelo con un signo positivo, indicando que mayores valores de este pigmento aumentan el número de las visitas ya que favorecen la eficiencia en la alimentación de los adultos.

Llegados a este punto es de importancia recalcar que los modelos estimados aquí propuestos solamente pueden ser válidos durante la época de crecimiento de la cría y no en las fases anteriores de la reproducción como son el apareamiento y la incubación del huevo. Esto se debe a que los viajes realizados durante la alimentación de la cría son de menor duración ya que se deben a las necesidades energéticas de las crías (por ejemplo, Cecere *et al.*, 2014). Asimismo, no se puede extrapolar este comportamiento a otras colonias de pardela atlántica que se encuentran en islas oceánicas ya que los patrones de alimentación varían respecto a las islas neríticas como el caso de la isla de Berlenga (Paiva *et al.*, 2010a). Además, hay que tener en cuenta que solamente se ha muestreado sobre aves reproductoras siendo así probable que los adultos que no se encuentran en reproducción presenten pautas distintas de visitas y estancias en el nido ya que no se ven afectados por la limitación de alimentar a las crías.

Respecto a la metodología utilizada, podemos concluir que las cámaras trampa son un instrumento útil y válido para conocer el comportamiento en tierra de las aves marinas

durante su periodo de cría. Si bien cabe decir que son instrumentos que necesitan una sustancial inversión económica inicial también es verdad que ésta es rentabilizada a largo plazo. En nuestro caso han proporcionado información valiosa de las visitas y estancias de los adultos reproductores de pardela atlántica en su colonia de anidación. Permiten además detectar posibles depredadores de los huevos y crías en sus primeros días de vida que es cuando son más vulnerables. En nuestro caso no se observaron ataques de depredadores ya que la utilización de las cámaras trampa comenzó cuando las crías presentaban un estado de desarrollo avanzado.

Desde aquí sugerimos realizar un seguimiento durante varios años de cría, a través del estudio de las cámaras trampa, que permita alcanzar un ajuste ideal de la regresión. De esta forma se conseguiría una mejor comprensión del comportamiento de la pardela atlántica respecto a las variables ambientales en la isla de Berlenga, y por extensión, conocer los movimientos de las parejas del resto de islotes que presentan menor accesibilidad.

Otra posible mejora que sugerimos es la combinación de los datos extraídos del comportamiento en el nido junto con datos de aparatos GPS colocados en ejemplares de pardela atlántica. De este modo se obtendrían datos detallados y completos del comportamiento durante el periodo de cría. Los dispositivos de localización permitirían estudiar los movimientos en el mar y conocer así los puntos concretos de alimentación de las aves, mientras que las cámaras trampa proveerían la información de la estancia en tierra. Además conociendo las zonas de alimentación gracias a los localizadores se podrían recoger datos de la productividad en dichos puntos mediante muestreos *in situ* de los niveles de clorofila y temperatura del mar. Esto permitiría un mayor detalle y ajuste de los datos de productividad primaria y su relación con la alimentación de las pardelas atlánticas.

#### **5.4 Análisis de la monitorización de balsas**

La observación de los mapas creados con la posición y tamaño de las balsas formadas alrededor de la isla permiten realizar una serie de consideraciones. En primer lugar, parece que los censos llevados a cabo en el mes de septiembre muestran un posicionamiento predominante de las balsas en el cuadrante oeste y noreste mientras que parecen evitar posicionarse en la zona del sur de la isla. Además en los censos llevados a cabo en el mes

de octubre las balsas tienden a encontrarse en los cuadrantes noroeste y suroeste evitando la zona al este de la isla.

En el mes de octubre se observó también un mayor número de balsas respecto al mes anterior, una diferencia que puede deberse a que las crías comenzaron a abandonar el nido durante las dos últimas semanas de octubre, coincidiendo con las fechas de los censos visuales. De este modo al cómputo de individuos adultos hay que añadir los juveniles que iban sumándose a las balsas una vez habían abandonado el nido.

Las diferencias observadas *in situ* en el número de balsas durante los distintos días en que se desarrollaron los censos visuales era muy notable. Habiendo incluso días en que no se contabilizaba ninguna balsa, es de suponer que algún factor ambiental estaba influyendo en ese comportamiento. Sin embargo, nuestra hipótesis de que la fuerza y dirección del viento predominante podrían estar contribuyendo a tales variaciones no ha podido ser comprobado en este estudio. A pesar de ello, no se puede descartar que estos factores sean importantes motores de las variaciones en el establecimiento de balsas, por lo que sería necesario aumentar el tamaño de la muestra para seguir analizando este comportamiento.

Además, proponemos la exploración de otros parámetros para este análisis ya que algunos autores han considerado como importantes en el comportamiento de reunión en balsas la actividad de forrajeo y las necesidades energéticas de las crías (Batty, 1991). En esta línea los resultados presentados en el este trabajo han demostrado que las aves modifican su estancia nocturna en función de la iluminación de la luna y la productividad primaria marina. Resulta por ello posible que también alteren el horario de llegada a las cercanías de la colonia habiéndose de tener en cuenta estos factores para determinar su influencia en el comportamiento de reunión en balsas. También planteamos un análisis a través de localizadores GPS para obtener un conocimiento preciso de las diferencias diarias en la franja horaria en que los individuos comienzan a formar las balsas.

Por último, se considera relevante la continuación del estudio de las reuniones en balsas previas a la entrada a la colonia ya que pueden ser un instrumento útil para realizar estimas de la abundancia y detectar cambios en la población.

## 6. CONCLUSIONES

1. El desarrollo de las crías está marcado por un crecimiento del tarso y del pico que se estabiliza alrededor de los 50 días de vida mientras que el ala sigue creciendo hasta los 70 días. En dicho momento las crías alcanzan un peso considerablemente superior al de los adultos que probablemente usen como reserva para las últimas semanas en que los adultos disminuyen la cantidad de comida proporcionada y las visitas se vuelven escasas.
2. Los individuos reproductores de pardela atlántica en la isla Berlenga modifican el tiempo de estancia nocturna en la colonia debido a la influencia de la luna, disminuyéndolo cuando la iluminación de la luna es mayor. Esto sugiere una confluencia entre un comportamiento adaptativo para evitar la depredación y la disminución de la eficiencia en la búsqueda y captura de alimento. Por otro lado, aumentan el tiempo en tierra cuando los niveles de clorofila-*a* son elevados indicando una mayor eficiencia en la captura de alimento debida a una mayor disponibilidad del mismo.
3. La asistencia a la colonia de estos individuos está condicionada por la fuerza del viento de tal forma que cuando la velocidad es elevada tienden a visitar en menor medida el nido, sugiriendo con ello que las pardelas evitan un elevado gasto energético. Es necesario profundizar en la hipótesis de la relación de las visitas con los aumentos en los niveles de productividad.
4. Se ha registrado una tendencia de variabilidad en la ubicación de las reuniones de individuos en balsas alrededor de la isla que debe ser analizada en el futuro. A pesar de que no hemos podido encontrar una relación significativa entre la fuerza y dirección del viento y el número de aves contabilizadas en estas balsas sería conveniente un análisis exhaustivo y continuo para lograr determinar qué factores modelan este comportamiento.
5. Por último, se ha corroborado el gran valor de la información extraída a través de las cámaras trampa por lo que se propone un análisis conjunto con localizadores GPS y el estudio de la productividad marina *in situ* para conseguir un conocimiento completo del comportamiento en época de cría de los individuos de pardela atlántica.

## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradezco a mis tutores Nuno Oliveira y Mercedes Suárez por su dedicación y estímulo para llevar a cabo este trabajo. A Nuno por darme libertad y apoyo en el desarrollo “*da minha tese*” y por las horas compartidas en la Berlenga. A Mercedes por confiar en mí y compartir sus conocimientos en el momento que más lo necesitaba.

Debo también agradecer a mis padres Jordi y Rosa por estar siempre cerca y no dejarme nunca desistir en el camino para alcanzar mi sueño, sin su confianza y apoyo no habría conseguido llegar hasta aquí.

A Isabel Fagundes mi compañera de Berlenga, gracias por acogerme desde el primer momento haciendo que mi estancia en la isla fuera tan divertida (un tanto surrealista a veces) y por enseñarme la importancia vital del *alho francês*. También agradecer la implicación a todos los voluntarios que pasaron por la isla y con los que compartí bonitos momentos de trabajo y, por supuesto, a la gente de SPEA por desarrollar este importante proyecto de conservación y haber confiado en mí dejándome participar en él.

A mi compañero Jose, por aguantarme durante todos estos meses de pardelas y altibajos, cosa que no ha sido nada fácil y por apoyarme incondicionalmente a perseguir mis sueños desde el primer momento, ¡gracias!

A mis compañeras de lo bueno y lo malo en este Máster, Elsa y María, hemos compartido muchas ilusiones en poco tiempo y espero que podamos encontrarnos pronto colaborando en algún proyecto marino.

También recordar a toda esa gente que está repartida por el mundo, pero llevo siempre en mí. Tere, Irene, Yaiza por mucho tiempo que pase siempre nos encontraremos para reír y llorar. A Alicia por ser prácticamente mi hermana, gracias por estar siempre. A Guillem por muchos años más de compartir la pasión y preocupación por nuestro mar. Y a Elena y Cathy por su apoyo y amistad en Tenerife.

Por último, agradecer el diseño de la portada a Sandra C. Barranco, gracias por plasmar de forma genial las ilusiones que he depositado en este trabajo.

## Referencias

- Arcos J.M., Bécarea J., Rodríguez B., Ruiz A. 2009. Important Areas for the Conservation of Seabirds in Spain. LIFE04NAT/ES/000049 Sociedad Española de Ornitología (SEO/BirdLife), Madrid.
- Ashmole, N. P. 1971. Seabird ecology and the marine environment. *Avian Biology*, 1, 223-286.
- Báez, J.C, García-Barcelona, S., Mendoza, M., Ortiz de Urbina, J.M., Real, R. and Macías, D. 2014. Cory's shearwater by-catch in the Mediterranean Spanish commercial longline fishery: implications for management. *Biodiversity and Conservation* 23: 661-681.
- Batty L., (1991). Some studies of Cory's shearwater *Calonectris diomedea*, around the island of Santa Maria. "Relatórios e Comunicações do Departamento de Biologia", 19: 87-91.
- BirdLife International. 2015. European Red List of Birds. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Brooke, M. D. L. 2004. The food consumption of the world's seabirds. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 271(Suppl 4), S246-S248.
- Burger, A. E. 2001. Diving depths of shearwaters. *The Auk*, 118(3), 755-759.
- Catry, P., Granadeiro, J. P., & Oliveira, P. 2006. Do Cory's shearwaters *Calonectris diomedea* synchronize laying among close neighborhoods? A reappraisal using data from artificial nest sites. *Acta Ethologica*, 9(2), 87-90.
- Catry, P., Matías, R., Vicente, L., & Granadeiro, J. P. 2009. Brood-guarding behaviour in Cory's shearwaters *Calonectris diomedea*. *Journal of Ornithology*, 150(1), 103-108.
- Cecere, J. G., Gaibani, G., & Imperio, S. 2014. Effects of environmental variability and offspring growth on the movement ecology of breeding Scopoli's shearwater *Calonectris diomedea*. *Current Zoology*, 60(5), 622-630.
- Cooper, B. A., & Day, R. H. 1995. Kauai endangered seabird study. Volume 1: Interactions of Dark-Rumped Petrels and Newells Shearwaters with utility structures on Kauai, Hawaii. Final report (No. EPRI-TR--105847-V1). Electric Power Research Inst., Palo Alto, CA (United States); Alaska Biological Research, Inc., Fairbanks, AK (United States); Kauai Electric, Eleele, HI (United States).
- Cramp, S., & Simmons, K. E. L. 1977. The birds of the western palearctic. Vol. 1. Ostrich to Ducks. Oxford University Press, Oxford.
- del Hoyo, J., & Collar, N. J. 2014. HBW and BirdLife International illustrated checklist of the birds of the world 1: non-passerines.
- del Hoyo, J., Elliott, A. & Sargatal, J. (Eds). 1992. Handbook of the birds of the world. Volume 1. Barcelona, Spain: Lynx Edicions. 696 pp
- Dias, M. P., Granadeiro, J. P., Phillips, R. A., Alonso, H., & Catry, P. 2011. Breaking the routine: individual Cory's shearwaters shift winter destinations between hemispheres and across ocean basins. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 278(1713), 1786-1793.
- Fauchald, P. 2009. Spatial interaction between seabirds and prey: review and synthesis. *Marine Ecology Progress Series*, 391, 139-151.
- Felicísimo, Á. M., Muñoz, J., & González-Solís, J. 2008. Ocean surface winds drive dynamics of transoceanic aerial movements. *PLoS One*, 3(8), e2928.
- Fontaine, R.; Gimenez, O.; Bried, J. 2011. The impact of introduced predators, light-induced mortality of fledglings and poaching on the dynamics of the Cory's shearwater (*Calonectris diomedea*) population from the Azores, northeastern subtropical Atlantic. *Biological Conservation* 144: 1998-2011.
- Furness, R. W., & Bryant, D. M. 1996. Effect of wind on field metabolic rates of breeding northern fulmars. *Ecology*, 77(4), 1181-1188.
- Giudici, A., Navarro, J., Juste, C., & González-Solís, J. 2010. Physiological ecology of breeders and sabbaticals in a pelagic seabird. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 389(1), 13-17.
- Gómez-Díaz, E., González-Solís, J., Peinado, M. A., & Page, R. D. 2006. Phylogeography of the *Calonectris* shearwaters using molecular and morphometric data. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 41(2), 322-332.
- Granadeiro, J. P. 1991. The breeding biology of Cory's Shearwater *Calonectris diomedea borealis* on Berlenga Island, Portugal. *Seabird*, 13, 30-39.
- Granadeiro, J. P. 1993. Variation in measurements of Cory's Shearwater between populations and sexing by discriminant analysis. *Ringing & Migration*, 14(2), 103-112.
- Granadeiro, J. P., Burns, M. D., & Furness, R. W. 1998a. Patterns of activity and burrow attendance in Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* as revealed by a novel logging technique. *Ibis*, 140(3), 458-466.



- Granadeiro, J. P., Nunes, M., Silva, M. C., & Furness, R. W.** 1998b. Flexible foraging strategy of Cory's shearwater, *Calonectris diomedea*, during the chick-rearing period. *Animal Behaviour*, 56(5), 1169-1176.
- Granadeiro, J. P., Bolton, M., Silva, M. C., Nunes, M., & Furness, R. W.** 2000. Responses of breeding Cory's shearwater *Calonectris diomedea* to experimental manipulation of chick condition. *Behavioral Ecology*, 11(3), 274-281.
- Granadeiro, J. P., Dias, M. P., Rebelo, R., Santos, C. D., & Catry, P.** 2006. Numbers and population trends of Cory's shearwater *Calonectris diomedea* at Selvagem Grande, Northeast Atlantic. *Waterbirds*, 29(1), 56-60.
- Granadeiro, J. P., Alonso, H., Almada, V., Menezes, D., Phillips, R. A., & Catry, P.** 2009. Mysterious attendance cycles in Cory's shearwater, *Calonectris diomedea*: an exploration of patterns and hypotheses. *Animal Behaviour*, 78(6), 1455-1462.
- Granadeiro, J. P., Phillips, R. A., Brickle, P., & Catry, P.** 2011. Albatrosses following fishing vessels: how badly hooked are they on an easy meal? *Plos One*, 6(3), e17467.
- Hamer, K., & Read, H.** 1987. Patterns of return to land in a colony of Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* on Selvagem Grande. *Seabird*, 10, 3-11.
- Hamer, K. C., Hill, J. K., & Scott, I.** 1999. Chick provisioning and parental attendance in Cory's shearwaters: implications for nestling obesity. *Journal of Avian Biology*, 309-315.
- Harris, M. P.** 1984. Movements and mortality patterns of North Atlantic Puffins as shown by ringing. *Bird Study*, 31(2), 131-140.
- Harris, M. P.** 1966. Age of return to the colony, age of breeding and adult survival of Manx Shearwaters. *Bird Study*, 13(1), 84-95.
- Hatch, S. A., & Hatch, M. A.** 1989. Attendance patterns of murres at breeding sites: implications for monitoring. *The Journal of Wildlife Management*, 483-493.
- Hernández-León, S., Almeida, C., Yebra, L., Arístegui, J., Fernández de Puelles, M. L., & García-Braun, J.** 2001. Zooplankton abundance in subtropical waters: is there a lunar cycle? *Scientia Marina*, 65(S1), 59-64.
- Hernández-León, S.** 2008. Natural variability of fisheries and lunar illumination: a hypothesis. *Fish and Fisheries*, 9(2), 138-154.
- Hervías, S., Henriques, A., Oliveira, N., Pipa, T., Cowen, H., Ramos, J.A., Nogales, M., Geraldes, P., Silva, C., Ruiz de Ybáñez, R. and Oppel, S.** 2013. Studying the effects of multiple invasive mammals on Cory's shearwater nest survival. *Biological Invasions* 15: 143-155.
- Jouanin, C., Roux, F., & Mougín, J. L.** 1989. Cycles d'affluence des Puffins cendrés (*Calonectris diomedea borealis*) à Selvagem Grande. *Oiseau et la Revue Française d'Ornithologie*, 59(2), 152-168.
- Jouanin, C., Roux, F., Mougín, J. L., & Stahl, J. C.** 2001. Prelaying exodus of Cory's shearwaters (*Calonectris diomedea borealis*) on Selvagem Grande. *Journal für Ornithologie*, 142(2), 212-217.
- Klomp, N. I., & Furness, R. W.** 1992. Patterns of chick feeding in Cory's shearwaters and the associations with ambient light. *Colonial Waterbirds*, Vol. 15, No. 1.95-102.
- Lack, D. L.** 1968. Ecological adaptations for breeding in birds. Methuen, London.
- Lecoq, M., Ramírez, I., Geraldes, P., & Andrade, J.** 2011. First complete census of Cory's Shearwaters *Calonectris diomedea borealis* breeding at Berlengas Islands (Portugal), including the small islets of the archipelago. *Airo*, 21, 31-34.
- Linkowski, T. B.** 1996. Lunar rhythms of vertical migrations coded in otolith microstructure of North Atlantic lanternfishes, genus *Hygophum* (Myctophidae). *Marine Biology*, 124(4), 495-508.
- Louzao, M., Hyrenbach, K. D., Arcos, J. M., Abelló, P., Sola, L. G. D., & Oro, D.** 2006. Oceanographic habitat of an endangered Mediterranean procellariiform: implications for marine protected areas. *Ecological Applications*, 16(5), 1683-1695.
- Mackley, E. K., Phillips, R. A., Silk, J. R., Wakefield, E. D., Afanasyev, V., & Furness, R. W.** 2011. At-sea activity patterns of breeding and nonbreeding white-chinned petrels *Procellaria aequinoctialis* from South Georgia. *Marine Biology*, 158(2), 429-438.
- Magalhães, M. C., Santos, R. S., & Hamer, K. C.** 2008. Dual-foraging of Cory's shearwaters in the Azores: feeding locations, behaviour at sea and implications for food provisioning of chicks. *Marine Ecology Progress Series*, 359, 283.
- Mann, K. H., & Lazier, J. R. N.** 2006. Variability in ocean circulation: its biological consequences. *Dynamics of Marine Ecosystems, Third Edition*, Wiley Online Library 337-389.
- Martin, J. L., J. C. Thibault, and V. Bretagnolle.** 2000. Black rats, island characteristics, and colonial nesting birds in the Mediterranean: consequences of an ancient introduction. *Conservation Biology* 14:1452-1466.

- McDowall, R. M.** 1970. Lunar rhythms in aquatic animals: A general review. Fisheries Research Division, Marine Department. Wellington.
- McNeil, R., Drapeau, P., & Pierotti, R.** 1993. Nocturnality in colonial waterbirds: occurrence, special adaptations, and suspected benefits. *Current Ornithology* (pp. 187-246). Springer US.
- Mougeot, F., & Bretagnolle, V.** 2000. Predation risk and moonlight avoidance in nocturnal seabirds. *Journal of Avian Biology*, 31(3), 376-386.
- Mougin J. L. & Jouanin C.** 1997. Prospection alimentaire du puffin cendre *Calonectris diomedea borealis* de Selvagem Grande (30° 09' N, 15° 52' W) pendant l'incubation, par telemetrie satellitaire. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 320, 825-83
- Mougin, J. L., Jouanin, C. H. R., & Roux, F.** 1997. Intermittent breeding in Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* of Selvagem Grande, North Atlantic. *Ibis*, 139(1), 40-44.
- Mougin, J. L., Jouanin, C., & Roux, F.** 2000. The attendance cycles of the Cory's Shearwater *Calonectris diomedea borealis* on Selvagem Grande. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie*, 323(4), 385-390.
- Mougin, J. L., Jouanin, C., & Roux, F.** 2002. Inexperienced birds and breeding in the Cory's Shearwater (*Calonectris diomedea*). *Journal für Ornithologie*, 143(1), 57-63.
- Munilla, I., Genovart, M., Paiva, V. H., & Velando, A.** 2016. Colony Foundation in an Oceanic Seabird. *PloS One*, 11(2), e0147222.
- Navarro J., & González-Solís, J.** 2009. Environmental determinants of foraging strategies in Cory's shearwaters *Calonectris diomedea*. *Marine Ecology Progress Series*, 2009, vol. 378, 259-267.
- Navarro, J., González-Solís, J., & Viscor, G.** 2007. Nutritional and feeding ecology in Cory's shearwater *Calonectris diomedea* during breeding. *Marine Ecology Progress Series*, 351, 261-271.
- Paiva, V. H., Geraldes, P., Ramirez, I., Meirinho, A., Garthe, S., & Ramos, J. A.** 2010a. Oceanographic characteristics of areas used by Cory's shearwaters during short and long foraging trips in the North Atlantic. *Marine Biology*, 157(6), 1385-1399.
- Paiva, V. H., Xavier, J., Geraldes, P., Ramirez, I., Garthe, S., & Ramos, J. A.** 2010b. Foraging ecology of Cory's shearwaters in different oceanic environments of the North Atlantic. *Marine Ecology Progress Series*, 410, 257-268.
- Phalan, B., Phillips, R. A., Silk, J. R., Afanasyev, V., Fukuda, A., Fox, J., & Croxall, J. P.** 2007. Foraging behaviour of four albatross species by night and day. *Marine Ecology Progress Series*, 271-286.
- Piatt, J. F., Wells, J. L., MacCharles, A., & Fadely, B.** 1990. The distribution of seabirds and their prey in relation to ocean currents in the southeastern Chukchi Sea. *Canadian Wildlife Service Occasional Papers*, 68, 21-31.
- Ramirez I., Geraldes P., Meirinho A., Amorin P., Paiva V.** 2008. Areas Marinhas Importantes para as Aves em Portugal. Projecto LIFE04NAT/PT/000213. Sociedade Portuguesa Para o Estudo das Aves. Lisboa.
- Ramos J.A., Monteiro L.R., Sola E., Moniz Z.** 1997. Characteristics and competition for nest cavities in burrowing procellariiformes. *Condor* 99:634-641.
- Ricklefs, R. E.** 1983. Some considerations on the reproductive energetics of pelagic seabirds. *Studies in Avian Biology*, 8, 84-94.
- Ricklefs, R. E.** 1984. Meal sizes and feeding rates of Christmas shearwaters and Phoenix petrels on Christmas Island, Central Pacific Ocean. *Ornis Scandinavica*, 16-22.
- Riou, S., & Hamer, K. C.** 2008. Predation risk and reproductive effort: impacts of moonlight on food provisioning and chick growth in Manx shearwaters. *Animal Behaviour*, 76(5), 1743-1748.
- Rubolini, D., Maggini, I., Ambrosini, R., Imperio, S., Paiva, V. H., Gaibani, G., & Cecere, J. G.** 2015. The effect of moonlight on scopoli's shearwater *Calonectris diomedea* colony attendance patterns and nocturnal foraging: a test of the foraging efficiency hypothesis. *Ethology*, 121(3), 284-299.
- Schaffner, F. C.** 1990. Food Provisioning by White-Tailed Tropicbirds: Effects on the Developmental Pattern of Chicks. *Ecology*, 71(1), 375-390.
- Thibault, J. C., & Bretagnolle, V.** 1997. A Mediterranean breeding population of Cory's Shearwater which shows behavioral and biometrical characters of the Atlantic subspecies. *Ibis*, 140, 523-528.
- Thibault, J.C.** 1994. Nest-site tenacity and mate fidelity in relation to breeding success in Cory's Shearwater *Calonectris diomedea*. *Bird Study* 41: 25-28.
- Watanuki, Y.** 1986. Moonlight avoidance behavior in Leach's Storm-Petrels as a defense against Slaty-backed Gulls. *The Auk*, 14-22.
- Weidinger, K.** 1996. Patterns of colony attendance in the cape petrel *Daption capense* at Nelson Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Ibis*, 138(2), 243-249.

- Weimerskirch, H., Chastel, O., Ackermann, L., Chaurand, T., Cuenot-Chaillet, F., Hindermeier, X., & Judas, J.** 1994. Alternate long and short foraging trips in pelagic seabird parents. *Animal Behaviour*, 47(2), 472-476.
- Weimerskirch, H., Guionnet, T., Martin, J., Shaffer, S. A., & Costa, D. P.** 2000. Fast and fuel efficient? Optimal use of wind by flying albatrosses. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 267(1455), 1869-1874.
- Weimerskirch, H.** 2007. Are seabirds foraging for unpredictable resources? *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 54(3), 211-223.
- Wilhelm, S. I., & Storey, A. E.** 2002. Influence of cyclic pre-lay attendance on synchronous breeding in common murre. *Waterbirds*, 25(2), 156-163.
- Yamamoto, T., Takahashi, A., Yoda, K., Katsumata, N., Watanabe, S., Sato, K., & Trathan, P. N.** 2008. The lunar cycle affects at-sea behaviour in a pelagic seabird, the streaked shearwater, *Calonectris leucomelas*. *Animal Behaviour*, 76(5), 1647-1652.
- Zimmer, I., Ropert-Coudert, Y., Kato, A., Ancel, A., & Chiaradia, A.** 2011. Does foraging performance change with age in female little penguins (*Eudyptula minor*)? *PLoS One*, 6(1), e16098.
- Zino, F.; Hounsom, M. V.; Buckle, A. P.; Biscoito, M.** 2008. Was the removal of rabbits and house mice from Selvagem Grande beneficial to the breeding of Cory's shearwaters *Calonectris diomedea borealis*? *Oryx* 42: 151-154.

#### **Direcciones web citadas**

**Movable Type Scripts.** <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>. Último acceso 12 de junio de 2016

**The United States Naval Observatory (USNO):**

<http://aa.usno.navy.mil/data/docs/MoonFraction.php> Último acceso 25 de mayo de 2016

[http://aa.usno.navy.mil/data/docs/Dur\\_OneYear.php](http://aa.usno.navy.mil/data/docs/Dur_OneYear.php) Último acceso 25 de mayo de 2016

**NASA Ocean Color.** <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/> Último acceso 25 de mayo de 2016