



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencias Ambientales

Condición corporal del calderón de aleta corta
(*Globicephala macrorhynchus*) en el Suroeste de
Tenerife a partir de fotogrametría.

Body condition of the short-finned pilot whale
(*Globicephala macrorhynchus*) in the Southwest of
Tenerife from photogrammetry.

Autor/es

Marta Lapuyade Foj

Director/es

Natacha Aguilar de Soto
Patricia Arranz Alonso

Ponente

Ernesto Pérez Collazos

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis dos directoras Natacha Aguilar de Soto y Patricia Arranz Alonso la realización de este trabajo, ya que sin su ayuda, profesionalidad y dedicación no habría sido posible. También agradecer a Ernesto Pérez Collazos su preocupación y atención para la realización del mismo. En segundo lugar, agradecer también a Whale Wise Ecotours, a Ana Montañés y a Maria Glarou, por la realización de la metodología de este trabajo.

Por último, agradecer a mi familia por su apoyo incondicional para motivarme y seguir adelante con este y todos los proyectos que me propongo realizar. También a mis amigas y amigos, que siempre están acompañándome, ya sea a distancia en Huesca, como a los que me han ayudado en mi llegada a estas maravillosas islas.

Justificación de formato

El presente trabajo se realizó en la isla de Tenerife (Islas Canarias) durante una estancia SICUE de 5 meses. Este TFG fue presentado y defendido el día 15 de julio de 2021. De acuerdo a la normativa de la Universidad de La Laguna fue calificado como aprobado.

Este trabajo se ha realizado en formato artículo, ya que su objeto final es la publicación del mismo en una revista científica. De esta manera, toda la información recogida en el mismo se expone de manera sintetizada y los apartados son los correspondientes a dicho formato.

RESUMEN

La estima de la condición corporal de los animales es fundamental para monitorizar el estado de salud de sus poblaciones. Debido a la dificultad de medir animales salvajes de gran tamaño, la condición corporal de cetáceos en libertad ha sido poco estudiada. En el presente estudio registramos video de alta calidad en 4K con un vehículo aéreo no tripulado o dron (DJI Inspire 1 Profesional equipado con cámara Zenmuse) para obtener imágenes aéreas cenitales de ejemplares de calderón tropical (*Globicephala macrorhynchus*) en su hábitat natural en el Suroeste de Tenerife, con el objetivo de estimar la longitud absoluta de los individuos así como su condición corporal. La estima de la longitud y amplitud de cada individuo (en píxeles) se realizó con el programa paint.net; su condición corporal fue estimada a partir de la división de su amplitud entre su longitud. Se realizaron un total de 5 vuelos, con una duración total de 13 min y 10 s, en los que se registraron un total de 8 individuos. La longitud media de los animales fue 3,1 m (SD = 1,18, rango = 2,35 - 5,83). La amplitud media, medida justo por detrás de la aleta dorsal, de los animales fue 0,5 m (SD = 0,42, rango = 0,32 - 1,54). La calidad de las imágenes se evaluó utilizando una escala del 1 al 3 (de mejor a peor calidad), siendo el 25% de calidad 1, 50% de calidad 2 y 25% de calidad 3. La media del índice de condición corporal fue de 0,15 (SD = 0,016, rango 0,13 - 0,27), siendo la talla media de los individuos con índice corporal por encima de la media de (N = 6) 2,57 m, mientras que los animales con índice corporal por debajo de la media tuvieron una talla media de 4,65 m (N = 2). Los resultados indican que, los individuos de menor tamaño poseen un mayor índice de condición corporal y en general éste disminuye con el desarrollo a estado adulto del individuo, en relación a los costes derivados de la reproducción, alimentación y/o cuidado alop parental en los individuos adultos. El estudio a largo plazo de la condición corporal de los individuos, permitirá monitorizar el estado de conservación de esta población, así como su comparación con poblaciones existentes en zonas con menor actividad humana, a efectos de identificar posibles factores de impacto.

Palabras clave: cetáceo, longitud, amplitud, población, conservación.

ABSTRACT

Estimating the body condition of animals is essential to monitor the health status of their populations. Due to the difficulty of measuring large wild animals, the body condition of cetaceans in the wild has been little studied. In this study, we recorded high-quality 4K video with an unmanned aerial vehicle or drone (DJI Inspire 1 Professional equipped with a Zenmuse camera) to obtain aerial images of tropical pilot whales (*Globicephala macrorhynchus*) in their natural habitat in the Southwest de Tenerife, in order to estimate the absolute length of the individuals as well as their body condition. The estimation of the length and amplitude of each individual (in pixels) was carried out with the paint.net program; its body condition was estimated from the division of its amplitude by its length. A total of 5 flights were made, with a total duration of 13 min and 10 s, in which a total of 8 individuals were recorded. The mean length of the animals was 3.1 m (SD = 1.18, range = 2.35 - 5.83). The mean amplitude, measured just behind the dorsal fin, of the animals was 0.5 m (SD = 0.42, range = 0.32 - 1.54). The quality of the images was evaluated using a scale from 1 to 3 (from best to worst quality), with 25% being quality 1, 50% being quality 2 and 25% being quality 3. The mean body condition index was of 0.15 (SD = 0.016, range 0.13 - 0.27), with the mean height of individuals with a body index above the mean of (N = 6) 2.57 m, while the animals with Body index below the mean had a mean height of 4.65 m (N = 2). The results indicate that smaller individuals have a higher body condition index and in general this decreases with the development to an adult state of the individual, in relation to the costs derived from reproduction, food and / or alloparental care in individuals adults. The long-term study of the body condition of individuals will allow monitoring the conservation status of this population, as well as its comparison with existing populations in areas with less human activity, in order to identify possible impact factors.

Key words: cetacean, length, amplitude, population, conservation.

1. INTRODUCCIÓN

La información que nos proporciona la medida de la condición corporal de un animal es fundamental para realizar un seguimiento del estado de salud de una población (Noren et al. 2019). Ésta condiciona tanto a su supervivencia, como al éxito reproductivo, influyendo en su dinámica y, por tanto, en su estado de conservación (Altmann et al. 1993; French et al. 2011; Hilderbrand et al. 1999; Dobson 1992, Wauters & Dhondt 1995, Sæther 1997).

La condición corporal de un animal está directamente relacionada con sus reservas energéticas (Noren et al. 2019). Las reservas energéticas permiten a un animal ser más resiliente y sobrevivir frente a amenazas o condiciones estresantes (Gaillard et al. 2000, Cook et al. 2004, Clutton-Brock & Sheldon 2010) y tener una mayor tasa reproductiva (Cameron et al. 1993), entre otros.

La condición corporal de los cetáceos es poco conocida, debido a las limitaciones que presenta tomar medidas de animales marinos en libertad. La condición corporal en cetáceos en libertad ha sido estudiada en la última década en ballenas (Christiansen et al. 2016a, 2018; Durban et al. 2016; Miller et al. 2012; Perryman & Lynn 2002). En este ámbito, se han realizado estudios con ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) a partir de fotografías aéreas tomadas con un vehículo aéreo no tripulado (UAV), utilizando métodos fotogramétricos para medir su condición corporal (Christiansen et al. 2016b). Noren et al. (2019) realizó un estudio siguiendo esta misma metodología con calderón de aleta larga (*Globicephala melas*) en cautividad, a partir de la medida de la relación entre el largo y ancho del cuerpo como base de medida de la condición corporal.

Las ballenas son consideradas reproductores 'capitales' porque la energía utilizada en la reproducción es almacenada en el cuerpo durante la época de alimentación (Christiansen et al. 2016a). En estos grupos, el perímetro corporal y anchura, se

considera un buen indicador de la condición corporal del animal, ya que la energía se acumula mayormente en forma de grasa así como en varios órganos y tejidos (Lockyer 1986, 1987a, 1987b; Vikingsson 1995, Næss et al. 1998, Miller et al. 2011, Christiansen et al. 2013).

Los cetáceos odontocetos han recibido menos atención y la estima de su condición corporal ha sido menos estudiada. Los cetáceos odontocetos acumulan energía de forma estacional como las ballenas, porque se alimentan a lo largo del año, y por ello la estima de la condición corporal debe realizarse por otros medios. La validación de las técnicas fotogramétricas en odontocetos se ha realizado en calderón de aleta larga en cautividad, siendo relevantes las medidas realizadas justo después de la aleta pectoral, y justo antes y después de la dorsal. Las medidas realizadas en el pedúnculo caudal son altamente variables debido al error que ocasiona el agua y por ello no son utilizadas (Noren et al. 2019). Además, las medidas obtenidas mediante métodos fotogramétricos deben ser precisas, y para ello el contorno del cuerpo del animal debe ser completamente visible (Christiansen et al. 2016b), lo cual no siempre es fácil de conseguir en cetáceos de pequeño tamaño.

En Canarias se encuentran poblaciones de calderón de aleta corta o tropical (*Globicephala macrorhynchus*), siendo de especial relevancia la población residente en el suroeste de Tenerife (Heimlich-Boran 1993; Servidio 2014). Esta población es de gran importancia mundial, ya que sólo se conocen poblaciones residentes de esta especie en el archipiélago canario (Heimlich-Boran 1993), Japón (Kasuya & Tai 1993), California y Hawaii (Olson & Reilly 2002).

El calderón de aleta corta se clasifica dentro de los cetáceos de mediano tamaño, 6 m de longitud y hasta 2700 kg de peso máximo (Kasuya & Matsui 1984). Los calderones se caracterizan por su cuerpo alargado y robusto, y por su cabeza

bulbosa. Presentan un pedúnculo caudal desarrollado, que se eleva en superficie cuando proceden a la inmersión. Este pedúnculo potencia su también desarrollada cola triangular y podría tener relación con su característico comportamiento de buceo en profundidad (Aguilar de Soto et al. 2008). Este tipo de cetáceos se caracterizan por un claro dimorfismo sexual: los machos pueden llegar a crecer hasta 1,3 veces de longitud y 2,1 veces en masa corporal respecto a las hembras. Mientras que los machos pueden alcanzar tamaños de entre 7,2 m en el norte de Japón y 5,25 m en el sur de Japón; las hembras varían entre tamaños de 5,3 a 4,1 m en las mismas zonas, respectivamente (Kasuya et al.1988). Los morfotipos de estos animales encontrados en Canarias indican que son más similares a los encontrados en el sur de Japón (Aguilar de Soto 2006). Las crías del calderón de aleta corta nacen con 1,4 m de longitud aproximadamente y 37 kg de peso. En relación con el tamaño corporal, la cabeza bulbosa es similar tanto en machos como en hembras, en cambio, los machos que alcanzan la madurez completa pueden adquirir cabezas mucho más grandes (Yonekura et al. 1980), así como músculos dorsales que facilitan la identificación sexual en el mar.

El patrón de coloración en los calderones de aleta corta es muy característico y depende de la edad. Mientras que los individuos jóvenes presentan una coloración parduzca o gris oscuro, ésta se vuelve negro azabache o gris oscuro con el paso de los años. En la parte ventral del cuerpo presentan una mancha más clara en forma de ancla, que en las hembras se extiende alrededor de las mamas (Yonekura et al. 1980). Según diversos estudios, tanto las diferencias morfológicas que presenta la especie descritas anteriormente, como las observaciones acerca de su comportamiento, permiten diferenciar cinco clases de edad/sexo: macho adulto, hembras, adultos indeterminados, juveniles y crías o neonatos. En el estudio de Kasuya & Matsui (1984), los datos proceden de varamientos de esta especie, en la Costa del Pacífico en Japón, donde se recolectaron datos de 373 hembras y 170 machos de *Globicephala macrorhynchus*, durante 8 meses. La edad máxima alcanzada por las hembras fue de 62 años y la de los machos de 45 años. Las hembras muestreadas alcanzaron una talla de 3,64 m a los 22 años; mientras que los machos llegaron a los 4,74 m a los 27 años; alcanzando ambos sexos la madurez sexual a los 9 años. Hasta alcanzar dicha madurez, los juveniles hembras tienen una longitud que varía de los 2,48-3,22 m, y los juveniles macho de los 2,54-3,44 m. En el caso de las crías, se obtuvo una talla media a los 1,25 años de 2,30 m

(Kasuya & Matsui 1984). Los grupos sociales de esta especie siguen una organización social jerarquizada de tipo matrilineal (Heimlich-Boran 1993) y presentan cuidado alop parental (Aguilar de Soto 2006; Alves et al. 2013; Heimlich-Boran 1993).

El calderón de aleta corta es una especie teutófaga, se alimenta de calamares pelágicos y también de peces y crustáceos mesopelágicos. Sin embargo, su alimentación puede variar dependiendo de la situación geográfica, tanto en frecuencia como en abundancia de presas (Aguilar de Soto 2006).

Los cetáceos están protegidos por la legislación regional, nacional e internacional (Convenio de Bonn, Berna, CITES, Directiva Hábitat, Catálogo Nacional y Canario de especies protegidas) (Gobierno de Canarias 2021). Sin embargo, la información existente sobre el comportamiento básico de muchos cetáceos de buceo profundo es muy limitada. Además, desarrollan una estrategia vital de baja tasa reproductiva y elevada longevidad (Evans 1987). Esto, sumado a que algunas especies bucean al límite de sus capacidades fisiológicas, las convierte en extremadamente vulnerables a impactos antrópicos.

En el suroeste de Tenerife, el calderón tropical está sujeto a una intensa actividad de avistamiento comercial desde la década de los 90 (Hoyt 2002). Esto determina que los barcos pasen una gran parte del tiempo cerca de los animales. Recientemente, Sprogis et al. (2020) demostraron que el ruido generado por las embarcaciones es la causa principal de impacto en los cetáceos. El ruido generado por las embarcaciones tiene la capacidad de reducir en un 29% el tiempo de descanso de las hembras y en un 80% el tiempo de amamantamiento de las crías, lo cual puede tener consecuencias en la supervivencia de la población (Arranz et al. 2021).

El presente trabajo es pionero en cuanto a la metodología llevada a cabo nunca antes para el calderón de aleta corta. Es por ello, que tendrá una gran relevancia para futuras investigaciones en la conservación de dicha especie.

2. OBJETIVO

El presente estudio tiene como objetivo desarrollar un protocolo de campo para estimar la condición corporal del calderón de aleta corta en libertad mediante técnicas fotogramétricas no invasivas. Ésto es útil para el monitoreo a largo plazo del estado de salud de la población.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio comprende el canal Tenerife - La Gomera, declarado Lugar de Interés Comunitario (LIC ES-7020017) por la Unión Europea, en aplicación de la Directiva Hábitat.

La topografía de la zona se compone de una plataforma insular de escasa amplitud, que da lugar a un talud escarpado cercano a costa, hasta 1000 m de profundidad. El canal Tenerife - La Gomera se caracteriza por ser más profundo en su extremo sur, llegando hasta los 2000 m, mientras que en el extremo norte sólo alcanza los 1200 m (Aguilar de Soto 2006).

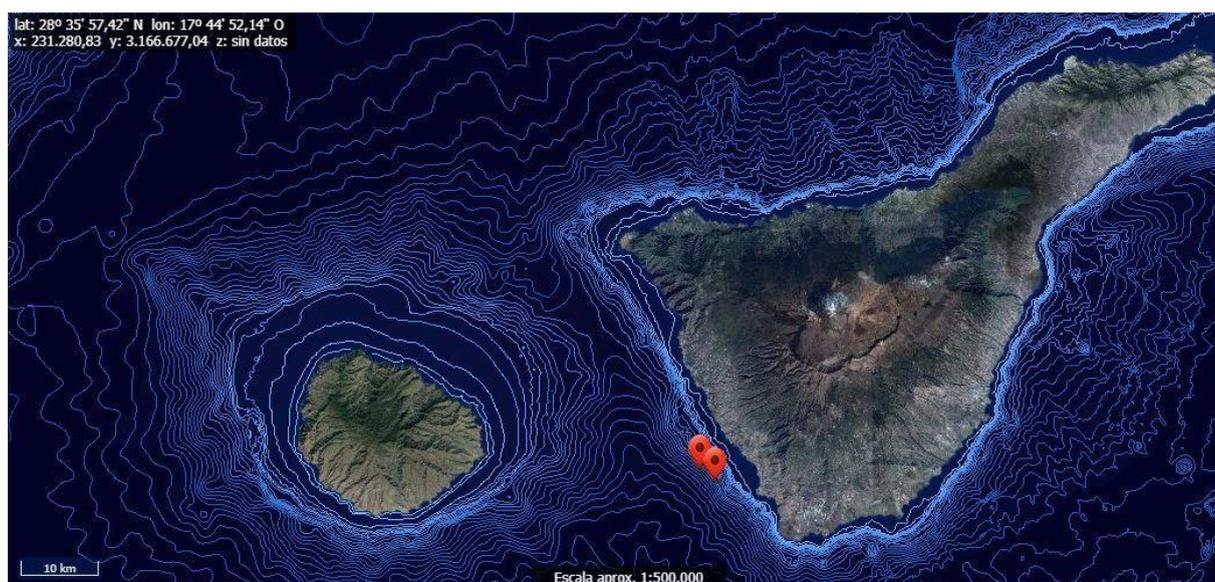


Figura 1. Captura extraída del mapa batimétrico del Sistema de Información Territorial de Canarias-IDE Canarias con los puntos marcados de las localizaciones de los vuelos. Gobierno de Canarias. Instituto Español de Oceanografía (<https://visor.grafcan.es/visorweb/#>)

Vehículo aéreo no tripulado

La captura de imágenes aéreas de los animales se realizó mediante un vehículo aéreo no tripulado o dron. El dron, modelo Inspire 1 profesional (3400 g de peso con batería, hélices y cámara) lleva incorporado una cámara Zenmuse X5S, con objetivo Olympus M. Zuiko 25 mm/1.8, distancia focal de 25 mm, sensor Micro 4/3 y con un tamaño de píxel de 3,4 μm . Los vuelos se realizaron desde las embarcaciones ESIEL (11,28 m eslora) y PUNTA BALLENA (5,98 m eslora). El dron se lanzó y recogió en la popa de la embarcación desde la mano de un operador. La persona encargada del despegue y aterrizaje, iba equipada con casco, guantes y gafas protectoras (Figura 2).

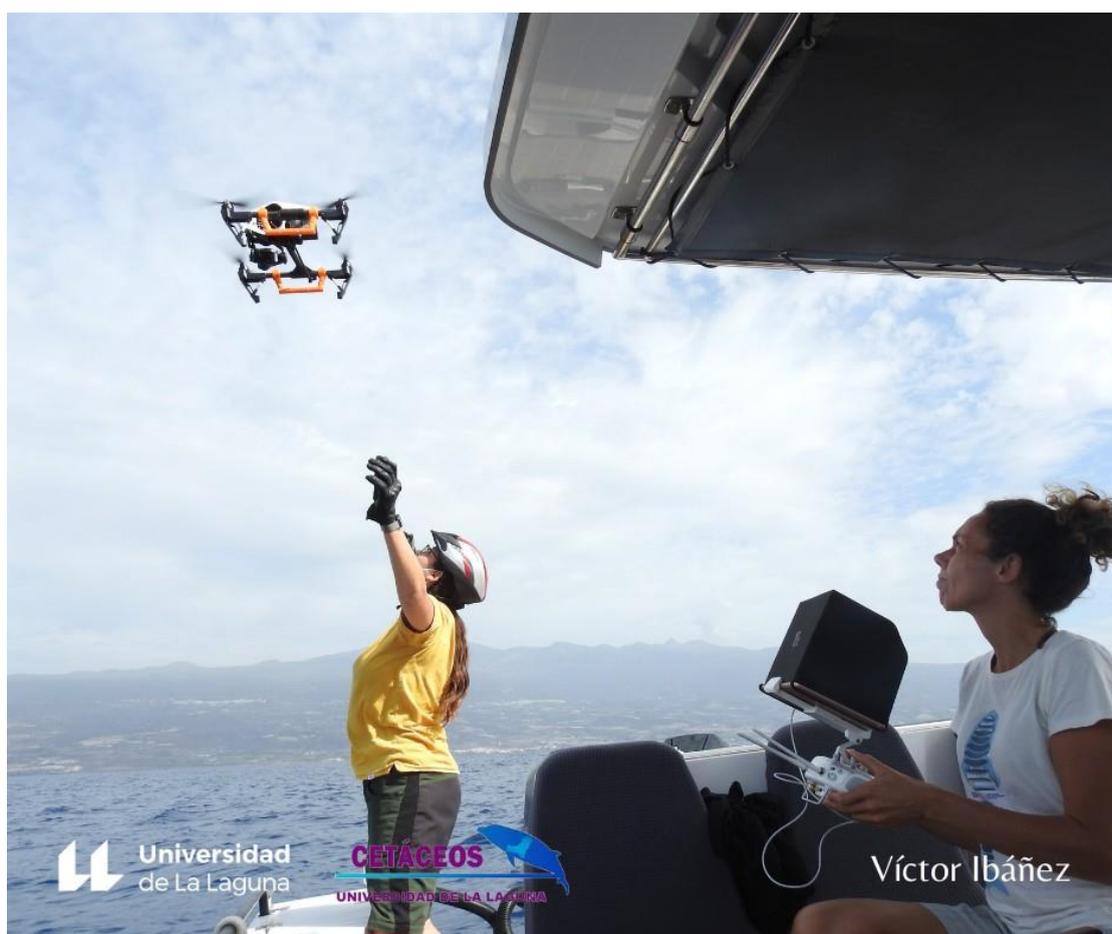


Figura 2. Imagen donde se muestra la equipación utilizada para el lanzamiento y recogida del dron (guantes, gafas protectoras y casco) desde la embarcación ESIEL. Fotografía tomada con permiso de MITECO y Gobierno de Canarias, propiedad BIOECOMAC - ULL.

El dron se mantuvo en todo momento a menos de 400 m del barco para mantener el contacto visual con el mismo. El operador utilizó un ipad 6a generación para visualizar la cámara y operar el dron a través del control remoto y el APP DJI GO (<https://www.dji.com/es/downloads/djiapp/dji-go-4>). La altura mínima de vuelo fue de 30 m, para minimizar molestias a los animales producidas por el ruido generado por la rotación de las hélices (Christiansen et al. 2016). Una vez se localizaron los animales, la cámara se dispuso en un ángulo perpendicular a la superficie del agua, para grabar a los animales en posición cenital. Además, se tomaron imágenes con cámara de mano (Canon 60D con lente de 300 mm) para la fotoidentificación de los animales y descartar que fueran los mismos individuos. El piloto del dron posee un certificado nivel avanzado de vehículo aéreo pilotado por control remoto (RPA20605OT y RPA20605OP) y licencia de Operador de UAV (Registro # 2020064914) según la Agencia Española de Seguridad y Protección Aérea (AESA). Las imágenes del presente estudio se tomaron con el permiso del Ministerio de Transición Ecológica y Desafío Demográfico (MITECO) (permiso AUTSPP / 41/2020).

Análisis fotogramétrico

Los vídeos fueron registrados el 13 de febrero y el 3 de marzo de 2021, y visualizados con el programa VLC (<https://vlc-media-player.softonic.com/>). Para cada animal se extrajeron 3 fotogramas mediante la función captura de pantalla, con el fin de estimar tanto la longitud como la anchura, minimizando posibles errores intrínsecos de las medidas mediante el promedio de las las 3 imágenes. La elección de los fotogramas se realizó en base a las siguientes premisas: (i) animal en superficie, (ii) lo más estirado posible, (iii) con la cola en posición paralela a la superficie, y (iv) el cuerpo sin arquear. El dron mantuvo la misma altura al sobrevolar los animales y el barco, de modo que este último, de tamaño conocido, se utilizó como escala d para estimar la longitud y amplitud absoluta del animal.

Las medidas de los animales se realizaron utilizando el programa Paint.net (<https://www.getpaint.net/download.html>) con el que trazamos una línea desde el punto central del extremo de la cabeza del animal, hasta el extremo central de la

cola, para medir la longitud total del cuerpo (Figura 3). En el caso de la anchura, y en base a un estudio realizado con esta especie por Noren et al. (2019), medimos el ancho corporal posterior a la aleta dorsal.



Figura 3. Representación de la medida de la longitud y anchura corporal de un individuo (líneas negras formando una cruz), señalando la longitud y anchura medida en píxeles. Elaboración propia mediante el uso del programa Paint.net (<https://paintnet.uptodown.com/windows>).

Las líneas rectas resultantes corresponden a la longitud y anchura del animal en píxeles. La misma operación se repite con la captura de la imagen del barco, extraída del mismo vídeo mientras el dron se mantuvo a la misma altitud sobre el nivel del mar. Conociendo la longitud del barco en píxeles y su longitud real, se aplicó la siguiente fórmula para obtener el tamaño absoluto del animal, en cada una de las réplicas:

$$LRA = \frac{(LRB \times LPA)}{LPB}$$

Donde:

LRA= Longitud/anchura real del animal (m)

LRB= Longitud/anchura real del barco (m)

LPA= Longitud/anchura en la imagen del animal (píxeles)

LPB= Longitud/anchura en la imagen del barco (píxeles)

Dado a la poca precisión del altímetro del dron, cuando éste se encuentra sobre el agua, y para corregir el error asociado, aplicamos un factor de corrección a todas las medidas realizadas. Para esto, se grabó un palo de longitud conocida (1,14 m) junto al barco, para después extraer 3 capturas del vídeo. Seguidamente se procedió a medir los píxeles del objeto conocido y del barco, para estimar la longitud del barco utilizando la fórmula anterior. La diferencia entre la longitud del barco estimada y la real constituye el porcentaje de corrección a aplicar a todas las medidas estimadas para los animales. El vuelo realizado para calcular el % de corrección, solamente se realizó con uno de los barcos (Punta Ballena), pero se asume que es aplicable a las medidas realizadas con ambos barcos (ESIEL y Punta Ballena) dado que la obra muerta de ambos barcos tiene una altura similar sobre el agua. Se utilizó una escala del 1 al 3, en la que 1 es máximo y 3 la mínima calidad, para puntuar la calidad de cada imagen, a partir de los valores medios obtenidos para los parámetros: enfoque (focus), rectitud (straightness), giro (roll), arqueado (arching), inclinación (pitch) y sumersión (submerged) (Tabla 4).

Cálculo del Índice de Condición Corporal

Una vez estimada la longitud y anchura para cada individuo, se calculó el Índice de Condición Corporal (ICC) o Índice de Masa Corporal.

Para calcular el ICC, se aplicó la siguiente fórmula:

$$ICC = \frac{\text{ancho}}{\text{largo}}$$

4. RESULTADOS

Se recogieron un total de 25 imágenes, en 5 vuelos durante 13 min y 10 s de grabación, en los que se muestrearon 8 animales. El tamaño medio de los animales fue de 3,1 m (SD = 1,18, rango = 2,35 - 5,83). En la Tabla 1, quedan recogidos los datos referentes a la longitud y anchura de cada individuo.

Tabla 1. Representación de los datos recogidos. In.ID = numeración del número de individuos muestreados (1-8); Animal.ID.dron = identificación de cada individuo hecha por el dron; Media.animml.long_m = media calculada para las medidas de las longitudes de todas las réplicas realizadas para cada uno de los individuos (en metros); Media.animml.ancho_m = media calculada para las medidas de las amplitudes de todas las réplicas realizadas para cada uno de los individuos (en metros).

Ind.no	Fecha	Media.animml.long_m	Media.animml.ancho_m
1	03 marzo 2021	5,83	1,54
2	03 marzo 2021	3,47	0,38
3	03 marzo 2021	2,44	0,32
4	13 febrero 2021	3,12	0,44
5	13 febrero 2021	2,42	0,33
6	13 febrero 2021	2,57	0,34
7	13 febrero 2021	2,51	0,35
8	13 febrero 2021	2,35	0,32

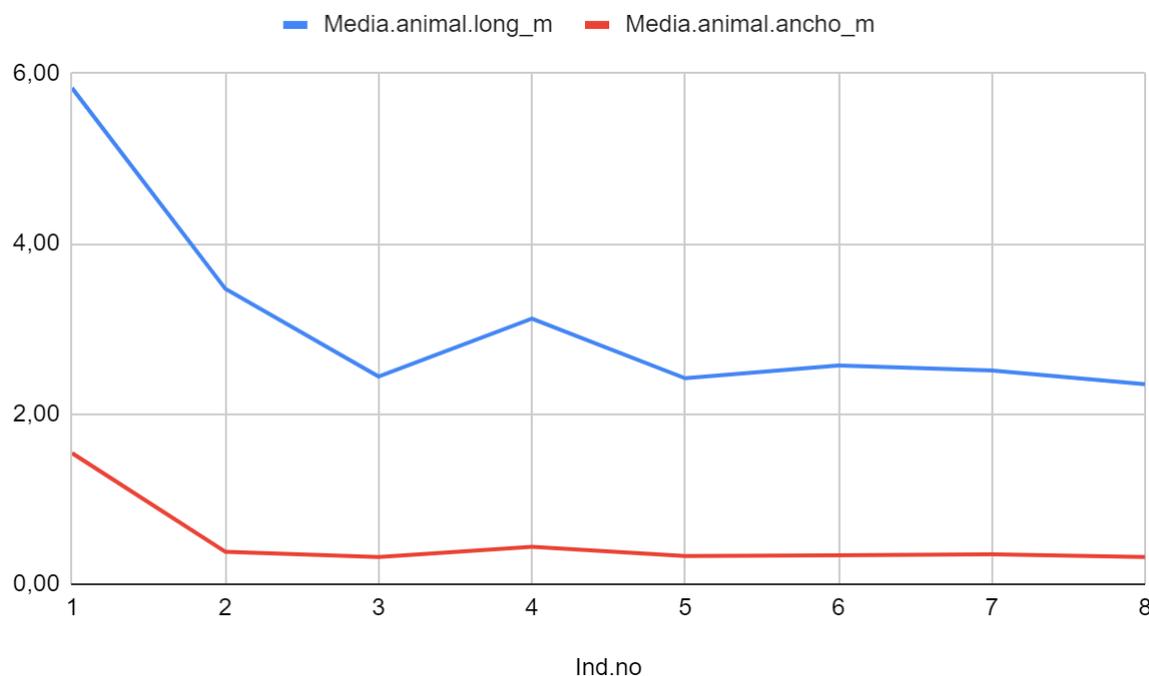


Figura 4. Representación de los valores medios medidos de longitud y anchura para cada individuo. Media.animml.long_m = media calculada para las medidas de las longitudes de todas las réplicas realizadas para cada uno de los individuos (en metros); Media.animml.ancho_m = media calculada

para las medidas de las amplitudes de todas las réplicas realizadas para cada uno de los individuos (en metros).

A continuación, se muestra la tabla con los resultados obtenidos para aplicar el factor de corrección en las mediciones (Tabla 2):

Tabla 2. Representación de los datos utilizados para obtener como resultado el factor de corrección. *Corrector.long_m* = longitud conocida del objeto de corrección (en metros); *Media.corrector.long.pix* = media de la longitud del objeto de corrección (en píxeles); *Media.barco.long.pix* = media de la longitud del barco (PB) (en píxeles); *Barco.long_m* = longitud del barco PB (en metros); *Error.corrección_%* = porcentaje calculado de error de corrección.

Corrector.long_m	Media.corrector.long.pix	Media.barco.long.pix	Barco.long_m	Error.corrección_%
1,14	245,04	1270,36	5,91	1.2

La evaluación de la calidad de las imágenes de cada individuo se recoge en la Tabla 3:

Tabla 3. Representación de todos los valores de los parámetros aplicados para determinar la buena calidad de los datos obtenidos de longitud para cada individuo en ambas fechas y de la media de todos ellos. *In.ID* = numeración del número de individuos muestreados (1-8).

In.ID	Enfoque	Rectitud	Giro	Arqueo	Inclinación	Sumergido	Parámetros de calidad media
1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	
	1	1	1	1	1	1	
2	1	3	1	1	1	2	1,5
	1	3	1	1	1	2	
3	1	3	1	1	1	2	1,5
	1	3	1	1	1	2	
4	2	1	1	1	1	1	1,22
	2	1	1	1	1	1	
	1	1	1	2	1	3	
	1	1	1	2	1	1	
	1	1	1	2	1	1	
	1	2	1	1	1	1	
5	2	1	1	1	1	1	1,33
	3	1	1	1	1	2	

	2	1	1	1	1	2	
6	1	1	1	1	1	1	1,11
	1	1	1	1	1	1	
	2	1	1	1	2	1	
7	2	1	1	1	1	2	1,17
	1	1	1	1	1	1	
	1	2	1	1	1	1	
8	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	
	1	1	1	1	1	1	

Los datos obtenidos para el Índice de Condición Corporal (ICC) de cada individuo quedan recogidos en la siguiente tabla (Tabla 4):

Tabla 4. Representación de todos los resultados obtenidos para el Índice de Condición Corporal (ICC) para cada individuo. In.ID = numeración del número de individuos muestreados (1-8); Media.animal.long_m = media calculada para las medidas de las longitudes de todas las réplicas realizadas para cada uno de los individuos (en metros); Media.animal.ancho_m = media calculada para las medidas de las amplitudes de todas las réplicas realizadas para cada uno de los individuos (en metros); ICC = Índice de Condición Corporal de cada individuo.

In.ID	Media.animal.long_m	Media.animal.ancho_m	ICC
1	5,83	0,78	0,13
2	3,47	0,46	0,13
3	2,44	0,38	0,16
4	3,12	0,51	0,16
5	2,42	0,40	0,17
6	2,57	0,42	0,16
7	2,51	0,43	0,17
8	2,35	0,40	0,17

5. DISCUSIÓN

La metodología utilizada en el presente trabajo permite estimar la condición corporal del calderón tropical. Con un mayor tamaño muestral, se puede evaluar el estado de

salud de la población, así como compararlo con otras poblaciones existentes en zonas menos humanizadas.

Comparando los valores de la longitud corporal de cada animal de este estudio, se obtuvo un tamaño máximo de 5,83 m, siendo inferior al tamaño máximo citado para ejemplares en el norte de Japón (7,2 m) y superior al citado para ejemplares en el sur de Japón (5,25 m). Este ejemplar, teniendo como base los datos recogidos en Kasuya & Matsui (1984), corresponde posiblemente a un macho adulto, con una edad superior a los 27 años. En cuanto a las longitudes < 2,48 m, con una media de 2,4 m (N = 3), pertenecerían a crías. Las longitudes comprendidas entre 2,48-3,44 m, se dedujo que podrían pertenecer tanto a individuos machos como hembras juveniles, con una media de 2,73 m (N = 3). Entre las tallas adultas muestreadas, se obtiene una media de 4,65 m (N = 2). Analizando los resultados obtenidos para las amplitudes de cada animal, siendo las más aptas para evaluar la condición corporal de los individuos, se obtiene una media de 0,62 m (N =2) en el caso de los individuos adultos, de 0,45 m (N =3) para los jóvenes y de 0,39 m (N = 3) para las crías.

A todas las medidas calculadas, se les aplicó un factor de corrección del 1,2 % calculado en base al error estimado para el barco PUNTA BALLENA. Se necesita aplicar este porcentaje por el error que existe de las diferentes alturas sobre el agua tanto del animal, como del barco. Esto es así porque el barco aparece de mayor tamaño del que realmente sería si estuviese a la misma altura que el animal. Este resultado es significativo en cuanto a la precisión de las mediciones corporales efectuadas, ya que aplicándolo a las mismas los resultados se ajustan más a la realidad y se corrigen los posibles errores. Mostramos cómo corregir los errores que tienen lugar utilizando esta metodología, debido a la altura del barco y debido a la calidad de las imágenes, mediante (i) la repetición del mismo individuo en el mismo vuelo y a la misma altura del dron respecto a la superficie; (ii) el empleo de parámetros de calidad para las distintas capturas utilizadas para las mediciones; (iii) corrección del error que supone la altura del barco respecto a la superficie del agua, mediante el uso de un objeto de longitud conocida.

En los valores obtenidos para el ICC a partir de las medidas corporales, se pueden identificar las clases de edades propias de esta especie. Obteniéndose un valor medio de ICC de 0,13 para los individuos de mayor tamaño (adultos), un valor de 0,16 para los animales de tamaño intermedio (juveniles) y un valor de 0,17 para el de menor tamaño (cría). Es de esperar que los animales de menor tamaño tengan almacenadas reservas energéticas que determinen un mayor ICC en crías, mientras que en adultos, estos valores disminuyen por disponer de menos reservas. Esto es debido a que los individuos adultos y hembras lactantes, pierden parte de sus reservas energéticas con los costos de reproducción. Estos costos incluyen la época de lactancia y de búsqueda de pareja, durante las cuales se ve reducida su condición corporal significativamente (Lockyer 1987). Realizando una comparación con estudios anteriores realizados con otras especies, como con ballenas jorobadas (*Megaptera novaeanglie*), se puede comprobar esta disminución de la condición corporal en adultos (Christiansen et al. 2016a; Claridge et al. 2015.; Nielsen et al. 2019). Estos estudios indican que las hembras en época de lactancia deben reducir el consumo energético al máximo, para de esta manera ahorrar energía y poder invertirla en la reproducción, o el crecimiento de las crías. Concretamente, Christiansen et al. (2016a) observaron también un descenso gradual de la condición corporal de ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) maduras (0.027 m² / d; n= 20) y hembras lactantes (0.032 m² / d; n = 31) durante la reproducción. Además, en este estudio no se hallaron diferencias en la condición corporal de los individuos jóvenes (n = 51) y crías (n = 32). Si comparamos los datos diferenciando entre individuos machos y hembras, teniendo en cuenta que las hembras tienen mayor gasto energético durante la etapa de lactancia, se deduce que el ICC de los machos será mayor que el de las hembras adultas. Esto se confirma gracias al claro dimorfismo sexual de la especie, ya que los machos pueden crecer hasta 1,3 veces en longitud y 2,1 veces en masa corporal, respecto a las hembras (Kasuya et al.1988).

En este trabajo se utilizó la medida de la amplitud tomada por detrás de la aleta dorsal, tal y como se indica en Noren et al. (2019). Noren et al. (2019), en su estudio de fotogrametría con calderón de aleta larga, concluye que es el sitio en el que se realizan mediciones consistentes en el ICC, en comparación con los demás lugares examinados (aleta pectoral anterior, aleta dorsal anterior y aleta dorsal posterior). En el caso de las ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*),

Christiansen et al. (2013) obtuvo resultados similares, donde la grasa en las ballenas también se acumula más y por tanto es más representativa del ICC en la zona posterior del cuerpo. En algunas especies se ha visto que la longitud de las hembras está positivamente relacionada con la de las crías (Christiansen et al. 2013). Como los calderones tienen cuidado alop parental, es decir, que otros adultos cuidan y alimentan a las crías, no podemos relacionar el tamaño y el ICC de la madre, con el tamaño y ICC de la cría.

Este es el primer estudio en utilizar AUV para determinar la condición corporal de un cetáceo de buceo profundo (Christiansen et al. 2016b; Dawson et al., 2017; Claridge et al. 2015). Se precisan de más estudios posteriores para cuantificar el estado de conservación de esta población de calderón tropical, así como de otras especies con esta tecnología.

El estudio de la condición corporal en los grandes mamíferos marinos con técnicas no invasivas, es fundamental para la gestión de sus poblaciones y para la conservación de estas especies.

Las áreas protegidas donde se encuentran, deben estar protegidas de perturbaciones de origen antropogénico que puedan perturbar el cuidado materno, crucial para la transferencia de energía y el correcto desarrollo de las crías (Nielsen et al. 2019).

6. CONCLUSIONES

Este estudio demuestra como la fotogrametría puede utilizarse para estimar la condición corporal de calderón tropical utilizando fotografías aéreas tomadas con dron. Este método no invasivo ofrece una herramienta de gran valor para el monitoreo del estado de conservación de las poblaciones de ésta y otras especies de cetáceos odontocetos.

En cuanto a los resultados generales recogidos en este estudio, mediante la medición del ICC, siendo mayores los valores en los individuos jóvenes y crías que en individuos adultos. Se pone de manifiesto la necesidad de extremar las medidas

de conservación para esta población en épocas de reproducción y lactancia.

El desarrollo de este índice de condición corporal a partir de los datos recogidos en este trabajo, sirve como punto de partida para realizar un seguimiento en cuanto al estado de conservación de esta población. Así como también para poder comparar los datos con los de otras poblaciones y contribuir a desarrollar una visión de conservación global para la especie.

7. BIBLIOGRAFÍA

Altmann J, Schoeller D, Altmann S A, Muruthi P, Sapolsky R M. 1993. Body size and fatness of free-living baboons reflect food availability and activity levels. *American Journal of Primatology*, 30(2), 149–161. doi:10.1002/ajp.1350300207

Alves F, Quéroil S, Dinis A, Nicolau C, Ribeiro C, Freitas L, Kaufmann M, Fortuna C. 2013. Population structure of short-finned pilot whales in the oceanic archipelago of Madeira based on photo-identification and genetic analyses: implications for conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, n/a. <https://doi.org/10.1002/aqc.2332>.

Aguilar de Soto N. 2006. Comportamiento acústico y de buceo del calderón (*Globicephala macrorhynchus*) y del zifio de Blainville (*Mesoplodón densirostris*) en las islas Canarias. Implicaciones sobre los efectos del ruido antrópico y de las colisiones con embarcaciones. Universidad de La Laguna, Facultad de Biología. Departamento de Biología Animal. UDI Ciencias Marinas.

Aguilar de Soto N, Johnson M P, Madsen P T, Díaz F, Domínguez I N, Brito A Tyack P. 2008. Cheetahs of the deep sea: deep foraging sprints in short-finned pilot whales off Tenerife (Canary Islands). *Journal of Animal Ecology*, 77, 936-947.

Arranz P, Glarou M, Sprogis K R. 2021. Decreased resting and nursing in short-finned pilot whales when exposed to louder petrol engine noise of a hybrid whale-watch vessel. *Scientific Reports*.

Cameron R D, Smith W T, Fancy S G, Gerhart K L, White R G. 1993. Calving success of female caribou in relation to body weight. *Canadian Journal of Zoology* 71:480–486.

Christiansen F, Rasmussen M, Lusseau D. 2013. Whale watching disrupts feeding activities of minke whales on a feeding ground. *Marine Ecology Progress Series*, 478239–251.

Christiansen F, Vikingsson G A, Rasmussen M H, Lusseau D. 2013. Minke whales maximise

energy storage on their feeding grounds. *Journal of Experimental Biology*, 216: 427–436.

Christiansen F, Rojano-Doñate L, Madsen P T, Bejder L. 2016a. Noise Levels of Multi-Rotor Unmanned Aerial Vehicles with Implications for Potential Underwater Impacts on Marine Mammals. *Frontiers in Marine Science*, 3:277. doi: 10.3389/fmars.2016.00277.

Christiansen F, Dujon A M, Sprogis K R, Arnould J P, Bejder L. 2016b. Noninvasive unmanned aerial vehicle provides estimates of the energetic cost of reproduction in humpback whales. *Ecosphere*, 7(10). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1468>.

Christiansen F, Vivier F, Charlton C, Ward R, Amerson A, Burnell S, Bejder L. 2018. Maternal body size and condition determine calf growth rates in southern right whales. *Marine Ecology Progress Series*, 592: 267–281.

Claridge D, Dunn C, Durban J, Fearnbach H, Perryman W. 2015. National Oceanic and Atmospheric Administration La Jolla United States. 2015, 30 septiembere. Photogrammetry with a Unmanned Aerial System to Assess Body Condition and Growth of Blainville's Beaked Whales. *DTIC*. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1014009>.

Clutton-Brock T, Sheldon B C. 2010. Individuals and populations: the role of long-term, individual-based studies of animals in ecology and evolutionary biology. *Trends in Ecology and Evolution*, 25:562–573.

Cook J G, Johnson B K, Cook R C, Riggs R A, Delcurto T, Bryant L D, Irwin L L. 2004. Effects of summer-autumn nutrition and parturition date on reproduction and survival of elk. *Wildlife Monographs*, 155:1–61.

Dawson S M, Bowman M H, Leunissen E, Sirguy P. 2017. Inexpensive Aerial Photogrammetry for Studies of Whales and Large Marine Animals. *Frontiers in Marine Science*, 4:366. doi: 10.3389/fmars.2017.00366.

Dobson E S. 1992. Body mass, structural size and life history patterns of the Columbian ground squirrel. *American Naturalist*, 140:109–125.

Durban J W, Fearnbach H, Barrett-Lennard L G, Perryman W L, Leroi D J. 2015. Photogrammetry of killer whales using a small hexacopter launched at sea. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3(3), 131–135. doi:10.1139/juvs-2015-0020

Evans P G H. 1987. *The Natural History of Whales and Dolphins*. Oxford, UK: Christopher Helm Ltd. 343 pp.

French S S, González-Suárez M, Young J K, Durham S, Gerber L R. 2011. Human Disturbance

Influences Reproductive Success and Growth Rate in California Sea Lions (*Zalophus californianus*). PLoS One, 6(3), e17686. doi:10.1371/journal.pone.0017686

Gaillard J M, Festa-Bianchet M, Delorme D, Jorgenson J. 2000. Body mass and individual fitness in female ungulates: Bigger is not always better. *Proceedings of the Royal Society London B* 267:471–477.

Gobierno de Canarias (online resource). 2021. <http://www.gobcan.es>

Heimlich-Boran, James R, Clare H. 1993. Social organization of the short-finned pilot whale, *Globicephala macrorhynchus*, with special reference to the comparative social ecology of delphinids.

Hilderbrand G V, Schwartz C C, Robbins C T, Jacoby M E, Hanley T A, Arthur S M, Servheen C. 1999. The importance of meat, particularly salmon, to body size, population productivity, and conservation of North American brown bears. *Canadian Journal of Zoology*, 77(1), 132–138. doi:10.1139/z98-195

Hoyt E. 2002. Whale watching. In: *Encyclopedia of marine mammals* (Ed. By Perrin W F, Würsig B, Thewissen J G M.) pp. 1305-1310. San Diego: Academic Press.

Kasuya T, Matsui S. 1984. Age determination and growth of the short-finned pilot whale off the Pacific coast of Japan. *Scientific Reports of the Whales Research Institute*, 35(35), 57–91.

Kasuya T, Mayashita T, Kasamatsu F. 1988. Segregation of two forms of short finned pilot whales off the Pacific coast of Japan. *Scientific Report Whale Research Institute*, 39:77-90.

Kasuya T, Tai S. 1993. Life history of short finned pilot whale stocks off Japan and a description of the fishery. In: *IWC Special Issue 14: Biology of the Northern Hemisphere Pilot Whales* (Ed. by Donovan G P, Lockyer C H, Martin A R.) pp. 439-476. Cambridge.

Lockyer C. 1986. Body fat condition in northeast Atlantic fin whales, *Balaenoptera physalus*, and its relationship with reproduction and food resource. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43:142–147.

Lockyer C. 1987a. The relationship between body fat, food resource and reproductive energy costs in North Atlantic fin whales *Balaenoptera physalus*. *Symposia of the Zoological Society of London*, 57:343–361.

Lockyer C. 1987b. Evaluation of the role of fat reserves in relation to the ecology of North Atlantic fin and sea whales. Pp: 183–203 in Huntley A C, Costa D P, Worthy G A J, Castellini M A, editors. Approaches to marine mammal energetics. *Special Publication No 1. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, Kansas, USA.*

Miller C A, Reeb D, Best P B, Knowlton A R, Brown M W, Moore M J. 2011. Blubber

thickness in right whales *Eubalaena glacialis* and *Eubalaena australis* related with reproduction, life history status and prey abundance. *Marine Ecology Progress Series*, 438:267–283.

Miller C A, Best P B, Perryman W L, Baumgartner M F, Moore M J. 2012. Body shape changes associated with reproductive status, nutritive condition and growth in right whales *Eubalaena glacialis* and *Eubalaena australis*. *Marine Ecology Progress Series*, 459:135–156.

Niæss A, Haug T, Nilssen E M. 1998. Seasonal variation in body condition and muscular lipid contents in Northeast Atlantic minke whale *Balaenoptera acutorostrata*. *Sarsia*, 83: 211–218.

Nielsen M L K, Sprogis K R, Bejder L, Madsen P T, Christiansen F. 2019. Behavioural development in southern right whale calves. *Marine Ecology Progress Series*, 629:219-234. <https://doi.org/10.3354/meps13125>.

Noren S R, Schwarz L, Chase K, Aldrich K, McMahon-Van Oss K, St Leger J. 2019. Validation of the photogrammetric method to assess body condition of an odontocete, the short-finned pilot whale *Globicephala macrorhynchus*. *Marine Ecology Progress Series*, 620: 185-200. <https://doi.org/10.3354/meps12971>.

Olson P, Reilly S B. 2002. Pilot whales *Globicephala melas* and *Globicephala macrorhynchus*. In: *Encyclopedia of marine mammals* (Ed. by Perrin W F, Würsig B, Thewissen J G M.) pp. 398-903. San Diego: *Academic Press*.

Perryman W L, Lynn M S. 2002. Evaluation of nutritive condition and reproductive status of migrating gray whales *Eschrichtius robustus* based on analysis of photogrammetric data. *Cetacean Research and Management*, 4: 155–164.

Sæther B E. 1997. Environmental stochasticity and population dynamics of large herbivores: a search for mechanisms. *Trends in Ecology and Evolution*, 12:143–149.

Servidio A. 2014. Distribution, social structure and habitat use of short-finned pilot whale, *Globicephala macrorhynchus*, in the Canary Islands. *PhD thesis, St Andrews*.

Sprogis, Kate R, Bejder, Lars H, Daniella C, Fredrik. 2020. Behavioural responses of migrating humpback whales to swim-with-whale activities in the Ningaloo Marine Park, Western Australia. *ScienceDirect*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022098119301194?via%3Dihub>.

Vikingsson G A. 1995. Body condition of fin whales during summer off Iceland. Pp: 361–369 in A. S. Blix, L. Walløe, and Ø. Ulltang, editors. *Whales, seals, fish and man*. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.

Wauters L A, Dhondt A A. 1995. Lifetime reproductive success and its correlates in female Eurasian red squirrels. *Oikos*, 72:402–410.

Yonekura M, Matsui S, Kasuya T. 1980. On the external characters of *Globicephala macrorhynchus* off Taiji, Pacific coast of Japan. *Scientific Report Whale Research Institute*, 32:67-95.