

Facultad de Ciencias
Sección de Biología
Departamento de Biología Marina

Estudio con DTAG de movimientos de calderones de aleta corta *Globicephala macrorhynchus* en el suroeste de Tenerife.

Study with DTAGs of movements of short-finned pilot whales *Globicephala macrorhynchus* off the southwest of Tenerife.



Figura 1. Calderones tropicales de aleta corta, *Globicephala macrorhynchus*, vistos en El Hierro, 24 de mayo 2021
(Autora: Marina Leal Mayne)

Alumna: Marina Leal Mayne
Tutora: Natacha Aguilar de Soto
Fecha: junio 2021

Agradecimientos

Gracias a todas las personas que me han ayudado a llevar a cabo este trabajo. Primeramente, a mis padres por siempre creer en mí, motivarme desde pequeña a perseguir mis pasiones y apoyarme en mis metas para poder llegar a terminar la carrera con la que siempre había soñado, incluso encaminándola ya a el estudio de cetáceos y la investigación del medio marino, mi sueño desde que era una niña pequeña. Gracias a mi hermano también por siempre ser un ejemplo a seguir de perseverancia, fuerza y sobretodo de mantenerse positivos sin importar la situación en la que nos encontremos; y a mi amiga, más bien hermana, Iria, por siempre estar ahí haciéndome saber que nunca estaré sola, apoyarme cada día de mi vida, enseñarme a no darme por vencida nunca y siempre sacar lo mejor de mí.

Gracias a Daniel Miranda por ayudarme a entender el programa QGIS para poder crear los mapas, utilizados en este trabajo; a María Camila por tener paciencia conmigo y enseñarme a auditar las marcas de los calderones en el Matlab con sus códigos de iniciales para clasificar cada sonido y responderme siempre las dudas que tuviera; a Alejandro Escáñez y a todo el equipo que apoyó el trabajo de mar para llevar a cabo el marcaje de los animales para poder recoger los datos durante estos años; a Agnès Torres por ser un apoyo en todo momento, aclararme las ideas cuando más lo necesitaba y por la edición de la fotografía de portada.

Gracias a mi profesora Natacha por dejarme participar en actividades relacionadas con lo que me apasiona, adentrarme en el maravilloso mundo de la biología marina e introducirme al mundo de la investigación en este ámbito.

Y por último gracias a los océanos y las criaturas que habitan en ellos por existir, regalarme cada segundo de emoción que he vivido estos últimos meses y darme inspiración y una motivación en la vida.

Resumen

Los calderones de aleta corta (*Globicephala macrorhynchus*) presentan en el suroeste de Tenerife una de las cinco poblaciones residentes conocidas de la especie en el mundo. Pese a esta importancia, su uso del hábitat en el área es muy desconocido, por lo que nos planteamos este estudio para analizar los movimientos de los animales, recopilando los datos con marcas DTAG. Representamos los recorridos de 5 individuos marcados en 2019 (pw19_078a y b) y 2021 (pw21_062a, b y c). También se analizaron las muestras de sonido del pw21_062a y del pw21_062c para relacionar los zumbidos (indicadores de intentos de captura de presa), hechos por el animal, con sus movimientos geográficos. Se observó que: i) recorren distancias máximas geográficas que ascienden de media 1 km por hora de duración del marcaje, girando frecuentemente hacia las zonas iniciales de ocurrencia; ii) habitan normalmente en aguas con profundidades superiores a los 700 m, llegando a los 2000, iii) sus movimientos son relativamente paralelos a la costa, separándose de la misma cuando lo hacen las isóbatas; iv) durante los movimientos lineales también se alimentan; y v) los animales marcados en un grupo social siguen un patrón general de movimiento geográfico, consistente con su fuerte cohesión social.

Abstract

Short-finned pilot whales (*Globicephala macrorhynchus*) present in the southwest of Tenerife one of the five known resident populations of this specie in the world. Despite this importance, its use of the habitat in the area is still very unknown, so we proposed this study to analyze the movements of the animals, collecting the data with DTAGs. We represented the routes of 5 individuals tagged in 2019 (pw19_078a and b) and 2021 (pw21_062a, b and c). The sound samples from pw21_062a and pw21_062c were also analyzed to relate the buzzes (indicators of prey capture attempts), made by the animal, with its geographic movements. It was observed that: i) they travel maximum geographic distances that average 1 km per hour of tag recording duration, frequently turning towards the initial zones of occurrence; ii) they normally inhabit waters with depths greater than 700 m, reaching 2000, iii) their movements are relatively parallel to the coast, separating from it when the isobaths do; iv) during linear movements they also feed; and v) tagged animals in a social group follow a general pattern of geographic movement, consistent with their strong social cohesion.

Introducción

El suroeste de Tenerife alberga una población de calderón de aleta corta (*Globicephala macrorhynchus*) de relevancia mundial. Esta población se considera residente en el área, ya que se han llevado a cabo estudios de identificación fotográfica que demuestran que hay individuos que se alimentan y crían en esta zona y que se han observado en la misma durante décadas, lo que los convierte en residentes. Además, se han encontrado individuos transeúntes, que solo están de paso por el área (Heimlich-Boran, 1993; Montero López & Martín Martel, 1993; Carrillo & Tejedor, 2002; Servidio, 2014). Esta población es de gran importancia a nivel mundial, debido a que solo se han visto otras poblaciones residentes en Japón (Kasuya & Tai, 1993), Madeira (Alves *et al.*, 2013), California y Hawaii (Olson & Reilly, 2009; Mahaffy, 2012). Los calderones son cetáceos odontocetos de tamaño medio, los individuos de esta especie miden unos 1.4 m al nacer y los que habitan en Canarias pueden alcanzar una talla adulta máxima de 5.25 m los machos y 4.05 m las hembras (Kasuya *et al.*, 1988), con un peso máximo aproximado de 3.600 kg. (Jefferson *et al.*, 1993). Viven en unidades sociales de gran estabilidad y en Tenerife se han observado grupos de un tamaño medio de 12 individuos (Heimlich-Boran, 1993; Marrero Pérez *et al.*, 2016)

Aunque el calderón de aleta corta puede encontrarse en todo Canarias, la zona principal de concentración de la especie en el archipiélago coincide con la Zona de especial Conservación (ZEC) Franja Marina Teno-Rasca (suroeste de Tenerife). Las ZEC son áreas protegidas por la Directiva Europea Hábitats, y se declaran a partir de la denominación de las áreas como Lugar de Interés Comunitario (la franja es el LIC ES-7020017), dentro de la Directiva Hábitat. Este LIC se declaró debido a las poblaciones que alberga de dos especies protegidas: el delfín mular (*Tursiops truncatus*) y la tortuga boba (*Caretta caretta*), además de otros valores ambientales como la población de calderones.

La existencia de una población de cetáceos de buceo profundo, como son los calderones, cerca de la costa, se explica por la escarpada batimetría de la zona. La ZEC Teno-Rasca es característica por su topografía, ya que Tenerife presenta una plataforma insular de escasa amplitud, y se alcanzan grandes profundidades rápidamente. Las cotas batimétricas se distribuyen de forma bastante paralela a la costa hasta alrededor de 1000

m de profundidad. En el canal Tenerife-La Gomera se encuentra un profundo cañón submarino, que es más profundo en su parte sur, donde supera los 2000 m de profundidad a pesar de que las islas están separadas por tan solo 20 millas náuticas. El cañón submarino tiene forma de cuña y asciende hacia el norte del canal, donde encontramos una profundidad máxima de 1200 m (Aguilar de Soto, 2006)

La distribución de avistamientos de calderón de aleta corta en la ZEC no es homogénea. Se ha propuesto que hay una preferencia por los calderones a situarse en torno a la isóbata de 1000 m de profundidad (Heimlich-Boran, 1993; Montero López & Martín Martel, 1993; Carrillo & Tejedor, 2002; Servidio, 2014). La mayor tasa de avistamientos de calderones se ha encontrado en dos zonas profundas localizadas en el sur de la ZEC: frente a Los Cristianos-Puerto Colón y frente a Playa San Juan-Fonsalía (Marrero Pérez *et al.*, 2016). La primera es donde se realiza la actividad más intensa de observación de cetáceos, dada su cercanía a dos importantes puertos recreativos en Puerto Colón y dentro del puerto comercial de Los Cristianos, que albergan muchos barcos de observación de cetáceos profesionales, y muchos barcos recreativos. En la segunda zona de concentración frente a Playa San Juan, la densidad de barcos es mucho menor. Existe una característica común entre ambas zonas de concentración de calderones, y es que son las zonas donde la isóbata de 1000 m se acerca más a costa.

Los estudios de comportamiento de buceo y alimentación de calderones realizados en estas aguas se han realizado utilizando dispositivos DTAGs, capaces de grabar a profundidad, movimientos en los 3 ejes y datos acústicos hasta frecuencias ultrasónicas (Aguilar de Soto *et al.*, 2003, 2008). Estos autores escribieron que los calderones de aleta corta de Tenerife presentan un ciclo de inmersión compuesto por series de buceos seguidas por periodos en superficie de duración variable. Sus inmersiones de alimentación tienen una distribución bimodal de profundidad máxima, dividiéndose así en: profundas (mayores de 500 m) y someras (menores de 500 m). (Aguilar de Soto, 2006). Se ha podido comprobar que los individuos se separan del núcleo de su grupo en superficie para alimentarse a profundidades de hasta 1000 m (Aguilar de Soto, 2006).

Las marcas han podido aportar información sobre la alimentación de los calderones gracias a grabar sonido. Esto es así porque los cetáceos utilizan la audición como su sentido principal, con funciones de comunicación, navegación y detección de presas

(Richardson *et al.*, 1995), por lo que las vocalizaciones que emiten en cada momento son un buen indicador de las actividades que están realizando.

Aunque la ecolocalización es un biosonar que se utiliza para distintas funciones, la más importante es la de búsqueda, localización y discriminación para capturar a las presas.

Al igual que con los murciélagos, y otros estudios de otros cetáceos odontocetos, se interpreta que los chasquidos (clicks) sirven para la búsqueda y discriminación de las presas a distancia, y los zumbidos (buzz) determinan la aproximación e intento de captura. (Aguilar de Soto, 2006; Aguilar de Soto *et al.*, 2008)

Estudiando los datos acústicos y observando la relación de eventos de alta velocidad vertical (“Sprints”) y zumbidos (“buzzes”), se cree que los calderones realizan inmersiones profundas diurnas para cazar presas de consistencia muscular y con alto valor calórico, que incluirían entre otras al calamar gigante (Aguilar de Soto *et al.*, 2008), además de cefalópodos encontrados en sus contenidos estomacales en Canarias, *Todarodes saggitatus* o *Lepidoteuthis Grimaldi*. (Hernández García y Martín, 1994).

Las inmersiones llevadas a cabo por estos animales son diferentes dependiendo de si se hacen durante el día (diurnas) o durante la noche (nocturnas). Se ha podido comprobar que los calderones adultos durante el día llevan a cabo principalmente inmersiones profundas para la alimentación ya que sus inmersiones someras diurnas raramente contienen zumbidos, lo que sugiere que su finalidad no es la de capturar presas, o al menos no con una estrategia de caza que requiera el uso de la ecolocalización. (Aguilar de Soto *et al.*, 2008) . Por el contrario, durante la noche los calderones realizan tanto inmersiones someras como profundas para alimentarse. Esto se ha relacionado con la migración de la capa de reflexión profunda desde las profundidades hacia la superficie por la noche. El comportamiento de alimentación de los calderones explica su afinidad por aguas profundas, en las que se alimentan.

El hecho de que la ZEC Teno Rasca sea idónea para los calderones los hace vulnerables a los impactos antrópicos que se dan en la misma. Al ser el sur de la isla un núcleo turístico, recibe mucho tráfico marítimo comercial (tráfico interinsular), recreativo y relacionado con actividades turísticas. Actualmente podemos encontrar cuatro puertos en el suroeste de Tenerife que albergan a estos barcos de pequeña a gran eslora. Existen barcos de observación comercial de cetáceos, regulados, a los que se suman barcos

privados recreativos que también realizan acercamientos no regulados a los calderones y otros cetáceos. Esto ha sido relacionado con la hipótesis planteada por Asociación Tonina, de que efectivamente este tránsito marítimo puede causar estrés a estos animales, que presentaron niveles elevados de cortisol en comparación a otras zonas de Tenerife en las que no se realizan acercamientos de observación a los calderones (Marrero Pérez *et al.*, 2016)

La información anterior sugiere que la capacidad de carga de la ZEC Teno-Rasca está superada, por lo que es necesario limitar el número de acercamientos, que se relaciona directamente con el número de barcos en el área. Actualmente el sur de la isla tiene un límite de tráfico marítimo marcado por la capacidad de los puertos. Esto podría cambiar porque se ha propuesto un nuevo proyecto, la creación de un nuevo puerto en Fonsalía (entre Playa San Juan y Alcalá), con capacidad de albergar unos 400 barcos adicionales de pequeña y media eslora, además de cinco grandes buques. Es previsible que la construcción de este puerto aumentaría las probabilidades de colisión y de estrés a los calderones, lo que ocurriría en mayor o menor medida dependiendo del uso que hagan del área.

Sabiendo todo esto de ante mano es importante investigar el uso del hábitat de los calderones de esta zona, sus profundidades preferentes para el descanso y para la alimentación, así como los patrones de movimiento dentro de la zona ZEC y el uso de la zona intermedia entre Los Cristianos y la playa San Juan. Para ello, este proyecto realiza los primeros análisis de datos de GPS tomados de calderones de aleta corta.

Objetivos

El objetivo de este trabajo es utilizar datos de marcas DTAG para estudiar los patrones de movimiento de los calderones en el suroeste de Tenerife y testar las siguientes hipótesis:

1. Dado que se ha descrito que los intentos de captura de presas se dan a profundidades medias de 700 metros de noche y 800 metros de día, en las inmersiones profundas, pensamos que los animales van a restringir sus movimientos principalmente a las isóbatas de más de 700 metros.

2. Si los calderones siguen estas isóbatas los movimientos serán relativamente paralelos a costa dada la batimetría del suroeste de Tenerife. Y como hipótesis secundaria de esta, como los grupos sociales de estos animales son muy cohesivos, las marcas puestas en animales de un mismo grupo van a tener de forma general el mismo patrón de movimiento geográfico entre ellos.
3. Dado que Aguilar planteó que los animales se alimentaban de manera mesopelágica, lejos del fondo (Aguilar de Soto, 2006), pero Alejandro Escáñez planteó que se alimentaban tanto mesopelágico como bentopelágico (Escáñez Pérez, 2019), los intentos de captura de presas profundas se van a realizar cuando los animales se encuentren a profundidades iguales o mayores de 700-1000 metros.

Material y métodos

1. Toma de datos con marcas digitales:

La investigación de los calderones se desarrolló en Tenerife a bordo de la embarcación Punta Ballena de la Universidad de La Laguna de 6 metros de eslora con puerto base entre Los Gigantes y Los Cristianos.

Desde esta embarcación es donde se llevó a cabo la localización de los animales, marcaje y seguimiento hasta recuperar la marca. De cada grupo marcado se tomaron datos de la composición social del grupo. Se registró de forma detallada la respuesta del individuo marcado y sus acompañantes en el momento del marcaje o aproximación, definiéndose un límite de tres acercamientos a distancias menores de 100 m a cualquier cetáceo que mostrara signos de molestia al barco, tales como cambios de rumbo, inmersiones bruscas, etc.

Las marcas digitales (DTAG) (*Figura 2*) son un tipo de marca digital no comercializada, diseñada por el Dr. Ingeniero Mark Johnson (WHOI), quien además de la marca en sí ha desarrollado una serie de metodologías y programas para el calibrado y extracción de los datos, agrupados en la denominada DTAG toolbox (M. Johnson, www.soundtags.org). Esta grabará desde datos acústicos hasta frecuencias ultrasónicas, tiene dispone de un sistema de sensores de orientación con acelerómetros y magnetómetros en los 3 ejes de coordenadas, de conductividad del agua y de valores de calibrado como el voltaje de la batería.

Además de esto, también graba datos comunes a las marcas comercializadas de “time-depth recorders” como: la presión (para obtener la profundidad) y temperatura del agua.

La frecuencia de muestreo acústico por el hidrófono de la marca se programó a 196 kHz, y la de los sensores de orientación a 50 Hz, y se decimó a 5 Hz para su análisis, es decir, que contamos con un aparato de gran resolución.



Figura 2. Marca DTAG utilizada para el marcaje de los calderones y la recopilación de los datos utilizados en este estudio.

La electrónica de la marca se encuentra dentro de una carcasa con espuma de flotación, de modo que, si la ventosa de la marca enganchada al animal se suelta, la marca por si misma tenderá a flotar hacia la superficie y así facilitar su recogida tras soltarse del animal. La carcasa lleva incorporada una pequeña emisora de radio de VHF, en una frecuencia de entorno a 148 MHz, para la recuperación final de la marca.

La DTAG se adhiere por medio de ventosas al lomo del cetáceo, donde se coloca con un mástil de posicionamiento tras aproximarnos al animal, evitando así el tener que capturarlos. Una vez que el animal tiene la marca incorporada esta se activa automáticamente cuando el sensor de conductividad le indica que está en agua salada.

Estas ventosas están diseñadas específicamente para estas marcas DTAG, son más blandas que las que encontramos en otros paquetes de marcas comerciales de forma que limiten la succión y con ello las posibles alteraciones a niveles microvasculares en la dermis del cetáceo.

Los datos recogidos por estas marcas se almacenan en la memoria física de la marca (tipo Flash) y son descargados por un conector USB una vez que está recuperada.

Cada cetáceo marcado recibió un código formado por dos letras indicativas de la especie y dos dígitos del año seguidas del día juliano y una letra adjudicada según el orden de marcaje en el día. En el caso de los calderones las letras corresponden a las iniciales del nombre común del calderón en inglés (*pilot whale*), por ejemplo: pw21_062c. Por lo que los datos que se descarguen de la marca deberían ser clasificados y etiquetados según estos códigos impuestos a la hora del muestreo. Posteriormente se recargará la batería de la marca y quedará lista para un nuevo uso.

Pese a que, como hemos visto, la marca recoge datos de muchos parámetros diferentes para este estudio se necesitarán los datos obtenidos para los parámetros: presión de agua (profundidad), datos GPS (localización) y resultados acústicos del hidrófono, los cuales fueron procesados (auditados) para identificar los intentos de captura de presas marcados por los zumbidos de ecolocalización.

2. Análisis de los movimientos de los cetáceos

2.1 Análisis de movimientos geográficos

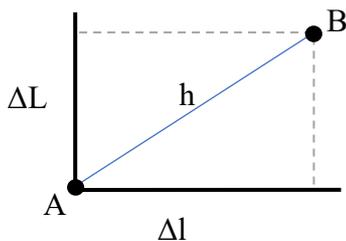
Las marcas cuentan con un GPS el cual recopila la localización y el recorrido que lleva a cabo el calderón marcado. Estos datos también se almacenarán en la memoria interna de la marca y serán descargados una vez llegados a tierra. Estos datos los procesaremos mediante Matlab R2015b (9.6.0.267246) para, a partir de los datos registrados, obtener la latitud y longitud de los momentos en los que la marca está en superficie de manera coincidente con el paso de satélites suficiente para obtener una buena posición. Estos datos serán utilizados para cuantificar los movimientos geográficos de los animales y los valores numéricos de latitud y longitud de cada punto serán recogidos en un archivo .csv por individuo, el cual introduciremos y seguiremos trabajando en el programa de sistema de información geográfica QGIS.

Para obtener la distancia geográfica máxima, que sería la distancia máxima entre los dos puntos más lejanos del recorrido realizado por cada calderón marcado, llevaremos a cabo lo siguiente:

La distancia recorrida entre dos coordenadas se obtiene a partir del incremento de latitud (ΔL) y el incremento de longitud (Δl) entre las mismas, por trigonometría, dado que la distancia entre las coordenadas es la hipotenusa de un triángulo rectángulo con estos incrementos como catetos. Para el cálculo se siguieron los siguientes pasos:

1. Incremento de Latitud (ΔL) \rightarrow Distancia. Basado en que 1 minuto de Latitud = 1 milla náutica = 1,852km
 $Dist_L = \text{Incremento } L_{(\text{min})} * 1,852 \text{ km}$
2. Incremento de longitud (Δl) \rightarrow Distancia. Considerando el hecho de que el incremento de longitud no equivale a la misma distancia a distintas latitudes, sino que hay que corregirlo según donde estemos, multiplicando por el coseno de la Latitud.

$$Dist_l = \text{coseno} (\text{Lat}) * \Delta L * \frac{2\pi r}{360}$$



$$h = \sqrt{\text{dist } L^2 + \text{dist } l^2}$$

2.2 Análisis QGIS

Para la realización de la representación gráfica del recorrido de los individuos de calderón marcados y analizados utilizaremos el programa QGIS 3.16.6-Hannover.

Este programa trabaja con capas, por lo que para la creación de el mapa hemos buscado capas de batimetría de las Islas Canarias donde nos aparezcan las isóbatas de profundidad alrededor de las islas y de donde podamos extraer la batimetría de el suroeste de Tenerife que es la zona que nos interesa para este estudio.

Una vez introducida la capa con la batimetría de nuestra zona hemos creado dos capas adicionales para poder resaltar las isóbatas de 1000 y 2000 metros de profundidad y también coloreamos las islas, todo ello para facilitar la lectura del gráfico.

Una vez procesados los archivos GPS con herramientas de la DTAG toolbox (M. Johnson, www.soundtags.org) dentro de Matlab R2015b (9.6.0.267246) y exportados los datos a archivos .csv con las coordenadas, procederemos a importar ese archivo como una capa nueva en el QGIS. Así conseguiremos que nos aparezcan unos puntos consecutivos en el mapa que nos marcarán las localizaciones en las que la marca recibió señal GPS. A partir de los puntos crearemos una línea de recorrido con la herramienta “Puntos a ruta” para ver claramente el recorrido de el animal.

Repetiremos este proceso de creación de capas con el resto de individuos de el mismo grupo, para así poder representar en un mismo mapa a los individuos marcados el mismo día y poder sacar conclusiones con nuestros resultados representados.

Durante todo el proceso cambiamos el SRC de las capas creadas a un mismo valor para poder tener todas las capas representadas en la misma proyección, en nuestro caso la proyección utilizada fue la siguiente: EPSG:32628 – WGS 84 / UTM zone 28N.

2.3 Análisis de profundidad

Para llevar a cabo este análisis de los calderones se utilizó el programa Matlab R2015b (9.6.0.267246). Los datos de los sensores, registrados a 50 Hz, se decimaron hasta 5 Hz y fueron analizados utilizando herramientas de la DTAG toolbox (M. Johnson, www.soundtags.org).

Con los datos obtenidos en la marca de la presión a la que fue sometida durante el recorrido pudimos obtener los datos de profundidad a la que se encontraba el animal mientras llevaba la marca.

Gracias a estos datos el Matlab R2015b (9.6.0.267246) nos ha podido representar gráficamente los buceos y las profundidades de la siguiente manera (*Figura 3*).

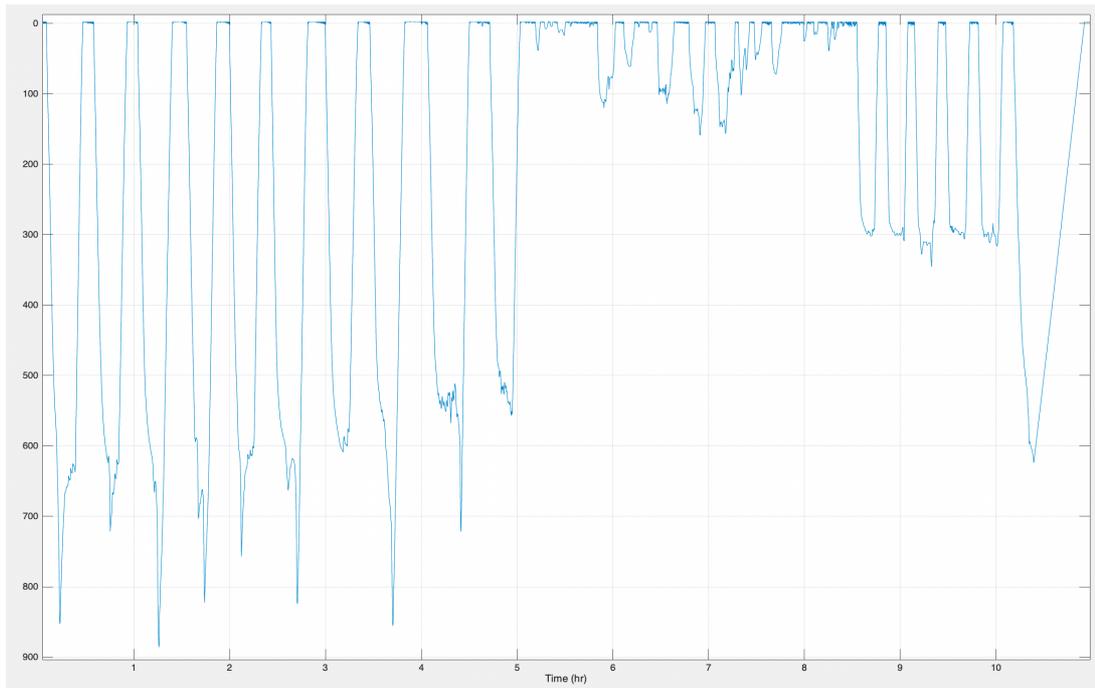


Figura 3. Gráfica de los buceos realizados por el individuo marcado pw21_062a, representando el tiempo frente a la profundidad (Fuente: Elaboración propia mediante Matlab R2015b (9.6.0.267246)).

El Matlab R2015b (9.6.0.267246) nos saca, con los datos proporcionados por las marcas, el siguiente perfil de buceo donde vemos en una gráfica la profundidad del buceo frente al tiempo.

Para evitar que los buceos y movimiento de los cetáceos cerca de la superficie, destinados a la respiración o descanso, nos interfieran en los resultados del estudio, determinados una profundidad umbral a partir de la cual los movimientos de alejamiento de la superficie ya eran considerados “inmersiones”. Este umbral se definió como 20 metros (Aguilar de Soto, 2006)

Los perfiles de buceo se examinaron primeramente de forma gráfica y se registró el momento del comienzo y final de cada inmersión, así como también su profundidad máxima y momento en el que se alcanza esta misma, con un protocolo de la DTAG toolbox.

3. Análisis acústico

El análisis acústico inicial consiste en escuchar las grabaciones obtenidas de las marcas mediante el programa Matlab R2015b (9.6.0.267246) con un protocolo de la DTAG. La gráfica de análisis se ejemplifica en la *Figura 4*.

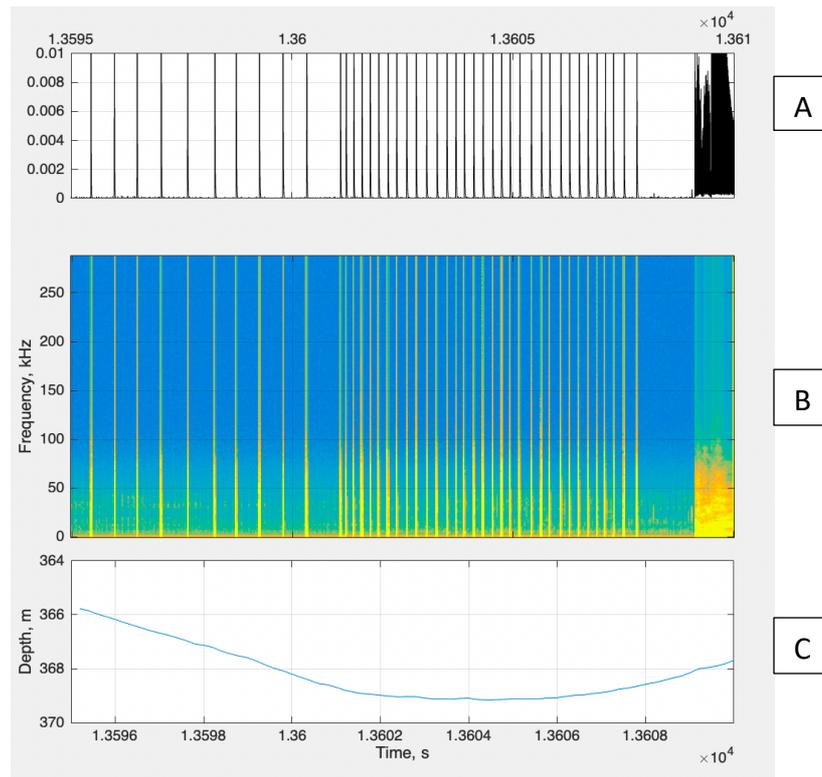


Figura 4. Ejemplo de la gráfica producida por una herramienta de la DTAG toolbox (M. Johnson, www.soundtags.org) en Matlab R2015b (9.6.0.267246), que sirve para la escucha y visualización de secciones sucesivas de 15 segundos de la grabación. A) Oscilograma (amplitud sonora frente al tiempo); B) Espectrograma (frecuencia frente a tiempo); C) Profundidad del animal en cada momento (profundidad frente a tiempo). (Fuente: gráfica extraída de la herramienta tagaudit de la DTAG toolbox).

Mediante el programa Matlab R2015b (9.6.0.267246) se escucharán las grabaciones y se irán haciendo anotaciones sobre ellas al detectar distintos tipos de sonidos dedicados principalmente a la ecolocalización como pueden ser (chascidos (clicks), zumbidos (buzzes), o bien llamadas de comunicación (squeeks, rasps)...). Estas anotaciones se registran y se crea un fichero de texto con la localización temporal y duración de cada sonido.

Se anotaron vocalizaciones provenientes de nuestro animal portador de la marca (animal focal), pero también los sonidos de otros individuos acompañantes (no focales) de la misma especie. Además de sonidos de animales también se registraron ruidos ambientales como pueden ser los provenientes de barcos, vocalizaciones de otras especies de cetáceos, etc. Estos datos fueron relacionados posteriormente con el comportamiento del individuo focal.

Resultados

Se analizan datos de 5 animales cuyas marcas se colocaron en la parte superior del lomo de los calderones y pudieron recoger datos GPS correctamente.

Organizamos la información obtenida de las marcas en la siguiente tabla (*Tabla 1*) clasificando cada individuo por su código.

Tabla 1. Tabla de resultados. En ella plasmaremos los datos obtenidos de cada individuo clasificándolos por i) código ii) fecha iii) duración iv) distancia geográfica máxima (km) v) distancia total recorrida. (Fuente: Elaboración Propia).

Código	Fecha	Hora de inicio	Hora de fin	Duración (horas)	Distancia geográfica máxima (km)
pw21_062a	03/03/21	13:51	24:31	10.4	12.42 km (1-104)
pw21_062b	03/03/21	14:09	05/03/21 00:37	33.88	25.24 km (1-208)
pw21_062c	03/03/21	14:13	23:55	9.33	10.80 km (1-240)
pw19_078a	19/03/19	12:51	00:46	11.55	21 km
pw19_078b	19/03/19	13:02	01:37	12.35	18.40 km

Datos como el día de muestreo nos lo da el propio código ya que, por ejemplo, el día juliano 62 es el 3 de marzo y la duración la veremos en el Matlab teniendo en cuenta, en el perfil de buceo, cuando se desprendió la marca del cuerpo del animal.

La distancia geográfica máxima la obtendremos por las fórmulas explicadas en material y métodos por lo que sabemos cual es la distancia máxima geográfica recorrida, es decir, la distancia entre los dos puntos más lejanos de su recorrido mientras llevaba la marca puesta.

Para el grupo de individuos pw21_062 los datos se recogieron el 03 de marzo y obtuvimos que el individuo b) es el que tuvo la marca durante más tiempo, 33.88 horas, y a su vez es el individuo que más distancia geográfica recorrió, haciendo 25.24 km en ese periodo

de tiempo. Los otros dos individuos al llevar a cabo un recorrido y una duración parecida presentan también una distancia máxima geográfica similar, entre los 10-12 km.

Para el grupo de individuos pw19_078 se tomaron los datos el 19 de marzo y vemos que ambas marcas duraron casi lo mismo, presentando a su vez una distancia máxima geográfica parecida de 21 y 18 kilómetros.

A continuación, representaremos los recorridos en mapas, creados a partir de los puntos GPS registrados. Los individuos se agruparán por días de marcaje, por lo que en un mismo mapa representaremos a los individuos marcados el mismo día, los cuales pertenecían al mismo grupo social aparentemente, pues se observaron juntos durante el periodo previo y durante el marcaje.

- **Grupo 1: 03/03/21 pw21_062. Individuos a (macho adulto), b (individuo subadulto) y c (cria >1 año).**

Aquí tenemos un mapa representando el recorrido de los 3 individuos que conforman el grupo pw21_062 del día 3 de marzo de 2021 (*Figuras 5 y 6*).

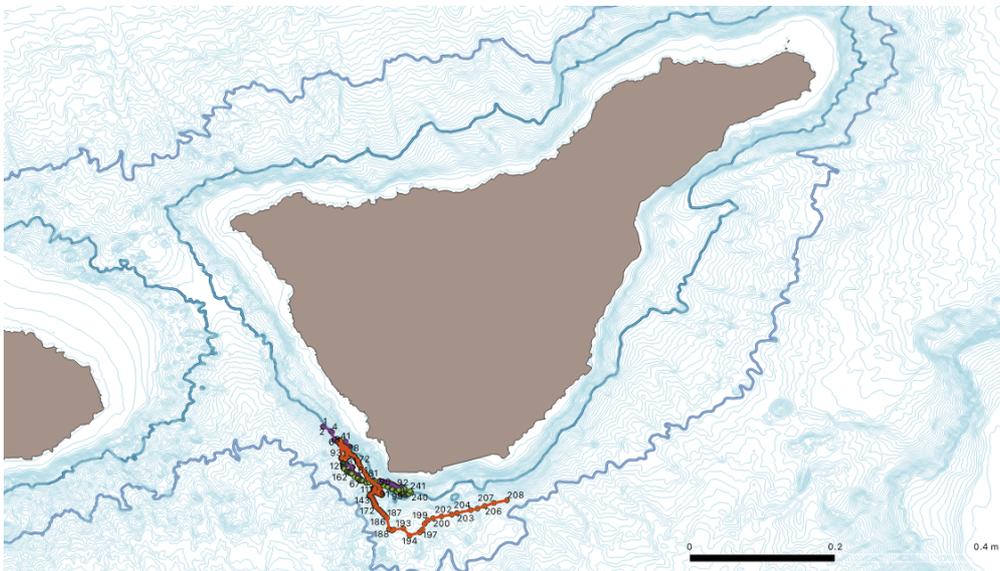


Figura 5. Mapa representando el recorrido realizado por el grupo pw21_062. Apreciamos las distintas isóbatas de profundidad como líneas azules paralelas a la línea de costa y remarcamos en azul más fuerte y con un grosor también mayor las isóbatas de 1000 y 2000 metros de profundidad. (Fuente: Elaboración propia mediante QGIS 3.16.6-Hannover).

Adjuntamos la *Figura 5* para que situemos en qué parte de la isla es donde se encuentran los recorridos y en la *Figura 6* ampliaremos la zona para ver con detalle y analizar estos recorridos.

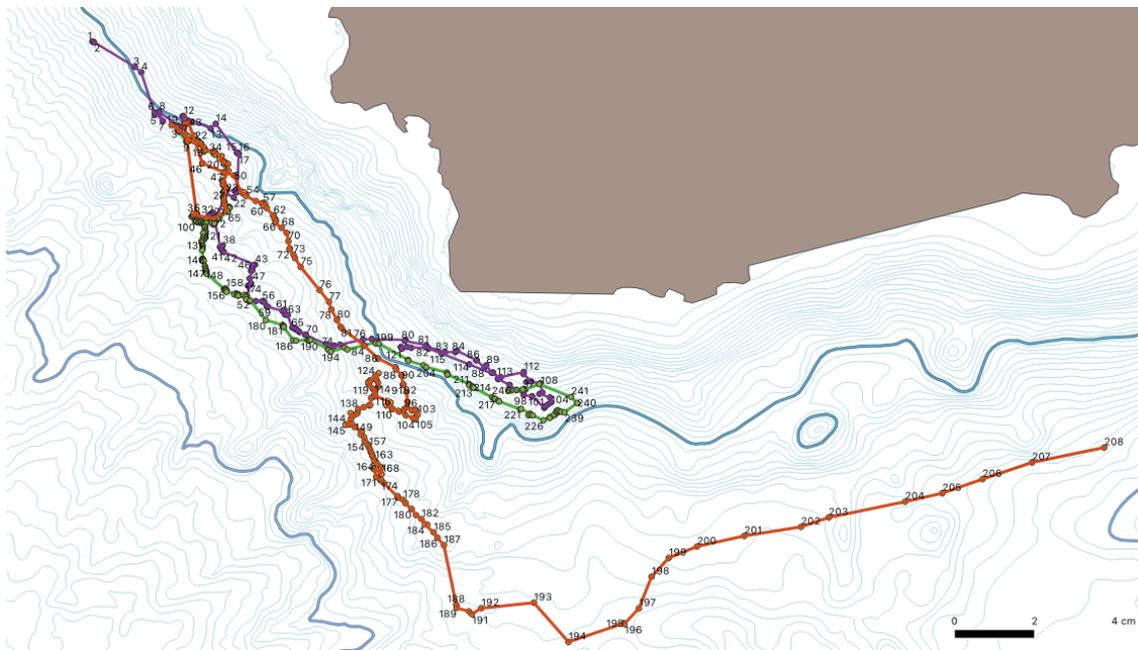


Figura 6. Mapa representando el recorrido realizado por el grupo pw21_062. Podemos apreciar el trayecto del individuo a) en violeta, el individuo b) en rojo y el c) en verde. Apreciamos las distintas isóbatas de profundidad como líneas azules paralelas a la línea de costa y remarcamos, en azul más fuerte y con un grosor también mayor, las isóbatas de 1000 y 2000 metros de profundidad. (Fuente: Elaboración propia mediante QGIS 3.16.6-Hannover).

- **Grupo 2: 19/03/19 pw19 078. Individuos a y b**

Presentamos primero el mapa de la isla de Tenerife entera para hacernos una idea de donde se sitúan los individuos (*Figura 7*).

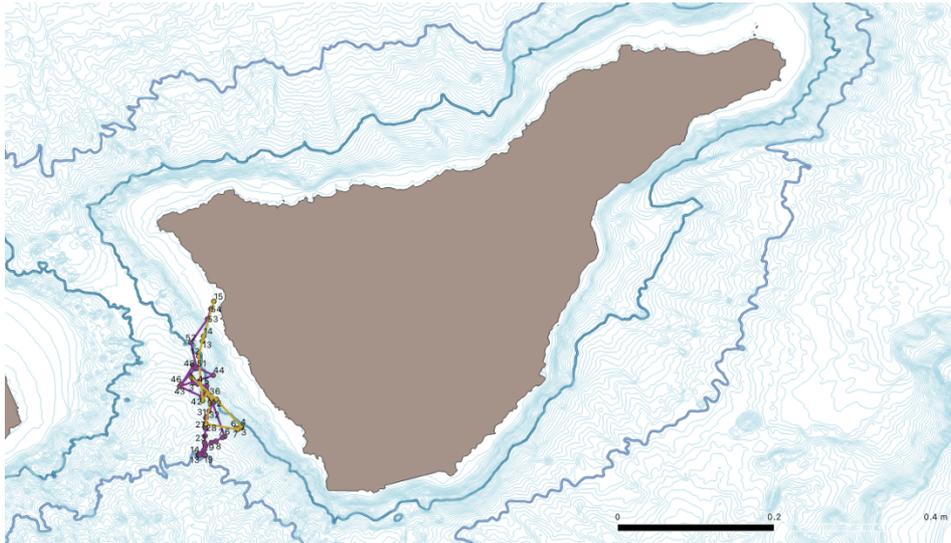


Figura 7. Mapa representando el recorrido realizado por el grupo pw19_078. Apreciamos las distintas isóbatas de profundidad como líneas azules paralelas a la línea de costa y remarcamos en azul más fuerte y con un grosor también mayor las isóbatas de 1000 y 2000 metros de profundidad. (Fuente: Elaboración propia mediante QGIS 3.16.6-Hannover).

Y a continuación, obtenemos el siguiente mapa ampliando la zona donde se encuentran representados los individuos pw19_078 a y b (Figura 8).

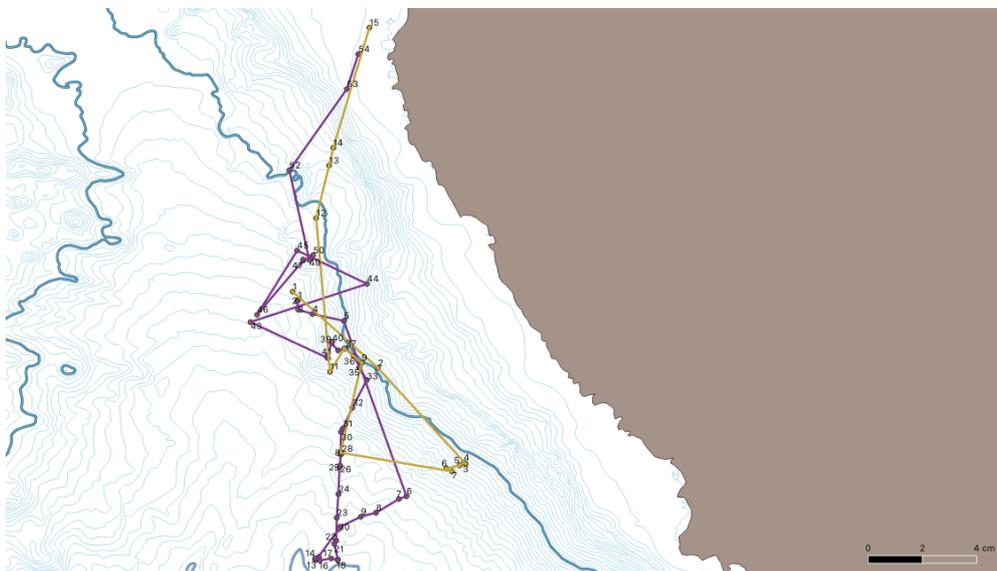


Figura 8. Mapa representando el recorrido realizado por el grupo pw19_078. Podemos apreciar el trayecto del individuo a) en violeta, el individuo b) en amarillo. Apreciamos las distintas isóbatas de profundidad como líneas azules paralelas a la línea de costa y remarcamos, en azul más fuerte y con un grosor también mayor, las isóbatas de 1000 y 2000 metros de profundidad. (Fuente: Elaboración propia mediante QGIS 3.16.6-Hannover).

Al notar una relación entre la distancia máxima geográfica y la duración de la marca se llevó a cabo una tabla para organizar nuestras dos variables a analizar (Tabla 2) y

seguidamente una gráfica donde se representan estas dos variables enfrentadas de los siguientes individuos (*Figura 9*).

Tabla 2. Tabla representando la duración y distancia geográfica máxima de los individuos a analizar. (Fuente: Elaboración Propia).

	Duración (horas)	Distancia geográfica máxima (km)
pw21_062a	10.4	12.42
pw21_062b	33.88	25.24
pw21_062c	9.33	10.80
pw19_078a	11.55	21
pw19_078b	12.35	18.40

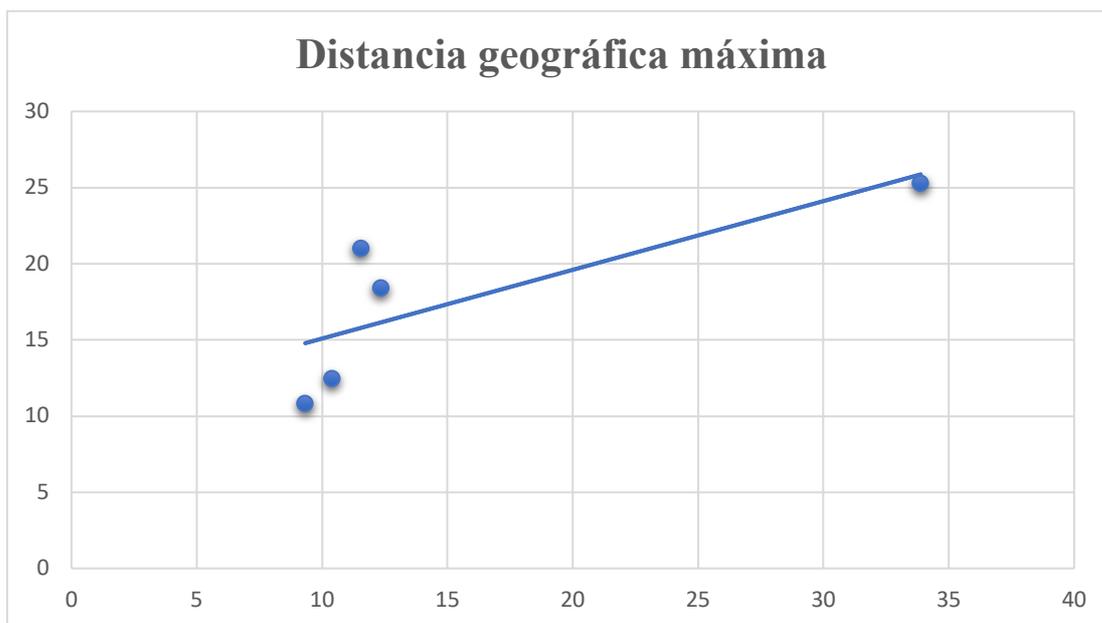


Figura 9. Gráfica relacionando la distancia geográfica máxima con la duración de la marca en los individuos. La línea representa la línea de tendencia positiva que existe entre ambas variables. (Fuente: Elaboración Propia).

Así es que podemos ver la tendencia positiva que existe entre la distancia geográfica máxima y la duración de la marca adjunta en el lomo del animal. Para las duraciones de marcas obtenidas se observa que la distancia máxima entre los dos puntos más lejanos del recorrido del animal se incrementa de media en un kilómetro por cada hora de duración

de la marca. Sin embargo, el recorrido total del animal es mucho mayor, dado que cambian con frecuencia de rumbo, realizando a veces “idas y vueltas” por el mismo área.

Se realizó el análisis acústico para la marca pw21_062c en el cuál se identificaron muchos tipos de sonidos, por lo que se filtró el audio solo por zumbidos (buzzes (bz)) ya que estos sonidos son los que marcan los intentos de captura de presas. Estos zumbidos nos darán una idea de donde se estaban alimentando. Representaremos estos zumbidos con marcas circulares de color rojo sobre el perfil de buceo del individuo c) como podemos observar en la siguiente representación gráfica (*Figura 10*).

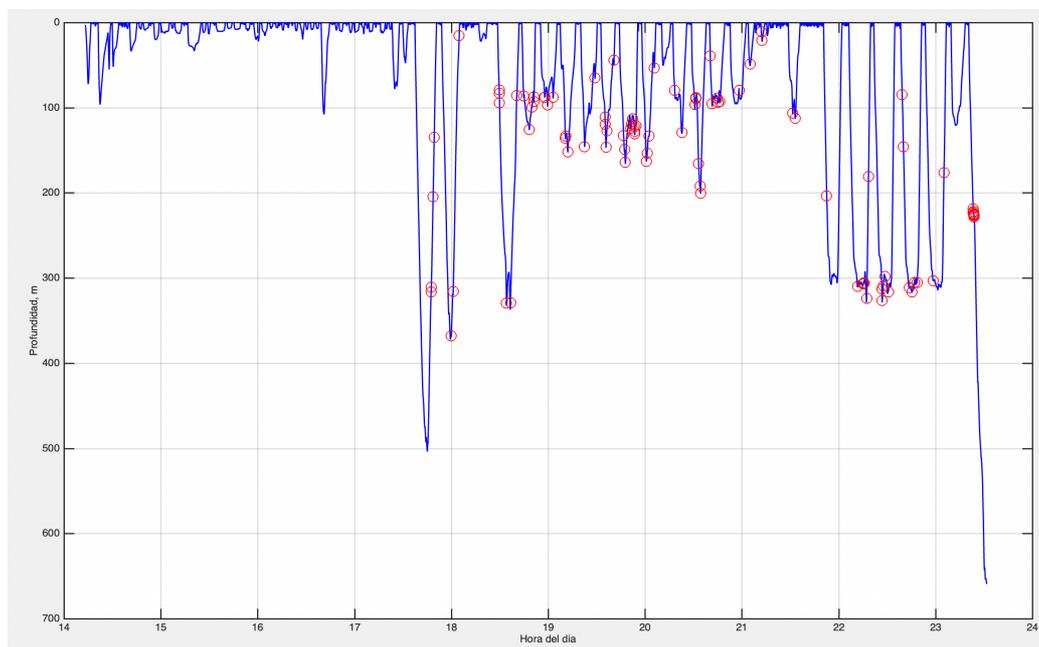


Figura 10. Zumbidos del individuo pw21_062c representados en su perfil de buceo. Vemos que la línea azul representa el perfil de buceo del individuo enfrentando la profundidad a la que se encontraba con las distintas horas del día. Como círculos rojos representaremos los zumbidos los cuales son los sonidos de ecolocalización que hace principalmente para los intentos de capturas de presas. (Fuente: Elaboración propia mediante Matlab R2015b (9.6.0.267246)).

A continuación, se creó una tabla relacionando los puntos GPS con la hora a la que fue recogida la señal para cada uno y así poder establecer una relación entre los puntos GPS y el tiempo y con ello poder sacar a que horas fueron los zumbidos, relacionarlos con los puntos GPS y poder representar esos puntos de GPS que contengan zumbidos con otro color más vistoso. En los mapas resultantes (*Figura 11 y 12*) podremos ver los movimientos de los calderones geográficamente cuando se encuentran intentando capturar presas.

Si representamos en un mapa el recorrido de este individuo c y destacamos los puntos en los que se realizaron zumbidos por el individuo obtendríamos la siguiente representación (*Figura 11*).

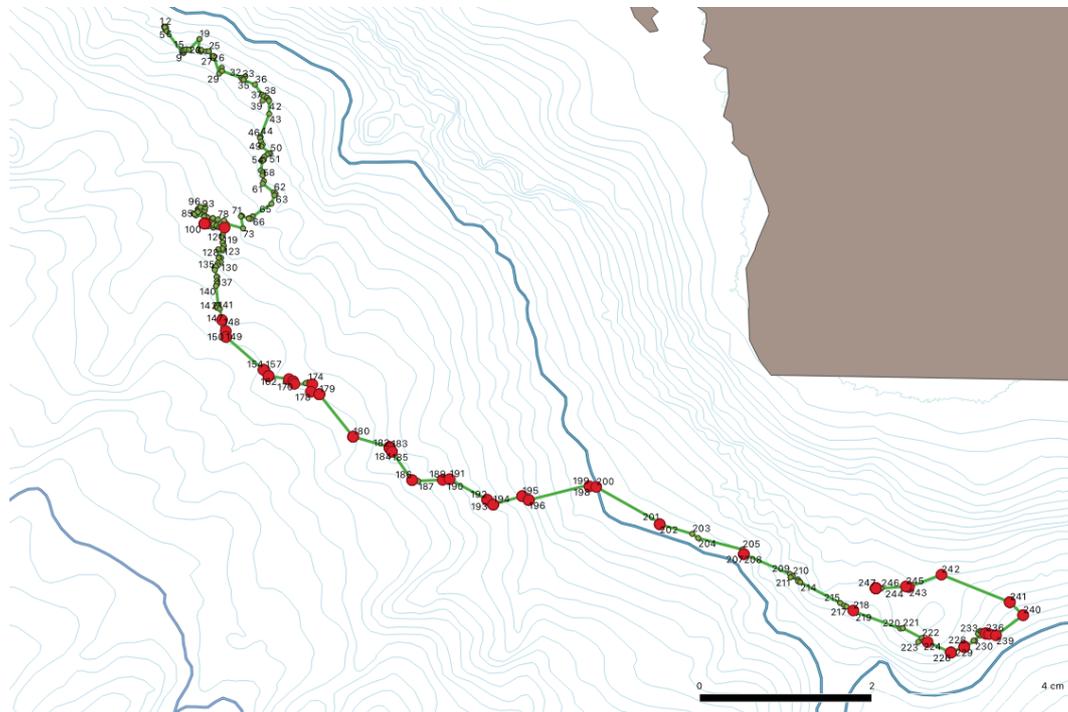


Figura 11. Representación de los zumbidos realizados por el individuo pw21_062c durante el recorrido dictado por los puntos de GPS. La línea verde sería la conexión entre los puntos de GPS obtenidos por la marca para marcar el recorrido hecho por el individuo y los puntos remarcado y de color rosa serían los puntos que contaban con zumbidos y por tanto momentos en los que hubo intentos de caza en el recorrido.

Y representando los zumbidos hechos por el individuo pw21_062a durante su recorrido obtendríamos el siguiente mapa (*Figura 12*):

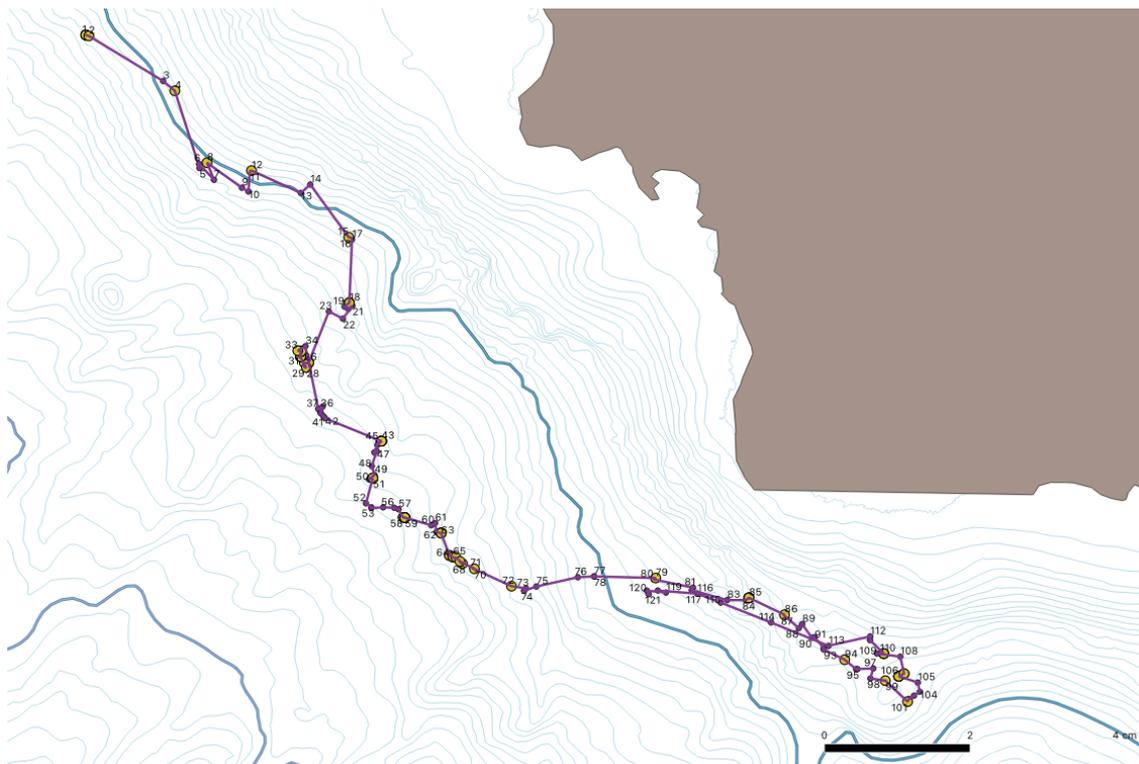


Figura 12. Representación de los zumbidos realizados por el individuo pw21_062a durante el recorrido dictado por los puntos de GPS. La línea violeta sería la conexión entre los puntos de GPS obtenidos por la marca para marcar el recorrido hecho por el individuo y los puntos remarcado y de color amarillo serían los puntos que contaban con zumbidos y por tanto momentos en los que hubo intentos de caza en el recorrido.

Discusión

Este trabajo es un estudio piloto de los movimientos de los calderones a partir de datos GPS provenientes de marcas puestas en el lomo del animal por ventosas. Con las limitaciones de un tamaño muestral reducido se observa que los grupos de calderones tienden a permanecer relativamente unidos y coordinados en sus movimientos y que pueden llegar a recorrer distancias geográficas de hasta 25.24 km en 33 horas.

Se observa que los calderones realizan importantes cambios de rumbo en los que tras un periodo de navegación frecuentemente giran y regresan hacia la zona de ocurrencia inicial. Sin embargo, podemos determinar una correlación positiva entre la distancia máxima geográfica recorrida con la duración de la marca en el animal a razón de una media de 1 km por hora (*Figura 9*). Esto no quiere decir que a una duración de la marca mayor los animales se sigan alejando de la zona, los datos obtenidos se refieren la duración máxima registrada en las marcas analizadas, de 33 horas.

- **Grupo 1: 03/03/21 pw21 062. Individuos a, b y c.**

Atendiendo a la *Figura 6* se observa que este grupo marcado en el sur tendió a permanecer en el sur, incluso bordeó la esquina sur hacia el lado este de la isla. Con esto podemos ver que hacen uso de la zona de Rasca por lo que hay una conectividad con el área profunda circundante al LIC “Sebadales del Sur” en el SE de Tenerife.

Estos tres individuos representados en esta figura son marcados por la misma zona, pertenecientes al mismo grupo de individuos. Vemos que el individuo representado en violeta a) y el individuo verde c) llevan a cabo una trayectoria muy similar, prácticamente se podría decir que siguen la misma ruta ya que incluso el giro del final se puede observar que lo hacen a la par. Mientras que el individuo representado en rojo b), aunque un poco más separado del resto, también presenta una tendencia a seguir la misma trayectoria. Al principio del recorrido vemos que prácticamente se encuentra siguiendo la misma ruta que el individuo c) y luego se desvía un poco, para acercarse más a costa, a la isóbata de los 1000 metros y más tarde se vuelve a cruzar con los otros dos individuos y se sitúa entre la isóbata de 1000 y 2000 metros.

También es importante mencionar la diferencia de tiempo que estuvieron las marcas puestas ya que, de los 3 individuos marcados ese día, la marca que más tiempo permaneció adjunta al individuo fue la b), quedándose 3 veces más tiempo que las otras dos, por lo que podemos explicar ese recorrido más largo y complejo.

En el momento que 3 los animales tenían la marca a la vez podemos ver que los patrones generales de movimiento son similares.

- **Grupo 2: 19/03/19 pw19 078. Individuos a y b**

Apoyándonos en la *Figura 8*, podemos ver claramente los recorridos de los dos individuos los cuales fueron marcados un poco más profundo de la isóbata de 1000 metros de profundidad al mismo tiempo, siendo individuos del mismo grupo y vemos como ambos siguen un recorrido bastante parecido, primero se acercan a la isóbata de 1000 metros sobre la que transitarán un buen trayecto, luego nuestro individuo a)

seguirá adentrándose hasta estar sobre la isóbata de 2000 mientras que nuestro individuo b) se quedará sobre la de 1000 y luego se encontrará con el a) en su recorrido de vuelta a una isóbata menor y vuelven a transitar juntos. Seguirá dirigiéndose de vuelta a dirección norte y a los alrededores de los 1000 metros de profundidad y luego ambos se acercarán a costa hasta los 200 metros de profundidad, cerca de la Playa de los Guíos en Los Gigantes donde se acaba el registro.

En estos dos individuos si que podemos ver claramente esa tendencia que tienen a permanecer juntos y recorrer el lado oeste de la isla sin desplazarse muy lejos. Se observa también que se alejan de la costa a medida que lo hacen las isóbatas de sus profundidades aparentemente favoritas.

Perfiles de buceo relacionados con los zumbidos del animal.

El individuo pw21_062c se trata de una cría de más de un año, pero no se sabe concretar exactamente la edad. Este dato nos resultará importante a la hora de interpretar esta relación entre los buceos y los zumbidos. Con las limitaciones de un pequeño tamaño muestral se han observado diferencias entre el comportamiento de esta cría y el macho adulto marcado en su mismo grupo. La cría no se alimentó durante el día, y solo realizó zumbidos nocturnos, mayoritariamente a poca profundidad. Sin embargo, ya sabemos que el individuo tampoco es muy pequeño, se estima en más de un año y vemos en el gráfico como llega a bucear hasta 650 metros de profundidad en los últimos minutos rastreados por la marca. La capacidad de los cetáceos de buceo profundo de adquirir altas capacidades de buceo en los primeros años de vida ha sido ya evidenciada para cachalotes (Tønnesen *et al.*, 2019).

El primer buceo que apreciamos hasta 500 metros vemos que no está acompañado de ningún zumbido en profundidad, solo algunos a medida que sube de nuevo a superficie lo que nos lleva a pensar que fuera un buceo para practicar y no con la intención de caza en su profundidad máxima. Sin embargo, en otros pasajes, como puede ser el que encontramos alrededor de las 18 horas, vemos que hace varios buceos hasta una profundidad de 160 metros donde vemos varios picos por buceo, estos representan momentos en los que el animal empieza a subir y vuelve a bajar muy rápidamente y suelen ser señal de que están persiguiendo algo (*Figura 13*).

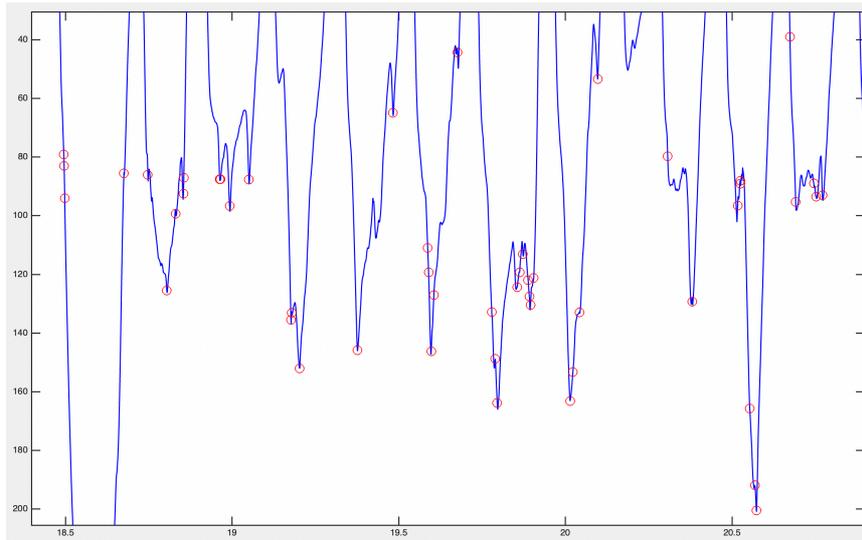


Figura 13. Sección del perfil de buceo entre las 18:30 y 21:00 horas donde se pueden apreciar estos picos varios en un mismo buceo, señal de intento de caza. (Fuente: Elaboración propia mediante Matlab R2015b (9.6.0.267246)).

Por lo que con esta gráfica podemos ver que este individuo está intentando cazar ya por si solo y está practicando buceos más profundos. Puede que siga apoyándose en los individuos adultos para alimentarse, pero no tenemos manera de saberlo a ciencia cierta.

Mapas relacionados con los zumbidos

En la *Figura 11*, vemos una representación de los zumbidos realizados por el individuo pw21_062c durante el recorrido dictado por los puntos de GPS. Podemos apreciar como los zumbidos aparecen desde el punto 101 y se mantienen intermitentes durante todo el recorrido, aunque el calderón marcado estaba haciendo un recorrido lineal.

También se analizaron los zumbidos en el perfil de buceo del individuo pw21_062a y se generó un mapa para este (*Figura 12*) y así poder comparar con los resultados obtenidos con el individuo c) ya que al ser una cría podría darnos datos distintos a los adultos. Y de nuevo vemos que si que existen zonas que parecen ser concentraciones donde encontramos muchos zumbidos, pero también encontramos zumbidos en los movimientos lineales.

Estos resultados van en contra de lo propuesto en nuestra hipótesis ya que nosotros planteábamos que los movimientos agrupados o circulares, cuando el calderón se

mantenía por una misma zona, serían momentos en los que estaría cazando o alimentándose, mientras que los movimientos lineales harían referencia a los movimientos de desplazamiento. Por lo que podemos refutar nuestra hipótesis y afirmar que en los calderones no puede utilizarse el tipo de movimiento lineal como indicador fiable de la actividad del animal, al contrario de lo propuesto para otros taxones de focas y aves en otras zonas del mundo.

En cuanto al uso del hábitat, observamos que tanto el macho adulto como la cría se alimentan principalmente en cotas más profundas de los 1000 m, lo que se relaciona con su alimentación profunda y mesopelágica (Aguilar de Soto, 2006).

Conclusiones

Los calderones del suroeste de Tenerife realizan movimientos relativamente paralelos a la costa, consistentes con la orientación de las isóbatas en el área de estudio. Estas observaciones tradicionales se han corroborado en este trabajo, que es el primero que analiza datos GPS de la especie.

A pesar de su gran capacidad de movimiento, la máxima distancia geográfica recorrida por los cinco calderones estudiados en este trabajo no fue muy alta. La media estimada de distancia entre los dos puntos más lejanos de su recorrido es de alrededor de 1 km por hora de marcaje (desde 10.80 km en 9.33 horas a 25.24 km en 33.88 horas).

Se observa que se mantienen principalmente a profundidades cercanas o mayores a 1000m, alcanzando casi los 2000 metros en algunos casos.

Con las limitaciones del tamaño muestral, se observa que el grupo marcado frente a Playa San Juan viaja hacia el sur, pero se aleja de costa de forma consistente a la distribución de las isóbatas. El acercamiento posterior a la costa al final del marcaje podría deberse a razones sociales o de evitación de depredadores.

Los calderones instrumentados en un grupo social tienden a permanecer relativamente juntos. Se observa que los grupos pueden separarse, pero mantienen trayectorias consistentes y parecen volver a reunirse.

La alimentación se realiza tanto en recorridos lineales, como en recorridos curvilíneos de los calderones.

Los resultados tienen implicaciones acerca de la vulnerabilidad de los calderones a la posible construcción de un puerto en la zona de Fonsalía, dado que se observa que los animales marcados en esa zona la utilizan ampliamente.

Conclusions

The pilot whales of the southwest of Tenerife carry out movements relatively parallel to the coast, consistent with the orientation of the isobaths in the study area. These traditional observations have been corroborated in this study, which is the first to analyze GPS data for this specie.

Despite their great capacity for movement, the maximum geographical distance traveled by the five pilot whales studied in this work was not very high. The estimated average distance between the two furthest points on your route is around 1 km per hour of tag recording (from 10.80 km in 9.33 hours to 25.24 km in 33.88 hours).

Tagged pilot whales used mainly areas at water depths close to or greater than 700-1000 meters, reaching almost 2000 meters in some cases.

With the limitations of the sample size, it is observed that the group tagged in front of Playa San Juan travels south but moves away from the coast in a consistent way to the distribution of isobaths. The posterior approach to the coast at the end of the tagging could be due to social reasons or predator avoidance.

Pilot whales instrumented in a social group tend to stay relatively close together. It is observed that the groups can separate but maintain consistent trajectories and seem to rejoin.

The feeding is carried out in both, linear and curvilinear routes of the pilot whales.

The results have implications regarding the vulnerability of pilot whales to the proposed construction of a large harbour in the area of Fonsalía, since it is noticeable that the animals tagged in that area use it extensively.

Bibliografía

Aguilar de Soto, N, Johnson, M. P., Díaz, F., Domínguez, I., Aparicio, C., Bocconcelli, A., Brito, A., & Tyack, P. L. (2003). Cetáceos de hábitos profundos en Canarias.

Makaronesia, 5, 46-57.

Aguilar de Soto, Natacha. (2006). *Comportamiento acústico y de buceo del calderón (Globicephala macrorhynchus) y del zifio de Blainville (Mesoplodon densirostris) en las Islas Canarias. Implicaciones sobre los efectos del ruido antrópico y las colisiones con embarcaciones*. Universidad de La Laguna.

Aguilar Soto, N., Johnson, M. P., Madsen, P. T., Díaz, F., Domínguez, I., 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(5), 936-947.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01393.x>

Alves, F., Quérrouil, 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*, 23(5), 758-776. <https://doi.org/10.1002/aqc.2332>

Carrillo, M., & Tejedor, M. (2002). *Estudios aplicados a la conservación de cetáceos en la provincia de Santa Cruz de Tenerife*. Gobierno de Canarias. Consejería de política territorial y Medio Ambiente. Viceconsejería de Medio Ambiente.

Escáñez Pérez, A. (2019). *Diversidad y ecología de los cefalópodos oceánicos de la región macaronésica*.

<http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/handle/11093/1331>

Heimlich-Boran, J. R. (1993). *Social Organisation of the Short-finned Pilot Whale, Globicephala macrorhynchus, with Special Reference to the Comparative Social Ecology of Delphinids* [Phd, University of Cambridge].

<http://aquaticcommons.org/4005/>

Hernandez García, V., & Martín, V. (1994). *Stomach contents of two short-finned pilot whale (Globicephala macrorhynchus Gray, 1846) (Cetacea, delphinidae) off the Canary Islands: A preliminary note*. 9.

Jefferson, T. A., Leatherwood, S., & Webber, M. A. (1993). *Marine mammals of the world*. Food & Agriculture Org.

Kasuya, T., & Tai, S. (1993). *Life history of short-finned pilot whale stocks of Japan*

and a description of the fishery. Biology of Northern Hemisphere Pilot Whales. Report of the International Whaling Commission.

Mahaffy, S. (2012). *Site Fidelity, Associations and Long-Term Bonds of Short-Finned Pilot Whales off the Island of Hawai`i.* <https://doi.org/10.15760/etd.320>

Montero Lopez, R., & Martín Martel, V. (1993). *Estudio del impacto que provocan las embarcaciones en la población de calderones tropicales (Globicephala macrorhynchus) residente en aguas del suroeste de la isla de Tenerife.*

Olson, P. A., & Reilly, S. B. (2009). *Pilot whales Globicephala melas and G. macrorhynchus.* Encyclopedia of marine mammals.

Pérez, M., Torres, C., & Pérez, E. (2016). *Determinación de factores de riesgo para la conservación de la población de Calderón tropical.* 184.

Richardson, W. J., Greene Jr., C. R., Malme, C. I., & Thomson, D. H. (1995). *Marine mammals and noise.*

<http://www.vliz.be/en/imis?module=ref&refid=66389&printversion=1&dropIMISitle=1>

Servidío, A. (2014). *Distribution, social structure and habitat use of short-finned pilot whale, Globicephala macrorhynchus, in the Canary Islands* [Thesis, University of St Andrews]. <https://research-repository.st-andrews.ac.uk/handle/10023/6441>

Tønnesen, P., Gero, S., Ladegaard, M., Johnson, M., & Madsen, P. T. (2019). First-year sperm whale calves echolocate and perform long, deep dives. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 72(10), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s00265-018-2570-y>