



Facultad de Veterinaria

Trabajo de
Fin de Grado

Zifio de Sowerby
(*Mesoplodon bidens*):
estudio anatómico y
radiológico de la región de
la cabeza.

Marta Román López

Grado en Veterinaria
Año 2024

Modalidad del Trabajo: Experimental

Licenza

Agás onde se faga constar explicitamente, esta obra pertence a Marta Román López e está baixo unha licenza de “Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional”.



RESUMEN

El zifio de Sowerby (*Mesoplodon bidens*) es un cetáceo odontoceto de la familia Ziphiidae y uno de los cuatro mesoplodontes que habitan las aguas profundas del Atlántico norte. Muy pocos tienen la oportunidad de observar esta especie en su medio natural y, por ello, la información acerca de su anatomía o biología es escasa y proviene mayoritariamente de ejemplares varados. En este trabajo se han combinado técnicas anatómicas y radiológicas para describir de forma detallada la anatomía de la región cefálica de un zifio de Sowerby macho subadulto varado en Coruña en mayo de 2021 con el objetivo de ampliar los conocimientos sobre la especie y así contribuir a su conservación. Prestamos especial atención a aquellos órganos involucrados en la emisión y recepción de señales acústicas que permiten a estos animales habitar zonas inalcanzables para la mayoría de los mamíferos marinos. En los resultados mostramos estructuras como el complejo de sacos aéreos, un órgano espermaceti anterior independiente y caudal al melón, características morfológicas del cráneo y las primeras imágenes de tomografía computarizada de la cabeza de un zifio de Sowerby. Por último, toda la información recogida en la minuciosa disección, el estudio osteológico y la interpretación de las imágenes radiológicas se discuten y comparan con los limitados estudios publicados sobre la anatomía de esta región en zifios.

Palabras clave: zifio de Sowerby, *Mesoplodon bidens*, cetáceo, anatomía, disección, osteología, tomografía computarizada.

ABSTRACT

The Sowerby's beaked whale (*Mesoplodon bidens*) is a toothed whale of the Ziphiidae family and one of the four mesoplodonts that inhabit the deep waters of the North Atlantic. Very few have the opportunity to observe this species in its natural environment and, therefore, information about its anatomy and biology is scarce and comes mostly from stranded specimens. In this work, anatomical and radiological techniques have been combined to describe in detail the anatomy of the cephalic region of a subadult male Sowerby's beaked whale stranded in Coruña, Spain in May 2021 with the aim of expanding the knowledge about this specie and thus contributing to its conservation. We pay special attention to those organs involved in the emission and reception of acoustic signals that allow these animals to inhabit areas unreachable for most marine mammals. In the results, we show structures such as the air sac complex, an independent anterior spermaceti organ immediately caudal to the melon, morphological characteristics of the skull, and the first computed tomography images of the head of a Sowerby's beaked whale. Finally, all the information collected in the meticulous dissection, the osteological study, and the interpretation of the radiological images are discussed and compared with the limited studies published on the anatomy of this region in beaked whales.

Key words: Sowerby's beaked whale, *Mesoplodon bidens*, cetacean, anatomy, dissection, osteology, computed tomography.

RESUMO

O cifio de Sowerby (*Mesoplodon bidens*) é un cetáceo odontoceto da familia Ziphiidae e un dos catro mesoplodontes que habitam as augas profundas do Atlántico norte. Moi poucos teñen a oportunidade de observar esta especie no seu medio natural e, por iso, a información acerca da súa anatomía e bioloxía é escasa e provén maioritariamente de exemplares varados. Neste traballo combináronse técnicas anatómicas e radiolóxicas para describir de forma detallada a anatomía da rexión cefálica dun cifio de Sowerby macho subadulto varado en Coruña en maio de 2021 co obxectivo de ampliar os coñecementos sobre a especie e así contribuír á súa conservación. Prestamos especial atención a aqueles órganos involucrados na emisión e recepción de sinais acústicas que permiten a estes animais habitar zonas inalcanzables para a maioría dos mamíferos mariños. Nos resultados mostramos estruturas como o complexo de sacos aéreos, un órgano espermaceti anterior independente inmediatamente caudal ao melón, as características morfolóxicas do cráneo e as primeiras imaxes de tomografía computarizada da cabeza dun zifio de Sowerby. Por último, toda a información recollida na minuciosa disección, o estudo osteolóxico e a interpretación das imaxes radiolóxicas discútese e compárase cos limitados estudos publicados sobre a anatomía desta rexión en zifios.

Palabras chave: cifio de Sowerby, *Mesoplodon bidens*, cetáceo, anatomía, disección, osteoloxía, tomografía computarizada.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Características morfológicas.....	9
1.2 Morfología del cráneo	10
1.3 Distribución y abundancia.....	11
1.4 Ciclo biológico	12
1.5 Ecología y uso del hábitat	14
1.6 Estructura social y biología del buceo.....	16
1.7 Estado de conservación y amenazas principales.....	18
2. OBJETIVOS	20
3. MATERIAL Y MÉTODOS	21
4. RESULTADOS	23
4.1 Disección.....	23
4.1.1 Órganos productores, transmisores y receptores del sonido.....	24
4.1.2 Cavidad oral, laringe y faringe	28
4.2 Osteología	29
4.2.1 Cráneo	30
4.2.2 Mandíbula	34
4.2.3 Esqueleto postcraneal.....	35
4.3 Tomografía computarizada	34
5. DISCUSIÓN	40
6. CONCLUSIONES	42
7. BIBLIOGRAFÍA	43

INTRODUCCIÓN

Hace 3500 millones de años los océanos que todavía hoy ocupan la mayor parte del planeta constituyeron un caldo de cultivo idóneo para la aparición de las primeras moléculas orgánicas, permitiendo la formación de estructuras simples que eventualmente evolucionaron hacia formas de vida más complejas tanto en el medio marino como, posteriormente, en el terrestre. Más tarde, durante el Eoceno (hace aproximadamente 50 millones de años) apareció un grupo de animales que derivan de un mismo ancestro común y que hoy en día se clasifican en el orden Artiodactyla: los ungulados artiodáctilos y los cetáceos (infraorden Cetacea); estos últimos retornaron al medio acuático (Committee on Taxonomy, 2023; Fordyce, 2018; Thewissen *et al.*, 2007).

Los cetáceos son un grupo de mamíferos marinos que, junto a pinnípedos, sirénidos, mustélidos marinos y oso polar, desarrollan parte o todo su ciclo vital en el agua. Aunque los distintos grupos de mamíferos marinos tienen orígenes evolutivos diferentes, han desarrollado adaptaciones similares al medio marino. Entre ellas, la modificación de las extremidades en aletas, la adquisición de una espesa capa de tejido graso aislante y el desarrollo de diversas habilidades natatorias y de buceo que, en el caso de los cetáceos, incluye la aparición de un potente pedúnculo caudal (Berta *et al.*, 2015; Reindenberg, 2007).

Entre los mamíferos marinos, los cetáceos son los que mejor se han adaptado a la vida acuática. En la actualidad conocemos 14 familias y más de 90 especies de cetáceos (Committee on Taxonomy, 2023). Se diferencian dos grandes grupos de cetáceos: por un lado, los odontocetos, que como su nombre indica presentan dientes; por otro lado, los misticetos o ballenas que se alimentan filtrando agua gracias a unas formaciones queratinizadas en su cavidad oral denominadas barbas. Otro rasgo que les diferencia es que las ballenas presentan dos orificios nasales externos (espiráculos o aventadores), mientras que los odontocetos solo presentan uno (Berta *et al.*, 2015; Reindenberg, 2007).

El grupo de los odontocetos incluye a 79 especies entre las que se encuentran cachalotes, delfines oceánicos y de río, beluga, narval, marsopas y zifios (Committee on Taxonomy, 2023). Todos ellos han desarrollado un sentido único para percibir el medio que les rodea mediante el empleo del sonido: la ecolocalización. Esta consiste en la emisión de ondas sonoras de alta frecuencia y corta duración que, tras rebotar contra objetos o seres vivos, genera ecos que son recibidos e interpretados por el animal emisor, creando así una imagen representativa de su entorno. La ecolocalización se emplea para la orientación, la búsqueda de alimento y el análisis de presas u objetos, resultando en un sentido particularmente apropiado para la percepción del medio en aguas profundas y/o con poca visibilidad. Por todo ello, ha sido fundamental la evolución de un sistema auditivo dotado de diferentes estructuras, alojadas en la región de la cabeza y especializadas en la producción, emisión y recepción de impulsos sonoros. De esta forma, el sentido del oído gana

importancia sobre el de la vista en cetáceos odontocetos (Norris, 1968; Ketten, 1992; Au, 1993 y 2009).

Los zifios, también denominados ballenatos de hocico o, del inglés, ballenas picudas (*beaked whales*), han sido los grandes desconocidos hasta los años 90 del siglo pasado debido a su comportamiento críptico en superficie y a su presencia casi exclusiva en áreas oceánicas de grandes profundidades, generando una tasa muy baja de detección e identificación en su hábitat natural. Durante años, el escaso conocimiento que se ha podido obtener de ellos fue gracias a los cadáveres que varaban en diferentes costas del planeta (Berta *et al.*, 2015). Desde finales del siglo pasado distintos estudios comenzaron a arrojar luz sobre la biología de estos animales en zonas donde son especialmente abundantes, como en las islas Canarias (Aguilar de Soto, 2017).

Los zifios, también denominados ballenatos de hocico o, del inglés, ballenas picudas (*beaked whales*), son animales esquivos en superficie y habitan casi exclusivamente áreas oceánicas de grandes profundidades., generando una tasa muy baja de detección e identificación en su hábitat natural. Por ello, el escaso conocimiento que se ha podido obtener acerca de ellos fue gracias a los cadáveres que varaban en diferentes costas del planeta (Berta *et al.*, 2015). Desde finales del siglo pasado, distintos estudios comenzaron a arrojar luz sobre la biología de estos animales en zonas donde son especialmente abundantes, como en las islas Canarias (Aguilar de Soto, 2017).

La familia *Ziphiidae* comprende 24 especies de zifios clasificados en 6 géneros: *Ziphius*, *Tasmacetus*, *Berardius*, *Indopacetus*, *Hyperoodon* y *Mesoplodon*, aunque la taxonomía de este grupo todavía es incierta y debe considerarse provisional ya que se describen nuevas especies constantemente y las antiguas están siendo sometidas a revisión (Committee on Taxonomy, 2023). Se trata de animales cuyo tamaño y peso varía desde 3 m y unos 100 kg hasta más de 10 m y 12 toneladas. Las diferentes especies destacan morfológicamente por presentar un rostro alargado (“pico”) de tamaño variable y, en el espacio intermandibular, dos surcos ventrales que convergen rostralmente hacia el mentón. Los dientes de los zifios son muy escasos e incluso pueden no hacer erupción (excepto en machos maduros), por lo que dos surcos o pliegues ventrales (Figura 5B) facilitan la expansión brusca de la cavidad oral y así la generación de presión negativa intraoral que permite la captura de sus presas por succión (Werth, 2006; Hocking *et al.*, 2017). Las aletas pectorales son relativamente pequeñas y tienen la capacidad de “encajar” en unas depresiones de la pared corporal denominadas “alforjas” para ayudar a mejorar su perfil hidrodinámico. La aleta dorsal suele ser falciforme, de pequeño tamaño y estar implantada relativamente caudal en el lomo del animal. Las aletas caudales suelen ser grandes y de forma característica carecen de muesca central o incluso pueden mostrar un saliente entre ambos lóbulos caudales (Rommel *et al.*, 2006; Aguilar de Soto *et al.*, 2017).

Este trabajo se centrará en la primera especie descrita del género *Mesoplodon*: el zifio de Sowerby (Sowerby, 1804). Esta especie, que vive solo en aguas del Atlántico norte, vara con relativa frecuencia en comparación con otros zifios y fue gracias a esto por lo que se estudió por primera vez tras el hallazgo de su cadáver en las costas escocesas en 1800. Sin embargo, la ampliación de conocimientos sobre la biología y el comportamiento de esta especie ha sido escasa en los últimos 200 años. Su nombre científico de género, *Mesoplodon*, procede del griego y podría ser traducido como “armado con dos dientes en medio (de la mandíbula)” (*meso* medio, *hopla* armas, *odon* dientes); su nombre como especie, *Mesoplodon bidens*, deriva del latín (*bi* dos, *dens* dientes) y define un rasgo morfológico característico en los machos adultos de esta especie, la presencia de dos dientes en la mandíbula, que hoy en día se sabe que es característico de todas las especies del género (Ellis y Mead, 2017). Los análisis mitocondriales (mtADN) y de filogenética nuclear sugieren que el zifio de Sowerby podría ser una de las especies del género *Mesoplodon* más arcaicas (Einfeldt *et al.*, 2019; McGowen *et al.*, 2020). En Galicia el varamiento de esta especie es muy poco frecuente, siendo el animal sobre el que se realiza este trabajo el cuarto zifio de Sowerby que aparece en estas costas en 30 años, momento en que empezó a funcionar la Red de Varamientos de Galicia y se empezaron a registrar todos los varamientos en los 1500 km de costa gallega (P. Covelo, CEMMA, comunicación personal, 24 de enero de 2024).

Puesto que la especie sobre la que se centra este trabajo no se estudia habitualmente en el grado en Veterinaria, y que además los zifios en general y el de Sowerby en particular no son conocidos por el público general, consideramos oportuno hacer una descripción general sobre los aspectos más relevantes de su biología.

Características morfológicas:

El zifio de Sowerby presenta el aspecto externo típico de un mesoplodonte, esto es, un cuerpo fusiforme e hidrodinámico dotado con una pequeña aleta dorsal falciforme situada en la mitad posterior del dorso (Figura 1). Su cabeza es pequeña y estrecha con una frente convexa, aunque no abombada como en el caso de las especies de los géneros *Berardius* e *Hyperoodon*. Su característico pico comprende entre el 63% y el 64% de la longitud total del cráneo en machos y hembras adultos respectivamente (Smith *et al.*, 2021a). Un par de dientes triangulares se localizan



Figura 1: Aspecto externo de un macho adulto de zifio de Sowerby (*Mesoplodon bidens*). Fuente: NOAA Fisheries.

caudalmente a la sínfisis mandibular en los machos adultos; las hembras presentan una versión mucho más reducida de estos dientes que nunca llegan a hacer erupción, siendo este carácter el único rasgo de dimorfismo sexual de *M. bidens* (MacLeod, 1998; Macleod y Herman, 2004). Esta especie alcanza longitudes máximas en machos adultos de aproximadamente 5,5 m y al menos de 5 m en hembras (Mead, 1984). Se estima que la longitud total al nacer es de 228 cm (Bachara, 2016). La masa corporal ronda los 1000-1300kg en individuos maduros. La coloración corporal consiste en un azul grisáceo oscuro en la superficie dorsal de la cabeza y el cuerpo, desvaneciéndose hacia gris pálido en flancos y superficie ventral; las cabezas de las crías y los juveniles pueden ser de color gris claro. Se han observado animales de color gris oscuro o negro uniforme, pero dicha coloración es rara y en animales varados puede deberse a la descomposición. Los animales, especialmente los machos, a menudo presentan cicatrices en forma de lesiones longitudinales lineales paralelas (correspondientes a sus colmillos) debido a la interacción intraespecífica con otros machos. También pueden mostrar cicatrices pálidas y circulares por mordeduras del tiburón tolo o cigarro (*Isistius* spp.) (Martin *et al.*, 2011; Ellis y Mead, 2017).

Morfología del cráneo

El proceso evolutivo que determinó la correcta adaptación de los cetáceos en el medio marino fue, y sigue siendo, un misterio para muchos anatomistas. La restructuración de piezas óseas como por ejemplo la extensión de falanges para formar las aletas pectorales o la falta de extremidades posteriores (vestigio peneano), determinaron el éxito de este proceso. Fue precisamente la región cefálica, la que llamó la atención de Miller, quien en 1923 propuso el término “telescopaje” para explicar la reorganización que sufrieron varios huesos faciales y craneales en los cetáceos. El telescopaje consiste en un alargamiento del esplanocráneo y por lo tanto a su desplazamiento dorsocaudal, esto a su vez, da lugar a una superposición de los huesos del cráneo (Figura 2). Los



Figura 2: Vista dorsal del esqueleto de la cabeza de un zifio de Sowerby.

zifios, protagonistas de este capítulo, evolucionaron para ser grandes buceadores de aguas profundas y poco luminosas. Entre estos cambios, la abertura nasal ósea adoptó una posición dorsal y consecuentemente, la cavidad nasal es prácticamente vertical. Esto, facilitó la salida a superficie durante el nado en cada ciclo respiratorio. Por otro lado, rodeando estructuras acústicas, aparece un vértex muy característico de la familia.

Distribución y abundancia:

Existen cuatro especies de zifios del género *Mesoplodon* que habitan regularmente en el Atlántico norte: el zifio de Sowerby, el zifio de Blainville (*Mesoplodon densirostris*), el zifio de Gervais (*Mesoplodon europaeus*) y el zifio de True (*Mesoplodon mirus*) (Moore, 1966; Mead, 1989).

Como la mayoría de las especies de zifios, *M. bidens* es difícil de estudiar *in situ* por su naturaleza esquiva y su hábitat oceánico. Los esfuerzos para identificar a esta especie en el mar llevan implícitos numerosos obstáculos. Su coloración gris, parecida a la del resto de mesoplodontes, los largos tiempos de inmersión y las condiciones climáticas adversas dificultan su identificación, sesgando potencialmente los patrones de distribución espaciotemporal, así como las estimaciones sobre su abundancia. Como resultado, la mayoría de esta información se ha obtenido a partir de registros de varamientos y avistamientos ocasionales en el mar. En definitiva, no se conoce hasta qué punto la distribución de los especímenes varados coincide con la distribución real. Esto es así porque los animales enfermos pueden desviarse de su rango habitual y sus cadáveres recorrer grandes distancias al ser arrastrados por las mareas antes de llegar a tierra. Por lo tanto, los lugares de varamientos pueden deberse tanto a las corrientes oceánicas como a las distribuciones reales (Mead, 1989). La identificación de cadáveres puede resultar compleja, especialmente cuando estos no son frescos, resultando en menciones incorrectas sobre distintas especies de la familia en la literatura (Macleod, 2000).

Dicho esto, la distribución más aceptada actualmente del zifio de Sowerby comprende exclusivamente el océano Atlántico norte, mayoritariamente 30° al norte. En el este, su territorio se extiende desde el mar de Noruega hasta las islas Canarias. La ampliación meridional de la distribución de esta especie hasta el archipiélago canario es consecuencia de un único varamiento en Lanzarote y por lo tanto se ha considerado extralimital (27° N de latitud) (Martin *et al.*, 2011). En el Atlántico oeste, el zifio de Sowerby ocupa desde Terranova y Labrador hasta el norte de Florida (Fraser, 1974; Dix *et al.*, 1986; Bonde y Oshea, 1989; Lien *et al.*, 1990; Carlstrom *et al.*, 1997; McAlpine y Rae, 1999; Macleod, 2000).

Los varamientos de esta especie son más frecuentes en el Atlántico este (especialmente en el mar del Norte) que en el oeste; sin embargo, se ha demostrado que esto no se relaciona con diferencias de abundancia poblacional. El gran número de varamientos de *M. bidens* en el mar del Norte ha llamado la atención de varios investigadores en las últimas décadas ya que este se trata de un mar poco profundo (<200 m). Generalmente se ha considerado que el zifio de Sowerby, al igual que otras especies de *Mesoplodon*, no frecuentan la plataforma continental, sino que habitan aguas más profundas. Los bordes de estas plataformas y las pendientes continentales son áreas idóneas para que *M. bidens* desarrolle sus hábitos de caza (Loughlin *et al.*, 1982; Mead, 1989; Read, 1996). Además, a pesar de los esfuerzos, no se han confirmado avistamientos de *M. bidens* en el mar del Norte aparte de aquellos animales que más tarde quedaron varados (Klinowska, 1991). Smeenk (1997) fue el primero en sugerir que el mar del Norte actuaba como una trampa para el cachalote (*Physeter macrocephalus*), otra especie de buceo profundo. Más tarde, MacLeod (2000) amplió la idea para *M. bidens*, postulando que su aparición en esta área es ocasional. Por lo tanto, el mar del Norte no debería considerarse una área de distribución habitual para el zifio de Sowerby ya que los animales enfermos o muertos que aparecen en la zona parecen ser una consecuencia de la corriente del Atlántico norte, que arrastra los cuerpos hacia la costa; en el Atlántico oeste, donde la frecuencia de varamientos es notablemente inferior, la corriente del Golfo es la responsable del efecto contrario (Smith *et al.*, 2021a).

En las áreas más meridionales de Europa, el zifio de Sowerby se observa con frecuencia en las islas Azores, particularmente en verano, cuando las condiciones climatológicas lo permiten. Es probable que el archipiélago sea un hábitat importante para esta especie (Reiner, 1986; Pereira *et al.*, 2011). Situadas a lo largo de un límite entre placas tectónicas, en la Dorsal Mesoatlántica, estas islas son características por sus plataformas insulares de alta variabilidad espacial, estacional e interanual, típica de las latitudes medias. La profundidad media en esta zona ronda los 3000 m, facilitando la surgencia oceánica y aumentando la productividad primaria en la región, generando condiciones favorables de alimentación para esta especie (Caldeira y Reis, 2017; Amorim, 2017).

Tras analizar biometrías mandibulares y del cráneo en 112 zifios de Sowerby recolectadas tanto del océano Atlántico este como oeste, Smith (2021 a y b) encontró que 3 de estas medidas eran significativamente mayores en los especímenes del Atlántico oeste. Por otro lado, los análisis de las proporciones de isótopos estables de carbono y nitrógeno en hueso, músculo y piel de ambas poblaciones demostraron diferencias significativas, sugiriendo que estos zifios muestran fidelidad a largo plazo en cada región. También podría interpretarse como una baja tasa de migraciones de larga distancia. La escasez de avistamientos registrados durante varios estudios de campo resultan insuficientes para extrapolar estimaciones precisas sobre la abundancia en la mayoría de las especies de zifios. Dados estos desafíos, estimar el tamaño efectivo de la población de zifio de

Sowerby mediante enfoques genéticos podría ser el abordaje más eficaz para obtener datos fiables sobre la abundancia de esta especie (Smith, 2021 a y b; Rogan et al. 2017).

Ciclo biológico:

El ciclo biológico es probablemente uno de los aspectos más desconocidos hasta la fecha del género *Mesoplodon*. Algo de información relevante sobre este aspecto se ha obtenido gracias a distintos varamientos de crías de zifio de Sowerby en el Atlántico norte, particularmente durante verano y otoño (MacLeod *et al.*, 2004). Algunas de ellas son: octubre, una cría macho de 269 cm varada en la costa este de Escocia (SAC 2000); septiembre, otra cría quedó varada en la isla de St. Kilda, Escocia, junto a su madre (Brownlow y Davison, 2013). Estos varamientos podrían relacionarse con la falta de capacidad para combatir condiciones climatológicas adversas como la gran corriente del Atlántico norte. Otra cría de zifio de Sowerby con una longitud total de 228 cm quedó varada en Asturias en junio, por lo que Bachara *et al.* (2016, no publicado) determinaron esta longitud como la propia de esta especie al nacer. Todos estos datos concuerdan con Jongsard y Hoidal (1957) que, tras examinar varios zifios de Sowerby varados en Noruega, concluyeron que en esta especie el apareamiento sucede a finales de invierno y en primavera, seguido de una gestación de aproximadamente un año de duración.

Las hembras dan a luz a una única cría, que permanece con la madre hasta alcanzar una longitud de 3 a 4 m (Mead, 1984). El gran tamaño de los zifios al nacer puede ser una táctica evolutiva para evitar depredadores como las orcas, permitiendo a las crías de poca edad realizar inmersiones profundas, sincrónicas con los adultos, y así evitar el peligro de la soledad en superficie (Aguilar de Soto *et al.*, 2020).

Los primeros avistamientos de zifio de Sowerby adultos acompañados de crías en el Atlántico noreste sucedieron en las costas irlandesas hace 13 años, ayudando a complementar la escasa información sobre esta especie. Estas observaciones ocurrieron en mayo de dos años consecutivos y las crías observadas no presentaban pliegues neonatales, por lo que es probable que se trataran de crías nacidas durante el verano anterior, de aproximadamente 6-12 meses de edad. La primera observación ocurrió el 9 de mayo de 2015 aproximadamente a 120 km de la costa a una profundidad de 2588 m, se trataba de una hembra adulta y una cría. La segunda observación se dio el 23 de mayo de 2016 aproximadamente a 360 km de la costa y 3195 m de profundidad. En este caso, se trataba de un grupo compuesto por dos individuos adultos, acompañados por dos crías de la mitad de la longitud que ellos y un individuo de longitud intermedia (Berrow *et al.*, 2018). Este acontecimiento fue similar al que Hooker y Baird (1999) reportaron acerca de un grupo mixto de 8 a 10 individuos en julio del mismo año al este de Canadá. La diversidad de

tamaño y género entre individuos de un mismo grupo es una muestra de que no se produce segregación sexual o de edades en esta especie.

Durante el primer año, las crías pueden crecer entre 1 y 2 m de longitud, pero se desconocen las tasas de crecimiento después del primer año. Se ha demostrado que, en otras especies, como el calderón boreal (*Hyperoodon ampullatus*), la relación madre-cría se prolonga de 3 a 4 años (Feyrer *et al.*, 2020). Si los zifios de Sowerby exhiben patrones similares, esto podría significar una baja tasa de reproducción.

La madurez sexual en ambos sexos ocurre probablemente antes de la madurez física, y los registros de hembras gestantes varadas entre 4 y 4,5 m de longitud indican que esta se alcanza alrededor de los 4 m (Jonsgard y Hoidal, 1957; Smith *et al.*, 2021a). Los machos sexualmente maduros poseen un par de colmillos visibles en la mandíbula que pueden usarse en exhibiciones de apareamiento o para determinar dominancia entre machos. Los altos niveles de cicatrices intraespecíficas en los machos sugieren que estas agresiones son comunes, y por lo tanto resulta un papel clave en la época de apareamiento (MacLeod, 1998; Macleod y Herman, 2004).

Ecología: uso de hábitat y alimentación

Si hay un carácter que ha fascinado a los científicos sobre la familia Ziphiidae es su patrón único del uso de ciertos hábitats, accesibles por muy pocos mamíferos. Para los depredadores de las profundidades marinas, las presas se distribuyen en un mundo tridimensional de alta presión y a menudo de oscuridad total. Debido a estas preferencias de hábitat y a su comportamiento esquivo, el estudio de los zifios se ha convertido en un verdadero reto para los cetólogos. La mayoría de los avistamientos de zifios de Sowerby se describen en aguas profundas sobre pendientes continentales como la escocesa en el Atlántico occidental o en el canal de las islas Feroe-Shetland estos avistamientos también son relativamente comunes alrededor de las islas volcánicas de las Azores, donde la profundidad aumenta rápidamente a medida que nos distanciamos de la costa (Pereira *et al.*, 2011). Estos datos sugieren que los zifios de Sowerby utilizan principalmente hábitats con profundidades de 500 a 2000 m, aunque también pueden aparecer en el océano abierto lejos de los bordes de las pendientes de las plataformas continentales o utilizar montañas submarinas y cordilleras en todo el Atlántico norte (Whitehead 2013; Stanistreet *et al.* 2016, 2017; Breen *et al.* 2020).

Según un estudio realizado en zifios de Cuvier y de Blainville (especies observadas acompañando a zifios de Sowerby), se ha demostrado que estos animales cazan exclusivamente en el fondo marino, invirtiendo aquí la mayor parte de su tiempo de búsqueda de alimento sin diferencias destacables a lo largo de las 24 h del día. Al menos el 43% de los intentos de captura de presas registrados durante la investigación se realizaron dentro del límite bentónico, especialmente en

los estratos meso y bentopelágico, a pesar de la amplia gama de profundidades cubiertas durante las inmersiones. Estos zifios solo inician la búsqueda de alimento, es decir, se comienzan a detectar señales acústicas de ecolocalización cuando la inmersión llega a grandes profundidades y el animal encuentra presas aptas para la captura, generalmente pocos minutos tras los primeros clics. Otro hallazgo documentado muestra que cuando los zifios bucean en profundidad lo hacen junto a los otros componentes de su mismo grupo, pero obtienen el alimento por separado. Este comportamiento colectivo podría ser una estrategia para evitar la interferencia acústica en un intento de maximizar la tasa de éxito individual (Alcazar, 2021; Arranz, 2011).

Los zifios, al igual que el resto de odontocetos, son animales acústicamente activos. Por ello, las técnicas de monitorización acústica pasiva constituyen una serie de herramientas particularmente útiles para poder ampliar la base de datos sobre estas especies (Mellinger, 2007). Gracias a este tipo de estudios, Barile (2021) pudo identificar distintas variables oceanográficas indicativas de la disponibilidad de alimento, y por lo tanto, de la presencia de zifios de Sowerby y Cuvier lo largo del límite de la plataforma continental irlandesa. Por ejemplo, la probabilidad de detección acústica de los zifios de Sowerby coincidió con valores más bajos de temperatura relativa en la superficie del mar, lo que podría indicar eventos de afloramiento. El estudio también señaló la diferencia de distribución latitudinal entre el zifio de Sowerby y el de Cuvier, probablemente reflejando una diversificación entre las dietas de ambas especies.

Tras el estudio de diferentes zifios varados (este) o capturados accidentalmente en artes de pesca (oeste) en ambas costas del Atlántico norte, se ha podido obtener información relativamente precisa sobre la dieta de esta especie. Esta se compone principalmente de peces meso y bentopelágicos, lo que coincide con el uso de hábitat descrito. El 98,5% la dieta analizada en el estómago de los individuos la constituyen peces de pequeño tamaño y tan solo un 1,5% representa a los cefalópodos, contrastando con la dieta basada en calamares de muchos otros zifios. En representación de la población del oeste, Wenzel (2013) estudió 11 individuos capturados accidentalmente en pesca de deriva pelágica para del pez espada (*Xiphias gladius*). Las presas identificadas en los estómagos de estos zifios eran bastante pequeñas, con longitudes que variaban de 4,0 a 27,7 cm. La mayoría de las presas eran de 5 taxones de peces: el bacalao de barba corta (*Laemonema barbatulum*) representó el 35,3% de los otolitos encontrados, el pez linterna de Cocco (*Lobianchia gemellarii*) el 12,9%, el marlín (*Nezumia bairdii*) el 10,8%, los peces linterna (*Lampanyctus* spp.) el 8,4%, y el rape de aleta larga (*Phycis chesteri*) el 6,7%.

Al otro lado del Atlántico, Spitz (2011) observó el contenido estomacal de *M. bidens* varados en el golfo de Vizcaya. Puede ser que estos resultados no sean tan significativos como los de Wenzel (2013) ya que los animales que varan suelen pasar tiempo sin alimentarse antes de llegar a la playa. Los peces pequeños dominaron las 294 presas encontradas en el contenido estomacal de

estos zifios de Sowerby. Se identificaron cuatro especies de gádidos, siendo la bacaladilla (*Micromesistius poutassou*) (24,7%), la faneca y el capellán (*Trisopterus luscus* y *T. minutus*, respectivamente) (13,4%) las especies más abundantes. La merluza (*Merluccius merluccius*) fue otro hallazgo representativo (11,8%). Los cangrejos nadadores *Polybius* spp. (33,0%) y distintas especies de sepia (8,0%) también ocuparon partes significativas de la dieta.

Estructura social y biología del buceo

Los estudios de seguimiento y fotoidentificación a largo plazo de distintas especies de zifios han sido la principal fuente de información sobre su estructura social, tamaño aproximado de población y tasas vitales, aunque todavía muchos aspectos siguen siendo desconocidos. Al igual que otros cetáceos, los zifios pueden mostrar marcas únicas, ya sean muescas en la aleta dorsal o cicatrices en el dorso y los costados. Gracias a ello, los individuos pueden ser identificados fotográficamente y detectados en distintas ocasiones a lo largo del tiempo. El primer intento por catalogar un grupo de zifios de Sowerby se realizó en las islas Azores, zona de avistamiento relativamente habitual para la especie cuando las condiciones de visibilidad son adecuadas. Durante el verano de 2012, cinco individuos de esta especie fueron fotoidentificados con éxito y se realizó el seguimiento de hasta 8 grupos gracias a esfuerzos visuales desde mar y tierra firme. Coincidiendo con datos obtenidos de encuentros en libertad y varamientos masivos, se comprobó que los animales aparecen en grupos de menos de diez individuos, incluyendo hembras con crías, juveniles y machos sexualmente maduros (Visser, 2012, Hooker y Robin, 1999) (Figura 3). En otras especies de zifios la cohesión grupal puede durar desde semanas hasta años, mientras que otros presentan altos niveles de fisión-fusión (Baird, 2019; Coiffi, 2020). Ocasionalmente se han observado interacciones inter-específicas de zifio de Sowerby con otros zifios como el calderón de hocico boreal (*Hyperoodon ampulatus*) en la costa este canadiense o como con zifios de Cuvier (*Ziphius cavirostris*) en el Mediterráneo (Bittau *et al.*, 2018; Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada, 2019).

En cuanto al comportamiento de esta especie, se conoce sobre todo el que se observa en superficie. De la misma forma que el resto de mamíferos marinos, los zifios dependen de su salida a superficie para respirar. En el caso de los zifios de Sowerby se ha registrado que lo hacen en intervalos de menos de 5 min y, cuando llega el momento, lo primero que se observa es su largo rostro saliendo del agua a 30-45° de la superficie para a continuación volver a sumergirse. Durante las salidas a la superficie, los componentes del grupo realizan entre 6 y 8 buceos someros de manera coordinada, salen a respirar en cuestión de segundos uno del otro para posteriormente sumergirse a la vez hasta profundidades de 1000 m o más, con duraciones de unos 30 minutos (Carlstrom *et al.*, 1997, Hooker y Baird, 1999; (Dudok van Heel, 1974; Bose *et al.*, 1990; Hooker y Baird, 1999; MacLeod *et al.*, 2003; Wenzel *et al.*, 2013).). En superficie, se ha observado que

se desplazan a velocidades de 1 a 2 nudos (Carlstrom *et al.*, 1997). Gracias al marcaje con etiquetas satelitales, se ha demostrado que otras especies de zifios, como el de Cuvier, pueden bucear hasta profundidades de casi 3000 m con una duración media de aproximadamente 59 min, superando el 5% de las inmersiones los 77,7 minutos (Quick *et al.*, 2020). Por otra parte, Visser (2022) comparó patrones de inmersión dentro del género *Mesoplodon*, demostrando que el zifio de Blainville sigue una estrategia de bajo gasto energético, mientras que el zifio de Sowerby opta por inmersiones de mayor velocidad. Aunque ambos cazan en zonas meso/bentopelágicas similares, el zifio de Sowerby nada y caza de manera más rápida, realizando inmersiones profundas más cortas y ecolocalizando a un ritmo más rápido.



Figura 3: Grupo de zifios de Sowerby. Fuente: Whale and Dolphin Conservation.

También se ha analizado la comunicación grupal en zifios de Blainville y Cuvier, observando que los grupos buceaban sincrónicamente, pero cazaban de forma independiente. Sin embargo, durante estas inmersiones, los miembros del grupo permanecían dentro de un mismo rango acústico, lo que permite su coordinación de movimiento a la hora de moverse ascendiendo a superficie de forma sincrónica y manteniendo la cohesión del grupo. Estos comportamientos podrían extrapolarse al zifio de Sowerby (Johnson *et al.*, 2004; Baird, 2019; Alcázar-Treviño *et al.*, 2021).

Cholewiak (2013) utilizó hidrófonos para obtener grabaciones de las vocalizaciones emitidas por zifios de Sowerby en el oeste del Atlántico norte y documentó que el rango de frecuencia de estos clics se encontraba entre 26 kHz y 67 kHz, con un pico medio de 33 kHz, llegando a emitir 650 clics por segundo. Estos clics se emitían en su gran mayoría junto a otras frecuencias e impulsos sonoros que se intercalaban entre sí, y también con los llamados “pulsos” de sonido. Sin embargo, al otro lado del océano, la población del este utilizaba una frecuencia media de 65,8 kHz y no se

registraron clics de baja frecuencia (25 kHz) (Clarke *et al.*, 2019). Esta variación es probablemente debida a la diferencia de profundidad oceánica donde se realizaron ambos estudios.

Estado de conservación y amenazas principales

Debido a la falta de información sobre la distribución y la abundancia global o sus tendencias en esta especie. El zifio de Sowerby fue clasificado dentro la categoría de “Datos Deficientes” (DD) en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la naturaleza (UICN) en 2008. Se consideró que DD todavía podría ser aplicable en la reevaluación del 2020. Aunque la información es escasa, esta especie parece abarcar las aguas más frías del Atlántico norte y puede llegar a ser bastante común en algunas zonas como en las Azores. Por otro lado, se trata del mesoplodonte distribuido en el Atlántico más septentrional.

Las amenazas no están bien documentadas, pero está claro que la captura accidental por artes de pesca (Wenzel *et al.* 2013), las colisiones con embarcaciones (Figura 4) o la contaminación acústica antropogénica podrían causar algún nivel de declive. Debe tenerse en consideración que esta, es una especie cuya tasa de reproducción es muy baja y una disminución del 1% al año resultaría en una reducción de hasta el 45% sobre su abundancia. Sin embargo, también es posible que existan poblaciones demográficamente independientes que amortiguarían el riesgo para la especie dado que el rango de distribución abarca ambos lados del Atlántico Norte. Por todo ello, en 2020 se considera que la categoría de “Preocupación Menor” es la más indicada para el zifio de Sowerby, cuyo comportamiento esquivo respecto al ser humano parece en este caso, ser un factor favorable para la especie.



Figura 4: Zifio de Sowerby varado en Lanzarote 2007. La herida en la región cefálica se asocia a una colisión con embarcación. Fuente: M. Carrillo (Canarias Conservación) <https://www.canariasconservacion.org/ZIFIOS/Zifio-de-Sowerbys/Mesoplodon-bidens.htm>

OBJETIVOS:

En la región dorsal de la cabeza de todos los odontocetos, se localizan distintos órganos muy especializados que han evolucionado para que generen, transmitan y reciban sonidos proporcionando al animal una “visión” del medio altamente acústico en el que habitan. Con la realización de este trabajo nos propusimos utilizar las técnicas anatómicas clásicas, como son el estudio osteológico y la disección de tejidos blandos, para conocer en profundidad las estructuras de la cabeza en un macho de zifio de Sowerby (*Mesoplodon bidens*). A continuación, nos propusimos emplear dicho conocimiento anatómico para interpretar las imágenes obtenidas mediante la técnica radiológica de tomografía computarizada.

MATERIAL Y MÉTODOS:

El ejemplar empleado para este estudio era un macho subadulto de zifio de Sowerby (*Mesoplodon bidens*) varado muerto en el puerto de A Coruña el 18 de Mayo de 2021. El animal fue asistido por el personal de la CEMMA, quien llevó a cabo las biometrías pertinentes; la longitud total del ejemplar era de 421 cm. Posteriormente se realizó la necropsia y la toma de muestras, siguiendo el protocolo consensuado a nivel internacional para la necropsia de mamíferos marinos (Vázquez et al., 2015); los veterinarios y biólogos de CEMMA que realizaron la necropsia no pudieron determinar la causa de muerte. Posteriormente la cabeza se seccionó conservando las primeras vértebras cervicales y se trasladó a la Facultad de Veterinaria de la USC, donde se mantuvo en congelación a -20 °C a la espera de su estudio.

En primer lugar, se procedió a la realización de las pruebas de diagnóstico por imagen, realizadas el día 1 de diciembre de 2022 gracias a la ayuda del personal del Servicio de Diagnóstico por Imagen del Hospital Veterinario Universitario Rof Codina. Para ello, se empleó un equipo de Tomografía Computarizada (TC) Hitachi Eclon 16 multicorte, con la siguiente configuración: 120 kVp, 150 mA, 1,5 seg/rotación, y una matriz de 16 cortes x 0,625 mm. El grosor de corte varió en función del filtro empleado: 1,25 mm para las series realizadas con filtro de hueso y 2,5 mm para las de tejido blando.

Tras la realización de la TC, las imágenes se guardaron en formato Dicom y más tarde se procesaron con el programa Horos para un análisis completo de la región de la cabeza mediante su reconstrucción en diferentes planos de corte (sección sagital, coronal y transversal), junto con la obtención de imágenes tridimensionales.

El estudio anatómico, mediante disección de la región de la cabeza, se llevó a cabo en la Sala de Disección de Anatomía y Embriología Veterinaria de la Facultad de Veterinaria de la USC. El proceso se extendió a lo largo de tres jornadas (10, 11, 12 de enero de 2023) con alrededor de 8 horas de trabajo cada una. La cabeza se mantuvo congelada a -20 °C hasta dos días antes del inicio de la disección. El material empleado durante esta fue: bisturí (mango nº 4, hojas nº 22), tijeras, pinzas con y sin dientes de ratón y mosquito. Todo el proceso fue documentado mediante la grabación de vídeos y toma de fotografías (Canon PowerShot G9 X) de forma que las imágenes incluidas en el epígrafe “Resultados” del presente estudio son originales y de fuente propia. Comenzamos la disección por la región ventral accediendo a cavidad oral y estudiando las estructuras relacionadas con laringe y faringe. El segundo y tercer día se centraron en la disección de los órganos acústicos

Una vez obtenidos todos los datos necesarios para este estudio, se retiraron los tejidos blandos adheridos al esqueleto de la cabeza. La limpieza completa de los huesos se realizó por degradación biológica controlada mediante el uso de derméstidos, después se blanquearon sumergiéndolos en una solución de agua oxigenada, se dejaron secar y se fotografiaron en diferentes vistas (Canon PowerShot G9 X) .

RESULTADOS:

Disección:

Antes de comenzar la disección, la visualización externa de este ejemplar puso en evidencia algunos de los rasgos más característicos de esta especie. Por una parte, dos prominentes colmillos triangulares sobresalían del tercio rostral de la mandíbula (Figura 5A), determinando así el sexo del animal, sin necesidad de observar el resto del cuerpo. Ventralmente, en el espacio intermandibular, observamos con claridad los dos surcos ventrales que se aproximaban entre sí a medida que se prolongaban rostralmente (Figura 5B).

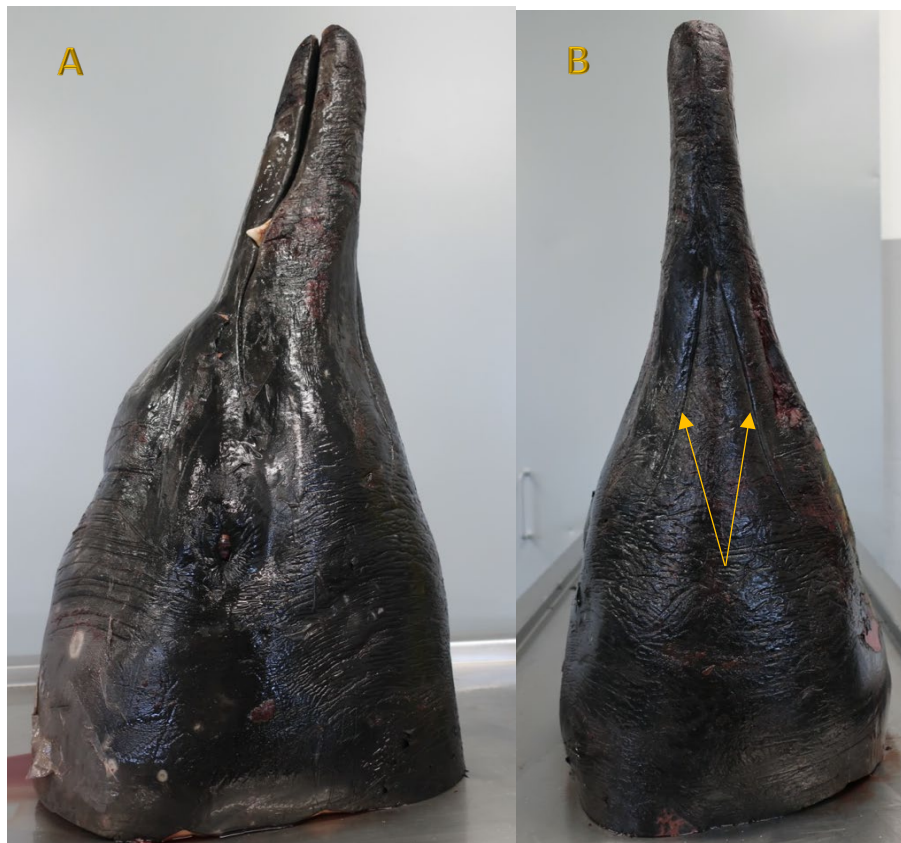


Figura 5: Vista lateral (izquierda) y ventral (derecha) de la cabeza de zifio de Sowerby. Las flechas amarillas señalan los pliegues ventrales en el espacio intermandibular.

Órganos productores, transmisores y receptores del sonido

1. Producción de sonido

1.1. Espiráculo y vestíbulo

El espiráculo o aventador es relativamente grande, aspecto típico de los mesoplodontes, y constituye alrededor del 20% de la anchura de la cabeza (Figura 6). Se trata de una hendidura transversal en forma de medialuna cuyos vértices están orientados rostralmente. Está situado

ligeramente hacia el lado izquierdo como consecuencia de la asimetría craneal y el vértice derecho se encuentra sutilmente rostral al izquierdo.

La parte más dorsal de la cavidad nasal, desde el espiráculo hasta la abertura nasal ósea, se denomina en cetáceos tracto nasal y es un pasaje único ya que no hay tabique nasal; la mucosa del tracto nasal suele ser en todos los cetáceos negra. Este tracto tenía en nuestro ejemplar un trayecto inclinado desde el espiráculo (dorsorrostral) hasta alcanzar la abertura nasal ósea (caudoventral). Dorsal, inmediatamente ventral al espiráculo se disponía una gran dilatación del tracto denominado vestíbulo, que se extendía posterior y ventralmente con un ángulo de 45° respecto al eje horizontal y también lateralmente más allá de los vértices del espiráculo. Tras retirar el techo del ventrículo, desde una vista dorsal, aparecían en la parte derecha del suelo vestibular dos surcos orientados anteromedialmente: ambos tenían al menos 1 cm de profundidad, el más rostral tenía unos 7 cm de longitud y el más caudal 5 cm; este último, a su vez, formaba un pliegue que coincidía con el labio fónico derecho. Externamente al vestíbulo, una estructura muy potente de tejido conectivo denso, la teca, se asociaba lateroventralmente a sus paredes; esta zona servía como punto de inserción de distintos músculos asociados a la pared del vestíbulo.

1.2 Labios fónicos y bolsas dorsales

Los dos pares de labios fónicos (izquierdos y derechos) tenían un aspecto semejante a los labios de muchos simios. En este espécimen, aparecían como dos válvulas de tejido conectivo compuestas por unos labios anteriores (en el caso del derecho, formado por la continuación del surco caudal del suelo vestibular) y otros posteriores. Sus bordes presentaban unas pequeñas estriaciones y estaban cubiertos por la mucosa de color negro. El par de labios fónicos derechos era considerablemente más grande que el izquierdo. Ambos se encontraban caudales al vestíbulo y dorsorrostrales a los tapones nasales (masas musculares que constituyen las compuertas entre el tracto nasal y la cavidad nasal ósea). Por otra parte, asociados a los labios fónicos, rostral y caudalmente, aparecían unas pequeñas estructuras de grasa acústica, denominadas cuerpos elípticos.

1.3 Sistema de sacos nasales

Una vez rebasados los labios fónicos en dirección ventral hacia la cavidad nasal ósea, se accedía al vestíbulo inferior del tracto nasal. Este vestíbulo inferior se extendía en un plano horizontal de forma laterorrostral para formar dos divertículos sobre los huesos premaxilares, los sacos premaxilares, siendo el saco derecho mucho más grande que el izquierdo (Figura 6 y 7). Desde la parte dorsal y caudal del vestíbulo inferior, en contacto con la pared ósea del *vertex* en la abertura nasal ósea, también se accedía a otros divertículos dorsales a los anteriores, los sacos nasofrontales (Figura 6 y 7); estos sacos eran de luz estrecha, tubulares, se extendían hacia lateral

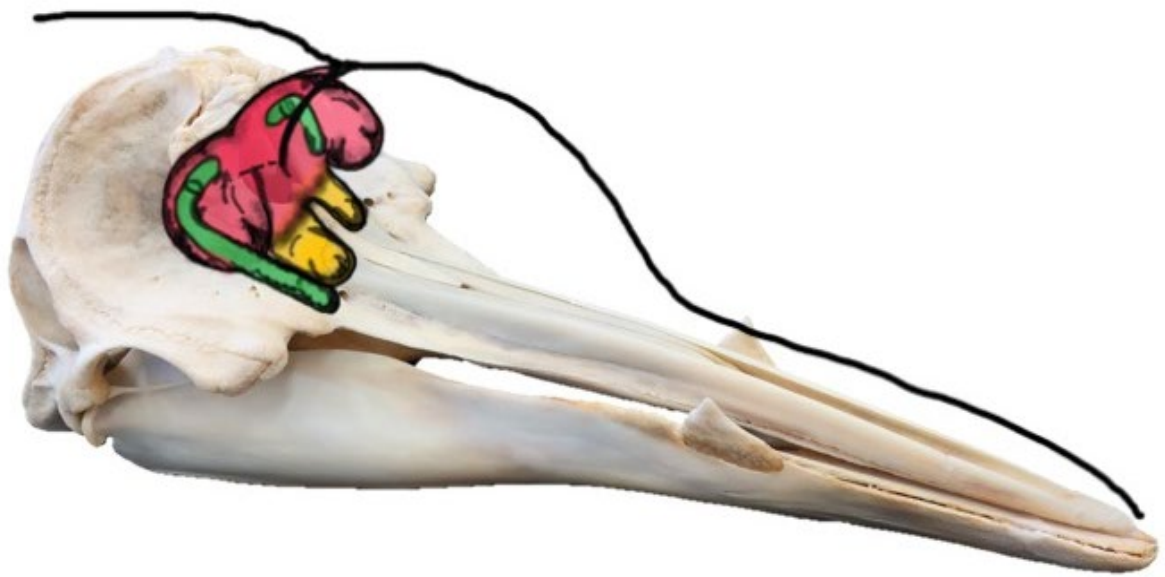


Figura 6: Representación del complejo de sacos nasales en el zifio de Sowerby. Negro: espiráculo; rosa: vestíbulo; rosa claro: sacos vestibulares; amarillo: sacos premaxilares; verde: sacos nasofrontales.

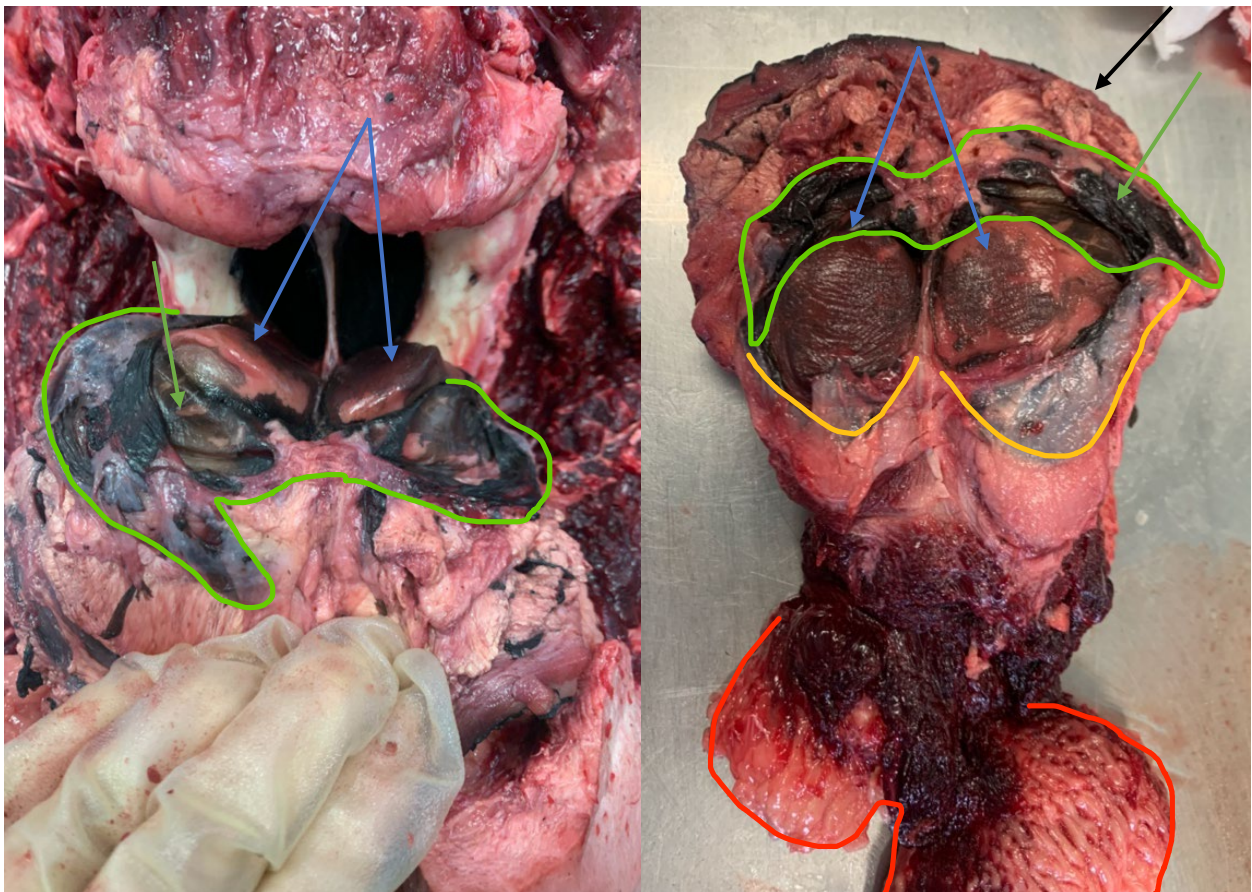


Figura 7. Izquierda: vista rostródorsal de la entrada a la cavidad nasal ósea. Derecha: vista caudoventral del complejo de sacos nasales retirados de su posición. Flechas azules: tapones nasales; flechas verdes: compartimento dorsal a los tapones nasales; marcas amarillas: sacos premaxilares; marcas verdes: sacos nasofrontales; marcas rojas: órgano espermaceti anterior. La flecha negra señala la parte caudal del espiráculo

en el caso del saco nasaofrontal derecho, hacia rostral rodeando a los labios fónicos derechos externamente; el saco nasofrontal izquierdo quedaba reducido a un divertículo simple localizado caudal y lateral a los labios fónicos izquierdos. En la pared rostral del vestíbulo inferior también se observaron dos pequeñas hendiduras (derecha e izquierda) localizadas dorsales a los respectivos tapones nasales.

Sobre la abertura nasal ósea se disponían los tapones nasales (Figura 7), dos masas musculares recubiertas de mucosa asociadas a la pared rostral del tracto nasal. Son muy asimétricos estando más desarrollado el tapón nasal derecho que el izquierdo. Los sacos premaxilares rodeaban lateralmente estos tapones para extenderse hacia rostral sobre el hueso premaxilar.

2. Transmisores del sonido

2.1 Melón y órgano espermaceti anterior

Al incidir por la línea media dorsal de la cara, rostralmente al espiráculo, observamos bajo la piel una fina capa de grasa y en profundidad a esta, una gran masa ovalada de tejido graso, estratificado en hasta tres capas de diferente coloración y textura, el melón (Figura 8B). Su consistencia y color se modificaban de forma progresiva hacia caudal para transformarse en una estructura grasa con mayor consistencia y aspecto diferenciado, el órgano espermaceti anterior (OEA)(Figura7): se originaba a partir de la mitad del melón y se extendía caudalmente en forma de cuernos derecho e izquierdo (siendo de mayor tamaño el derecho) para asociarse íntimamente con los correspondientes labios fónicos.

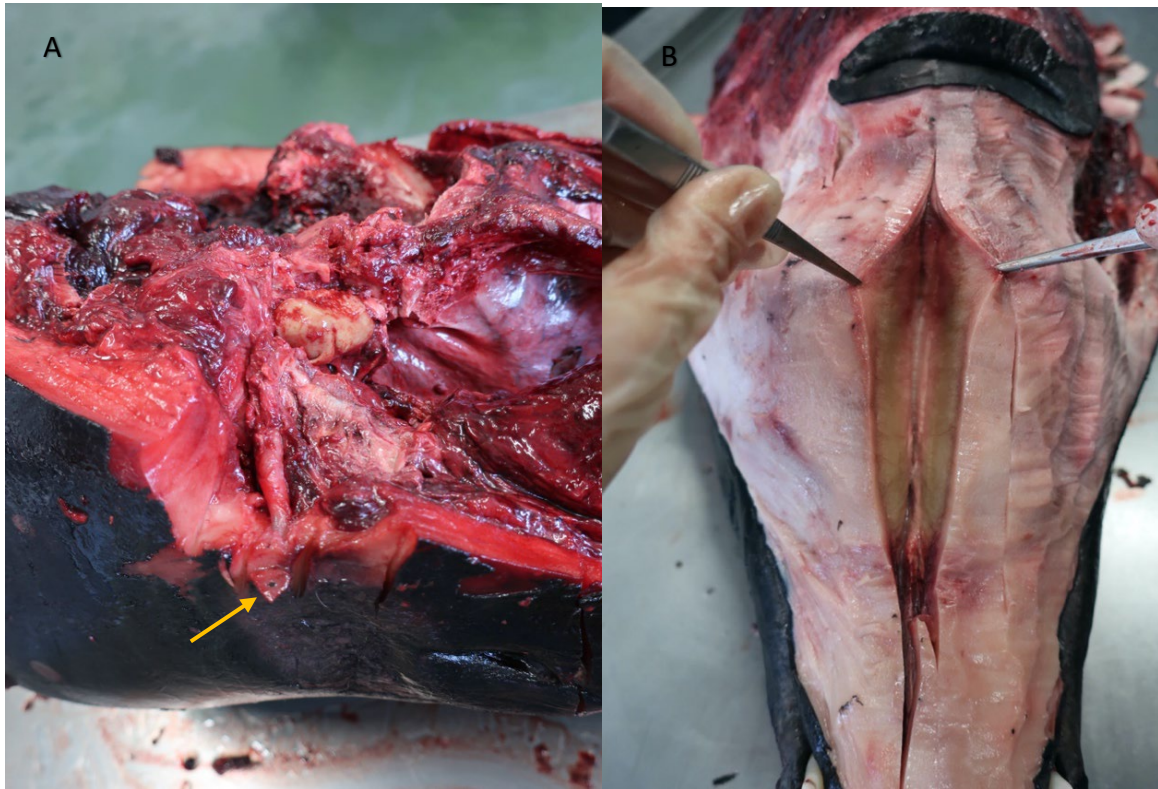


Figura 8. Izquierda: disección del meato acústico izquierdo, flecha amarilla meato acústico externo. Derecha: sección sagital del melón.

3 Receptores de sonido

3.1 Meato acústico, grasa acústica mandibular y complejo petrotimpánico

El meato acústico externo se localizó unos 10 cm caudal al ojo. Este meato estaba conectado con el complejo petrotimpánico. En la región subcutánea se identificaba como un conducto revestido de mucosa pigmentada, pero en profundidad adquiría una pared cartilaginosa que se perdía cuando alcanzaba el complejo petrotimpánico (Figura 7).

En un abordaje ventral fue fácil acceder a las masas de grasa asociadas lateral y, sobre todo, medialmente a la mandíbula. La masa de grasa medial a la mandíbula se extendía caudalmente hasta contactar con la bulla timpánica del complejo petrotimpánico. En esta región faríngea se accedió a los enormes senos pterigoideos, derecho e izquierdo, derivados de la tuba auditiva que se extendían caudal y medialmente al complejo petrotimpánico y rostralmente en la faringe dejando a los huesos pterigoideos en posición medial.

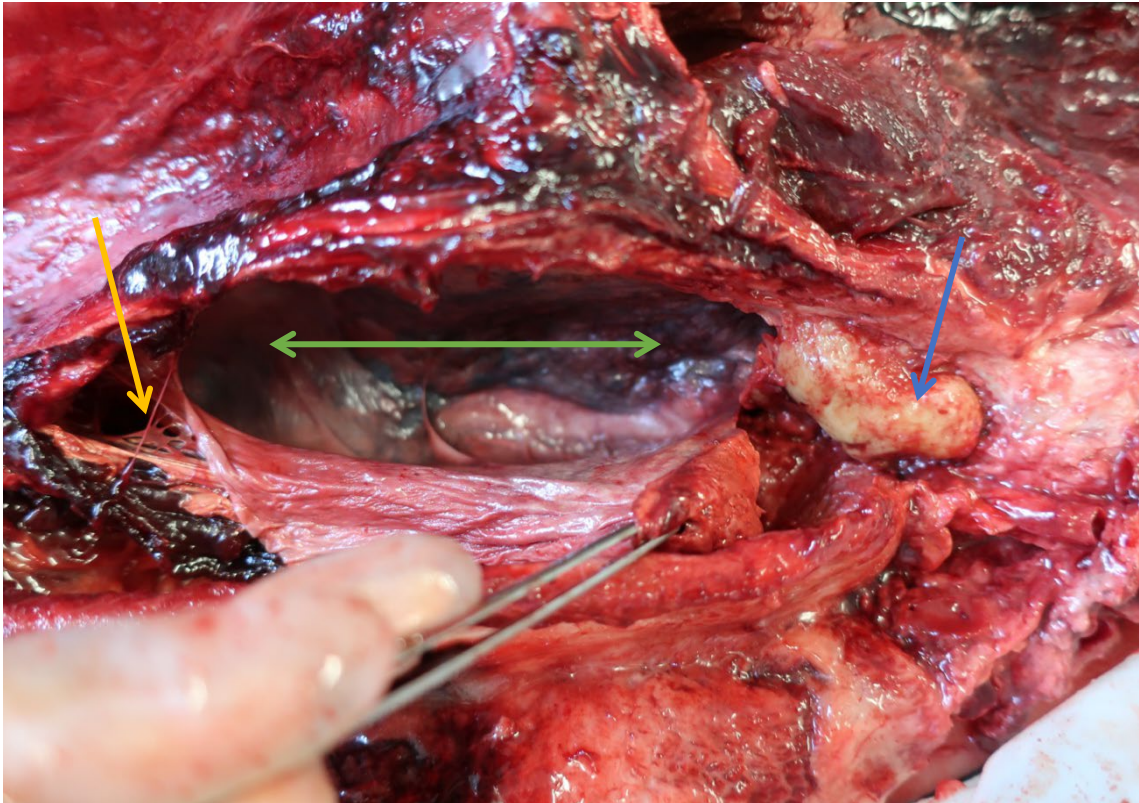


Figura 9. Abordaje a la parte izquierda de la faringe en vista ventral: Flecha verde: interior del seno pterigoideo izquierdo; flecha amarilla: mucosa de revestimiento interno del seno pterigoideo; flecha azul: bulla timpánica del complejo petrotimpánico.

Cavidad oral, faringe y laringe

En la cavidad oral la estructura más llamativa resultó ser la lengua (Figura 10), muy pequeña en relación con la longitud de la cara, y de morfología ovalada, con una porción libre muy pequeña; no se observaron estructuras compatibles con papilas gustativas en su mucosa.



Figura 10: Lengua

En la faringe la estructura dominante fue precisamente la laringe debido a su posición intrafaringea permanente en cetáceos odontocetos. En la parte rostral de la laringe los cartílagos epiglotis y aritenoides conforman el denominado “pico de pato”, una estructura cartilaginosa alargada que se proyectaba, atravesando la faringe, para insertarse en las coanas.(Figura 11). Para mantener el pico de pato en esa posición intrafaringea permanente, alrededor del extremo dorsal de la laringe se disponía el músculo palatofaríngeo, una modificación del paladar blando.



Figura 11: vista ventrolateral tras retirar la cavidad oral. Pico de pato (cuadrado amarillo) antes (arriba) y después (abajo) de su desarticulación

Osteología

A continuación, se describen los principales hallazgos respecto a los huesos obtenidos del cráneo y primeras cervicales tras realizar la disección correspondiente de la cabeza de este individuo de zifio de Sowerby.

Cráneo

Al observar el cráneo del zifio de Sowerby, destaca el rostro alargado y estrecho. Al igual que el resto de los cetáceos, presenta cierta asimetría craneal, siendo el lado derecho más grande que el izquierdo (Figura 13).

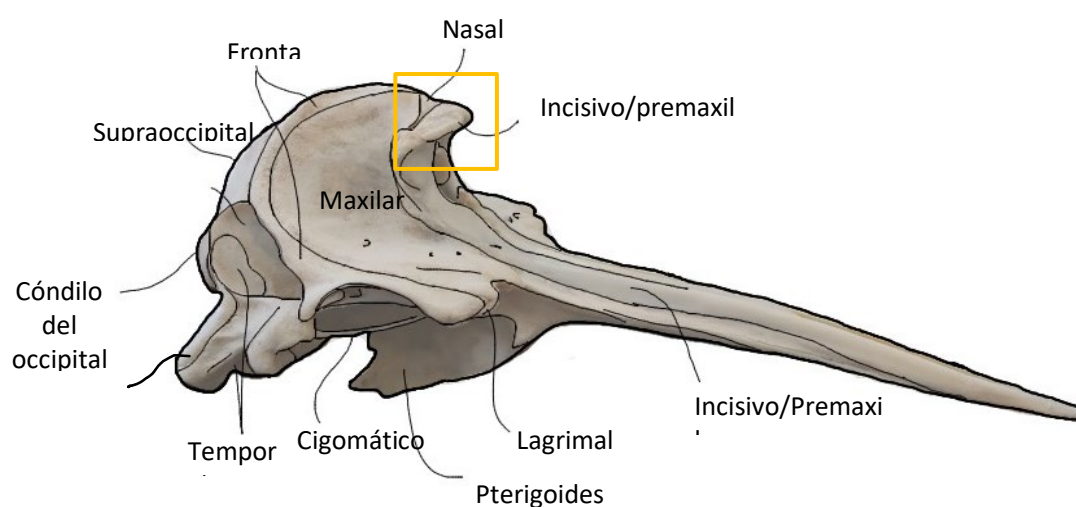


Figura 12 : Vista lateral del cráneo de zifio de Sowerby. Cuadrado amarillo: *vétrex*

El esplanocráneo, rostro o cara, ocupa en este individuo aproximadamente el 65% del cráneo, siendo los huesos más destacados los huesos premaxilar (o incisivo) y maxilar. La región caudal del hueso maxilar se expande caudal y lateralmente sobrepasando la abertura nasal ósea; caudolateralmente crea una depresión, o fosa maxilar, mientras que caudomedialmente se eleva para formar la parte posterolateral de una gran prominencia ósea que se sitúa dorsal y lateralmente a la abertura nasal ósea, el *vertex* (se explica más adelante) (Figura12). El hueso premaxilar también se extiende, siempre medial al maxilar, desde el extremo más rostral de la cara hasta el *vertex*, donde forma una cresta que se proyecta dorsorrostralmente sobre la abertura nasal ósea; el hueso presenta una fosa premaxilar lateralmente a la abertura nasal ósea, bien separada de la fosa maxilar por una cresta ósea. El *vertex* está formado por la confluencia de cinco (o seis) huesos: rostralmente nasal y premaxilar, en la parte media frontal y maxilar, y en la parte caudal supraoccipital (y puede que parietal). El avanzado estado de cierre de suturas óseas en este ejemplar no permitió comprobar si el hueso parietal formaba parte o no del *vertex*.

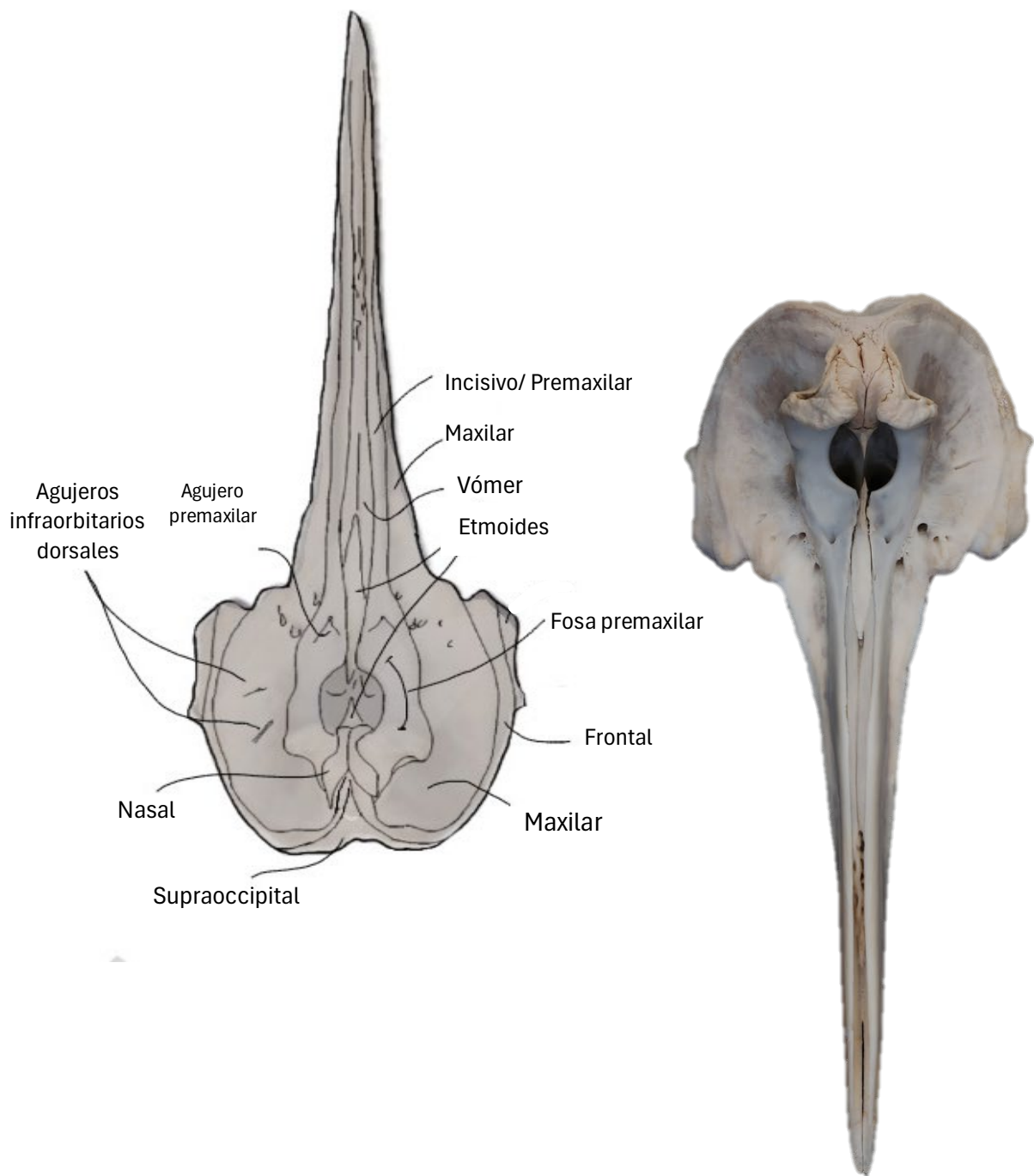


Figura 13: Vista dorsal del cráneo de zifio de Sowerby

El hueso vómer es alargado y estrecho y se extiende desde la parte ventral del neurocráneo hasta la cara sin alcanzar el tercio más rostral del pico alojándose entre ambos huesos premaxilares; caudalmente se apoya sobre él el tabique nasal óseo (parte rostral del hueso etmoides), mientras que rostralmente se continúa como una masa de cartílago hasta el extremo más rostral del pico formando el canal mesorrostral (Figuras 13 y 14). El tabique nasal óseo (o lámina perpendicular

del hueso etmoides) presenta una incisura muy profunda en su borde dorsal dentro de la cavidad nasal ósea (Figura 13).

La superficie expuesta del hueso frontal es mínima ya que queda desplazado, y en gran parte oculto, por la proyección hacia caudal, dorsal y lateral de los huesos de la cara, por lo que en una vista dorsal (Figura 13) el hueso supraoccipital, situado caudal en el cráneo, está muy próximo a los huesos de la cara. La órbita está muy desplazada lateral y ventralmente y queda configurada dorsalmente por frontal y esfenoides, rostralmente por el lagrimal, ventralmente por el cigomático y caudalmente por el temporal. La mayor parte del hueso parietal se sitúa en la fosa temporal, que

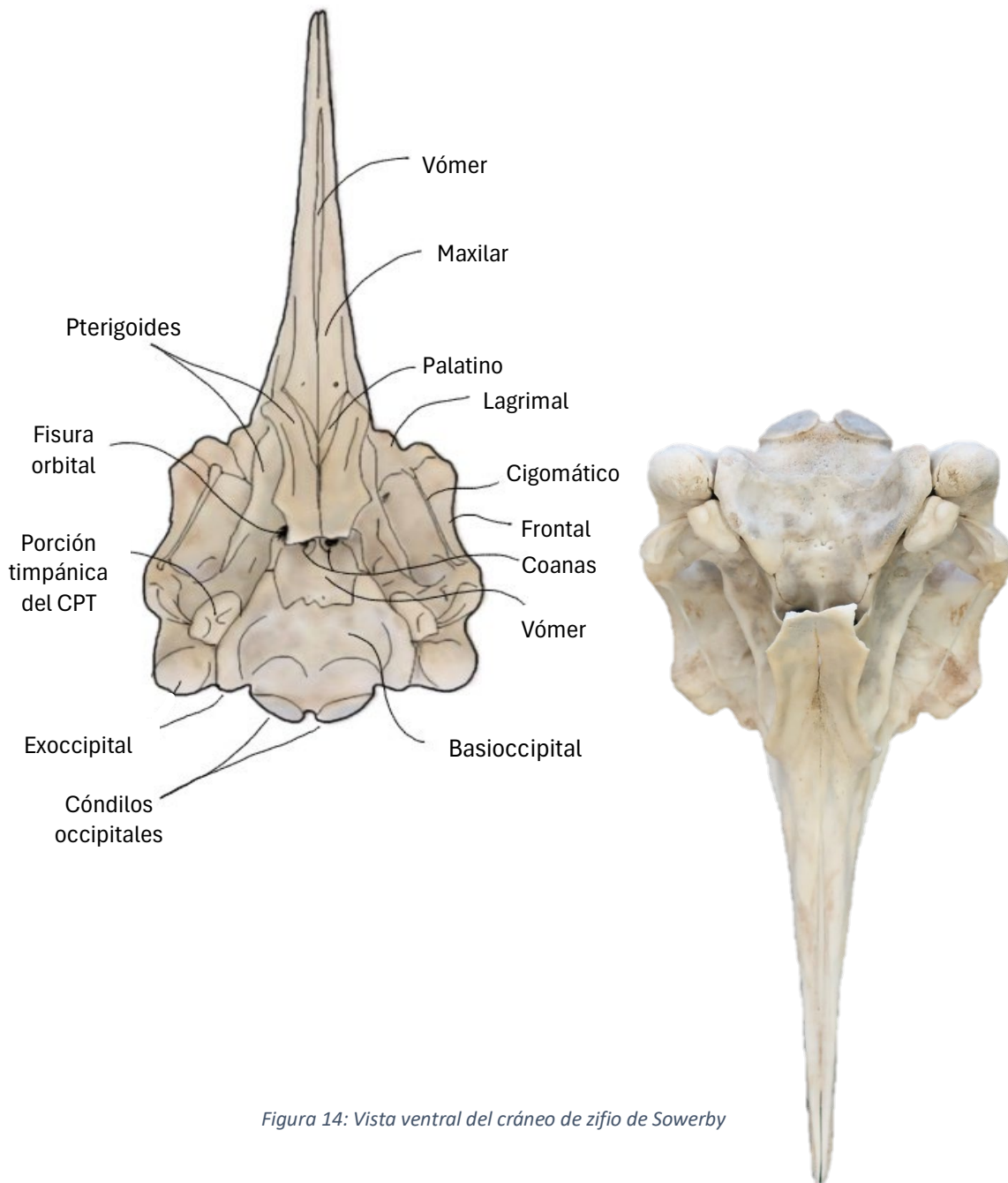


Figura 14: Vista ventral del cráneo de zifio de Sowerby

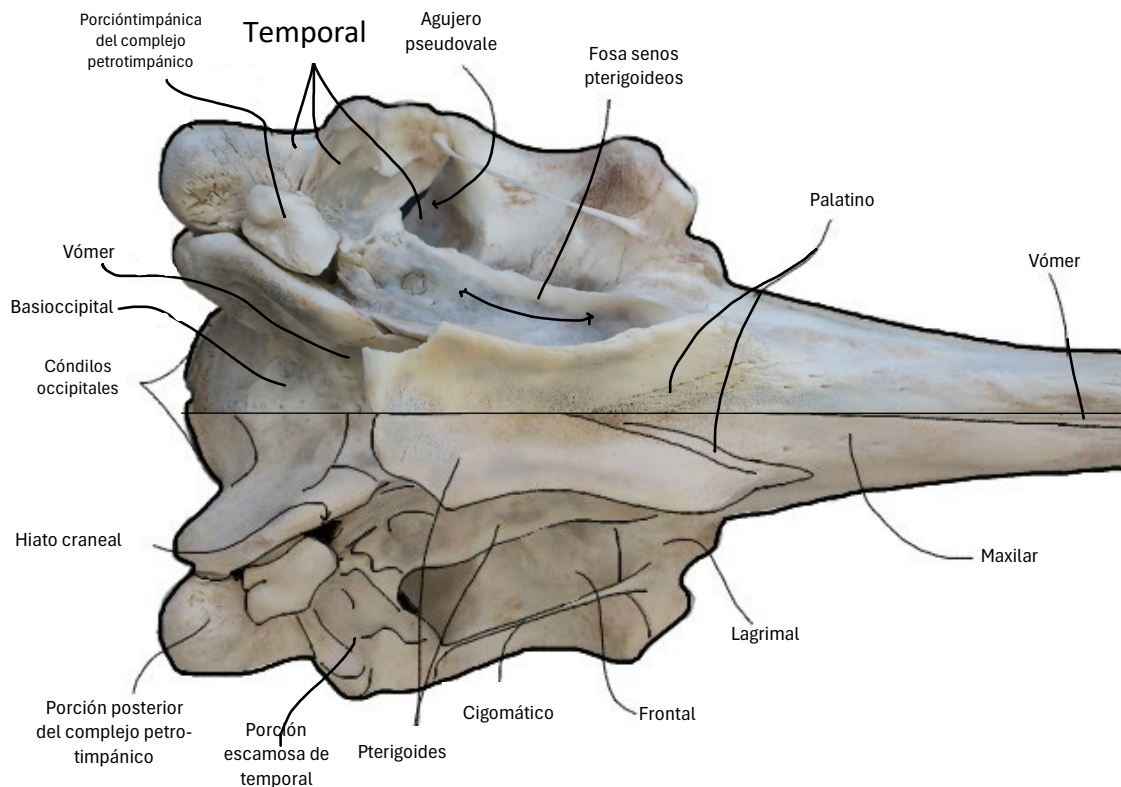


Figura 15: Vista ventral del cráneo de zifio de Sowerby

también está dispuesta muy lateralmente en el cráneo, inmediatamente caudodorsal a la órbita (Figura 12 y 15).

En una vista ventral, destacan el escaso desarrollo del arco cigomático (formado por la fusión de los huesos cigomático y lagrimal, este situado rostralmente) y del hueso palatino, comprimido entre el pterigoides y el maxilar, lo que contrasta con el gran tamaño de los huesos pterigoides y basioccipital; como en el resto de zifios, el hueso pterigoides carece de lámina lateral (Figura 14 y 15). Ventrolateralmente se localiza el complejo petrotimpánico (CPT), la combinación de la bulla timpánica y el hueso periótico del hueso temporal que alojan a los oídos medio e interno, respectivamente. Aunque el CPT es independiente del resto de huesos del cráneo, en los zifios se articula de forma relativamente firme con los huesos basioccipital y temporal (Figura 16).

La parte caudal del cráneo está formada principalmente por el hueso occipital (partes supra y exoccipitales) y llama la atención el gran agujero magno flanqueado por los cóndilos occipitales.

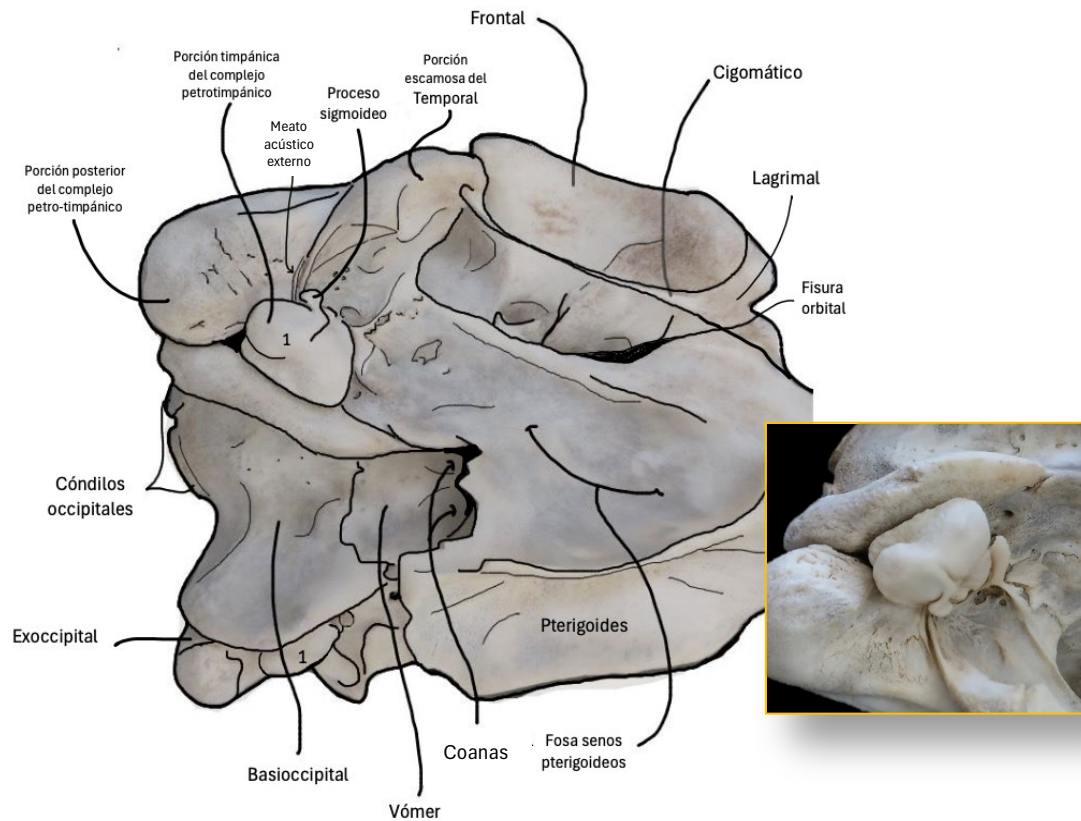


Figura 16: Vista laterocaudal derecha del neurocráneo y vista detallada de la bulla timpánica izquierda (cuadro amarillo)

Mandíbula

La sínfisis mandibular supone casi un tercio de su longitud total; inmediatamente caudal a esta se implanta un único par de colmillos ligeramente inclinados, con una base de gran tamaño y forma triangular. El tercio caudal de la hemimandíbula, o “pan bone”, se caracteriza por ser una capa de hueso fino y translúcido debido a que el agujero mandibular, situado medialmente, se amplía enormemente para formar una gran fosa (Figura 17).



Figura 17: Mandíbula del zifio de Sowerby. Vista dorsolateral

Esqueleto postcraneal

Las cuatro primeras vértebras cervicales se encuentran fusionadas (Figura 6), aunque quedan detalles óseos que permiten diferenciar la aportación de las vértebras individuales. Atlas (C1) y axis (C2) están íntimamente fusionadas dejando únicamente entre ellas el agujero vertebral lateral. C3 y sobre todo C4 se diferencian mejor del bloque óseo, pero los procesos espinosos de las cuatro vértebras confluyen formando una sola masa triangular cuyo vértice se dirige dorsalmente (Figura 18).



Figura 18: Vértebras cervicales fusionadas. A la izquierda una vista caudodorsal muestra (amarillo) el vértice que forman los procesos espinosos de las cuatro vértebras. A la derecha, una vista lateral derecha muestra la íntima fusión entre este paquete, siendo el Atlas (C1) y Axis (C2) las vértebras más desarrolladas.

Tomografía computarizada

Con los datos obtenidos mediante la disección y el estudio osteológico fuimos capaces de enfrentarnos a la interpretación de las imágenes obtenidas en el estudio radiológico mediante tomografía computarizada. (Figuras 19, 20, 21 y 22)

Todas las figuras que se muestran a continuación son cortes transversales de la cabeza cuyo nivel de sección se ilustra en la silueta inferior sobre un corte sagital. Los cortes transversales están orientados de manera que la parte de arriba de la imagen es la zona dorsal del animal y la parte derecha de la imagen coincide con el lado derecho del animal (por tanto son vistas caudales).

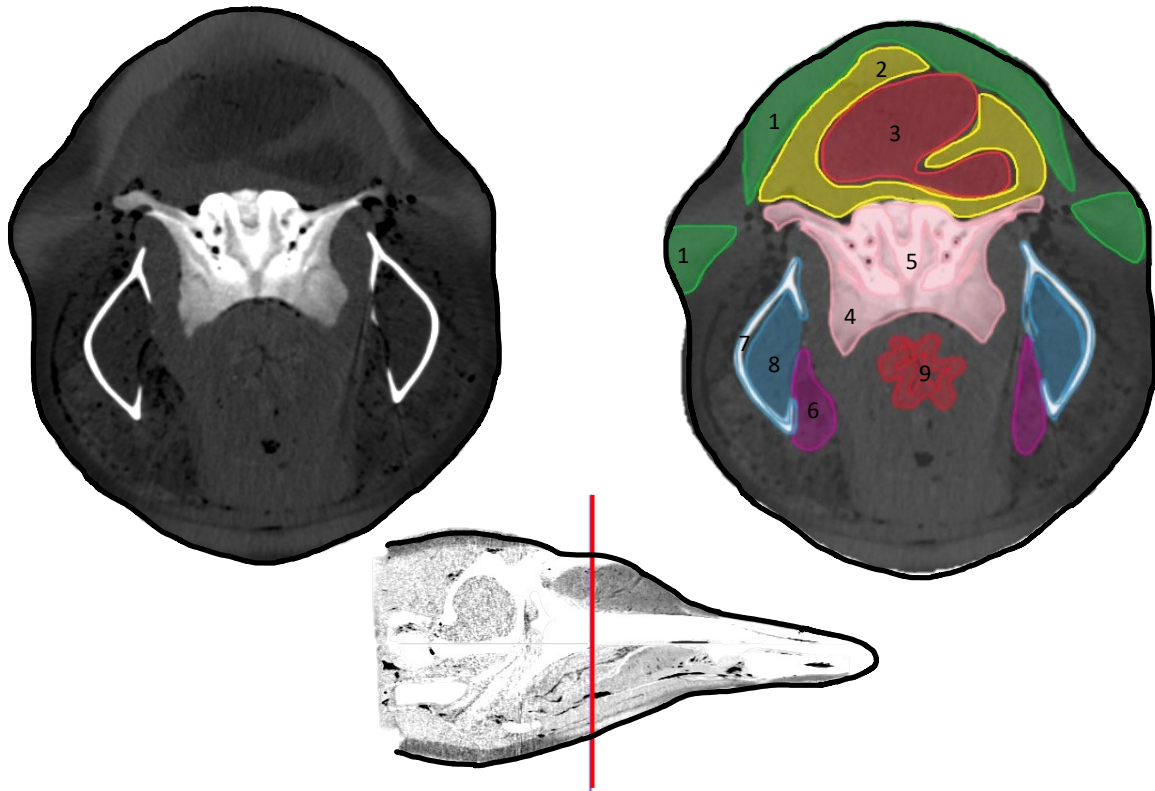


Figura 19: Imágenes de tomografía computarizada a nivel del melón en el macho subadulto de zifio de Sowerby, secciones transversales. Se muestran los límites segmentados de varias estructuras sombreadas y numeradas (las estructuras bilaterales solo están numeradas en un lado). De dorsal a ventral, las estructuras delineadas son (1) teca de tejido conectivo (verde); (2) melón (amarillo); (3) órgano espermaceti anterior (magenta); (4) cráneo y (5) huesos premaxilares, maxilares y vómer de elevada densidad ósea (rosa claro); (6) plexo venoso fibroso (fucsia); (7) *pan bone* mandibular (azul sin relleno); (8) cuerpos grasos mandibulares mediales (azul); (9) cavidad oral (rojo).

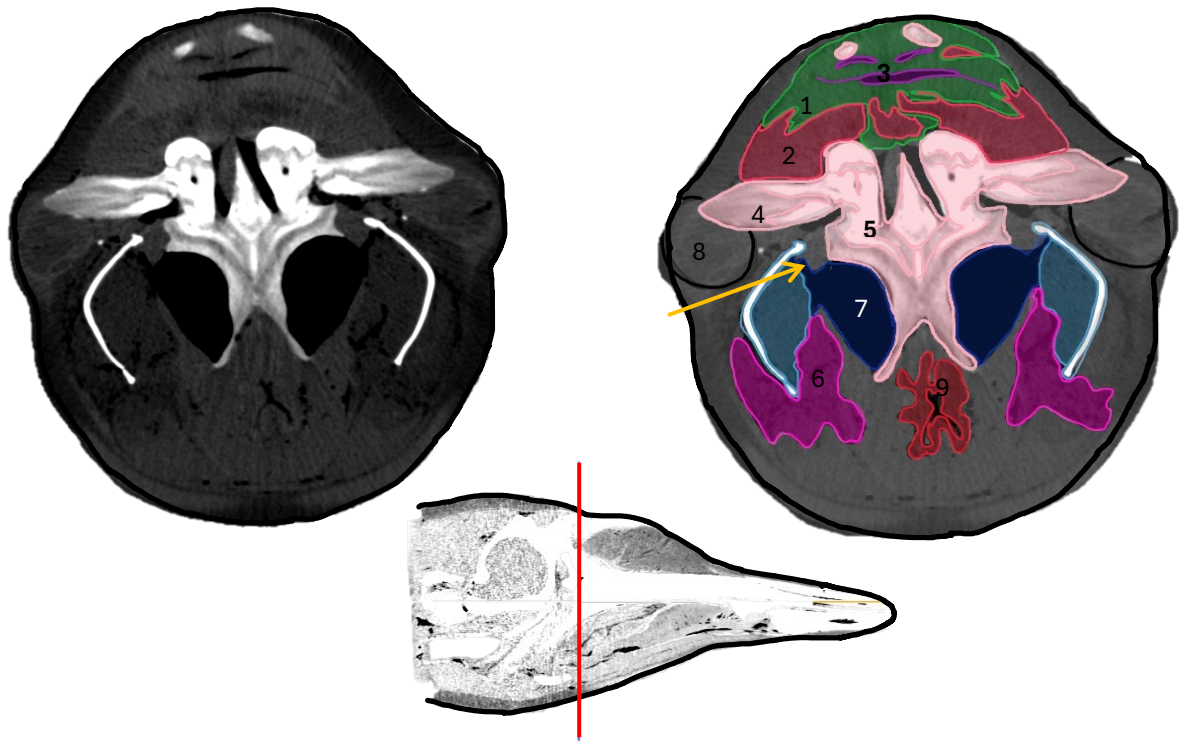


Figura 20: Imágenes de tomografía computarizada a nivel del complejo de sacos nasales en el macho subadulto de zifio de Sowerby, secciones transversales. Se muestran los límites segmentados de varias estructuras sombreadas y numeradas (las estructuras bilaterales solo están numeradas en un lado): (1) teca de tejido conjuntivo (verde), (2) órgano espermaceti anterior, (3) complejo de sacos nasales (vestibulares y nasofontales, morado), (4) cráneo y (5) componentes premaxilares, maxilares y vómer de elevada densidad ósea (rosa claro), (6) plexo venoso fibroso (fucsia), (7) senos pterigoideos mandibulares (azul marino), (8) globo ocular (gris), (9) orofaringe (rojo).

:

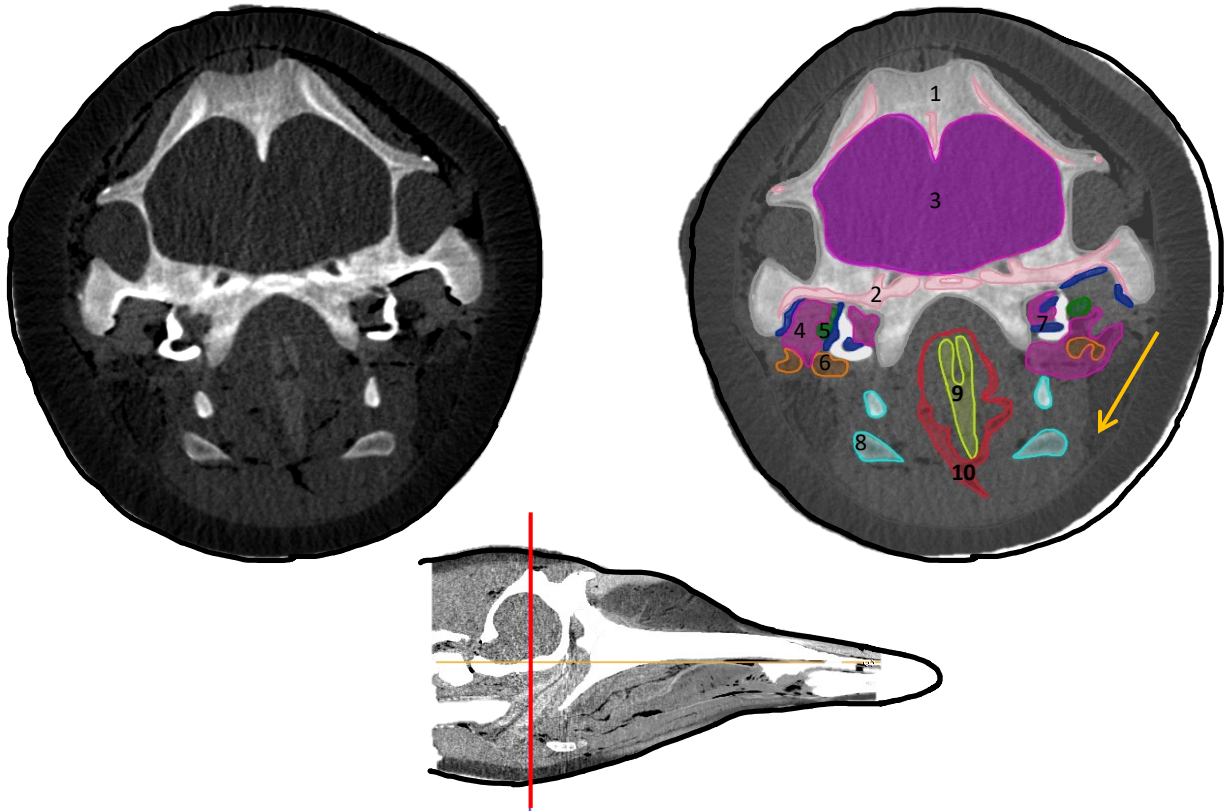


Figura 21: Imágenes de tomografía computarizada a nivel de encéfalo y laringe en el macho subadulto de zifio de Sowerby, secciones transversales. Se muestran los límites segmentados de varias estructuras sombreadas y numeradas (las estructuras bilaterales solo están numeradas en un lado): (1) cráneo y (2) componentes premaxilares, maxilares y vómer de elevada densidad ósea (rosa claro); (1) cráneo (gris), (3) cerebro (morado), (4) plexo venoso fibroso (fucsia), (5) rama dorsal de los cuerpos grasos mandibulares (verde), (6) rama ventral de los cuerpos grasos mandibulares (naranja), (7) senos peribulbares (azul), (8) huesos del aparato hioideo (turquesa) y (9) laringe (amarillo), (10) laringofaringe (rojo).

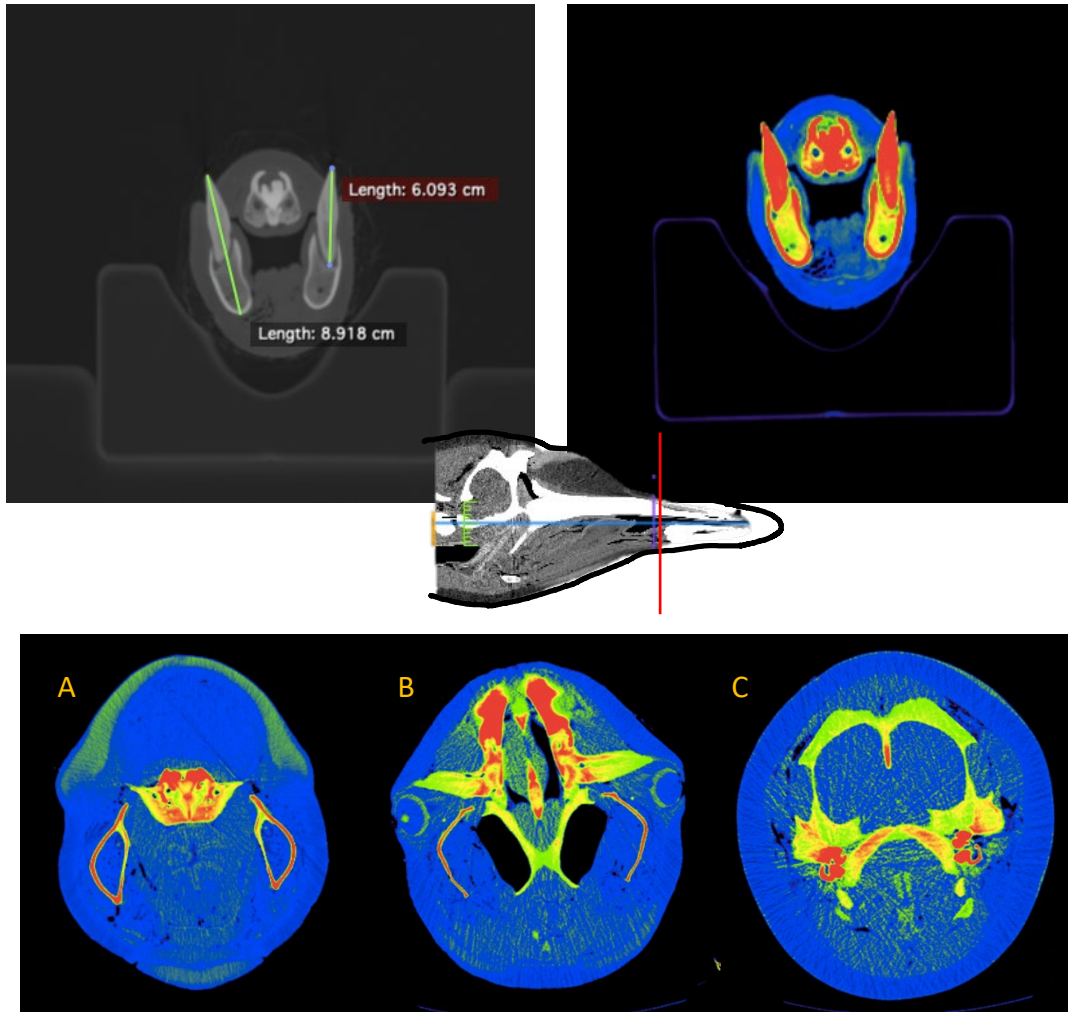


Figura 22: Cortes transversales de tomografía computarizada a distintos niveles de la cabeza en el macho subadulto de zifio de Sowerby. Destacan en rojo los dientes y los huesos más densos (paquiosteoescleróticos). En las imágenes superiores destacan los dientes situados inmediatamente caudales a la sínfisis mandibular. En las imágenes inferiores, A: Corte a nivel del melón donde observamos en la parte ventral la mandíbula, así como la teca de tejido conectivo denso dorsal al melón (verde); B: El vertex y de nuevo la mandíbula aparecen en color rojo debido a su alta densidad mientras que el resto del cráneo, de menor densidad, aparece coloreado de verde; C: el complejo petrotimpánico muestra de la misma forma mayor densidad (rojo) respecto al resto de huesos del cráneo (verde).

DISCUSIÓN

En este trabajo de fin de grado se abordó el estudio de la cabeza de un zifio de Sowerby (*Mesoplodon bidens*), concretamente de un ejemplar macho subadulto cuyo varamiento representó el cuarto registro de esta especie en Galicia en los últimos 30 años. Para llevar a cabo el trabajo combinamos la metodología clásica en anatomía (disección de tejidos blandos y estudio osteológico) con una técnica relativamente actual de diagnóstico por imagen como es la tomografía computarizada. Disponer de un ejemplar de esta especie y poder plantear este estudio este ha sido una oportunidad única, dado lo extraordinario de la aparición de un cadáver de zifio de Sowerby en nuestras costas y que, además, lo haga en un estado de conservación apto para poder desarrollarlo.

La descripción detallada de los órganos que componen el aparato fonador y su funcionamiento en odontocetos ha sido un reto para los investigadores durante décadas. Debido a la relativa frecuencia de los varamientos de zifio de Sowerby en los países del norte de Europa, en 1973 Schenkkan incluyó a *Mesoplodon bidens* en su estudio comparado del tracto nasal de los odontocetos. Durante nuestra disección, hemos coincidido con los detalles morfológicos ya descritos por Schenkkan (1973), confirmados posteriormente por Heyning (1989), pero en nuestro trabajo los hemos reconocido por primera vez para esta especie en imágenes de tomografía computarizada. Coincidimos con ambos autores en que el vestíbulo se extiende lateralmente a uno y otro lado bajo el espiráculo y que los divertículos que conforman el sistema de sacos nasales derivan del vestíbulo inferior. También coincidimos en la extrema asimetría de los sacos nasofrontales y los premaxilares, mucho más desarrollados en el lado derecho que en el izquierdo, y en que los sacos premaxilares son relativamente pequeños comparados con otras especies de odontocetos (Schenkkan, 1973; Heyning, 1989).

En relación con la transmisión de los sonidos generados, Cranford et al. (2008) propusieron que, a mayor profundidad de buceo de una especie, menor es el volumen de aire en los sacos nasales y, por lo tanto, la presión hidrostática funciona como factor limitante para los reflectores acústicos basados en aire (el sistema de sacos nasales no solo permite recircular el aire a través de los labios fónicos, también refleja hacia el melón el sonido producido por estos). Como consecuencia, los espacios aéreos se reducen drásticamente en las regiones nasales de grandes buceadores como los zifios, lo que contrasta con los delfines oceánicos que viven principalmente en superficie y no realizan inmersiones a grandes profundidades. Es por esto que, en aquellas áreas de la región de la cabeza donde encontraríamos conductos aéreos y divertículos nasales en los delfines, encontramos tejido conectivo denso y/o hueso paquiosclerótico (hueso muy denso, extremadamente calcificado) en los zifios. En este trabajo mostramos que efectivamente el zifio

de Sowerby presenta, de la misma forma que el zifio de Cuvier (Cranford et al., 2008), una potente cubierta o teca de tejido conectivo denso sobre el melón, el sistema de sacos nasales y los huesos paquiosteoescleróticos que conforman el rostro y el *vertex*. Pero además, al observar las imágenes de tomografía computarizada con contraste de color, observamos que no solo los huesos de la cara que colaboran en la formación del *vertex* son huesos de elevada densidad, como ya señalaron Cranford et al. (2008), sino que también la mandíbula se puede considerar en el zifio de Sowerby un hueso paquiosteoesclerótico. Este hallazgo podría implicar que en el zifio de Sowerby la emisión y/o recepción de sonidos puede producirse de un modo distinto a otros zifios, o que la mayor dureza del hueso mandibular tiene algún papel relevante en la biología de la especie (lucha entre machos, por ejemplo). Por otra parte, la teca en el zifio de Sowerby es una estructura tremendamente desarrollada, por lo que coincidimos con Cranford et al. (1996) en que esta es una estructura fundamental para el funcionamiento del sistema acústico, proporcionando cohesión a los sacos aéreos, sirviendo de anclaje a los músculos que les dan funcionalidad y vinculando las masas de grasa acústica conductoras de sonido hacia el medio (cuerpos elípticos, órgano espermaceti y melón) con el aparato fonador.

Con la disección de los tejidos blandos y el estudio de tomografía computarizada también confirmamos que el órgano espermaceti anterior conforma un órgano independiente, aunque íntimamente unido, al melón, y que se extiende caudalmente desde la porción media de este hasta los labios fónicos, pero estando más desarrollado su parte derecha, en concordancia con el mayor tamaño también de los labios fónicos derechos. Esta misma organización de las masas de grasa acústica entre sí y con los labios fónicos ya fueron descritas por Cranford et al. (2008) en el zifio de Cuvier. Nos llamó asimismo la atención el gran volumen que ocupan los senos pterigoideos (unos divertículos de las tubas auditivas que se alojan en las paredes laterales de la faringe en relación con el hueso pterigoideas, y que se extienden caudalmente rodeando el complejo petrotimpánico como senos peribulares) y la relación estrecha de estos senos con un plexo venoso fibroso. Fraser y Purves (1960) fueron los primeros autores en proponer que los senos pterigoideos podrían suponer un importante reservorio de aire para el buceo a grandes profundidades y que por ello están especialmente desarrollados en zifios: el aire que almacenan, comprimido por la presión ambiente, pasa a ocupar la bulla timpánica, evitando así que se rompan sus paredes óseas, mientras que los propios senos compensan su pérdida de volumen con el llenado de sangre de los senos venosos fibrosos que les rodean.

Por otra parte, coincidiendo con Cranford et al. (2008), observamos con claridad en la disección y/o en las imágenes obtenidas por TC la relación directa de los grandes senos pterigoideos, el plexo venoso fibroso y la masa de grasa acústica mandibular, esta última en contacto con la bulla timpánica del complejo petrotimpánico. Este autor propuso que los senos pterigoideos y sus

extensiones caudales (senos peribulares) que rodean el complejo petrotimpánico participan en el aislamiento acústico del oído medio impidiendo la transmisión ósea del sonido.

La disección del resto de la región de la cabeza reveló una anatomía típica para un odontoceto, con la laringe ocupando una posición intrafaríngea permanente gracias a la acción de un potente esfínter palatofaríngeo (Berta et al., 2015; Cozzi et al., 2017).

Finalmente, la información obtenida mediante el estudio osteológico y la disección de los tejidos blandos de la cabeza ha sido de gran ayuda para interpretar las imágenes obtenidas en el estudio radiológico. Curiosamente la realización de las actividades en este trabajo fue en el orden contrario (primero el estudio radiológico, después los anatómicos), lo que pone de manifiesto que se necesita combinar adecuadamente las fuentes de información para poder obtener datos fiables que permitan avanzar en el conocimiento y ayudar a la conservación de las especies. Esta información se podrá utilizar y ampliar en estudios futuros incluyendo, por ejemplo, técnicas radiológicas más potentes para los tejidos blandos como la resonancia magnética.

CONCLUSIONES

Las técnicas anatómicas clásicas como son el estudio osteológico y la disección de tejidos blandos resultan fundamentales para la comprensión de estructuras de elevada complejidad estructural y topográfica como es el caso de los órganos implicados en la producción, emisión y recepción de sonidos del zifio de Sowerby.

Los estudios de tomografía computarizada, al igual que las demás técnicas de diagnóstico por imagen, requieren de unos conocimientos sólidos sobre la anatomía ósea y de los tejidos blandos, pero también de la biología de la especie objeto de estudio para que la información que ofrecen sea interpretada correctamente y aporte datos para alcanzar un mayor conocimiento y colaborar en su conservación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar de Soto, N., Visser, F., Tyack, P. L., Alcazar, J., Ruxton, G., Arranz, P., ... & Johnson, M. (2020). Fear of killer whales drives extreme synchrony in deep diving beaked whales. *Scientific Reports*, 10(1), 13.
- Aguilar de Soto, N., Martín, V., Silva, M., Edler, R., Reyes, C., Carrillo, M., ... & Carroll, E. (2017). True's beaked whale (*Mesoplodon mirus*) in Macaronesia. *PeerJ*, 5, e3059.
- Alcázar-Treviño, J., Johnson, M., Arranz, P., Warren, V. E., Pérez-González, C. J., Marques, T., ... & Aguilar de Soto, N. (2021). Deep-diving beaked whales dive together but forage apart. *Proceedings of the Royal Society B*, 288(1942), 20201905.
- Alexander J. Werth, Mandibular and Dental Variation and the Evolution of Suction Feeding in Odontoceti, *Journal of Mammalogy*, Volume 87, Issue 3, 6 June 2006, Pages 579–588,
- Amorim, P., Peran, A. D., Pham, C. K., Juliano, M., Cardigos, F., Tempera, F., & Morato, T. (2017). Overview of the ocean climatology and its variability in the Azores region of the North Atlantic including environmental characteristics at the seabed. *Frontiers in Marine Science*, 4, 56.
- Arranz, P., de Soto, N. A., Madsen, P. T., Brito, A., Bordes, F., & Johnson, M. P. (2011). Following a foraging fish-finder: diel habitat use of Blainville's beaked whales revealed by echolocation. *PLoS one*, 6(12), e28353.
- Ary, W., Cranford, T. W., Berta, A., & Krysl, P. (2016). Functional morphology and symmetry in the odontocete ear complex. In *The Effects of Noise on Aquatic Life II* (pp. 57-64). Springer New York.
- AU, W. W. L. (1993). *The Sonar of Dolphins*. Nueva York: Springer-Verlag.
- AU, W. W. L. (2009). Echolocation. En: PERRIN, W. F., WÜRSIG, B. y THEWISSEN, J. G. M. Eds. *Encyclopedia of Marine Mammals*. 2a ed. San Diego: Academic Press, Elsevier. Pp. 348-357.
- Bachara W, Laria L, Lopez A. First stranding record of a Sowerby's beaked whale (*Mesoplodon bidens*) in Asturias, Spain. Unpublished report to Cetal Fauna Report WB2016/2; 2016). <https://www.researchgate.net/publication/329220551>
- Baird, R. W. (2019). Behavior and ecology of not-so-social odontocetes: Cuvier's and Blainville's beaked whales. *Ethology and behavioral ecology of odontocetes*, 305-329.
- Barile, C., Berrow, S., & O'Brien, J. (2021). Oceanographic drivers of Cuvier's (*Ziphius cavirostris*) and Sowerby's (*Mesoplodon bidens*) beaked whales acoustic occurrence along the Irish shelf edge. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10), 1081.

Berrow, S., Meade, R., Marrinan, M., McKeogh, E., & O'Brien, J. (2018). First confirmed sighting of Sowerby's beaked whale (*Mesoplodon bidens* (Sowerby, 1804)) with calves in the Northeast Atlantic. *Marine Biodiversity Records*, *11*, 1-5.

Berta, A., Sumich, J. L., & Kovacs, K. M. (2015). *Marine mammals: evolutionary biology* (3a). Academic Press.

Bittau, L., Leone, M., Gannier, A., Gannier, A., & Manconi, R. (2018). Two live sightings of Sowerby's beaked whale (*Mesoplodon bidens*) from the western Mediterranean (Tyrrhenian Sea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, *98*(5), 1003-1009.

Bonde RK, Oshea TJ (1989) Sowerbys beaked whale (*Mesoplodon bidens*) in the Gulf of Mexico. *J Mammal* 70:447-449

Bose N, Lien J, Ahia J (1990) Measurements of the bodies and flukes of several cetacean species. *Proc R Soc B Biol Sci* 242:163-173

Breen P, Pirotta E, Allcock L, Bennison A, Boisseau O, Bouch P, Hearty A, Jessopp M, Kavanagh A, Taite M, Rogan E (2020) Insights into the habitat of deep diving odontocetes around a canyon system in the Northeast Atlantic Ocean from a short multidisciplinary survey. *Deep Sea Res Part I Oceanogr Res Pap.* 159:[103236](https://doi.org/10.1016/j.dsrp.2020.103236)

Brownlow A, Davison N. (2013) Scottish marine animal stranding scheme annual report, 1 January to 31 December 2013 for Marine Scotland, Scottish Government; 2013. 52pp

Caldeira, R. M., & Reis, J. C. (2017). The Azores confluence zone. *Frontiers in Marine Science*, *4*, 37.

Carlstrom J, Denkinger J, Feddersen P, Oien N (1997) Record of a new northern range of Sowerby's beaked whale (*Mesoplodon bidens*). *Polar Biol* 17:459-461

CEMMA (s.f.). CEMMA investigacion cetaceos Galicia. Disponible en: <http://www.cemma.org/> [Consultado el 20 de enero de 2024].

Cetacean strandings investigation Scotland project report to the then Department of the Environment, Transport and the regions reference - CRO179 Project period 12 June 1995-31

Cholewiak, D., Baumann-Pickering, S., & Van Parijs, S. (2013). Description of sounds associated with Sowerby's beaked whales (*Mesoplodon bidens*) in the western North Atlantic Ocean. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *134*(5), 3905-3912.

Cioffi, W. R. (2020). *Social behavior of the Cuvier's beaked whale (*Ziphius cavirostris*) investigated by telemetry and photo-identification* (Doctoral dissertation, Duke University).

Clarke, E., Feyrer, L. J., Moors-Murphy, H., & Stanistreet, J. (2019). Click characteristics of northern bottlenose whales (*Hyperoodon ampullatus*) and Sowerby's beaked whales (*Mesoplodon bidens*) off eastern Canada. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *146*(1), 307-315.

Committee on Taxonomy. (2023). *List of Marine Mammal Species and Subspecies*. Society for Marine Mammalogy.

Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. (2019).

Cranford, T. W., Krysl, P., & Hildebrand, J. A. (2008). Acoustic pathways revealed: Simulated sound transmission and reception in Cuvier's beaked whale (*Ziphius cavirostris*). *Bioinspiration & Biomimetics*, 3(1), 016001.

Cranford, T. W., Mckenna, M. F., Soldevilla, M. S., Wiggins, S. M., Goldbogen, J. A., Shadwick, R. E., ... & Hildebrand, J. A. (2008). Anatomic geometry of sound transmission and reception in Cuvier's beaked whale (*Ziphius cavirostris*). *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*, 291(4), 353-378.

Dix L, Lien J, Sergeant DE (1986) A North-Sea beaked whale, *Mesoplodon bidens*, in Conception Bay, New- foundland. *Can Field-Nat* 100:389–391

Dudok van Heel WH (1974) Remarks on a live ziphiid baby (*Mesoplodon bidens*). *Aquat Mamm* 2:3–7

Einfeldt, A. L., Paterson, I. G., & Feyrer, L. J. (2019). Complete mitochondrial genomes and phylogeny of two rare whale species: True's (*Mesoplodon mirus*: True 1913) and Sowerby's (*Mesoplodon bidens*: Sowerby 1804) beaked whales. *Mitochondrial DNA Part B*, 4(1), 275-276.

Ellis, R., & Mead, J. G. (2017). *Beaked whales: a complete guide to their biology and conservation*. JHU Press.

Feyrer LJ, Zhao ST, Whitehead H, Matthews CJD (2020) Prolonged maternal investment in northern bottlenose whales alters our understanding of beaked whale reproductive life history. *PLoS One* 15:e0235114

Fordyce, R.E. (2018). Cetacean Evolution. En: *Encyclopedia of Marine Mammals* (3^a ed.). Editores: Bernd Würsig, J.G.M. Thewissen e Kit M. Kovacs. Academic Press, 180–185.

Fraser FC (1974) Report on Cetacea stranded on the British coasts from 1948-1966. British Museum (N.H.), London

Heyning, J. E. (1986). *Comparative facial anatomy of beaked whales (Ziphiidae) and a systematic revision among the families of extant Odontoceti*. University of California, Los Angeles.

Hocking David P, Marx Felix G, Park T, Fitzgerald Erich M. G. y Evans Alistair R. 2017 A behavioural framework for the evolution of feeding in predatory aquatic mammals *Proc. R. Soc. B*. **284**2016275020162750

Hooker SK, Baird RW (1999) Observations of Sowerby's beaked whales, *Mesoplodon bidens*, in the gully, Nova Scotia. *Can Field-Nat* 113:273–277

Johnson, M., Madsen, P. T., Zimmer, W. M., Aguilar de Soto, N., & Tyack, P. L. (2004). Beaked whales echolocate on prey. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 271(suppl_6), S383-S386.

Jonsgard, A., and P. Hoidal. 1957. Strandings of Sowerby's Whale (*Mesoplodon bidens*) on the west coast of Norway. *Norsk Hvalfangst-Tidende* 9: 507-512.

Ketten, D. R. (1992). The Marine Mammal Ear: Specializations for Aquatic Audition and Echolocation. En: WEBSTER, D. B., FAY, R. R. y POPPER, A. N. Eds. *The Evolutionary Biology of Hearing*. Nueva York: Springer-Verlag. Pp. 717-750.

Klinowska, M. (1991). *Dolphins, porpoises and whales of the world: the IUCN red data book*. IUCN, Gland, Switzerland.

Lien J, Barry F, Breeck K, Zuschlag U (1990) Multiple strandings of Sowerby beaked whales, *Mesoplodon bidens*, in Newfoundland. *Can Field-Nat* 104:414–420

Loughlin, T. R., Fiscus, C. H., Johnson, A. M., & Rugh, D. J. (1982). Observations of *Mesoplodon stejnegeri* (Ziphiidae) in the Central Aleutian Islands, Alaska. *Journal of Mammalogy*, 63(4), 697-700.

MacLeod CD (1998) Intraspecific scarring in odontocete cetaceans: an indicator of male 'quality' in aggressive social interactions? *J Zool* 244:71–77

Macleod CD, Herman JS (2004) Development of tusks and associated structures in *Mesoplodon bidens* (Cetaceae, Mammalia). *Mammalia* 68:175–184

MacLeod CD, Santos MB, Pierce GJ (2003) Review of data on diets of beaked whales: evidence of niche separation and geographic segregation. *J Mar Biol Assoc U K* 83:651–665

MacLeod, C. D., Pierce, G. J., & Santos, M. B. (2004). Geographic and temporal variations in strandings of beaked whales (Ziphiidae) on the coasts of the UK and the Republic of Ireland from 1800-2002. *J. Cetacean Res. Manage.*, 6(1), 79-86.

MacLeod, C.D. (2000). Review of the distribution of beaked whales of the genus *Mesoplodon* in the North Atlantic (Order: Cetacea, Family: Ziphiidae). *Mammal Rev.* 30:1-8.

Martel Martín, V., Tejedor, M., Pérez Gil, M., Dalebout, M. L., Arbelo Hernández, M. A., & Fernández Rodríguez, A. J. (2011). A Sowerby's beaked whale (*Mesoplodon bidens*) stranded in the Canary Islands: the most southern record in the Eastern North Atlantic. *Aquatic Mammals*.

McAlpine DF, Rae M (1999) First confirmed reports of beaked whales, cf. *Mesoplodon bidens* and *M. densirostris* (Ziphiidae), from New Brunswick. *Can Field-Nat* 113:293–295

McGowen, M. R., Tsagkogeorga, G., Álvarez-Carretero, S., Dos Reis, M., Struebig, M., Deaville, R., ... & Rossiter, S. J. (2020). Phylogenomic resolution of the cetacean tree of life using target sequence capture. *Systematic biology*, 69(3), 479-501.

- Mead JG. Survey of reproductive data for the beaked whales (Ziphiidae). Rep. Int. Whal. Comm. 1984;(special issue 6):91–6
- Mead, J. G. (1989). Beaked whales of the genus *Mesoplodon*. In Handbook of marine mammals, vol. 4: river dolphins and the larger toothed whales (S. H. Ridgway and R. Harrison, eds.), p. 349–430. Academic Press, San Diego, CA.
- Mellinger, D. K., Stafford, K. M., Moore, S. E., Dziak, R. P., & Matsumoto, H. (2007). An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans. *Oceanography*, 20(4), 36–45.
- Miller, G. S. (1923). The telescoping of the cetacean skull (with eight plates). *Smithsonian Miscellaneous Collections*.
- Moore, J.C. (1966). Diagnoses and distributions of beaked whales of the genus *Mesoplodon* known from North American waters. Pages 31-61 in Whales, dolphins and porpoises. Edited by K.S. Norris. University of California Press, Los Angeles, California.
- Norris, K. S. (1968). The echolocation of marine mammals. En: ANDERSEN, H. T. Ed. The Biology of Marine Mammals. Nueva York: Academic Press. Pp. 391-423.
- Pereira, J. N., Neves, V. C., Prieto, R., Silva, M. A., Cascão, I., Oliveira, C., ... & Clarke, D. (2011). Diet of mid-Atlantic Sowerby's beaked whales *Mesoplodon bidens*. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 58(11), 1084-1090.
- Pitman, R.L. & Brownell Jr., R.L. (2020). *Mesoplodon bidens*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2020: e.T13241A50363686. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T13241A50363686.en>
- Quick, N. J., Cioffi, W. R., Shearer, J. M., Fahlman, A., & Read, A. J. (2020). Extreme diving in mammals: first estimates of behavioural aerobic dive limits in Cuvier's beaked whales. *Journal of Experimental Biology*, 223(18), jeb222109.
- Read AJ (1996) Incidental catches of small cetaceans. In: Simmonds MP, Hutchinson JD (eds) The conservation of whales and dolphins: science and practice. Wiley, New York, pp 109–128
- Reidenberg, J. S. (2007). Anatomical adaptations of aquatic mammals. *The Anatomical Record*, 290(6), 507–513. <https://doi.org/10.1002/ar.20541>
- Reiner, F. R. A. N. C. I. S. C. O. (1986). First record of Sowerby's beaked whale from Azores. *Scientific Reports of the Whales Research Institute*, 37, 103-107.
- Report by the Scottish Agricultural College (SAC) Veterinary Science Division, Drummondhill Stratherrick Road Inverness, IV2 4JZ; 2000. p. 37.
- Rogan, E., Cañadas, A., Macleod, K., Santos, M. B., Mikkelsen, B., Uriarte, A., ... & Hammond, P. S. (2017). Distribution, abundance and habitat use of deep diving cetaceans in the North-East Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 141, 8-19.

Rommel, S. A., Costidis, A. M., Fernandez, A., Jepson, P. D., Pabst, D. A., Houser, D. S., ... & Barros, N. B. (2006). Elements of beaked whale anatomy and diving physiology and some hypothetical causes of sonar-related stranding. *Journal of Cetacean Research and Management*.

Schenkkan, E. J. (1973). On the comparative anatomy and function of the nasal tract in odontocetes (Mammalia, Cetacea). *Bijdragen tot de Dierkunde*, 43(2), 127-159.

Smeenck, C. (1997). Strandings of sperm whales *Physeter macrocephalus* in the North Sea: history and patterns. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Biologie* 67 (Supplement): 15-28.

Smith, K. J., Mead, J. G., & Peterson, M. J. (2021). Specimens of opportunity provide vital information for research and conservation regarding elusive whale species. *Environmental Conservation*, 48(2), 84-92.

Smith, K. J., Trueman, C. N., France, C. A., Sparks, J. P., Brownlow, A. C., Dähne, M., ... & Peterson, M. J. (2021). Stable isotope analysis of specimens of opportunity reveals ocean-scale site fidelity in an elusive whale species. *Frontiers in Conservation Science*, 2, 653766.

Sowerby, J. (1804). *The British Miscellany, Or, Coloured Figures of New Rare, Or Little Known Animal Subjects: Many Not Before Ascertained to be Inhabitants of the British Isles, and Chiefly in the Possession of the Author* (Vol. 1). R. Taylor & Company and sold by the author.

Spitz, J., Cherel, Y., Bertin, S., Kiszka, J., Dewez, A., & Ridoux, V. (2011). Prey preferences among the community of deep-diving odontocetes from the Bay of Biscay, Northeast Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 58(3), 273-282.

Stanistreet JE, Nowacek DP, Baumann-Pickering S, Bell JT, Cholewiak DM, Hildebrand JA, Hodge LEW, Moors-Murphy HB, Van Parijs SM, Read AJ (2017) Using passive acoustic monitoring to document the distribution of beaked whale species in the western North Atlantic Ocean. *Can J Fish Aquat Sci* 74: [2098–2109](#)

Stanistreet JE, Nowacek DP, Read AJ, Baumann- Pickering S, Moors-Murphy HB, Van Parijs SM (2016) Effects of duty-cycled passive acoustic recordings on detecting the presence of beaked whales in the Northwest Atlantic. *J Acoust Soc Am* 140:EL31–EL37

Thewissen, J. G. M., Cooper, L. N., Clementz, M. T., Bajpai, S., & Tiwari, B. N. (2007). Whales originated from aquatic artiodactyls in the Eocene epoch of India. *Nature*, 450(7173), 1190–1194.

Vázquez, J. A., Arbelo, M., Martínez-Cedeira, J. A., De la fuente, J., Fernández, C., Gozalbes, P. y López, A. (2015). Documento técnico sobre Protocolo Nacional de Actuación para Varamientos de Cetáceos. España: ALNILAM, Investigación y Conservación. Informe realizado para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Visser, F. (2012). Diving behavior of Sowerby's beaked whale in the Azores. *Kelp Marine Research. Cross Ref*.

Visser, F., Oudejans, M. G., Keller, O. A., Madsen, P. T., & Johnson, M. (2022). Sowerby's beaked whale biosonar and movement strategy indicate deep-sea foraging niche differentiation in mesoplodont whales. *Journal of Experimental Biology*, 225(9), jeb243728.

Wenzel, F. W., Polloni, P. T., Craddock, J. E., Gannon, D. P., Nicolas, J. R., Read, A. J., & Rosel, P. E. (2013). Food habits of Sowerby's beaked whales (*Mesoplodon bidens*) taken in the pelagic drift gillnet fishery of the western North Atlantic.

Whitehead H (2013) Trends in cetacean abundance in the Gully submarine canyon, 1988-2011, highlight a 21% per year increase in Sowerby's beaked whales (*Mesoplodon bidens*). *Can J Zool* 91:141–148