

3. Volcanes, zifios y otros valores naturales de las aguas profundas de El Hierro

**Natacha Aguilar de Soto¹,
Mark Johnson², Patricia Arranz^{1,2}, Alejandro Escáñez¹,
Cristina Reyes¹, Agustina Schiavi¹, Peter Madsen³ y Alberto Brito¹**

¹ *Grupo de Investigación BIOECOMAC. Depto. De Biología Animal, Univ. de La Laguna, España. naguilar@ull.es*

² *Scottish Ocean Institute. Univ. St. Andrews, Fife, Escocia, Reino Unido.*

³ *Dept. of Zoophysiology, Univ. Aarhus, Dinamarca.*

Una especie es un mosaico en el que la evolución ha ido moldeando cada pieza para que enlace de forma exquisita con las demás; no puede entenderse el todo sin el funcionamiento adecuado y relacionado de cada una de las partes. En un animal esas piezas son factores aparentemente tan distantes como el comportamiento, la anatomía y fisiología, la alimentación, la estructura social, las señales de comunicación, las relaciones con depredadores y presas..., todo lo que define a un taxón, que al fin dictamina su distribución y abundancia, y que necesitamos comprender para trabajar en su conservación. Es magnífico que incluso en el siglo XXI nos siguen sorprendiendo descubrimientos sobre las proezas de la naturaleza, por ejemplo, las de los zifios: mamíferos que pueden sumergirse en apnea hasta dos horas, a profundidades de dos e incluso tres kilómetros. Este comportamiento de buceo es extremo para un cetáceo de tamaño medio, con un peso entre 6 y 16 veces menor que el del cachalote. Requiere que todas las piezas del mosaico “zifio” estén adaptadas a una forma de vida al límite de sus capacidades fisiológicas, lo que parece aumentar su vulnerabilidad a impactos antrópicos.

En la década de los 90 los zifios se hicieron famosos por protagonizar varamientos masivos coincidentes con maniobras

navales en varias partes del mundo. Esto planteaba un reto importante: evaluar el impacto poblacional de los varamientos, y prevenirlos, en especies prácticamente desconocidas para la ciencia. El descubrimiento de poblaciones residentes, de zifios de Blainville y de Cuvier, en las aguas profundas y costeras de la isla de El Hierro, abrió un horizonte de oportunidades al permitir trabajar con estas especies de forma asequible. Se cumple en 2013 una década de investigación continuada de zifios en El Hierro, a lo largo de la cual se han ido alzando los velos de los misterios de su biología y ecología, y también descubriendo otros tesoros de las aguas azules y profundas de la Isla del Meridiano.

El comienzo

Septiembre de 2002: varamiento de 14 zifios en Fuerteventura y Lanzarote coincidente con maniobras navales en el área. Esta mortalidad masiva se une a varias otras ya registradas en el archipiélago canario (Martín *et al.*, 2004) y en otras partes del mundo (Cox *et al.*, 2006), relacionadas con el uso de sonares de alta intensidad para la detección de submarinos, y subraya la importancia de tomar medidas de reducción del impacto. No existen datos sobre el comportamiento de los zifios, ni sobre su sensibilidad auditiva o vocalizaciones, que expliquen su vulnerabilidad a los sonares y permitan diseñar medidas de mitigación. Se forma el “Grupo de Trabajo para la Prevención de Mortandades Masivas Atípicas”, en el que participan las dos universidades canarias, ONGs y representantes de la Viceconsejería de Medio Ambiente, así como de los Ministerios de Defensa y de Medio Ambiente. La Universidad de La Laguna (ULL) plantea trabajar en la isla de El Hierro, en base a los indicios que ha obtenido acerca de la existencia de poblaciones costeras de zifios en la isla, gracias a los muestreos archipelágicos realizados desde 1998 a bordo del barco *Corvette*, y a entrevistas a buceadores y pescadores. Con la financiación mayoritaria del Gobierno de Estados Unidos, y con el apoyo del Grupo de Trabajo citado, del Cabildo Insular de El Hierro y de la Cofradía de Pescadores de Ntra. Sra. de la Virgen de los Reyes, en La Restinga, comienzan las investigaciones de zifios en El Hierro.

Marco del estudio: las aguas profundas de El Hierro

En El Hierro la profundidad es una compañera constante, dado que esta isla tiene la plataforma insular más estrecha del archipiélago canario. Las formaciones geológicas submarinas de El Hierro constituyen un marco físico único. La isla, de origen volcánico, surgió de los fondos abisales que

la rodean y fue extendiéndose a lo largo de grietas (rift) radiales, alineadas de manera similar a los ejes de una pirámide. Esta formación de rifts en estrella se observa en tierra y continua bajo el mar, de modo que cada rift origina una “cordillera” submarina en cada una de las tres puntas de la isla (Fig. 1). Las cordilleras están punteadas por decenas de conos volcánicos, de hasta 275 m de altura, y se extienden hasta 20 km de la costa y 3100 m de profundidad. Entre ellas quedan las tres profundas bahías de Las Calmas, Las Playas y El Golfo, formadas por grandes deslizamientos del edificio aéreo hacia el mar (Masson *et al.*, 2002; Acosta *et al.*, 2004).

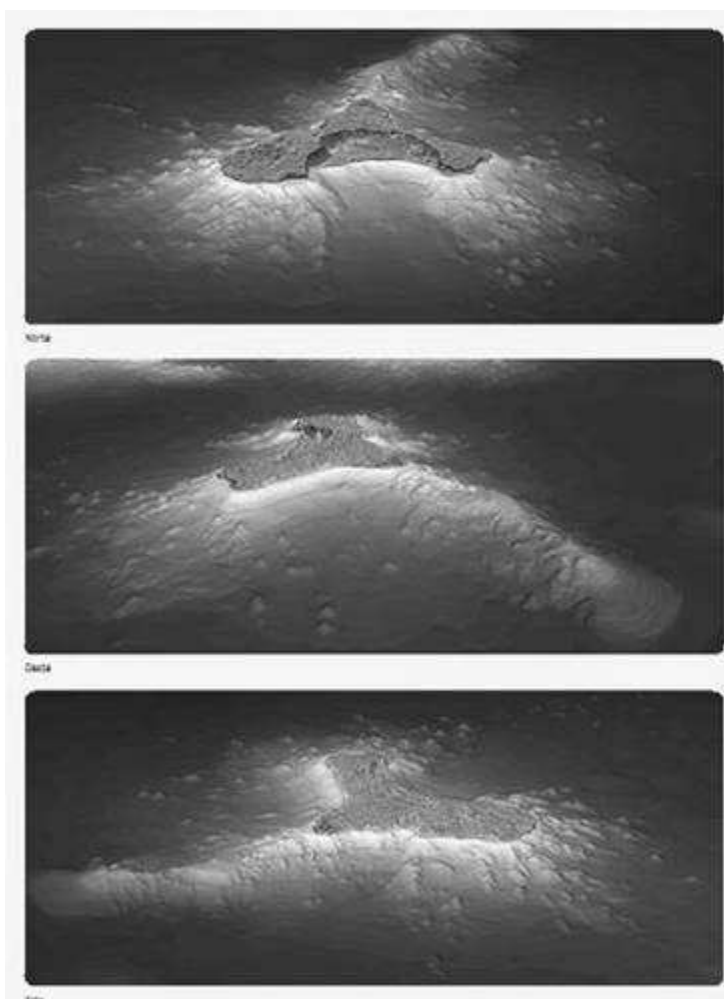


Fig. 1. Orografía submarina de tres vertientes de la isla de El Hierro. Proyecciones batimétricas realizadas por CIMA Canarias (www.cimacanarias.com) en base a la batimetría realizada por el Instituto Español de Oceanografía.

La orografía de la isla influye en su compleja oceanografía, creando remolinos en las puntas y una zona de estela cálida en la bahía de Las Calmas, protegida de los vientos alisios y de la corriente de Canarias dominantes en el archipiélago. Estos fenómenos circulatorios dictan la llegada de aguas frías a Canarias desde el afloramiento de aguas profundas en la costa africana del Sahara. La influencia del afloramiento es menor en El Hierro debido a su localización en el extremo oeste y meridional del archipiélago, lo que hace que sus aguas sean las más tropicales de Canarias. El escarpado relieve submarino y la calidez de las aguas de El Hierro determinan dos de las principales características de sus comunidades marinas: la presencia de especies de aguas profundas a escasa distancia del litoral (Fig. 2), y de especies subtropicales y tropicales en mayor grado que en el resto del archipiélago.

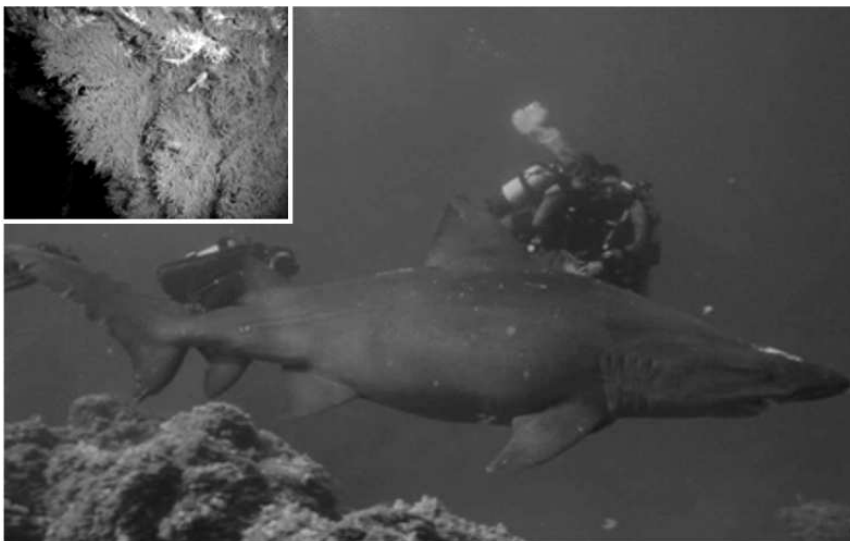


Fig. 2. El coral negro (*Anthipatella wollastoni*) y el tiburón sarda o toro (*Odontaspis ferox*) son ejemplos de especies de aguas profundas que se pueden observar muy cerca de la costa en El Hierro (fotografía del tiburón de Jordi Chias; fotografía del coral: BIOECOMAC).

En la propuesta presentada por la ULL para la declaración de un Área Marina Protegida en El Hierro (Arranz *et al.*, 2011) se resumen algunos valores ecológicos importantes de las aguas de la isla: en sus costas y zonas sublitorales están ampliamente representados dos tipos de hábitats protegidos en el Anexo I de la Directiva Europea Hábitats: los campos de lava y excavaciones naturales, y las cuevas marinas sumergidas o semisumergidas. En cuanto a especies protegidas de fauna marina, listadas en catálogos

regionales, nacionales o internacionales de conservación, se han registrado en El Hierro quince especies de mamíferos (ahora dieciséis, ver Tabla 1, Fig. 3), cinco de tortugas, catorce de aves, seis de peces actinoptergios y diecisiete de invertebrados (dos crustáceos, seis moluscos, cinco equinodermos, tres cnidarios y un porífero). A esto se suman sesenta y tres especies de condriactos (tiburones, rayas y quimeras), en su mayoría incluidos en la Lista Roja de la IUCN.

Tabla 1. Especies de cetáceos (16) registradas en la Isla de El Hierro desde 2003 a 2013.

Especie	Distribución	Nombre ingles	Nombre común (canario y español)
ODONTOCETOS			
Familia Delphinidae			
<i>Delphinus delphis</i>	Cosmopolita *	Common dolphin	Golfera. Delfín común
<i>Steno bredanensis</i>	Pantropical	Rough toothed dolphin	Tonina negra. Delfín de dientes rugosos
<i>Stenella frontalis</i>	Anfiatlántica cálido templada	Pantropical spotted dolphin	Golfera. Delfín moteado atlántico
<i>Stenella coeruleoalba</i>	Cosmopolita *	Striped dolphin	Golfera. Delfín listado
<i>Tursiops truncatus</i>	Cosmopolita *	Bottlenose dolphin	Tonina. Delfín mular
<i>Grampus griseus</i>	Cosmopolita *	Risso's dolphin	Calderón gris
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Pantropical y templado-cálida	Short finned pilot whale	Roas. Calderón de aleta corta o tropical
<i>Orcinus orca</i>	Cosmopolita	Orca, killer whale	Orca
Familia Ziphiidae			
<i>Ziphius cavirostris</i>	Cosmopolita *	beaked whales Cuvier's beaked whale	Roases amarillos. Zifios. Zifio de Cuvier
<i>Mesoplodon densirostris</i>	Cosmopolita * templado-cálida	Blainville's beaked whale	Zifio de Blainville
<i>Mesoplodon europaeus</i>	Anfiatlántica tropical	Gervais beaked whale	Zifio de Gervais
<i>Mesoplodon mirus</i>	Antitropical	True's beaked whale	Zifio de True
Familia Physeteridae			
<i>Physeter macrocephalus</i>	Cosmopolita	sperm whale	Chacalote. Cachalote
Familia Kogiidae			
<i>Kogia spp</i>	Pantropical		Cachalote pigmeo/enano
MISTICETOS			
<i>Balaenoptera spp</i>		Rorquals	Rorcales
<i>Balaenoptera edeni</i>	Pantropical	Bryde's whale	Rorcual tropical
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Cosmopolita	Humpback whale	Yubarta

La flora marina de El Hierro está también representada en los catálogos de conservación de la naturaleza, con dos especies de fanerógamas y dos de algas protegidas presentes en aguas de la isla. Esta riqueza en especies protegidas es relevante, pero el valor del mar de El Hierro no reside únicamente en el número de especies o en su rareza, sino en el estado de

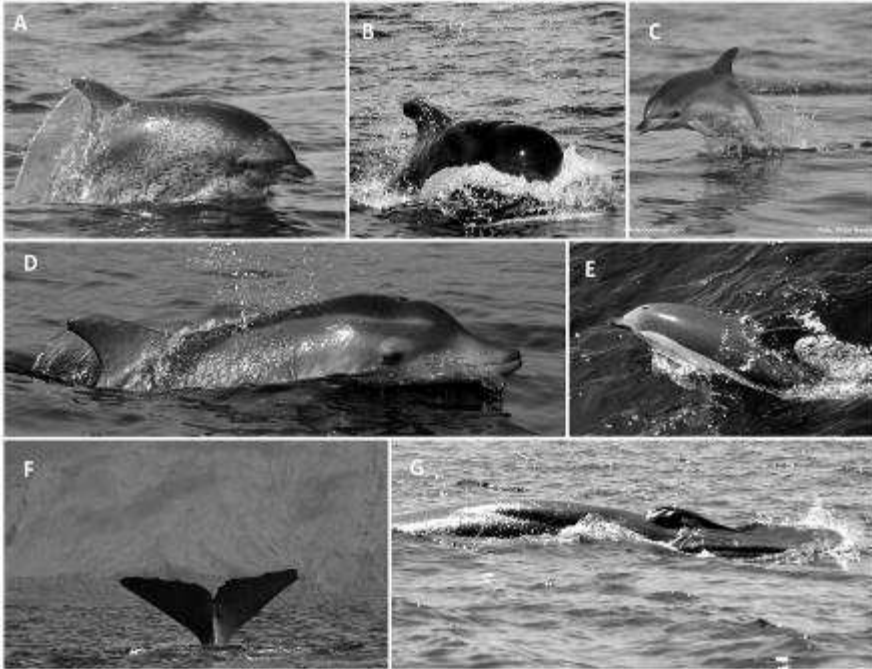


Fig. 3. Algunas de las dieciséis especies de cetáceos en El Hierro: A) Delfín moteado (*Stenella frontalis*); B) Calderón de aleta corta (*Globicephala macrorhynchus*), C) Delfín mular (*Tursiops truncatus*); D) Delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*); E) Delfín común (*Delphinus delphis*); F) Cachalote (*Physeter macrocephalus*) G) Rorcual tropical (*Balaenoptera edeni*). Fotos de BIOECOMAC tomadas en El Hierro con permiso del Gobierno de Canarias, por: Victor González Otaola, Natacha Aguilar, Jacobo Marrero y otros investigadores.

naturalidad de sus comunidades marinas. Dentro de las aguas costeras españolas existen pocos lugares donde los procesos ecológicos naturales se encuentren tan bien conservados como en El Hierro. Esto se debe a la escasa población de la isla y al buen manejo de la pesca, que han limitado la actividad extractiva de los recursos marinos, así como al interés general por la conservación del mar como un atractivo importante para el buceo. Las aguas son además limpias, gracias a la escasez de industria y núcleos urbanos en la costa, así como a la lejanía de El Hierro con respecto a fuentes contaminantes de otras islas. El buen estado de conservación de las aguas de El Hierro es origen y consecuencia de varias figuras de protección que concurren en la zona, entre ellas se encuentran la Reserva Marina de interés pesquero Punta de La Restinga-Mar de Las Calmas; la Zona Marina Espacialmente Sensible de Canarias, que restringe el paso de grandes buques a 12 millas náuticas del perímetro de las islas (OMI, 2005); la moratoria al uso de sonares navales a una distancia de 50 millas náuticas de

la costa, establecida por el Ministerio de Defensa para la protección de los zifios; o la declaración de El Hierro como Reserva de la Biosfera para la salvaguarda de sus recursos naturales terrestres y marinos.

Los zifios: descripción de las especies y seguimiento poblacional en El Hierro

La familia Ziphiidae es la segunda en número de especies de los cetáceos, con 21 especies citadas en la actualidad, de las cuales algunas se han descrito en la última década. La distribución de los zifios en aguas profundas, normalmente alejadas de costa, hace que se encuentren entre los mamíferos más desconocidos del planeta, con algunas especies descritas únicamente en base a restos óseos de animales varados. Canarias, y particularmente El Hierro, es uno de los pocos lugares del mundo donde se conoce la existencia de poblaciones costeras de zifios durante todo el año (Aguilar de Soto *et al.*, 2003, 2004, 2010; Aparicio *et al.*, 2005; Aparicio 2008). Las poblaciones son de zifios de Blainville y de Cuvier (*Mesoplodon densirostris* y *Ziphius cavirostris*) (Fig. 4, Tabla 2). Ambas especies presentan el particular dimorfismo sexual de la familia Ziphiidae, que no reside en el tamaño, dado que la talla máxima de ambos sexos es similar, sino en la erupción de dos únicos dientes en la mandíbula inferior de los machos adultos, que no son visibles externamente en las hembras ni en los machos inmaduros (Mead, 1989; Heyning, 2002). A ello se une la progresiva acumulación de cicatrices en los machos con la edad, lo que se da en mucho menor grado en las hembras. La coloración general en ambas especies es variable, desde el marrón oscuro al gris, con posibles zonas amarillentas debido a las diatomeas que se adhieren a la piel y que destacan

Tabla 2. Tamaño, peso y longevidad de *Mesoplodon densirostris* y *Ziphius cavirostris* [Basado en 1: Ross (1984, en Mead, 1989), 2: Mead (1989), 3: FAO-UNEP (1994), 4: Heyning (1984)] *Datos de *M. europaeus* (L max: 4,7 m), única especie del género *Mesoplodon* con esta información. Las tallas modales de estas especies son menores que las máximas registradas y sugiere que éstas pueden corresponder a animales erróneamente identificados (MacLeod, 2006).

	<i>Mesoplodon densirostris</i>	<i>Ziphius cavirostris</i>
Longitud en nacimiento (m)	1,9-2,6	2-3
Peso en nacimiento (kg)	60	250
Longitud en maduración sexual (m)	*4,5	?
Edad de maduración sexual	9 (una ♀)	?
Longitud máxima (m)	4,7	6,9
Peso máximo (kg)	1033	3000
Longevidad registrada (años)	48*	?
Referencias	1,2,3	3,4

más en *M. densirostris*, al menos en los individuos observados en El Hierro. Las crías recientes de esta especie pueden tomar una coloración más clara. Los zifios de Cuvier tienen la cabeza blanquecina y, aparentemente, sobre todo en los machos, la proporción de blanco en el cuerpo se va incrementando con la edad.



Fig. 4. El Hierro alberga importantes poblaciones de zifio de Cuvier (izquierda, fotografía de Natacha Aguilar) y de zifio de Blainville (derecha, fotografía de Iván Domínguez).

La cercanía de las aguas profundas a la costa de El Hierro permite realizar muestreos desde puntos fijos, utilizando plataformas de observación en tierra, situadas a unos 100 m de altura en acantilados litorales. En la estación de tierra se utilizan prismáticos de largo alcance (15x70) con retícula vertical y compás magnético, que permiten obtener la distancia y demora (ángulo magnético) al avistamiento. Estos datos permiten calcular la posición geográfica del grupo de cetáceos avistado, que se grafica en tiempo real en un ordenador alimentado con baterías. En el ordenador aparece también la posición del barco de trabajo, el Punta Ballena, que la ULL mantiene en El Hierro. La posición del Punta Ballena es enviada por radio VHF a un receptor conectado al ordenador. La representación en pantalla de estos datos (Fig. 5) facilita el seguimiento de los cetáceos y la localización de los mismos por el barco, dado que desde tierra se le da al barco una distancia y rumbo desde su posición hacia la de los animales. El barco corrobora la identificación a nivel específico del grupo de cetáceos

observado, y obtiene datos de comportamiento, composición social del grupo, y fotografías de los animales.

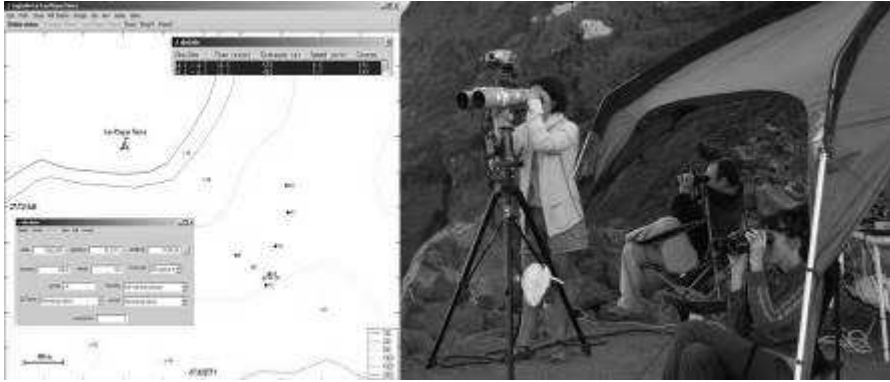


Fig. 5. Estación de muestreo de zifios y otros cetáceos desde acantilados en tierra, con unos prismáticos de 15x70 cubriendo el área más lejana y dos prismáticos de 7x50 muestreando más cerca de costa. Los prismáticos van equipados con compás y retícula para determinar la localización de los avistamientos. Los datos se registran en tiempo real en un ordenador que plasma en un mapa los avistamientos y tiene herramientas para facilitar el seguimiento de los grupos.

En el caso de los zifios de Cuvier y de Blainville en El Hierro, los grupos son pequeños, normalmente entre dos y siete individuos, aunque también pueden verse animales solitarios y ocasionalmente grupos más grandes, de hasta once animales. La composición social de los grupos es variable, desde dos animales subadultos de género indeterminado, hasta grupos tipo harén, con un macho adulto y varias parejas de hembras con crías. El seguimiento de las poblaciones de zifios (abundancia, estructura social, etc.) se realiza por medio de identificación fotográfica de los individuos, gracias a las marcas permanentes que tienen en todo el cuerpo (Fig. 6). En la última década se han recogido más de once mil fotos de zifios en más de cuatrocientos acercamientos de foto-identificación en las aguas de El Hierro.

En base a estos datos se ha creado uno de los catálogos de identificación fotográfica de los zifios de Cuvier y de Blainville más completos y longevos que existen, junto a los de Bahamas y Hawaii. Este catálogo es accesible al público en general en la base de datos virtual <http://www.cetabase.info/> (Fig. 7), en la que se pueden realizar búsquedas de fotos por especie, género e incluso calidad de las fotografías y cantidad de marcas en el cuerpo (Reyes *et al.*, 2012). Esta larga serie temporal de seguimiento individual de los zifios ha permitido extraer datos sobre aspectos fundamentales de la biología de estos cetáceos, tales como la tasa de natalidad del zifio de Blainville, estimada en una cría cada tres años



Fig. 6. Ejemplo de marcas permanentes (las cicatrices) en el cuerpo de un zifio de Blainville, y de marcas temporales: las algas diatomeas que se observan como manchas amarillas en la aleta dorsal. En este ejemplo el animal hubiera sido irreconocible si se utilizaran sólo las muescas en la aleta dorsal, como es común en otras especies de cetáceos, mientras que las cicatrices del cuerpo permiten su foto-identificación.

gracias a seguimientos de hembras catalogadas con crías sucesivas (Aguilar de Soto *et al.*, 2010; Reyes *et al.*, 2011). La época de reproducción es amplia, como es característico en los cetáceos odontocetos, pero parece haber un pico de nacimiento de las crías en los meses de otoño. El valor de la larga serie temporal de fotoidentificación de zifios en El Hierro es proporcional al tiempo que se consiga continuar, para afianzar la validez estadística de las tendencias observadas, por primera vez para la ciencia en estas especies, con respecto a datos demográficos y de la estructura social de las especies. Todos estos datos conforman la dinámica poblacional de los zifios y, por tanto, influyen en la capacidad de recuperación de sus poblaciones tras una mortalidad natural o relacionada con causas antrópicas. Por ejemplo, las mejores estimas de abundancia en El Hierro muestran que las poblaciones de zifios son pequeñas, de algo más de cien animales, de modo que un varamiento de catorce zifios, como el que se registró en Fuerteventura y Lanzarote en 2002, podría representar un impacto poblacional importante para la supervivencia de las poblaciones locales, si los zifios no son capaces de incrementar su tasa de reproducción para compensar por la mortalidad (Aparicio *et al.*, 2009).



Fig. 7. Ejemplo de las páginas de exploración de la base de datos de identificación fotográfica Cetabase (www.cetabase.info) que mantiene BIOECOMAC para facilitar el intercambio científico de datos y la participación del público en la investigación. La pestaña desplegable a la derecha de la ficha de cada individuo muestra las fechas en las que se obtuvieron avistamientos con fotos del mismo, desde 2003 hasta la actualidad.

Estudios de la ecología acústica de los zifios con marcas digitales

Los cetáceos odontocetos utilizan el sonido para funciones vitales tan variadas como la comunicación, la navegación y la detección de presas y de depredadores. Esto lo realizan por escucha pasiva, y también por ecolocalización activa. Los primeros descubrimientos acerca del uso del sonido por mamíferos para la “visión” en la oscuridad fueron realizados en murciélagos, por autores como Spallazani, Jurine, Maxim o Hartridge, en 1773, 1798, 1912 y 1920, respectivamente (Au, 1993). Sin embargo, fue más tarde cuando se describió realmente el proceso del biosonar para la localización y discriminación de presas en murciélagos (Griffin, 1958). Este autor detectó la emisión de pulsos o chasquidos de frecuencia modulada o de banda ancha, en el rango sónico y ultrasónico (por encima del rango auditivo humano, en 20 kHz), que forman los distintos tipos de biosonar de

los murciélagos. Griffin describió tres fases en el uso del biosonar por los murciélagos: búsqueda acústica de presas con chasquidos ultrasónicos regularmente espaciados, aproximación a la presa con reducción progresiva del intervalo entre chasquidos (ICI o “inter-click interval”) y, finalmente, emisión de un zumbido compuesto por chasquidos más cortos y con un ICI muy reducido, que permite obtener una alta resolución temporal. Constató claramente que la emisión de los zumbidos coincide con la captura física de las presas.

El descubrimiento del biosonar en murciélagos estimuló la investigación a este respecto en cetáceos y, en la década de los cincuenta, numerosos autores realizaron variados experimentos con delfines mulares (*Tursiops truncatus*) en cautividad, describiendo el proceso de ecolocalización en estos animales (revisado en Au, 1993). En una comprobación definitiva, (Norris *et al.*, 1961) taparon los ojos de un delfín mular y observaron que podía seguir solucionando las pruebas que se le presentaban, basándose exclusivamente en el oído. Posteriormente se realizaron experimentos con otras especies de cetáceos odontocetos en cautividad: orca (*Orcinus orca*), calderón de aleta larga (*Globicephala melas*), falsa orca (*Pseudorca crassidens*), beluga (*Delphinapterus leucas*) o marsopa de Dall (*Phocoenoides dalli*) (revisado en Au, 1993).

Así, el sonido constituye un indicador fiable de la actividad de alimentación de los cetáceos odontocetos, y por ello en los estudios de zifios en El Hierro se utilizan los dispositivos DTag (Johnson & Tyack, 2003; Johnson *et al.*, 2009), un tipo específico de marca digital que registra presión (para obtener la profundidad) y temperatura del agua, pero que se diferencia de otros instrumentos, utilizados normalmente para el seguimiento de mamíferos marinos, porque además registra datos acústicos, hasta frecuencias ultrasónicas, y tiene un sistema de sensores de orientación con acelerómetros y magnetómetros en los tres ejes de coordenadas. La frecuencia de muestreo acústico es programable y la de los sensores de orientación es de 50 veces por segundo (Hertzios, Hz), es decir, de gran resolución (Fig. 8).

La electrónica de la marca se introduce en una carcasa con espuma de flotación, de modo que la marca tiende a flotar cuando se liberan las ventosas. La carcasa lleva incorporada una pequeña emisora de radio de VHF, en frecuencias de alrededor de 148 MHz, para el seguimiento de la marca en el animal y su recuperación final. La DTag se adhiere por medio de ventosas al lomo de los cetáceos, donde se coloca con un mástil de posicionamiento tras ser aproximados los animales sin necesidad de capturarlos. Se activa automáticamente cuando el sensor de conductividad le indica que está en agua salada. Las ventosas son construidas específicamente para las DTag, más blandas que las que se incluyen en los paquetes de otras marcas comerciales, de forma que limiten la succión y

posibles alteraciones microvasculares en la dermis del cetáceo. Los datos se almacenan en la memoria física de la marca (tipo Flash) y son descargados a través del puerto de infrarrojos una vez que ésta es recuperada. Posteriormente se recarga la batería y la marca queda lista para un nuevo uso.



Fig. 8. Las marcas DTag son un ordenador miniaturizado, con una batería de alta densidad que alimenta la electrónica y el hidrófono. Todo ello se introduce en una carcasa estanca que puede sumergirse hasta 3000 m. Se coloca con un mástil en el lomo del animal, al que se adhiere con ventosas. El seguimiento se realiza por radio VHF y la marca se recupera una vez se libera del animal tras un tiempo programado de grabación.

Los chasquidos de ecolocalización de los zifios son únicos entre los cetáceos

Los zifios han evolucionado de forma curiosa, sus chasquidos son los únicos registrados para los cetáceos que tienen frecuencia modulada, lo que sin embargo es característico en el sonar de los murciélagos (Griffin, 1967). Los chasquidos normales de ecolocalización, en los cetáceos, son cortos (unos 20-50 microsegundos) y de banda ancha de frecuencias, y las especies estudiadas hasta la actualidad utilizan el mismo tipo de chasquido para la búsqueda de presas a distancia, y en los zumbidos, que marcan los

intentos de captura de las mismas. En El Hierro se describieron por primera vez las vocalizaciones del zifio de Blainville, y el hecho de que los zifios emitan chasquidos diferentes al resto de los cetáceos facilita su identificación en muestreos acústicos de escucha pasiva. Esto es relevante porque facilita el uso de estas técnicas para investigar la distribución de los zifios, o monitorear su presencia, lo que puede ser utilizado para aplicar medidas de reducción del impacto de actividades antrópicas a las que los zifios son vulnerables.

Las características de los dos tipos de chasquidos que emiten los zifios de Blainville son las siguientes (Johnson *et al.*, 2006): los chasquidos regulares de búsqueda de presas a distancia se producen con una separación entre 0,2 y 0,4 s y son de frecuencia modulada. Tienen una forma distintiva de barrido ascendente, a un ritmo de unos 110 kHz/ms, y una duración de 270 μ s, con un ancho de banda de -10 dB desde 25 a 55 kHz (Fig. 9). Estos chasquidos recuerdan a los chasquidos de los murciélagos (Griffin, 1967), pero son completamente distintos a los de otros cetáceos estudiados en dos características principales: son más largos y tienen frecuencia modulada. Por el contrario, los chasquidos emitidos durante los zumbidos son del tipo normalmente descrito para delfínidos: cortos (110 μ s), de banda ancha y sin

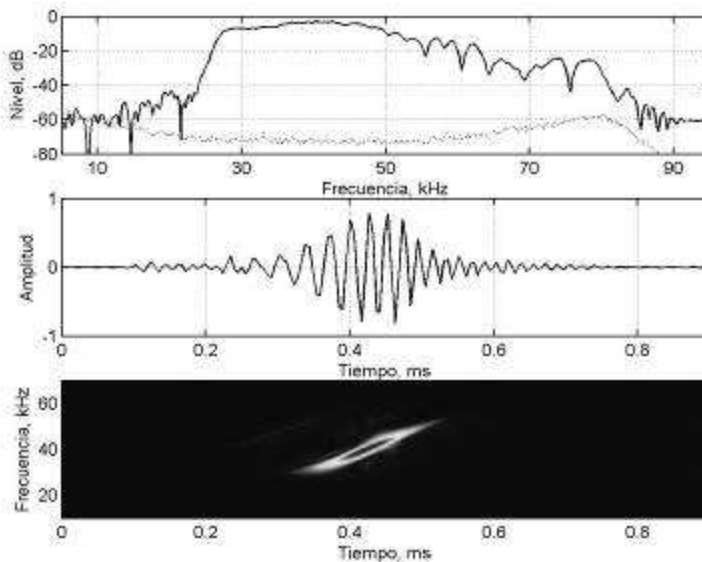


Fig. 9. Chasquido de ecolocalización emitido por un individuo cercano al zifio marcado y en dirección a éste. A) Espectro del chasquido, en el que se observa que la mayor parte de la energía (ancho de banda de -10 dB) está entre 26 y 50 kHz. La línea punteada inferior indica el nivel de ruido del sistema de grabación. B) Gráfica de la amplitud de onda del chasquido. C) Representación del espectrograma del mismo chasquido, donde se observa que es un barrido ascendente de frecuencia modulada.

estructura de frecuencia modulada. Su ancho de banda a -10 dB es de 25 kHz hasta al menos 75 kHz y se emiten con un intervalo de menos de 10 ms, pudiendo llegar a emitir hasta 250 chasquidos/s, lo que les otorga una gran resolución temporal. Además, los chasquidos del zumbido pueden detectar objetos de menor tamaño, dado que alcanzan frecuencias más altas y por tanto de menor longitud de onda, por ello ofrecen una mayor resolución espacio-temporal. Es decir, los zifios utilizan largas series de chasquidos de frecuencia modulada, emitidos con un intervalo de algo menos de medio segundo entre ellos, para buscar presas, y, una vez seleccionada la presa a la que van a atacar, y a corta distancia de ella (unos cuatro metros) pasan a emitir un zumbido. En el zumbido los chasquidos se emiten mucho más rápido, se pasa de la “foto” al “video” acústico, y por tanto se obtiene una mayor resolución sobre los movimientos de la presa, que es necesaria para poder seguirla y capturarla.

Las marcas colocadas en zifios de El Hierro grabaron también ecos de los chasquidos, reflejados por organismos en el agua y por el fondo del mar (Johnson *et al.*, 2004; Madsen *et al.*, 2005; Aguilar de Soto, 2006; Arranz *et al.*, 2011). Estos ecos de presas son los primeros que se han grabado de un animal ecolocalizando y, por tanto, constituyen la primera evidencia directa de cómo los odontocetos utilizan el biosonar para alimentarse mientras nadan en su hábitat. La intensidad de los ecos recibidos desde organismos a distancias conocidas sugiere un nivel de emisión de los chasquidos de los zifios de alrededor de 200-220 dB re $1\mu\text{Pa}$ a 1m (Madsen *et al.*, 2005). Los ecos de chasquidos reflejados en el fondo marino son utilizados para determinar la distancia entre el mismo y el animal emisor (Fig. 10). Las distancias se calculan en base al retraso temporal entre la emisión del

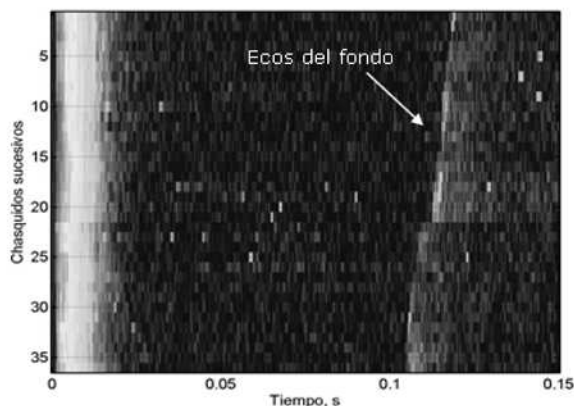


Fig. 10. Ecograma mostrando una serie de chasquidos sucesivos alineados en vertical en el tiempo 0, de modo que los ecos producidos por estos chasquidos en el fondo se ordenan también en una línea difusa a la derecha. Se observa que el animal se va acercando al fondo y en este ejemplo termina a unos 80 m del mismo (considerando la velocidad del sonido en 1500 m/s: $0.106 \cdot 1500/2$).

chasquido y la recepción de su eco, multiplicado por la velocidad media del sonido en el agua (1500 m/s) y dividido entre dos para compensar la doble distancia recorrida por el sonido, desde el cetáceo hasta el fondo/presa y desde éste hasta la marca. Si a la distancia del cetáceo al fondo se suma la profundidad del animal en ese momento, se obtiene la profundidad del fondo.

Los ecos de organismos en el agua (Fig. 11) se observan en la marca con ayuda del mismo tipo de ecograma utilizado para obtener ecos del fondo. En cada pantalla se cuenta el número de series de ecos formando líneas independientes, que deben contener al menos tres ecos sucesivos. El número de series de ecos es indicativo de la cantidad de biomasa en la columna de agua (Madsen *et al.*, 2005; Aguilar de Soto, 2006; Arranz *et al.*, 2011). El análisis de la distribución de los ecos mostró capas de mayor agregación de organismos a profundidades de entre unos 600 y 800 m. Esto coincide con la localización de la denominada "capa de reflexión profunda" (DSL o deep scattering layer), compuesta por miríadas de organismos de pequeño tamaño, principalmente peces mictofidos, que realizan migraciones verticales circadianas. De día se refugian en profundidad de los depredadores visuales de las capas someras, y de noche parte de los organismos de la DSL asciende para alimentarse en las aguas más ricas cercanas a la zona fótica.

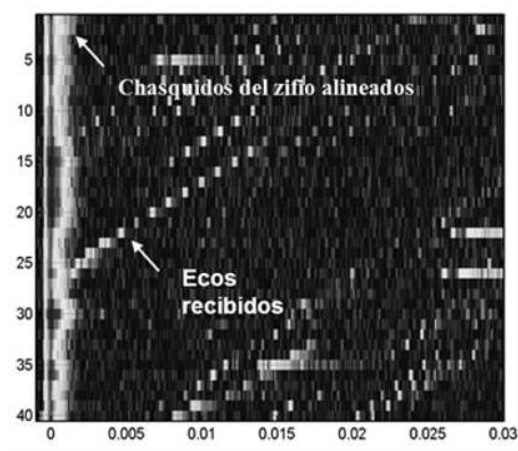


Fig. 11. Ecograma en el que se observan los chasquidos del animal marcado alineados verticalmente en la línea clara de la izquierda. Los números del eje de ordenadas indican el número sucesivo de chasquido y, en el eje de abscisas, el tiempo en segundos desde la emisión de cada uno. Los ecos reflejados por organismos en el agua se observan como líneas diagonales. En la mayoría de los casos el zifio se mueve más rápido que los organismos que reflejan los ecos, por lo que se acerca a los mismos. Así, se observa que las líneas de ecos comienzan en un punto alejado (mayor separación en el eje de las X = mayor distancia) y se van acercando a la línea de chasquidos del animal emisor.

Lo que los chasquidos, zumbidos y ecos dicen de la ecología de alimentación de los zifios

Los zifios de Cuvier y de Blainville sólo son vocalmente activos durante las inmersiones de alimentación (Johnson *et al.*, 2004; Aguilar de Soto, 2006; Tyack *et al.*, 2006). Arranz *et al.* (2011) resume así el comportamiento acústico durante los buceos del zifio de Blainville: esta especie realiza inmersiones profundas y de larga duración, siendo en promedio la profundidad máxima 800 m (472-1330 m) y la duración casi 50 min (23-65 min). Los zifios empiezan a ecolocalizar a una profundidad media de 400 m (169-873 m), después de un descenso en silencio de aproximadamente 4 min de duración (1-11 min). Estos animales cesan de ecolocalizar a una profundidad media de 700 m (273-1027 m) y realizan ascensos en silencio de una duración media de casi 20 min (9-35 min). La suma de las fases de descenso y ascenso en silencio resulta en una duración media de la fase de transporte en silencio, entre la superficie y la capa de alimentación, de 24 min (12-33 min). La fase de búsqueda de alimento, durante la que los zifios ecolocalizan, tiene una duración media de 24 min (9-38 min), durante la cual los zifios producen un promedio de 27 zumbidos (4-53 zumbidos) o intentos de captura de presas. Entre inmersiones profundas consecutivas, los zifios de Blainville pasan normalmente una hora y media (4-188 min) realizando series de buceos de recuperación, a menor profundidad, durante los que permanecen en silencio, por lo que estos buceos no se consideran relacionados con la alimentación (Aguilar Soto, 2006; Tyack *et al.*, 2006; Aguilar de Soto *et al.*, 2012). Así, en total los zifios de Blainville dedican un 18 % de su tiempo al transporte en las inmersiones profundas, un 18 % a la búsqueda y adquisición de presas mediante ecolocalización y un 64 % a realizar inmersiones someras, entre buceos profundos (Fig. 12). Una vez iniciada la fase de búsqueda en los buceos, los zifios invierten un promedio de tan sólo 2 min (0,6-3,1 min) antes de realizar el primer intento de captura de una presa (zumbido).

Los modelos generales de optimización del aprovisionamiento definen para los depredadores una estrategia “generalista” y otra “especialista”. La primera se caracteriza por una escasa selección de presas, de modo que se invierte poco tiempo en la localización de las mismas y se ingiere la mayoría de las que se encuentran, con mayor o menor contenido energético. La estrategia especialista se define por una mayor inversión en la búsqueda y selección de presas, que pueden requerir altos gastos de energía para su captura, pero serán presas calóricas. El comportamiento de los zifios indica que son animales altamente especializados, en cuanto a que no inician la búsqueda de alimento hasta que se encuentran en profundidad, invirtiendo la mitad del tiempo en cada buceo en el transporte desde la superficie hasta la capa de alimentación. Sin embargo, una vez están en la zona de caza, su

comportamiento es más generalista, aprovechando recursos mesopelágicos (de aguas libres entre 200 y 1000 m de profundidad) y demersales, de especies ligadas al fondo.

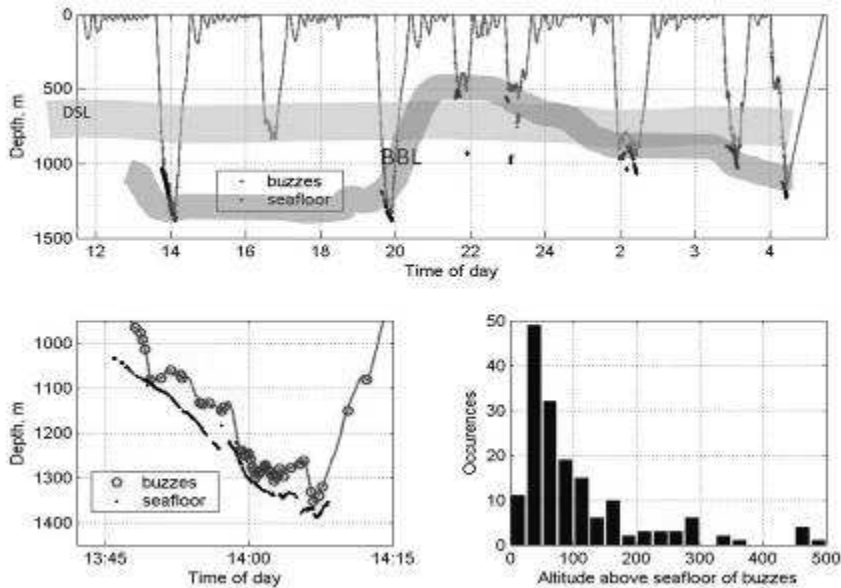


Fig. 12. Ejemplo de perfil de inmersión con ocho buceos de alimentación, separados por buceos más cortos y someros de recuperación, y con la fase vocal de uno de los buceos ampliada abajo. Se plasma la fase vocal de cada inmersión, en la que los zifios emiten chasquidos de ecolocalización, en gris grueso; los zumbidos (buzzes), indicando los intentos de captura de presas, se representan con círculos, y la localización del fondo (seafloor) con puntos bajo la línea del buceo. El histograma muestra la distribución de la altitud sobre el fondo a la que se realizan los intentos de capturas de presas, para todos los zumbidos para los que se detectaron ecos del fondo marino. Se pinta en el perfil de inmersión la BBL, la capa límite bentónica, definida como 200 m de altitud sobre el fondo, así como la DSL, la capa de reflexión profunda, que se encuentra normalmente a unos 600-800 m en las aguas de Canarias. Estas capas constituyen agregaciones de biomasa en el océano profundo.

Los ecos provenientes de organismos, registrados en las marcas de los zifios de Blainville, indican que hay fuertes variaciones en la concentración de biomasa a lo largo de la columna de agua y que los zifios no siempre se alimentan en las capas de profundidad con mayor abundancia de ecos, sino que muchas veces la superan y se alimentan más abajo. Se alimentan tanto en la capa de reflexión profunda (DSL) como por debajo de ésta, probablemente de los depredadores que ascienden del fondo para capturar las pequeñas especies que componen la DSL. Esto demuestra que están

realizando selección de presas, en ocasiones dentro de concentraciones muy densas de organismos como las que se encuentran en la DSL, conformando un modelo intermedio entre estrategias generalistas y especialistas.

Los mamíferos de buceo profundo invierten una parte importante del tiempo en el transporte entre la superficie y las cotas de alimentación (Kramer, 1988; Fedak & Thompson, 1993), por lo que la inversión en la localización de las presas es alta. Desde este planteamiento, los zifios se encuadran directamente dentro de la estrategia especialista. No obstante, si se define el tiempo de búsqueda como el invertido en localizar las presas una vez en las profundidades objetivo, obviando el coste de transporte entre éstas y la superficie, se observa que la estrategia del zifio de Blainville se acerca más al modelo generalista. En los buceos capturan múltiples presas, realizando una media de un intento de captura de presa por minuto, una vez en la fase de ecolocalización. Así, estas presas no parecen requerir tiempos de manipulación (persecución, captura e ingestión) elevados; probablemente, la eficiencia energética de esta estrategia se basa más en el gran número de presas ingeridas que en su contenido calorífico individual.

Probablemente para tener acceso a los dos tipos de hábitat en los que se alimentan en aguas profundas: la capa mesopelágica y la BBL, los zifios muestran en El Hierro una preferencia por el talud de la isla, como demuestra el modelado realizado en base a más de 1500 avistamientos de zifios obtenidos en El Hierro (Fig. 13).

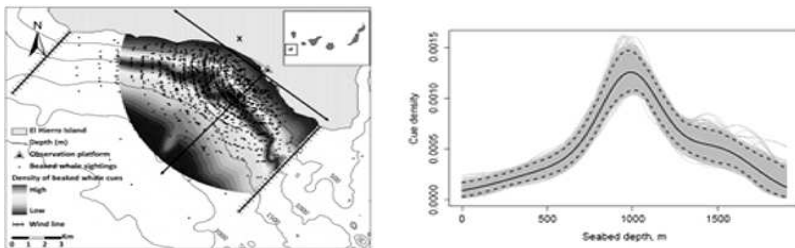


Fig. 13. Preferencias de hábitat de los zifios: datos observados y modelados en base a detecciones visuales en El Hierro. Los puntos negros en el mapa son avistamientos de zifios recogidos de 2004 a 2010 desde una plataforma de observación (triángulo en tierra) situada en la costa suroeste de la isla de El Hierro. El área de observación coincide con la zona de aguas encalmadas delimitada por las líneas de cizalladura del viento dominante (wind lines). Se utilizó un sistema de coordenadas (x, y) a partir del punto de orientación, orientado tal y como se muestra en la figura, para definir la localización de los avistamientos. Se realizó un modelado estadístico y los resultados acerca de la distribución de densidad de avistamientos de zifios en relación a la profundidad se representan según una escala de grises. A la derecha se muestra el ajuste de dicho modelo (línea central) y los intervalos de confianza del 2,5 y 97,5 % (líneas discontinuas inferior y superior, respectivamente). La mayor densidad de avistamientos de zifios (cue density) se espera alrededor de la cota batimétrica (seabed depth) de los 1000 m. Figuras de Arranz *et al.* (en prensa).

El efecto volcán en los zifios de El Hierro

Cuando en octubre de 2011 se inició la erupción volcánica que creó un nuevo cono submarino en la isla de El Hierro, levantándolo hasta tan solo 80 m de la superficie (Fig. 14), se planteó la posibilidad de que los zifios se alejaran de la zona. Sin embargo, el seguimiento longitudinal de las poblaciones de zifios en El Hierro ha permitido evidenciar que no han sido afectadas por la erupción volcánica submarina. Durante el pico de la erupción se observaron las dos especies de zifios residentes en las aguas de El Hierro, aunque sin entrar en la zona de “mancha volcánica”. En el año siguiente se han continuado observando las dos especies, sin que se muestre un impacto evidente en su densidad.

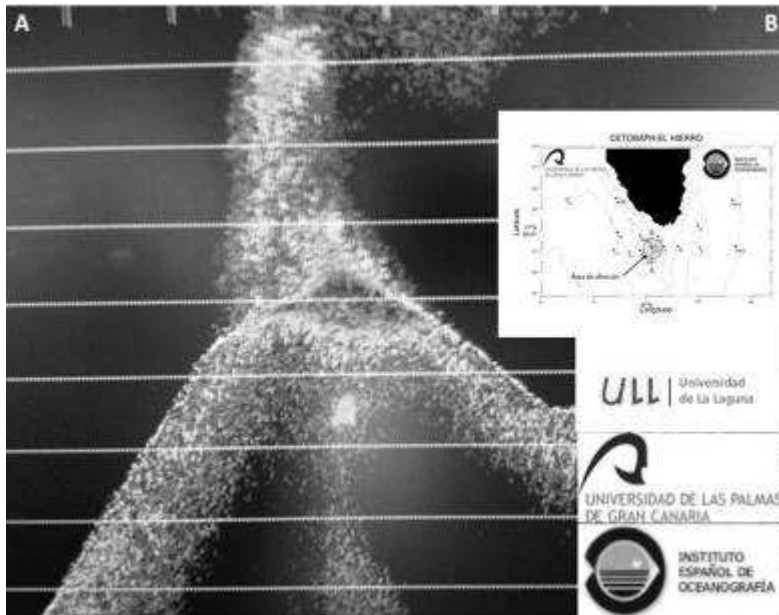


Fig. 14. Imagen de la ecosonda del buque Cornide de Saavedra, mostrando una salida de gases del nuevo cono volcánico del sur de la isla de El Hierro.

La aparición de numerosos peces de profundidad muertos, flotando en superficie, durante la erupción volcánica y en los meses posteriores, indica que es posible que haya habido una afección a los recursos alimentarios de los zifios. Aunque es cierto que en la zona del nuevo cono volcánico es previsible que las comunidades demersales no sean aún adecuadas para la actividad trófica de los zifios, las comunidades mesopelágicas, y las de

fondo en zonas del talud alejadas del volcán, parecen haberse recuperado adecuadamente.

Para investigar el hábitat de los zifios en El Hierro se realizaron dos campañas de pesquerías experimentales mesopelágicas, con redes de arrastre profesionales, desde el buque La Bocaina (Instituto Marítimo Pesquero de Lanzarote, Viceconsejería de Pesca del Gobierno de Canarias) y desde el buque Cornide de Saavedra, del Instituto Español de Oceanografía (Fig. 15). La primera se realizó antes de la erupción volcánica, en 2009, y la segunda después, en abril de 2012. Los análisis preliminares no mostraron diferencias evidentes entre las dos pescas en cuanto a composición específica y abundancia de las capturas. Las pescas, que se realizaron en La Palma, Tenerife y El Hierro para aportar una visión comparativa de las comunidades de aguas profundas, mesopelágicas, de las islas, han permitido identificar 180 especies de peces, 49 especies de crustáceos y 37 de cefalópodos (Fig. 16).



Fig. 15. Investigaciones de oceanografía biológica, física y química en las aguas profundas de El Hierro, con los buques Bocaina (Instituto Marítimo Pesquero de Lanzarote) y Cornide de Saavedra (Instituto Español de Oceanografía). Se realizaron pescas experimentales hasta 900 m de profundidad, muestreos de plancton hasta 200 m y de agua hasta 2000 m.

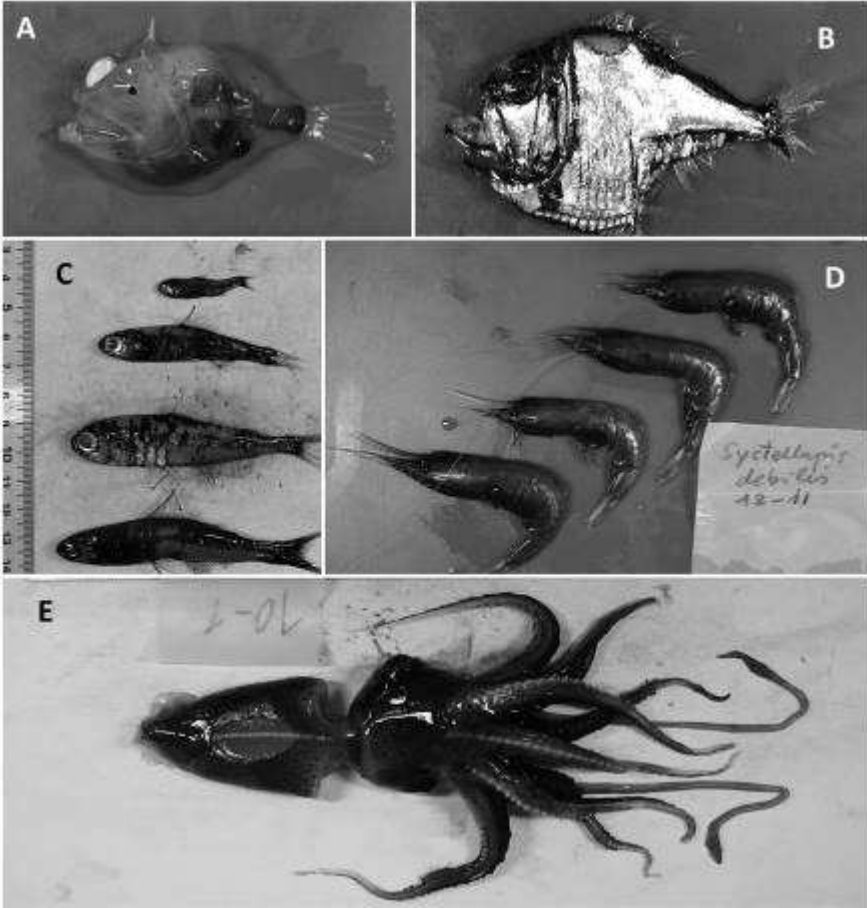


Fig. 16. Ejemplos de organismos mesopelágicos (de vida libre en la columna de agua entre 200 y 1000 m) capturados en las campañas: A) Hembra de *Haplophryne mollis*; B) Pez hacha *Argyloplecus aculeatus*; C) Varias especies de mictófidios, la familia más abundante en la capa de reflexión profunda; D) Crustáceos *Systellaspis debilis*; E) Moluscos cefalópodos: *Histioteuthis meleagroteuthis*. Se observa la importancia de los fotóforos para estos organismos, tanto para señalar con fines de comunicación, como para atraer presas o camuflar su presencia, por ejemplo, los fotóforos ventrales del pez hacha transmiten una luz similar a la que llega desde superficie, haciéndolos invisibles ante depredadores más profundos. Fotos de Alejandro Vicente Ariza.

La vida social de los zifios en El Hierro

Para todos los mamíferos marinos es importante la comunicación y destaca para ello el uso de señales acústicas, aprovechando así las buenas propiedades del agua para la transmisión del sonido. Las grandes ballenas utilizan llamadas en bajas frecuencias, que sufren poca pérdida por

absorción en el mar y pueden ser detectadas a miles de kilómetros, al menos antes de que el ruido de los buques incrementara el sonido ambiente natural, reduciendo el rango espacial de las señales (Payne & Webb, 1971). Esta comunicación a larga distancia está adaptada a la forma de vida de las ballenas, que normalmente viajan solitarias o en grupos pequeños y han de encontrarse para el apareamiento. Los cetáceos con dientes, odontocetos, viven normalmente en grupos sociales más grandes y sus señales de comunicación se utilizan principalmente para comunicarse dentro del grupo, o con animales relativamente cercanos. Utilizan una gran variedad de llamadas pulsadas y tonales para comunicarse, con frecuencias medias o altas que sufren absorción por las moléculas de agua, por lo que los rangos de detección acústica son menores.

Los sonidos que emiten los zifios son mayoritariamente chasquidos de ecolocalización, pero se ha descubierto recientemente que, al menos el zifio de Blainville, produce también silbidos y sonidos pulsados de comunicación (Aguilar de Soto *et al.*, 2012). Estos autores describen que incluso los sonidos de comunicación se emiten solamente en profundidad, constituyendo de hecho los silbidos más profundos registrados para un mamífero marino. El aumento de presión que se da con la profundidad afecta al sistema neumático que utilizan los cetáceos para producir sonidos: una serie de sacos aéreos localizados delante del cráneo. Esto se ha evidenciado, por ejemplo, en que los calderones del sur de Tenerife tienden a reducir la potencia y duración de sus llamadas de comunicación en profundidad (Jensen *et al.*, 2011). Los silbidos registrados en El Hierro son los únicos grabados para el zifio de Blainville en el mundo, y esto es debido probablemente a su escasa duración (media de 0,2 s), quizá relacionada con la influencia de la presión hidrostática, y a que los silbidos se emiten muy raramente. Son muy estereotipados, con poca modulación de frecuencias y numerosos armónicos. La frecuencia fundamental se encuentra entre 11 y 13 kHz, mientras que los armónicos alcanzan el rango ultrasónico. Los silbidos se emiten normalmente en series de dos a más de cinco (Fig. 17).

Además de los silbidos, que son escasos, los zifios producen unas llamadas pulsadas de comunicación que se han denominado “rasps” (Fig. 18). Estas señales tienen una duración media de 0,6 s y contienen de media 90 chasquidos de frecuencia modulada, con un intervalo entre chasquidos de unos 5 ms. El hecho de que puedan emitir chasquidos de frecuencia modulada tan rápidamente demuestra que cuando utilizan el otro tipo de chasquidos, más cortos, en los zumbidos, no lo hacen por limitaciones de su sistema de emisión acústica, sino para optimizar el funcionamiento de su biosonar.

Es sorprendente que los zifios de Blainville y de Cuvier (llamados “roases” en El Hierro) pasen en silencio más de un 80% de su tiempo, considerando que viven en grupos sociales altamente coordinados (Aguilar

de Soto, 2006). Aún es un misterio cómo consiguen mantener la cohesión social durante el tiempo en el que están en silencio, aunque pasen la mayor parte del tiempo en la capa fótica (en la que aún hay luz, Fig. 19), dado que no emiten sonidos cerca de superficie tampoco de noche, y se pueden separar durante el día a distancias mayores que a las que puede darse detección visual, y luego volver a reunir los grupos.

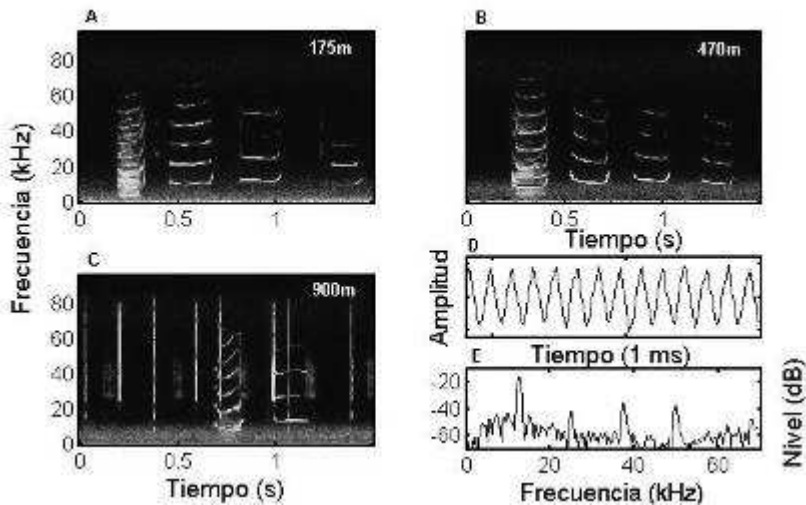


Fig. 17. Silbidos de zifios de Blainville registrados en animales estudiados con DTag en El Hierro, que es el único lugar donde se han podido grabar silbidos de zifios en libertad. Se indica la profundidad del animal en el momento de emitir los silbidos. El valor más extremo registrado para un mamífero marino es el de un zifio que silbó a 900 m de profundidad, desafiando los retos que la presión hidrostática impone sobre su sistema neumático de producción acústica.

Los animales que se comunican han de equilibrar los beneficios y costes que se derivan de emitir señales, tales como un incremento del riesgo de depredación. En el caso de los cetáceos, las vocalizaciones pueden ser oídas por orcas, que depredan sobre una gran variedad de mamíferos marinos y peces, y tienen un agudo sentido del oído. Hay distintas tácticas para la defensa ante depredadores, una de ellas es formar grupos de gran tamaño que puedan constituir un reto para el depredador (caso por ejemplo de los calderones), o diluir su efecto a nivel poblacional. Los zifios viven en grupos sociales pequeños y tienen tasas reproductivas bajas, por lo que no pueden enfrentarse a las orcas, y cada individuo de la población es importante.

Además, las adaptaciones fisiológicas que permiten a los zifios mantener un bajo consumo energético, para soportar largos periodos en

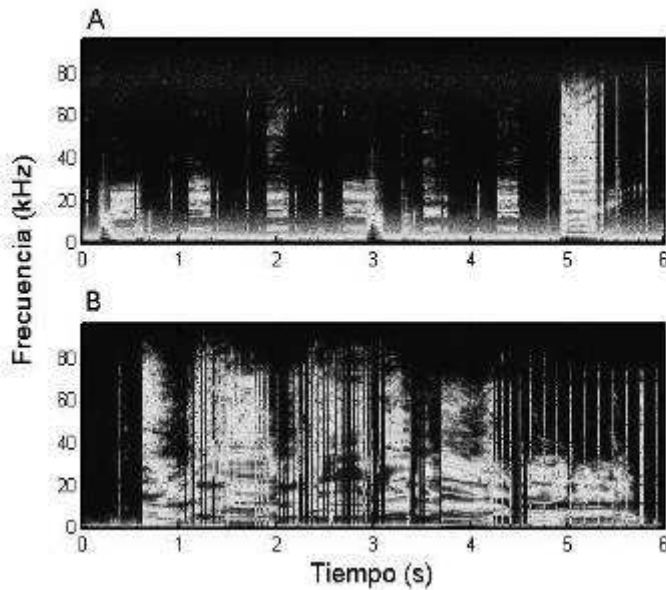


Fig. 18. Señales pulsadas de comunicación: los *rasps*. Se observa en las figuras un intercambio de señales entre el animal que lleva la marca y otros congéneres cercanos. La DTAG registra bajas frecuencias en los chasquidos que forman los rasps producidos por el animal marcado, debido a que estas bajas frecuencias se transmiten por el cuerpo del zifio. Por ello, no están presentes en los rasps producidos por animales vecinos, facilitando la identificación de la fuente de las señales.

apnea (Aguilar de Soto, 2006), limitan sus posibilidades de hacer frente a las orcas o escapar de ellas con movimientos de gran potencia. Así, la estrategia que parecen haber adoptado los zifios es la de evitar ser detectados. Esto explica por qué evitan vocalizar cerca de la superficie (las orcas no bucean a más de 200 m), y los largos ascensos silenciosos desde las inmersiones profundas. Estos ascensos se realizan en ángulo, de modo que los zifios pueden recorrer distancias de más de una milla durante los mismos, lo suficiente como para esquivar a un depredador que pudiera haberlos detectado acústicamente mientras los zifios emitían chasquidos durante el buceo de alimentación. La importancia que parece haber tenido la evitación de depredadores en la evolución del comportamiento de los zifios podría explicar que reaccionen de forma extrema ante sonidos, como los sonares navales, que coinciden con el rango de frecuencias de las llamadas de las orcas y podrían ser confundidos con éstas. Una fuerte reacción de escape es la explicación más aceptada como causa de las embolias observadas en los zifios varados a causa del uso de sonares navales (Jepson *et al.*, 2003). Esta reacción alteraría los mecanismos usuales de regulación fisiológica requeridos para poder realizar las hazañas de buceo que a nosotros nos asombran, y que para un zifio son normales.

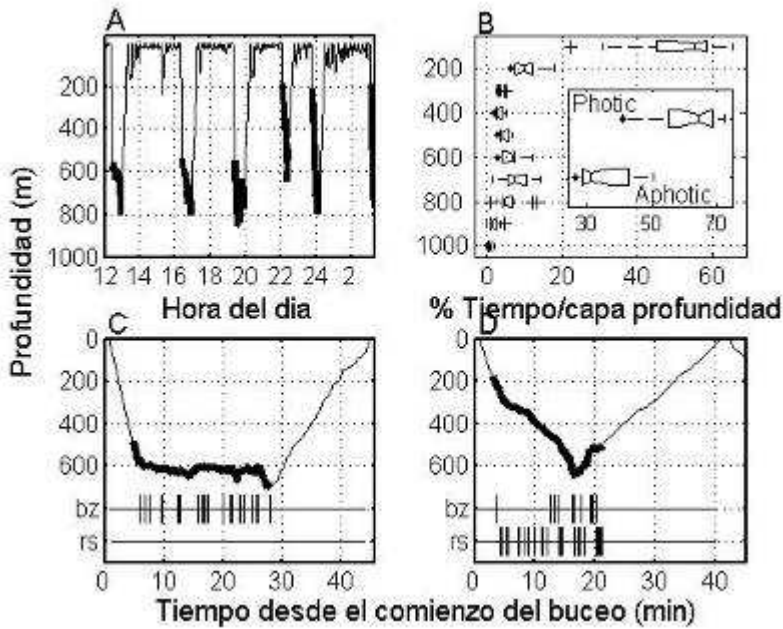


Fig. 19. A) Ejemplo del perfil de buceo de un zifio de Blainville, marcando con una línea gruesa el tiempo durante el que se encuentra vocalmente activo. B) Porcentaje de tiempo que los zifios pasan a distintas profundidades, agrupándolas en la capa fótica (< 200 m) y afótica, donde llega poca radiación lumínica. C) Muestra un buceo normal de un zifio, marcando con líneas verticales la ocurrencia de zumbidos (bz) y rasps (rs), se observa cómo el animal intenta cazar presas con los zumbidos regularmente a lo largo de la fase vocal del buceo (línea engrosada). D) Es una inmersión anómala, altamente comunicativa, en la que el zifio emitió muchos rasps.

Se dibuja así el mosaico “zifio”, un animal altamente especializado para poder aprovechar el nicho que ofrecen las aguas profundas, el ecosistema más extenso del planeta. Una de sus piezas clave es el ahorro de energía, con una anatomía y fisiología que le permiten reducir sus costes metabólicos y alimentarse de presas abundantes en las aguas profundas, pero de relativamente escaso contenido calórico (el zifio realiza unos 200 intentos de captura de presas al día). Esta estrategia es similar a la de los équidos, animales que pueden aprovechar vegetación poco nutritiva, lo que les permite extender su distribución a zonas más pobres, donde otras especies más selectivas no pueden competir. Ello explica que los zifios se distribuyan en las aguas profundas y oligotróficas de las grandes cuencas oceánicas, los mal llamados “desiertos marinos”, aunque sin poder mantener densidades altas. El nicho al que se han adaptado no es accesible para muchas otras especies de cetáceos, dado que requiere una gran

capacidad de apnea que solamente presenta el cachalote, gracias a su gran tamaño corporal, que le permite almacenar mucho oxígeno en la mioglobina de los músculos. Otras especies pueden descender a grandes profundidades, pero por periodos cortos de tiempo, durante los que no pueden permitirse capturar presas poco calóricas que no compensarían el coste de transporte (por ejemplo, los calderones). Así, los zifios evitan competencia y aumentan su rango de distribución, pero todo ello tiene un coste: su bajo metabolismo resulta en poca potencia para escapar o enfrentarse a los depredadores, y los pequeños grupos sociales y bajas densidades otorgan escasa resistencia ante una depredación continuada. Las orcas eran más abundantes en el pasado, pero ahora hay otro depredador en los mares: el ser humano. En Canarias se ha establecido una moratoria al uso de los sonares navales dentro de 50 millas náuticas del archipiélago. Esta medida ha sentado un precedente internacional y ha prevenido nuevas mortandades atípicas de zifios en la última década. Es un ejemplo de que sí se pueden tomar medidas efectivas para proteger las riquezas marinas de Canarias.

Agradecimientos

En estos diez años de trabajo en El Hierro ya han participado más de ciento cincuenta investigadores y estudiantes en prácticas de mas de diez nacionalidades. A todos ellos nuestro más sincero agradecimiento por todas esas horas de sol y paciencia, esperando el fin del buceo del zifio, y de alegrías compartidas. Especialmente a Jacobo Marrero, Andrea Fais, Ana Crespo, Cristina Aparicio, Marta Guerra, Alejandro Padrón, Iván Domínguez, Francisca Díaz, Aitziber Hernández, Marta Tobeña, Marcel Gil, Moneiba Casañas, y ... muchos más querría mencionar. También gracias a Herzog y a Francisco, por su gran ayuda con los barcos, y a las personas de La Restinga que nos hacen sentirnos en casa: Cacho, Gladis y familia, Aurelio, Fernando Gutierrez, la saga Noé (Cati, Chuchi, Jose), Juan Piloto y Juan “abogado”, y un largo etcétera. Fernando Gutiérrez, presidente de la cofradía de pescadores de La restinga, y Pedro Cano-Manuel, dueño del centro de buceo El Submarino, nos acogieron cuando llegamos a El Hierro e impulsaron nuestro trabajo, que continuaremos con su colaboración.

Referencias

- ACOSTA, J., E. UCHUPI, A. MUÑOZ, P. HERRANZ, C. PALOMO, M. BALLESTEROS & ZEE WORKING GROUP (2004). Geologic evolution of the Canarian Islands of Lanzarote, Fuerteventura, Gran Canaria and La Gomera and comparison of landslides at these islands with those at Tenerife, La Palma and El Hierro. *Marine Geophysical Researches* 24: 1-38.
- AGUILAR DE SOTO, N. (2006). Comportamiento acústico y de buceo del Calderón y Zifio de Blainville en las Islas Canarias. Tesis doctoral, Universidad de La Laguna, Tenerife, España.

- AGUILAR DE SOTO, N., P. ARRANZ, P. MADSEN & M. JOHNSON (2011). Deep habitat selection by beaked and pilot whales. Symposium CLIOTOP at the International Biologging Conference. Tasmania. March 2011.
- AGUILAR DE SOTO, N., M. JOHNSON, C. APARICIO, F. DÍAZ, I. DOMÍNGUEZ, M. GUERRA, A. HERNÁNDEZ, A. BOCCONCHELLI, A. BRITO & P. TYACK (2004). High concentrations of beaked whales found near the coast of El Hierro, Canary Islands. Poster. European Research on Cetaceans 18th. Sweden. April 2004.
- AGUILAR DE SOTO, N., M. JOHNSON, P. ARRANZ, P. TYACK, E. REVELLI & P. MADSEN (2011). Whales that click together, stick together: social cohesion in beaked whales and implications for female size. International Biologging Conference. Tasmania. March 2011.
- AGUILAR DE SOTO, N., M. JOHNSON, F. DÍAZ, I. DOMÍNGUEZ, C. APARICIO, A. BOCCONCHELLI, A. BRITO & P.L. TYACK (2003). Cetáceos de hábitos profundos en Canarias. *Makaronesia* 5: 46-57.
- AGUILAR DE SOTO, N., M. JOHNSON, P.T.M. MADSEN, P.L. TYACK, A. BOCCONCELLI & F. BORSANI (2006). Does intense ship noise disrupt foraging in deep-diving Cuvier's beaked whales (*Ziphius cavirostris*)? *Marine Mammal Science* 22: 690-699.
- AGUILAR DE SOTO, N., C. REYES, A. CRESPO, A. SCHIAVI, C. APARICIO, P. ARRANZ, J. MARRERO, A. FAIS, A. ESCÁNEZ, F. AGUILAR & A. BRITO (2010). Zifios en las Islas Canarias occidentales. Tamaño poblacional y distribución en El Hierro. Informe para TRAGSEGA y el Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino. Universidad de La Laguna, La Laguna, España. 60 pp.
- AGUILAR DE SOTO, N., P.T. MADSEN, P. TYACK, P. ARRANZ, J. MARRERO, A. FAIS, E. REVELLI & M. JOHNSON (2012). No shallow talk: Cryptic strategy in the vocal communication of Blainville's beaked whales. *Marine Mammal Science* 28(2): E75-E92, DOI: 10.1111/j.1748-7692.2011.00495.x
- APARICIO, C., M. GUERRA, A. HERNÁNDEZ, A. PADRÓN, F. DÍAZ, I. DOMÍNGUEZ, A. BRITO, M. JONSON & N. AGUILAR DE SOTO (2005). Resident and reproductive populations of beaked whales in El Hierro, Canary Islands. European Research on Cetaceans 19th, France, April 2005.
- APARICIO, C. (2008). Abundance estimates of beaked whale populations in El Hierro Island. Proyecto presentado para la obtención de la suficiencia investigadora, Universidad de La Laguna, Tenerife, España.
- APARICIO, C., N. AGUILAR DE SOTO & A. CRESPO (2009). Should beaked whales be protected or “data defficient”? a population approach to their status of conservation. European Research on Cetaceans 23rd, Turkey. March 2009.
- ARRANZ, P., N. AGUILAR DE SOTO, P. MADSEN, A. BRITO, F. BORDES & M. JOHNSON (2011). Following a foraging fish-finder: fine-scale habitat use of deep diving Blainville's beaked whales revealed by echolocation. *PLOS ONE* 6(12), DOI:10.1371/journal.pone.0028353
- COX, T.M., T.J. RAGEN, A.J. READ, *et al.* (2006). Understanding the impacts of anthropogenic sound on beaked whales. *Journal of Cetacean Research and Management* 7: 177-187.
- FAO-UNEP (1994). *Marine mammals of the world*. Roma: FAO-UNEP.

- FEDAK, M.A. & D. THOMPSON (1993). Behavioural and physiological options in diving seals. *Symposium Zoological Society of London* 66: 349-368.
- HEYNING, J.E. (2002). Cuvier's beaked whale. In: Perrin, W.F., B. Würsig & J.G.M. Thewissen (Eds), *Encyclopedia of marine mammals*, pp. 305-307. Academic Press. San Diego.
- HOOKE, S.K., A. FAHLMAN, M. MOORE, N. AGUILAR DE SOTO, *et al.* (2011). Deadly diving? Physiological and behavioural management of decompression stress in diving mammals. *Proceedings of the Royal Society of the UK*. B doi:10.1098/rspb.2011.2088
- JENSEN, F., J. MARRERO, M. JOHNSON, N. AGUILAR DE SOTO & P. MADSEN (2011). Calling under pressure: deep social calls of short-finned pilot whales. *Proceedings of the Royal Society of the UK*. B. DOI: 10.1098/rspb.2010.2604
- JEPSON, P.D., M. ARBELO, R. DEAVILLE *et al.* (2003). Gas-bubble lesions in stranded cetaceans - Was sonar responsible for a spate of whale deaths after an Atlantic military exercise? *Nature* 425: 575-576.
- JOHNSON, M., P.T. MADSEN, N. AGUILAR DE SOTO & P. TYACK (2006). Foraging Blainville's beaked whales (*Mesoplodon densirostris*) produce distinct click types matched to different phases of echolocation. *Journal of Experimental Biology* 209: 5038-5050.
- JOHNSON, M., P.T. MADSEN, W.M.X. ZIMMER, N. AGUILAR DE SOTO & P.L. TYACK (2004). Beaked whales echolocate on prey. *Proceedings of the Royal Society of London B* 271: S383-386.
- JOHNSON, M., N. AGUILAR DE SOTO, E. TERRAY & P.T. MADSEN (2011). Eavesdropping on foraging: using passive echolocation to quantify deep-sea predator and prey interactions. International Biologging Conference. Tasmania. March 2011.
- KRAMER, D.L. (1988). The behavioral ecology of air breathing by aquatic animals. *Canadian Journal of Zoology* 66: 89-94.
- MACLEOD, C.D. (2006). How big is a beaked whale? A review of body length and sexual size dimorphism in the family Ziphiidae. *Journal of Cetacean Research and Management* 7: 301-308.
- MADSEN, P.T., M. JOHNSON, N. AGUILAR DE SOTO, W.M.X. ZIMMER & P.L. TYACK (2005). Biosonar performance of foraging beaked whales (*Mesoplodon densirostris*). *Journal of Experimental Biology* 208: 181-194.
- MADSEN, P.T., M. JOHNSON, P.J.O. MILLER, N. AGUILAR DE SOTO, J. LYNCH & P.L. TYACK (2006). Quantitative measures of air gun pulses recorded on sperm whales (*Physeter macrocephalus*) using acoustic tags during controlled exposure experiments. *Journal of the Acoustical Society of America* 120: 2366-2379.
- MARTÍN, V., A. SERVIDÍO & S. GARCÍA (2004). Mass stranding of beaked whales in the Canary Islands. In: Evans, G.H.P. & L.A. Miller (Eds), *Workshop on Active Sonar and Cetaceans*, pp. 78. Gran Canaria.
- MASSON, D.G., A.B. WATTS, M.J.R. GEE, R. URGELES, N.C. MITCHELL, T.P. LE BAS & M. CANALS (2002). Slope failures on the flanks of the western Canary Islands. *Earth-Science Reviews* 57: 1-35.

- MEAD, J.G. (1989) Beaked whales of the genus *Mesoplodon*. In: Ridgway, S.H. & R. Harrison (Eds), *Handbook of Marine Mammals*. pp. 349-430. Academic Press, London, UK.
- PAYNE, R. & D. WEBB (1971). Orientation by means of long range acoustic signaling in baleen whales in: Orientation: Sensory basis. *Annals of the New York Academy of Sciences* 88: 110–142.
- REYES, C., A. SCHIAVI, C.J. PÉREZ-GONZÁLEZ & N. AGUILAR DE SOTO (2011). Social structure and temporal variations in individual associations of Blainville's beaked whales (*Mesoplodon densirostris*) in El Hierro (Canary Islands). 25^a Conferencia de la Sociedad Europea de Cetáceos, ECS. Marzo 2011.
- REYES, C., A. SCHIAVI & N. AGUILAR DE SOTO (2012). Cetabase: a bilingual tool to enhance data sharing and public outreach on endangered species. 26th Conference of the European Cetacean Society. Ireland. March 2012.
- TYACK, P.L., M. JOHNSON, N. AGUILAR DE SOTO, A. STURLESE & P.T.M. Madsen (2006). Extreme diving of beaked whales. *Journal of Experimental Biology* 209: 4238-4253.