

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Eval. Amb. Ecosistemas marinos y Cost.

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

**“DETECCIÓN, IDENTIFICACIÓN Y  
LOCALIZACIÓN DE CETÁCEOS  
CON TÉCNICAS DE ACÚSTICA  
PASIVA”**

**TRABAJO FINAL DE  
MASTER**

Autor/a:

**Anastasiya Dovgan**

Tutor/a:

**Isabel Pérez Arjona**

**Víctor Espinosa Roselló**

**GANDIA, 2020**

## **Agradecimientos**

En primer lugar, me gustaría agradecer a la Autoridad Portuaria de Cartagena por la oportunidad de participar en este proyecto. En segundo lugar, agradecer a los partícipes Víctor Espinosa Roselló, Isabel Pérez Arjona, José Antonio Esteban, Eduardo Jorge Belda y Blanca Feliu Tena por la ayuda ofrecida durante la campaña y por haberla hecho tan amena y divertida. Al equipo de la empresa de Cetáceos y Navegación por la acogida y el buen trato durante los días de la salida.

Gracias a mis tutores Isabel Pérez Arjona y Víctor Espinosa Roselló por haberme dado la oportunidad de participar y disfrutar de esta experiencia tan maravillosa. Por haberme dejado adentrarme en la acústica pasiva, la cual no había conocido previamente y me ha sorprendido gratamente. Aún me acuerdo del segundo día de la campaña y de mis apuntes volando por la borda mientras me quedaba embobada viendo a los delfines mulares.

Agradezco enormemente la ayuda brindada por Gonzalo Martínez en la elaboración de los mapas con el software R. Sin su paciencia, dedicación y trabajo no habría sido posible manejarme bien con ese programa.

Hacer especial mención a José Antonio Esteban por enseñarme tanto sobre los cetáceos y haber dedicado tanto tiempo a responder todas mis dudas.

Por último, agradecer a mis amigos, familia y mi pareja por haberme soportado en los días que más estresada he estado y por haber tenido tanta paciencia conmigo.

## Resumen

Debido a las características que presenta el océano, se ha convertido en un medio eficiente para la transmisión de los sonidos. Así mismo, los cetáceos utilizan el sonido para la comunicación, detección de presas y reconocimiento del medio, ya que, pasan la mayor parte de su vida bajo el agua. Gracias al desarrollo de nuevas técnicas de monitorización de estos mamíferos como la acústica pasiva, ha sido posible la detección de sonidos submarinos tanto para la identificación como estimación de la abundancia de estos animales marinos. Este trabajo se centra en la detección mediante el uso del hidrófono remolcado de arrastre de poblaciones de cetáceos, especialmente del delfín mular (*Tursiops truncatus*) y el cachalote (*Physeter macrocephalus*), en los Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón. El objetivo principal es generar un filtro para la detección automática de clicks de cachalotes y silbidos de delfines y localización automática de la dirección de la fuente acústica in situ. Los resultados obtenidos han demostrado la eficiencia del sistema de monitorización acústica pasiva a pesar de la dificultad que ha presentado el filtro N1C-Nauta en detectar la especie del calderón común (*Globicephala melas*).

**Palabras clave:** cetáceos; acústica pasiva; clicks; silbidos; filtro N1C-Nauta.

## Abstract

Due to the characteristics of the ocean, it has become an efficient means of transmitting sound. Likewise, cetaceans use sound for communication, prey detection and environment recognition since they spend most of their life underwater. Thanks to the development of new techniques for monitoring these mammals such as passive acoustics, it has been possible to detect underwater sounds for both the identification and estimation of the abundance of these marine animals. This work is focused on the detection of cetacean populations, especially bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and sperm whales (*Physeter macrocephalus*), in the “Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón”, by means of the dragging hydrophone. The main objective is to generate a filter for the automatic detection of sperm whale clicks and dolphin whistles and to automatically locate the direction of the acoustic source in situ. The results obtained have demonstrated the efficiency of the passive acoustic monitoring system in spite of the difficulty that the N1C-Nauta filter has presented in detecting the pilot whale species (*Globicephala melas*).

**Key words:** cetaceans; passive acoustics; clicks; whistles; N1C-Nauta filter.

## Índice

1. Introducción .....	1
1.1 La propagación acústica en el mar .....	1
1.2 Relevancia y estudio de los cetáceos .....	4
1.3 Bioacústica de los cetáceos .....	5
1.4 La acústica pasiva en el estudio de los cetáceos .....	10
1.5 Caracterización de la zona .....	11
1.6 Justificación del estudio .....	13
2. Objetivos .....	16
3. Material y métodos .....	16
3.1 Diseño de transectos .....	16
3.2 Material y Metodología acústica .....	18
3.2.1 Material .....	18
3.2.1.1 Hidrófonos .....	19
3.2.1.2 Software PAMGuard .....	25
3.2.1.3 Software Audacity .....	26
3.2.2 Procedimiento .....	27
4. Resultados .....	29
4.1 Filtro .....	29
4.2 Identificación de los sonidos emitidos por distintas especies .....	31
4.3 Localización de las distintas especies .....	38
5. Conclusiones y futuros trabajos .....	42
6. Bibliografía .....	44
7. Anexos .....	50

## 1. Introducción

El océano está lleno de sonidos de origen biológico (animales marinos), los procesos naturales y las actividades humanas. Gracias a las características que presenta el agua, se trata de un medio eficiente para la transmisión de los sonidos, tanto para los mamíferos marinos como para las personas. Estos animales utilizan el sonido para la comunicación social, localización de las presas y reconocimiento del entorno. Así mismo, los mamíferos marinos utilizan un tipo de pulsos cortos (clicks) para poder escuchar los ecos y así detectar sus presas o reconocer los objetos y navegar alrededor suyo.

En este trabajo fin de master se pretende utilizar las técnicas de acústica pasiva para detectar y localizar cetáceos en la zona de especial conservación (ZEC) de los valles submarinos de los Escarpes de Mazarrón.

### 1.1 La propagación acústica en el mar

El sonido es la propagación de cualquier tipo de perturbación mecánica en forma de ondas, que implica la propagación de energía sin el transporte de materia a través de un material sólido, líquido o gaseoso (Redondo et al., 2017). El sonido encuentra unas condiciones de propagación especialmente favorables en el agua, con velocidades cinco veces mayor que en el aire y una absorción mil veces menor. Este hecho, junto con la alta absorción de las ondas electromagnéticas en este medio, hace que sea un entorno especialmente propicio para la propagación acústica.

La velocidad del sonido en el mar suele estar comprendida entre los 1450 m/s y 1540 m/s la cual depende directamente de las variables tales como la salinidad, la presión hidrostática y en mayor medida de la temperatura (Medwin, 2005). Teniendo en cuenta la variabilidad de estas variables en el medio tenemos que considerar la variabilidad de la velocidad de propagación del sonido a lo largo de la columna de agua.

Además, para el cálculo de la velocidad del sonido  $c$  en el mar se puede realizar mediante la siguiente fórmula propuesta por Medwin en el año 1975:

$$c = 1449,2 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,00029T^3 + (1,34 - 0,0107T)(S - 35,0) + 0,016z$$

Figura 1. Fórmula propuesta por Medwin (1975) para el cálculo de la velocidad del sonido en el mar.

Fuente: Medwin, 2005

Donde la temperatura  $T$  es expresada en grados centígrados, la salinidad  $S$  expresada en partes por millón (ppm) y la profundidad  $z$  en metros. Así mismo, la velocidad del sonido ( $c$ ) es directamente proporcional a las tres variables, es decir, al variar cualquiera

de las tres lo hace también la velocidad del sonido. Sin embargo, la temperatura en el agua salina es un parámetro más importante que la salinidad, ya que la velocidad del sonido depende en mayor medida (Medwin, 2005).

Por otro lado, hay que tener en cuenta que el agua del mar presenta estratificación de densidad ya que la temperatura decrece con la profundidad. Un decrecimiento de temperatura implica un incremento de salinidad, así mismo se produce una estratificación estable de densidad. Debido a que en el agua salina el efecto del decrecimiento de la temperatura es mayor que el efecto del decrecimiento de la salinidad, el mar es establemente estratificado (Instituto Oceanográfico de la Armada, s.f). Así mismo, los gradientes horizontales son miles de veces más pequeños que los gradientes verticales al igual que las variables que también presentan gradientes horizontales pequeños. En consecuencia, la velocidad del sonido varía notablemente en el sentido vertical como se muestra en la Figura 2. (Salon et al. 2003).

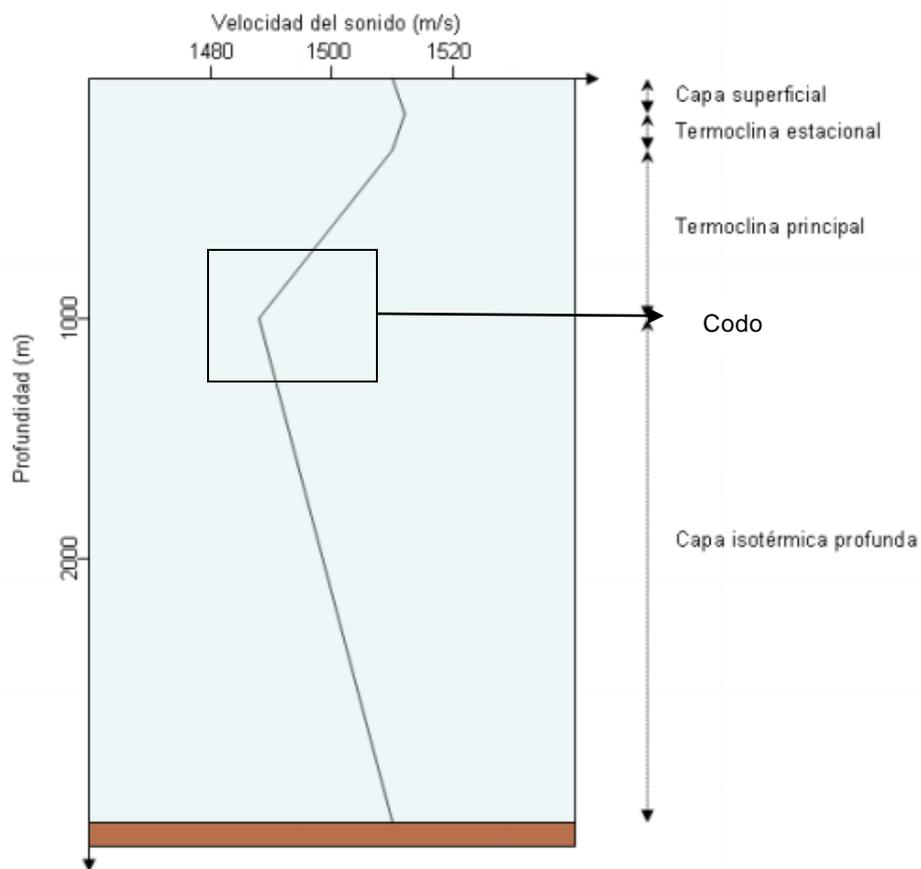


Figura 2. Perfil para las latitudes medias de la velocidad del sonido en el mar. Fuente: Aparicio et al., 2010

En la figura anterior se puede observar cómo la velocidad del sonido presenta cierta variabilidad en los primeros 100 metros. Esta región está sujeta a las condiciones atmosféricas tales como el viento, cambios de temperatura y movimientos de masas de

agua. Esta capa superficial también conocida como isoterma presenta una mezcla de agua. Hasta los 200 metros de profundidad se puede encontrar la termoclina estacional, la cual depende en gran medida de los cambios estacionales. A partir de esta región hasta los 1000 metros de profundidad se halla la termoclina principal donde el efecto de las condiciones estacionales y atmosféricas es despreciable. Así mismo, por debajo de los 1000 metros estas condiciones (temperatura y salinidad) se van haciendo estables a medida que aumenta la profundidad, así mismo, la velocidad de la propagación del sonido varía debido al incremento de la profundidad (Aparicio et al, 2010). Así mismo, la velocidad en el Mediterráneo va disminuyendo progresivamente en los primeros 1000 metros de profundidad y vuelve a aumentar a partir de esta profundidad debido a la estabilidad de las condiciones.

También cabe destacar que existen los llamados *codos* donde se quedan atrapadas las ondas acústicas. Esto es debido a que al variar el medio (diferencias de profundidad), lo hace también el ángulo, haciéndose cada vez más pequeño. Así mismo, según la ley de Snell el rayo acústico se va desviando/curvando hacia las capas de menor velocidad del sonido, coincidiendo los mínimos de la velocidad con el codo, quedando así atrapadas.

Hay que tener en cuenta que en el medio subacuático existen pérdidas de transmisión de sonido debido a divergencia geométrica, absorción por el medio y rebotes producidos en la superficie (Aparicio et al, 2010), además del desplazamiento de frecuencia de la onda emitida y la observada debido al efecto Doppler (Fernández, 2013).

El océano está lleno de diferentes tipos de sonidos submarinos, tanto generados por fuentes naturales (olas rompiendo, lluvia, vida marina) como por fuentes artificiales (transporte marítimo y sónares militares).

El sonido del fondo oceánico se llama ruido ambiental, el cual se puede clasificar por la frecuencia emitida.

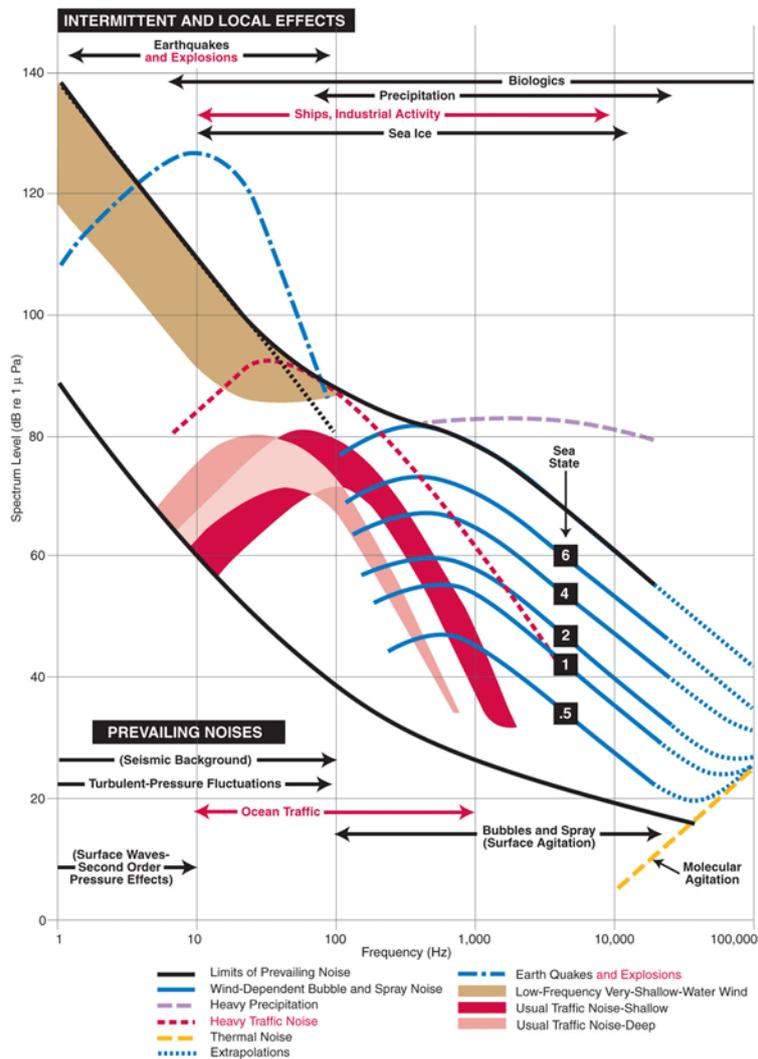


Figura 3. Los niveles de sonido típicos de los ruidos de fondo del océano a diferentes frecuencias, medidos por Wenz (1962) (curvas de Wenz). Fuente: Adaptado (según el Consejo Nacional de Investigación, 2003) de Wenz, GM (1962).

En la Figura 3, se muestran las principales fuentes de ruido ambiental a diferentes frecuencias. El rango de frecuencias de 20-500 Hz es debido al transporte marítimo distante, es decir aquellos barcos que se encuentren lejos del receptor. El rango de 500-100.000 Hz es debido a las condiciones atmosféricas como la pulverización marina y las burbujas de las olas rompientes. Las frecuencias superiores a 100.000 Hz son debidas al ruido térmico, las cuales nos son audibles para el ser humano (Knowlton, 2016).

## 1.2 Relevancia y estudio de los cetáceos

En el estudio sobre los cetáceos hay que tener en cuenta varias limitaciones, ya que, se trata de animales que presentan elevada movilidad, se mueven a grandes distancias, pasan la mayor parte de su vida bajo el agua (Williams Hodge, 2011), además de presentar limitaciones legales, ya que, se trata de especies que presentan elevada protección (Würsig et al., 2009).

Entre estos mamíferos marinos cabe destacar que existen dos grupos taxonómicos (misticetos y odontocetos), los cuales se diferencian en los espiráculos, la presencia del melón y el mecanismo de la alimentación.

Los misticetos no poseen dientes, sino placas de queratina colgadas de la mandíbula superior (barbas). Su alimentación se basa en filtrar mediante las cerdas los alimentos tales como krill, pequeños peces y moluscos (Sira, 2013). Existen cuatro familias pertenecientes a este grupo, en las cuales destacan especies como la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), rorcual común (*Balaenoptera physalus*) y la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), entre otros (Alonso-Lozano, 2014).

Los odontocetos son cetáceos cazadores dentados, que se han ido adaptando a la alimentación de grandes presas (Sira, 2013) como los cefalópodos. Debido a esto, presentan elevada diversidad de hábitats y de especies entre las cuales destacan: el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), el delfín mular (*Tursiops truncatus*) y el cachalote (*Physeter macrocephalus*), entre otros. Otra diferencia que presenta es la forma exclusiva de comunicación llamada ecolocalización producida en el órgano melón (Martín Díaz, 2019).

Cabe destacar que la mayoría de la información sobre los cetáceos proviene de métodos tradicionales de observación visual. Estos métodos son avistamientos mediante censos programados tanto aéreos como náuticos a lo largo de las región continental que se pretende estudiar (Servicio de Vida Silvestre, 2018). Algunos de los inconvenientes que presenta es que suelen ser costosos, necesitan de personal cualificado, dependen de las condiciones climáticas, (por lo que se suelen realizar durante primavera y verano cuando las condiciones son más favorables para la observación visual conllevando a un sesgo estacional en los datos de ocurrencia de especies) y pueden ser ineficaces para evaluar la abundancia y distribución de especies (particularmente en hábitats remotos o inaccesibles y en amplias regiones geográficas) (Stanistreet et al., 2018).

### 1.3 Bioacústica de los cetáceos

Es lógico acudir a la acústica a la hora de estudiar la vida marina, puesto que, el sonido viaja a mayores distancias en el agua marina que la luz u otras formas de ondas electromagnéticas.

Gracias a la acústica se puede obtener información de los mamíferos marinos a distancias mayores que las permitidas por la observación visual. Estos animales han desarrollado amplia gama de capacidades para aprovechar el sonido submarino en forma de vocalización para la comunicación y la reproducción, ecolocalización en el caso de los delfines y señales como “silbidos” para el reconocimiento individual. Así mismo, gracias a la acústica pasiva hoy en día se puede obtener información relevante sobre

los sonidos de origen biológico. Esto permite procesar los registros acústicos oceánicos en “señales” únicas provenientes de los cetáceos. Dichos sonidos biológicos son únicos en cada especie, y son utilizados para la comunicación grupal y obtención de alimento (Medwin, 2005).

Se pueden distinguir dos tipos de mamíferos marinos tales como mysticetos y odontocetos que se diferencian en su vocalización (la cual varía en frecuencia y duración). Los sonidos emitidos por los mysticetos tienen mayor alcance, ya que, llegan a kilómetros de distancia y es debido a que se emiten a frecuencias más bajas (en un rango de frecuencias entre 10-2000Hz) (Fundación Cethus, 2010). Los odontocetos emiten dos tipos de sonido, los silbidos para la comunicación emitidos a frecuencias altas (2-15 kHz) siendo peculiares de cada especie denominados como *silbidos firma* (Chicote et al., 2013) y “clicks” emitidos tanto a baja y alta frecuencia para la localización de los objetos a través de los ecos (ecolocalización), siendo éstos pulsos de sonidos de corta duración llegando a alcanzar frecuencias de 150 kHz. (Fundación Cethus, 2010; Lara Martínez, 2016). Así mismo se pueden distinguir dos grupos acústicos tales como: tipo I (en los cuales el espectro del pico se halla por encima de los 100 kHz) y tipo II como las especies ribereñas y costeras en los cuales el espectro del pico se encuentra por debajo de los 80 kHz (National Research Council, 2003).

Otro tipo de distinción que presentan entre ellos es el nivel acústico de sonido que se emite. Es decir, así como los silbidos de los odontocetos van desde los 110 dB re 1  $\mu$ Pa (caso de los delfines giradores) hasta alcanzar los 169 dB re 1  $\mu$ Pa (caso de los delfines mulares), los mysticetos emiten con un mayor potencial las vocalizaciones llegando a niveles de 190 dB re 1  $\mu$ Pa, los cuales alcanzan mayores distancias (National Research Council, 2003).

Existen dos tipos de emisiones sonoras entre estos mamíferos, tales como sonidos tonales y sonidos pulsados.

- Sonido tonal. Es aquel sonido que es producido cuando existe una sola frecuencia dominante en cualquier instante del tiempo. En un espectrograma, siendo esta una representación visual donde se visualizan las variaciones de la frecuencia en el eje vertical y las variaciones de la intensidad sonora mediante niveles de intensidad de color en el eje horizontal a lo largo del tiempo, este sonido sería representado como una línea recta. Sin embargo es complicado que un animal produzca un sonido tonal de este tipo, sino que modulan las frecuencias ascendiendo y descendiendo con el tiempo formando un tipo de sonido tonal modulado (Chicote et al., 2013).



Figura 4. Espectrograma de una señal constante monocromática (señal tonal). Fuente: Chicote et al, 2013.

Un tipo de sonido tonal son los silbidos. Son utilizados por los odontocetos con el fin de la comunicación entre los individuos del mismo grupo. Se trata de sonidos omnidireccionales con una frecuencia modulada (Ponce Sarmiento, 2011). Normalmente este tipo de sonido se encuentra en un rango de frecuencia de 2kHz a 20kHz (Chicote et al, 2013), aunque se han llegado a registrar frecuencias de 35 kHz en los delfines listados.

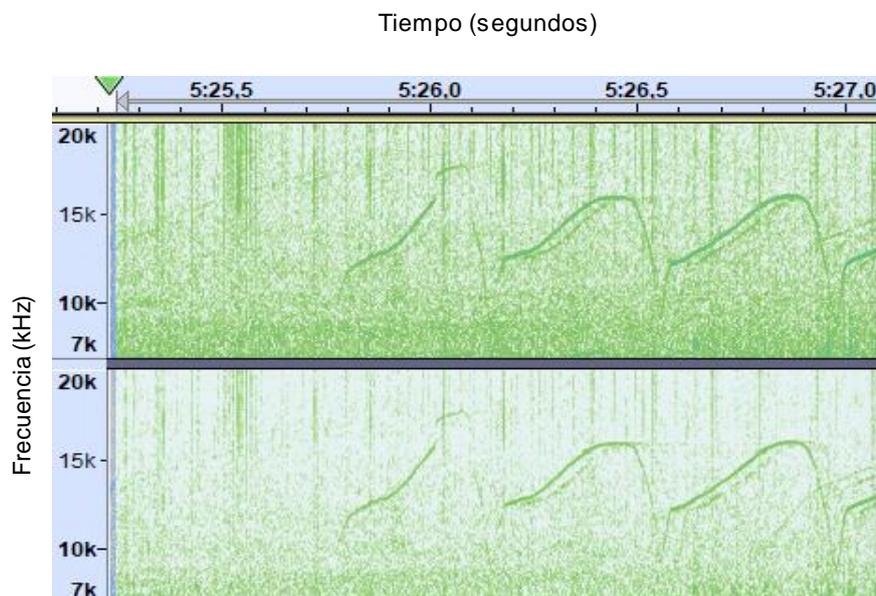


Figura 5. Representación del silbido del delfín listado. Fuente: elaboración propia.

Cada especie presenta diversos tipos de silbidos entre los cuales destaca un tipo de silbido llamado “firma” que identifica a las especies de los odontocetos como es en el caso del delfín mular. Además, el delfín listado presenta contornos muy diferentes con rango de frecuencia fundamental muy variado (Figura 5).

Otro tipo de sonido tonal son los armónicos. Se trata “múltiplos íntegros de una misma frecuencia fundamental” (Chicote et al., 2013). Se trata de un tono fundamental y de otros tonos de diferentes frecuencias (los armónicos), que se encuentran en frecuencias superiores y con menor intensidad.

Pueden llegar a contener 80 kHz en sus armónicos con una intensidad en la fuente llegando a los 170 dB re 1  $\mu$ Pa. Debido a las características que presentan, para poder detectar estos armónicos, la fuente debe estar a una distancia corta del hidrófono.

- Sonidos pulsados. La diferencia que presentan respecto al sonido tonal, es que se trata de sonidos que no son continuos (Figura 6). Se trata de señales direccionales que se emiten uno a continuación del otro en forma “trenes”, presentando corta duración entre los 50 y 200 milisegundos dividiéndose. (Lara Martínez, 2016).

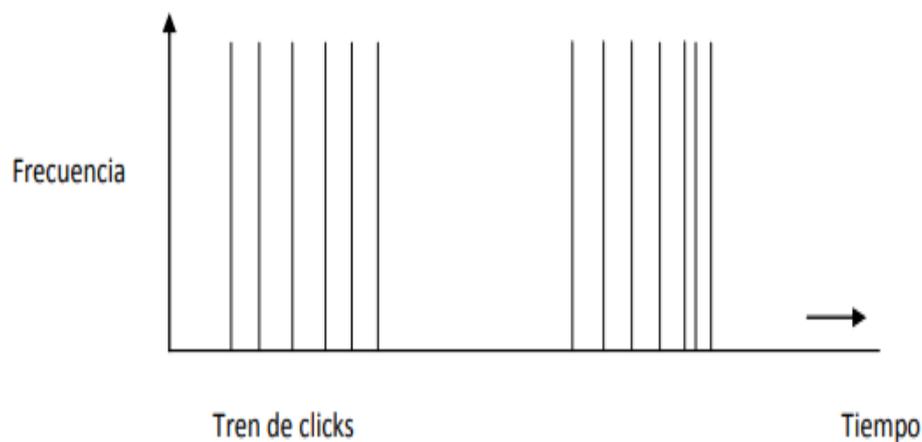


Figura 6. Espectrograma de un sonido pulsado. Fuente: Chicote et al, 2013.

Este sistema complejo de orientación utiliza sonido de altas frecuencias que se produce en los labios fónicos, los cuales al abrirse y cerrarse producen vibraciones en los tejidos del alrededor formando así las ondas de sonido. Estas ondas son rebotadas por la placa ósea del cráneo y agrupadas en el melón (Figura 7). En consecuencia las ondas son dirigidas hacia las presas que regresan en forma de eco hacia el delfín (Bioenciclopedia, s.f).

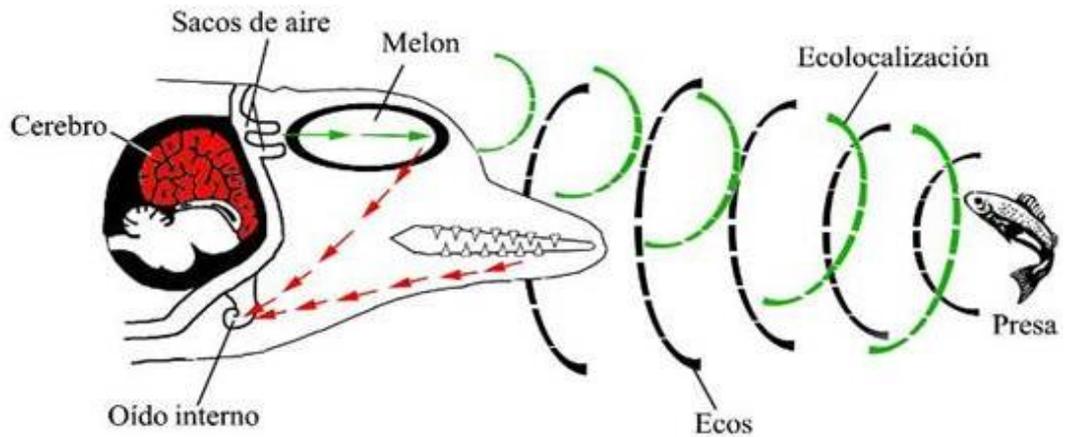
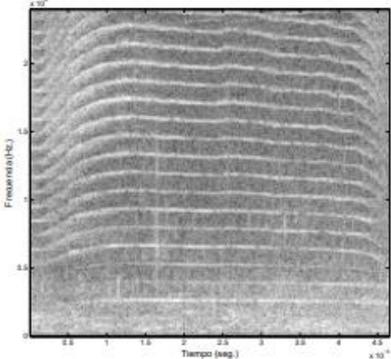
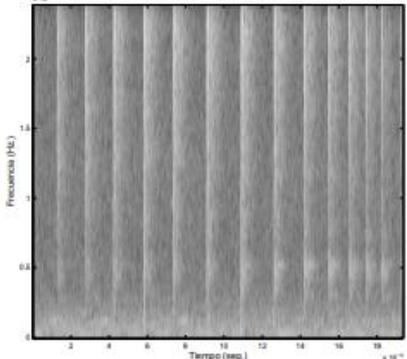


Figura 7. Representación de la ecolocalización producida por los odontocetos. Fuente: Biobalears, 2016.

Por último cabe destacar el sonido de carácter social (zumbido) en una frecuencia no audible para los humanos (llegando por encima de los 20 kHz) (Chicote et al., 2013). La diferencia fundamental que existe entre estos tipos de señales es que la señal pulsada posee una energía tres veces mayor a las señales tonales, además de presentar una frecuencia más alta. Debido a lo cual las señales tonales se propagan a mayores distancias, ya que, se son menos absorbidas por el medio.

A continuación se muestran las diferencias entre los dos tipos de señal:

Tabla 1. Diferencia entre la señal tonal y señal pulsada. Fuente: elaboración propia basada en (Lara, 2016).

Características	Señal tonal	Señal pulsada
Espectrograma		
Rango de la frecuencia fundamental	(700 – 10000 Hz)	(0.5 – 700 Hz)
Intensidad de la señal	Baja	Alta
Uso	Comunicación	Ecolocalización / Comunicación

Cabe señalar dos especies de interés que son relevantes para este estudio siendo estas el cachalote y el delfín mular.

Los cachalotes producen diferentes tipos de clicks e impulsos vocales que llegan a los 25 kHz con una intensidad mayor de los 220 dB (Álvarez Torres, 2006). Entre las categorías que presentan los clicks producidos, destacan las codas utilizadas para la comunicación entre los individuos del grupo. Se trata de secuencias cortas, con duración de 35 milisegundos, llegando a frecuencias de 5 kHz con una intensidad de 180 dB. Estos clicks se diferencian de los clicks de los delfines mulares en que presentan baja direccionalidad.

El delfín mular emite dos tipos de clicks: chasquidos explosivos y de ecolocalización. La diferencia que existe entre el chasquido de ecolocalización y chasquido de explosión, es que los primeros son utilizados para explorar el ambiente y para la detección de presas, teniendo una frecuencia totalmente controlada llegando a los 250 kHz (Lara Martínez, 2016; Ponce Sarmiento, 2011). Los segundos, son utilizados para el comportamiento social relacionado con la lucha o apareamiento. Además del uso que presentan, se diferencian de los anteriores en la intensidad y el ancho de banda de frecuencia no superando los 25 kHz. En definitiva se podría decir que los chasquidos explosivos frente a los de ecolocalización son menos intensos, con menor ancho de banda de frecuencia y de mayor duración (Ponce Sarmiento, 2011). Por otro lado, emiten los silbidos llamados “firma” que identifica a los individuos de cada grupo y los múltiples armónicos que son muy comunes en esta especie.

#### 1.4 La acústica pasiva en el estudio de los cetáceos

Los cetáceos pasan la mayor parte de su vida bajo el agua, donde han desarrollado sus capacidades de comunicación y socialización mediante el sonido que viaja a mayores velocidades que en el aire (1500 m/s). A pesar de presentar muy buena vista, pueden llegar a alcanzar profundidades mayores de 3 km y sabiendo que la luz empieza a desaparecer a partir de los 100 metros, la comunicación mediante la vocalización es una ventaja para la supervivencia (Chicote et al., 2013).

Debido a estas condiciones se presentan complicaciones en el uso de técnicas tradicionales (visuales) para determinar los patrones de la distribución de estos animales. Sin embargo, dado que la mayoría de ellos son acústicamente activos, en las últimas décadas se han desarrollado nuevas técnicas de monitorización de estos mamíferos, incluyendo técnicas de acústica pasiva (Williams-Hodge, 2011). Esta técnica permite superar la problemática en la toma de datos de presencia de cetáceos cuando

los individuos están sumergidos, además de permitir la monitorización en tiempo real con el fin de detectar y rastrear a los cetáceos, obtención de registros continuos sobre la presencia de especies a lo largo del año y la detección independiente de las condiciones meteorológicas.

Sin embargo, esta metodología presenta ciertas desventajas tales como la detección solamente de aquellas especies acústicamente activas.

Por otro lado, debido a que los cetáceos han evolucionado para usar el sonido como principal medio de comunicación, localización de presas y detección del medio donde viven, esta metodología permite la detección de especies activas acústicamente (Würsig et al., 2009; Gozalbes et al., 2012) incluso cuando los sonidos que emiten no son audibles para los humanos como los sonidos emitidos van desde infrasonidos (por debajo de 20 Hz) hasta ultrasonidos (por encima de 20 kHz) (Würsig et al., 2009).

Por esta razón, se precisa de sistemas de detección de sonidos submarinos para la identificación de las distintas especies de cetáceos, además de la estimación de abundancia y densidad de la población para su conservación (Marques et al., 2013; Gozalbes et al., 2012). Para este tipo de estudios se utilizan sistemas receptores de sonido (transductores piezoeléctricos o hidrófonos). En este caso se utilizará un hidrófono de arrastre, cuyos datos serán procesados mediante el Software PAMGuard y Software Audacity.

### 1.5 Caracterización de la zona

Los Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón declarados como Zona de Especial Conservación (ZEC) por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, se localizan frente a la costa de la Región de Murcia. Se trata de un espacio marino protegido, situado en la zona sureste de la península, bañado por las aguas del Mediterráneo (BOE-A-2016-7738, 2020). Por las características de importancia ambiental que presenta, se trata de una zona con elevado valor ecológico debido a su importante productividad y biodiversidad marina (Región de Murcia Natural, 2017).

Este espacio protegido se expande entre las aguas del sur de la isla de Fraile (municipio de Águilas) hasta aproximadamente 12 km hacia la dirección de cabo de Palos cubriendo un total de 154.081,655 ha, en los cuales la profundidad varía desde los 20 metros de profundidad en la zona más cercana al litoral, hasta los 2 km en la parte austral de este espacio (Natura 2000, 2020).

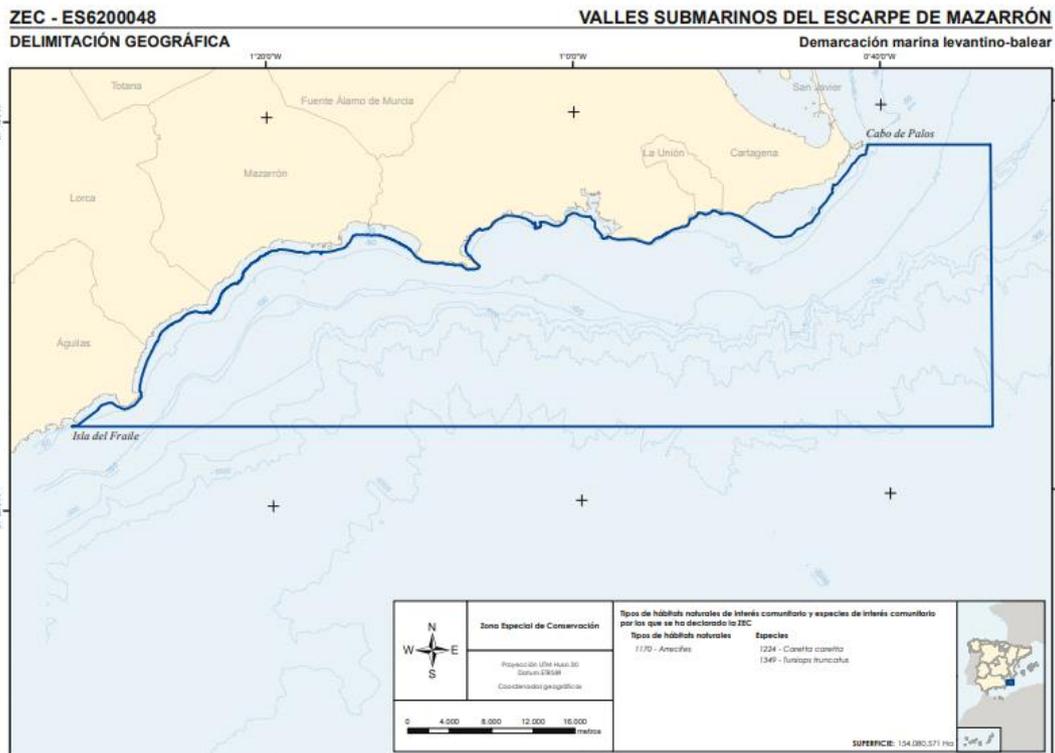


Figura 8. Delimitación geográfica de los Valles Submarinos del Escarpe de Mazarrón (ZEC – ES6200048). Situados frente a la costa de Murcia. Fuente: BOE 193, de 11 de agosto de 2016.

El escarpe de Mazarrón es uno de los elementos más relevantes de la zona, cuya formación se debe a grandes fallas de desgarre delimitando tanto la plataforma como el talud continental de la llanura abisal con una elevada profundidad de 2600 metros. Se trata de una pared submarina que se encuentra atravesada por varios cañones submarinos tales como: Cañón de Tiñoso, Cañón de Espada y Cañón de Negrete (Región de Murcia Digital, s.f).

Además de presentar una peculiar morfología, se trata de un espacio que presenta un punto de divergencia y mezcla de aguas del mar Mediterráneo con el océano Atlántico, además de la transición con el mar Alborán (Natura 2000, 2020). El agua del Atlántico siendo menos salina y más rica en nutrientes, es dirigida desde el Estrecho de Gibraltar hacia el litoral murciano enriqueciendo así sus aguas de nutrientes y alto contenido en oxígeno ( BOE-A-2016-7738, 2020).

Así mismo, este medio marino protegido desempeña tanto la función de corredor migratorio, como zona de alimentación para diversas especies de tortugas, entre las cuales destaca la tortuga boba (*Caretta caretta*) y numerosos cetáceos. Debido a su geografía física, se producen afloramientos de aguas profundas, creando zonas de gran productividad, fomentando así la agregación de numerosas especies (Natura 2000, 2016). Se caracteriza por ser una zona de interés para las especies de presas de profundidad, explicando la presencia de importantes poblaciones de cetáceos misticetos

como rorcual común (*Balaenoptera physalus*) además de la presencia de cetáceos odontocetos como Calderón gris (*Grampus griseus*), ejemplares migratorios de cachalote (*Physeter macrocephalus*), el Delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), Delfín común (*Delphinus delphis*) y especies incluidas en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas en la categoría de especies vulnerables tales como el Delfín mular (*Tursiops truncatus*), Calderón común (*Globicephala melas*) y Zifio cavirostris (*Ziphius cavirostris*) (Natura 2000, 2016).

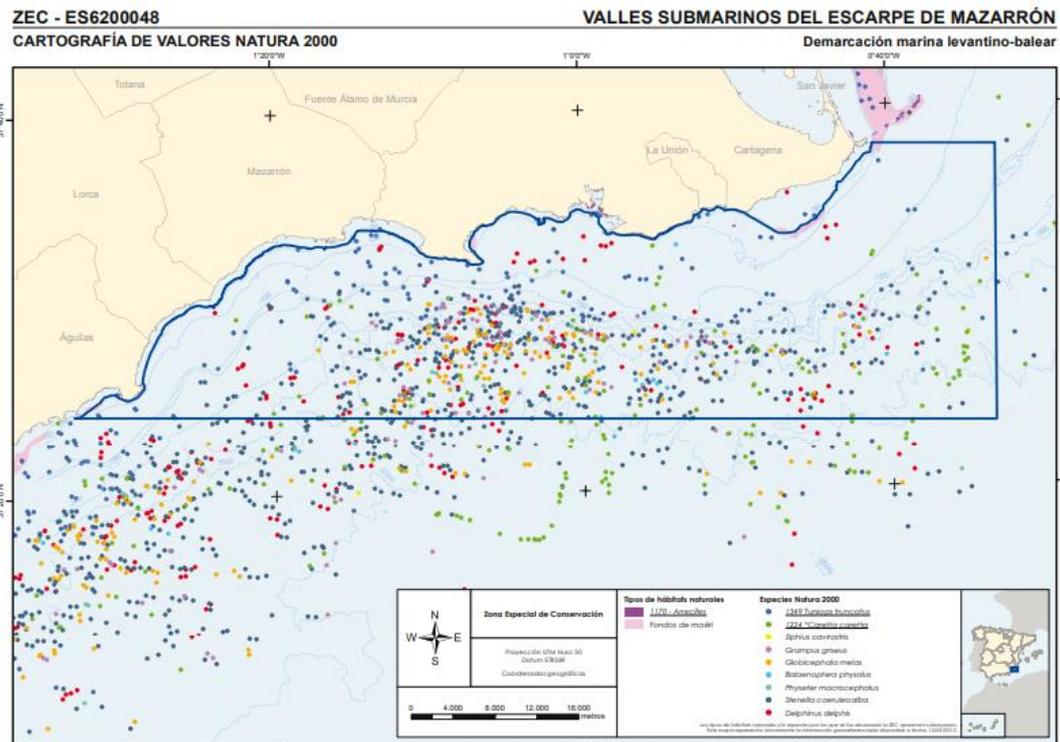


Figura 9. Cartografía de las especies Natura 2000 de los Valles Submarinos del Escarpe de Mazarrón (ZEC – ES6200048). Fuente: BOE 193, de 11 de agosto de 2016.

## 1.6 Justificación del estudio

El estudio se engloba dentro de las acciones encargadas al IGIC-UPV por la Autoridad Portuaria de Cartagena en el contrato que tiene como objeto la “Evaluación de afecciones acústicas y a las poblaciones de cetáceos previsiblemente causadas por el efecto del desarrollo de la dársena de escombreras del puerto de Cartagena”.

Debido a la relevancia que presenta el espacio marino protegido ES6200048 Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón para numerosas especies de cetáceos protegidas por la legislación nacional e internacional y la propuesta de la realización de una ampliación del puerto de Cartagena con la construcción de una nueva dársena.

La propuesta de la ampliación de la dársena de Escombreras del puerto de Cartagena conlleva consecuencias tanto en los hábitats de interés comunitario ahí presentes, como

en las especies marinas de interés comunitario, sobre todo en los cetáceos presentes tanto en la zona de los Valles submarinos del Escarpe del Mazarrón como en las zonas adyacentes. Al estar esta zona declarada como zona especial de conservación de lugares de importancia comunitaria de la Región Marina Mediterránea de la Red Natura 2000 mediante la Orden AAA/1366/2016 bajo el nombre de Zona Especial de Conservación (ZEC) ES6200048 Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón, se debe someter a sus medidas de conservación correspondientes, “que respondan a las exigencias ecológicas de los tipos de hábitats naturales y de las especies presentes en tales áreas” según el artículo 46 de la Ley 42/2007. Así mismo cualquier plan, programa o proyecto que se vaya a realizar en esta zona se debe someter a evaluación de sus repercusiones en el espacio, es decir a la evaluación de impacto ambiental.

En el último avistamiento del año 2019 se describieron un total de 8 especies de cetáceos mostrados en la Tabla 2 que se encuentran en el Catálogo Español de las Especies Amenazadas dentro del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial.

Tabla 2. Avistamiento de cetáceos del año 2019 a partir del informe de Cetáceos & Navegación. Fuente: elaboración propia.

<b>Especie</b>	<b>Nº de avistamientos</b>	<b>Catálogo Español de Especies Amenazadas<sup>1</sup></b>	<b>Directiva Habitats <sup>2</sup></b>
<i>Tursiops truncatus</i> (Delfín mular)	71	Vulnerable	Anexo II
<i>Stenella coeruleoalba</i> (Delfín listado)	130	-	Anexo IV
<i>Delphinus delphis</i> (Delfín común)	28	-	Anexo IV
<i>Globicephala melas</i> (Calderón común)	48	Vulnerable	Anexo IV
<i>Grampus griseus</i> (Calderón gris)	1	-	Anexo IV
<i>Physeter macrocephalus</i> (Cachalote)	3	-	Anexo IV
<i>Ziphius cavirostris</i> (Zifio de Cuvier)	2	Vulnerable	Anexo IV
<i>Balaenoptera physalus</i> (Rorcual común)	4	Vulnerable	Anexo IV

Todos ellos están incluidos en el Anexo II del protocolo SPA/BD del convenio de Barcelona, y en el Anexo IV de la Directiva Hábitats, con la excepción del delfín mular que está incluido en el Anexo II de dicha directiva, por lo cual su conservación requiere la designación de ZEC. El delfín mular, el delfín común, el calderón común el rorcual y el cachalote están catalogados como Vulnerables (Real Decreto 139/2011).

Por último cabe destacar que el ruido submarino puede tener efectos dañinos sobre las estructuras auditivas de los cetáceos además de la interrupción en la comunicación

<sup>1</sup>España, Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. BOE, 23 de Febrero de 2011, núm.46, p. 20912-20951.  
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-3582>

<sup>2</sup>NATURA 2000 (2016). Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón. <<https://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=ES6200048>> [Consulta: 6 de julio de 2020].

acústica entre ejemplares. Además, cabe recordar que la Directiva Marco de Estrategias Marinas establece el ruido submarino entre los 11 descriptores del buen estado ambiental del medio marino y cuáles deben ser los umbrales tanto de ruido continuo como impulsivo que no deben ser superados.

Debido a estas razones se pretende hacer un estudio a la situación actual de las especies de cetáceos en los Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón previo a la iniciación de las obras de la ampliación del puerto, mediante la metodología de acústica pasiva utilizando hidrófonos de arrastre.

## 2. Objetivos

Los objetivos principales de este Trabajo Final de Máster son

1. Generar un filtro para la detección automática de clicks de cachalotes y silbidos de delfines in situ.
2. Generar un filtro para localizar automáticamente la dirección de la fuente acústica in situ.

Los objetivos secundarios son: detección de especies de interés mediante el uso del hidrófono de arrastre, identificación de las especies de interés mediante el posterior procesamiento de los datos obtenidos con el software PAMGuard y localización de los grupos de ejemplares de cetáceos de la Bahía de Mazarrón.

## 3. Material y métodos

### 3.1 Diseño de transectos

Para el diseño de los transectos del muestreo en embarcación se utilizó el paquete *Distance* para el software R (diseño transectos: G. Martínez Fornos). Se trata de un software que permite realizar el diseño y análisis de muestreo de poblaciones de vida silvestre a distancia (Distancesampling, s.f). Se elaboró un muestreo compuesto por un total de 7 transectos. Se escogió el modelo tipo espacio igual en zigzag con una orientación de 90°, en el cual todos los transectos tienen el mismo espacio para el muestreo, con 800 m de ancho, mostrado en la Figura 10.

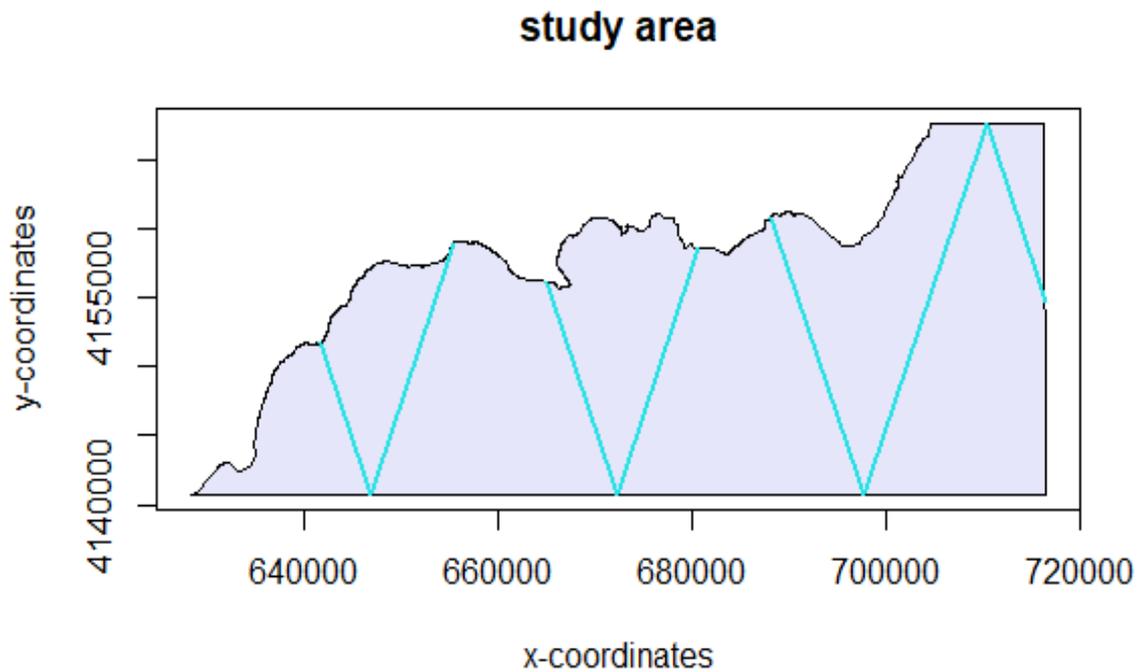


Figura 10. Primer diseño del muestreo de la Bahía de Mazarrón para el estudio de la presencia de los cetáceos. Fuente: G. Martínez Fornos.

Sin embargo, este diseño preparado previamente no se pudo realizar debido a falta de tiempo y espacio. Además, debido a que se tenían que realizar dos fondeos con el Hidrófono autónomo – SAMARUC, se tuvo que realizar un desvío en el transecto número 4. Así mismo, finalmente se realizó el muestreo mostrado en la Figura 11, donde se aprecia el desvío, además de 8 transectos, siendo el octavo el que se realizó de vuelta al puerto de Mazarrón.



Figura 11. Diseño final del muestreo de la Bahía de Mazarrón para el estudio de la presencia de los cetáceos. Fuente: G. Martínez Fornos.

## 3.2 Material y Metodología acústica

### 3.2.1 Material

El equipo está compuesto por el ordenador *Dell* ruborizado que va conectado a la tarjeta de sonido phantom MOTU Traveler mk3 mediante un conector firewire, alimentado con energía de dos baterías. Esta tarjeta de adquisición de cuatro canales de audio va conectada directamente al hidrófono de arrastre mediante el canal 1 (la cabeza) y el canal 2 (cola). Además, esta tarjeta alimenta con 48 voltios al hidrófono. Por otro lado hay que tener en cuenta que se realizó con la embarcación *Karyam* y con una velocidad de 9 nudos.

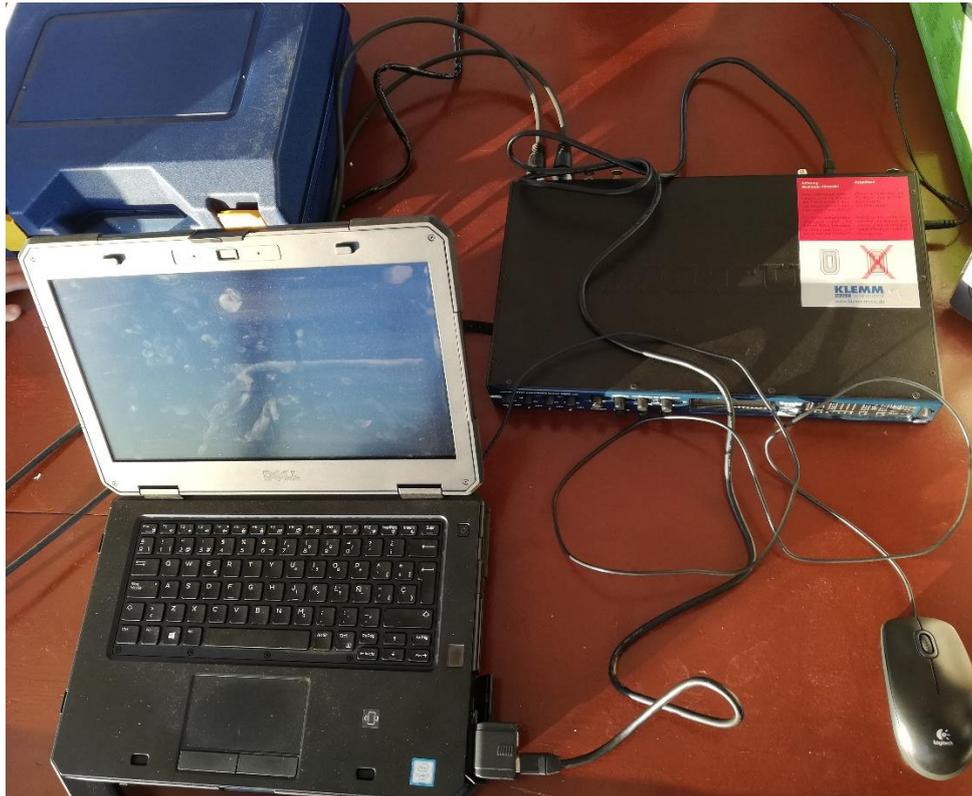


Figura 12. El equipo utilizado en la campaña de detección de cetáceos en la Bahía de Mazarrón.

Una vez conectado el hidrófono al equipo y echado al agua, se conectaron los auriculares y se pusieron a grabar el software PAMGuard y Audacity. Además, se utilizaron GPS Etrex y el del ordenador.

### 3.2.1.1 Hidrófonos

Se habla de bioacústica marina a la hora de utilizar la acústica para el estudio de las capacidades auditivas, la producción del sonido para las comunicaciones o ecolocalizaciones y diferentes comportamientos de animales marinos (Luna, 2015).

La metodología más utilizada para estos estudios son los sistemas generadores de sonido. Se trata de transductores piezoeléctricos o hidrófonos (utilizados bajo el agua) tanto para generar como para captar las ondas de sonido. Estos sistemas funcionan oscilando en el agua, tanto generando como captando una perturbación del medio. Están formados por una o varias piezas que se contraen y se expanden (produciendo una vibración) cuando pasa una señal eléctrica sobre ella (cambio de presión), causando así un sonido con una frecuencia determinada. Están diseñados para convertir la presión acústica en señal eléctrica.

Son capaces de trabajar en una amplia banda de frecuencias ,ya que, no necesitan ser sintonizados a una frecuencia de resonancia determinada, además su eficiencia (la relación entre la potencia eléctrica que hay en la salida y la potencia acústica de la

entrada) no suele dar problemas ,ya que, la señal eléctrica siempre puede ser amplificada.

La ventaja que presenta el hidrófono a la hora de detectar los cetáceos, es que es capaz de captar sonidos emitidos de diferentes especies a una distancia superior de la que se detectan visualmente, además de funcionar en una amplia banda de frecuencias (Lurton, 2002).

Para este proyecto se ha utilizado el hidrófono remolcado de arrastre ,ya que, se utilizan frecuentemente con fines científicos para la detección de los mamíferos marinos que son difícilmente detectables mediante la observación tradicional. Presentan ventajas tales como la monitorización durante la noche o en condiciones meteorológicas adversas, en las cuales es imposible la observación visual (Ocean Science Consulting, 2020).

Estos hidrófonos convierten la señal acústica en señal eléctrica que es procesada y reflejada en los operadores PAM, siendo estos un software como el PAMGuard, que es utilizado en este proyecto. Este software es de esencial ayuda en la detección de distinta vocalización emitida por los cetáceos que se escapa a nuestro rango de audición.

### Uso de acústica pasiva en detección de localización y dirección

Así como el uso de un hidrófono puede indicar la presencia de un animal y su comportamiento, sin tener en cuenta las pérdidas por transmisión y por el ruido ambiental, el uso de dos hidrófonos proporcionan una capacidad mayor, mostrado en la Figura 13.

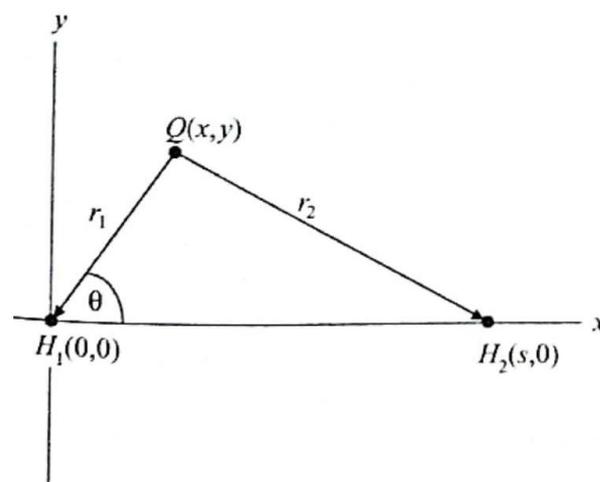


Figura 13. Representación de la recepción de los dos hidrófonos  $H_1$  y  $H_2$  del sonido de la fuente  $Q(x, y)$ .

Fuente: Medwin, 2005

Así mismo, si el sonido de una fuente ( $Q(x, y)$ ) se encuentra cerca del primer hidrófono ( $H_1$ ), la señal llegara antes que al segundo hidrófono ( $H_2$ ), por consecuente, la presión

recibida también será mayor en  $H_1$ . En el caso real del océano, la presión recibida presenta variaciones debido a las variaciones de la propagación del sonido. Esto es debido a que las diferencias en el tiempo de viaje se ven afectadas por la interferencia de múltiples trayectos de propagación tales como la reflexión de la superficie y el fondo. Sin embargo, el uso de dos hidrófonos puede presentar cierta ambigüedad a la hora de determinar la posición y la dirección, ya que, si las dos señales de diferentes fuentes llegan a la misma hora a los hidrófonos, es difícil establecer de qué fuente se trata.

Teniendo en cuenta la diferencia de tiempo de llegada y los niveles de recepción, se puede hacer el uso de solo dos hidrófonos para el caso de la localización de los cetáceos (teniendo en cuenta la ambigüedad que presenta). Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta metodología presenta limitaciones, ya que, los niveles recibidos son más variables que las diferencias de tiempo, por lo cual presenta errores. Además, para una mejor precisión es necesario conocer las condiciones de propagación y que la fuente de sonido este relativamente más cercana de un hidrófono que del otro.

A partir de la diferencia de nivel recibido, se establece que la fuente se halla en la superficie de una esfera de radio centrada en el punto donde la posiciones de las fuentes se encuentra en la intersección de esta esfera y superficie englobada por la rotación de la hipérbola que es determinada a partir de la diferencia de los tiempos de llegada. Se puede observar en la Figura 14, el plano que contiene la fuente situada en el círculo de la diferencia de niveles de recepción y la hipérbola establecida por la diferencia de tiempos de llegada junto a los dos hidrófonos (Medwin, 2005).

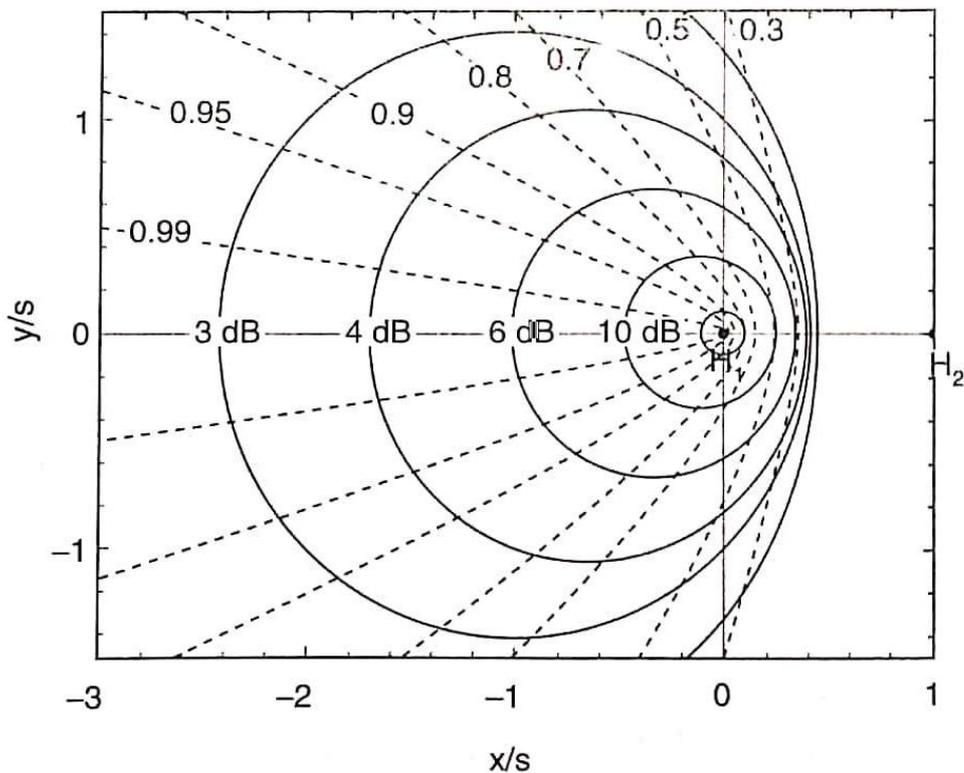


Figura 14. Localización de una fuente en el plano de la intersección del círculo determinado por la diferencia de niveles y la hipérbola determinada por la diferencia de tiempos de llegada. Fuente: Medwin, 2005.

Así mismo, sabiendo la diferencia de tiempo (por ejemplo 0.7) se puede hallar la posición del objeto dentro de la parábola a la que corresponde. Si por ejemplo la diferencia es 0, es que la fuente está en medio de los dos hidrófonos, es decir que llega con el mismo nivel a los dos.

Gracias a la herramienta de *Display Radar* utilizada para nuestra campaña se ha simplificado este trabajo ,ya que, proporciona la información de rumbo ambiguo de los sonidos detectados.

### Hidrófono de arrastre

El hidrófono de arrastre utilizado está compuesto por dos hidrófonos H1c Aquarian mostrados en la Figura 15.

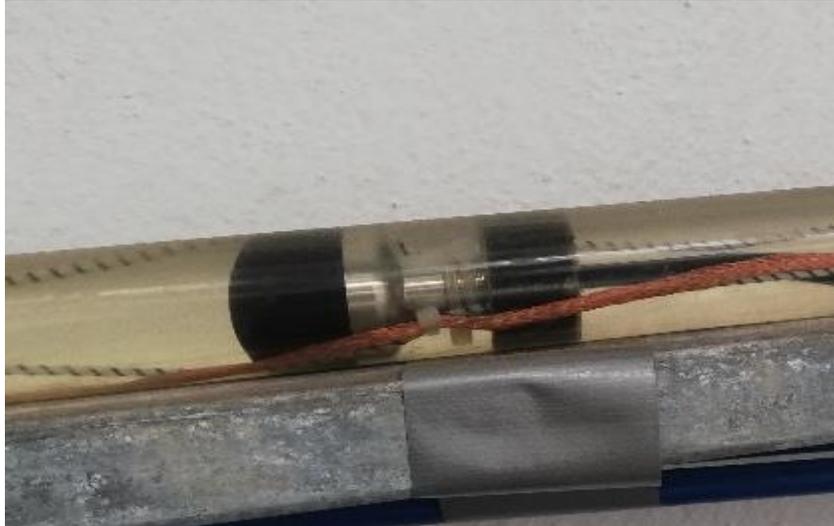


Figura 15. Representación del hidrófono H1c Aquarian. Fuente: elaboración propia.

Se trata de un captador piezoeléctrico pasivo con un rango dinámico amplio, con tales ventajas como el audio de alta calidad en un dispositivo de bajo coste y la simplicidad. Presenta ventajas, puesto que, se puede conectar directamente con el micrófono de alta impedancia y con los dispositivos de medición. Presenta comodidad por su pequeño tamaño que no requiere energía, además de la calidad, ya que, presenta una construcción robusta y una montura solida *NPT de ¼*.

Hay que tener en cuenta que no posee un preamplificador por lo tanto la ganancia del sistema y la impedancia de entrada se debe considerar a la hora de elegir un preamplificador. Ofrece un rango dinámico muy amplio y las siguientes especificaciones en la Tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones del hidrófono H1c.

<b>Especificaciones H1c</b>	
Dimensiones	25 mm x 58 mm
Peso	49 gr
Rosca de Montaje	1/4"-18NPT
Salida	Personalizada
Sensibilidad	"-190 dB re
Rango útil	<1 Hz - >100 kHz
Capacidad	25 nF
Respuesta Polar	Omnidireccional
Profundidad Operativa	< 80 metros

El hidrófono de arrastre utilizado en la campaña presenta dos hidrófonos H1c envueltos en la parafina con un total de 6 metros de longitud, a la vez conectado a la tarjeta MOTU mediante los cables de 100 metros de longitud sellados mediante el material kevler de color azul.



Figura 16. Representación del hidrófono de arrastre utilizado en la campaña de Cartagena. Fuente: elaboración propia.

### 3.2.1.2 Software PAMGuard

Se podría afirmar que existen varios Software utilizados para la detección de cetáceos entre los cuales destaca el Software PAMGuard, el cual fue utilizado para éste estudio. El proyecto PAMGuard surge con la idea de proporcionar un software estándar para la detección, localización y clasificación acústica de los mamíferos marinos con el fin de mitigar los daños causados contra ellos y para la investigación de su abundancia, distribución y el comportamiento que presentan. Se trata de un software de código abierto de Modelización Acústica Pasiva (PAM) (de allí surge el nombre), basado en una plataforma independiente y flexible. Al presentar una arquitectura modular permite fácil incorporación de nuevos módulos a medida que se desarrollan para incluir funcionalidades adicionales de detección, localización, etc. Además, permite la flexibilidad en la configuración del equipo en el mar, es decir, establecer el número de hidrófonos, la geometría, sensibilidades, etc. (PamGuard, 2017). Debido a esto será utilizado tanto a la hora de toma de datos como en el posterior uso.

Con el fin de poder detectar las diferentes señales acústicas emitidas por los odontocetos se ha utilizado la configuración de “Detección de clics de cachalotes y silbidos de delfines”.

Para ello se ha creado el filtro H1C-Nauta basándose en la observación mediante el programa Audacity de los audios de las campañas de años anteriores con el fin de establecer la frecuencia y la intensidad a la que se emiten los diferentes silbidos y la bibliografía necesaria relacionada con el estudio de los cetáceos.

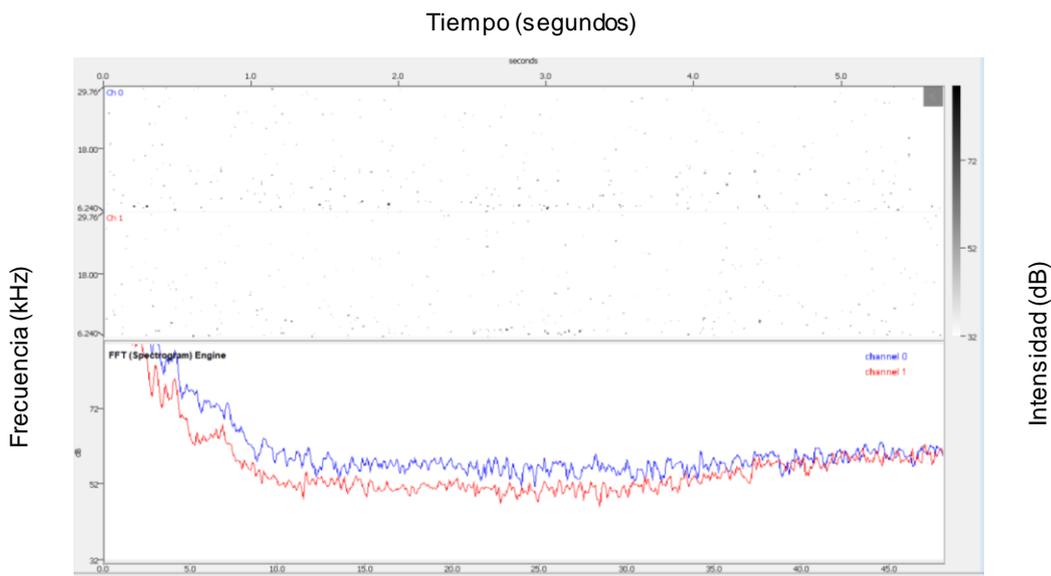


Figura 17. Filtro H1C-NAUTA. Fuente: elaboración propia

En la Figura 17 se puede observar como el filtro presenta las siguientes características:

- Rango de frecuencias: 7 - 30 kHz.

Rango de intensidad: 30 – 90 dB re 1  $\mu$ Pa. Por otro lado, para la información de rumbo de los sonidos detectados se ha usado el *Display Radar*, el cual ha sido ajustado con un rango de intensidad de sonido entre los 100 dB re 1  $\mu$ Pa y los 180 dB re 1  $\mu$ Pa, con el fin de evitar los falsos positivos en el localizador como se puede observar en la Figura 18.

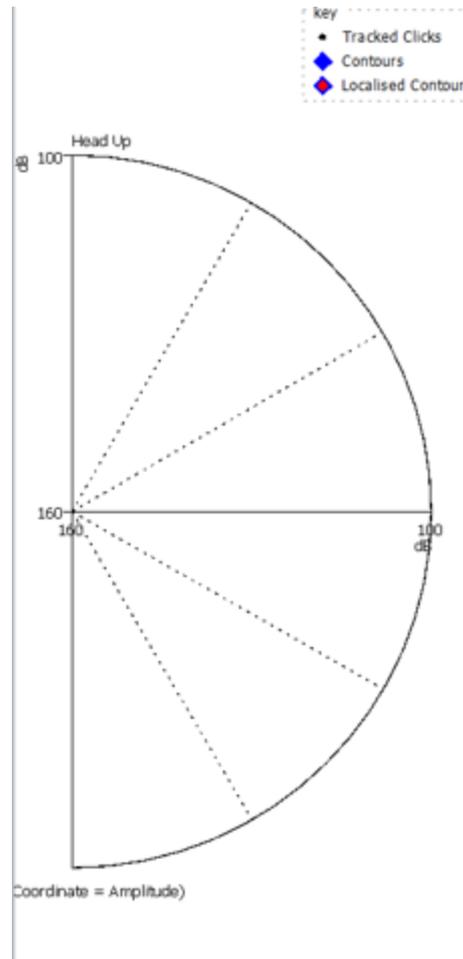


Figura18. Display Radar utilizado para detectar el rumbo de los silbidos. Fuente: elaboración propia.

Éste radar es utilizado para detectar el rumbo ambiguo de cada silbido que se captura mediante el hidrófono. Al presentar un rumbo ambiguo se puede utilizar solo la mitad de la pantalla como se muestra en la Figura 20, además el tiempo de duración de la dirección del silbido que aparece en la pantalla es de 10 segundos.

### 3.2.1.3 Software Audacity

Audacity es un software de audio de plataforma con un código gratuito y abierto. Se trata de un editor y grabador de audio multipista que puede ser usado por cualquier sistema operativo. Presenta la capacidad de grabación en vivo a través de un micrófono, en

nuestro caso sería a través del hidrófono de arrastre para la posterior edición y trabajo con los archivos (Audacity, 2020). Presenta una gran ventaja para este trabajo, puesto que, posee un modo de visualización mediante el espectrograma en el cual se pueden realizar un análisis de frecuencias detallado.

La configuración de espectrograma es muy fácil de manejar, además de presentar opciones como: variar tamaño de ventana con el fin de poder focalizar mejor los silbidos de los cetáceos, elegir el rango de frecuencias (Hz) para poder visualizar tanto los silbidos como los clicks detectados (hasta una frecuencia máxima de 48 kHz), modificar el rango (dB) y ganancia (dB).

Además, presenta dos ventanas mostradas en la Figura 19, ya que, se conectan dos canales por el uso de dos hidrófonos.

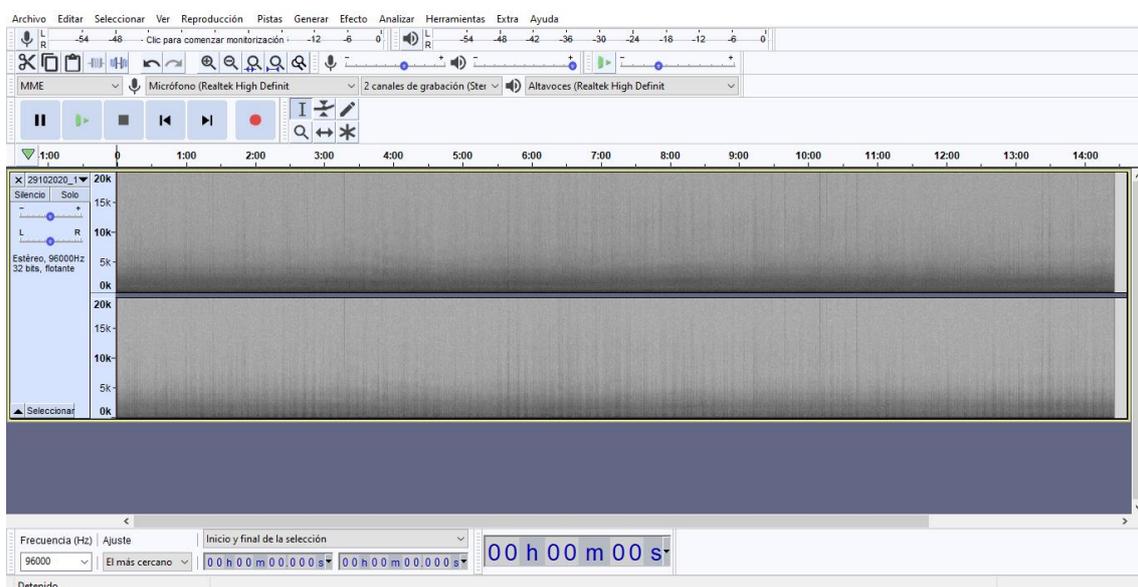


Figura 19. Ventana de trabajo del software Audacity. Fuente: elaboración propia.

Este programa sirve de apoyo al software PAMGuard, pues presenta facilidades en el uso además de la representación visual de todas las detecciones sonoras. Además, presenta apoyo a la hora de detectar silbidos procedentes de otros cetáceos como los calderones y los clicks no detectados por el Detector de PAMGuard.

### 3.2.2 Procedimiento

El procedimiento consiste en tres fases:

- Largado de hidrófonos y montaje de sistema. Mediante el software *Distance* para Windows se realiza el diseño de los transectos del muestreo (diseño: G. Martínez Fornos) el cual se realizaría en la campaña. Una vez comenzada la campaña de arrastre, se procede a conectar todos los equipos necesarios junto al hidrófono de arrastre para la detección acústica de los cetáceos ahí presentes como se muestra a continuación.



Figura 20. Uso del equipo de acústica pasiva. Fuente: elaboración propia.

- Adquisición de datos: visualización y localización in situ. Para este apartado se utiliza el programa PAMGuard y el filtro creado *ex professo* para la localización in situ de los cetáceos (véase Resultados). Este filtro presenta las siguientes características: un rango de frecuencia entre los 7kHz y 30 kHz y con un rango de intensidad de sonido entre los 30 dB y 90 dB. Además, como apoyo para la visualización se ha requerido el uso del programa Audacity.
- Procesado y clasificación a posteriori. Una vez acabada la campaña, se procede al análisis de los datos obtenidos. En primer lugar mediante el programa Audacity se vuelven a procesar los audios con el fin de poder detectar los silbidos y los clicks de los cetáceos. Sabiendo que los silbidos de los delfines mulares superan los 2 kHz y los silbidos de los delfines listados superan los 5 kHz, para poder eliminar el ruido del barco se utiliza el efecto *Ecualizador del sonido*, con el fin de poder escuchar mejor estos silbidos. Además, se emplea un tipo de ventana Hann con un tamaño de 2048 (Hz) de ancho de banda para los silbidos del delfín listado y calderón común y 4096 (Hz) para el delfín mular.

Por último, mediante el programa PAMGuard se vuelven a reproducir los audios grabados con el objeto de detectar los rumbos de los silbidos de los distintos grupos de cetáceos censados.

## 4. Resultados

### 4.1 Filtro

Previamente al uso en la campaña de detección mediante acústica pasiva de cetáceos en Cartagena, se ha procedido a la configuración y creación de un filtro que detecte los silbidos y los clicks de los odontocetos tales como delfines y cachalotes para su rastreo. Este filtro llamado “H1C-Nauta” se ha creado basándose en las detecciones de la campaña realizada los días 15 y 16 de Abril de 2019.

Así mismo se ha establecido un rango de frecuencia entre los 7kHz y 30 kHz y con un rango de intensidad de sonido entre los 30 dB y 90 dB. Estos rangos son debidos a que el delfín mular emite los silbidos por debajo de los 10 kHz, sin embargo, el delfín listado los puede emitir llegando a superar los 20 kHz.

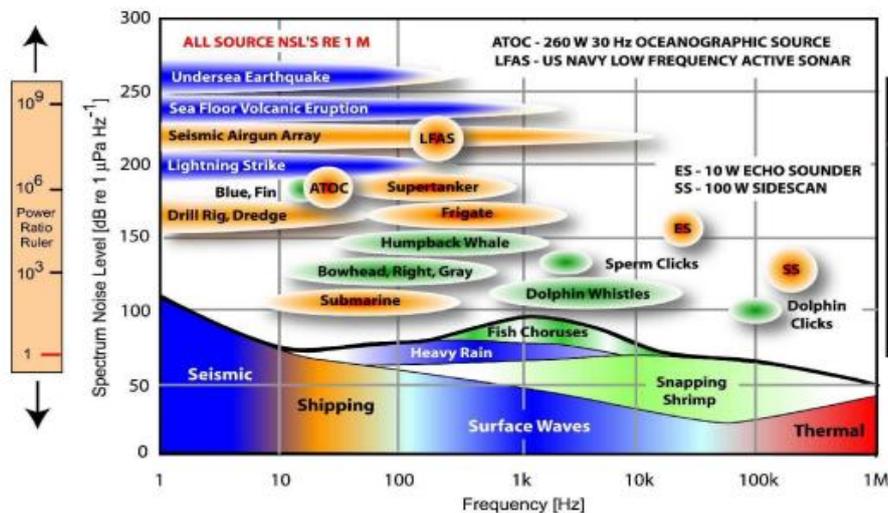


Figura 21. Fuentes de ruido en el medio marino. Fuente: Rodney F.W, 2001.

Como se puede observar en la Figura 21, los silbidos de los delfines se encuentran en un amplio rango de frecuencias llegando a superar los 20 kHz superando los 100 dB re 1 µPa de intensidad.

Así mismo se ha creado un filtro con las siguientes características:

- Rango de frecuencias: 7 - 30 kHz.
- Rango de intensidad: 30 – 90 dB re 1 µPa.

Se han establecido valores de intensidad inferiores a los 100 dB con el fin de que los silbidos que se encuentren a mucha distancia se puedan visualizar, ya que, a mayor distancia menos intenso es el color del silbido. Así mismo los silbidos que sean a poca intensidad (menores de 70 dB) puedan ser visibles y los superiores a los 100 dB sean de un color intenso y bien definidos. A continuación se muestra el filtro etiquetado como “H1C-Nauta” desarrollado a lo largo de este TFM (Figura 22):

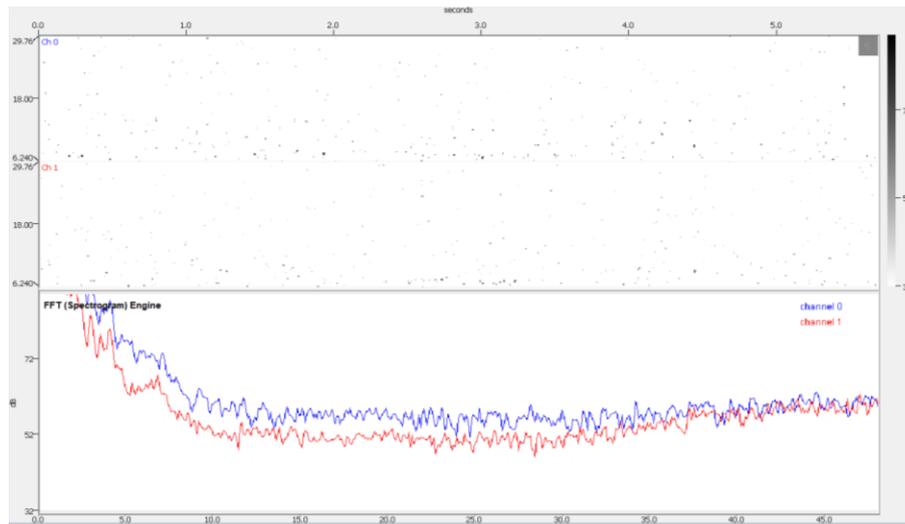


Figura 22. Filtro H1C-NAUTA. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar se trata de dos ventanas establecidas, en la primera aparecen los silbidos detectados con los contornos coloreados de color azul y en la segunda el espectrograma de la intensidad. Al costado derecho aparece el intervalo de intensidad máxima (90 dB) y mínima (30 dB) establecida. Al costado izquierdo el rango de las frecuencias desde la mínima de 7 kHz hasta la máxima de 30 kHz.

A la vez se han tenido en cuenta las especificaciones del hidrófono de arrastre que se han ajustado en el filtro. Se ha ajustado la posición y la distancia que presentan los dos H1c Aquarian entre ellos y respecto al barco. La distancia entre los dos hidrófonos es de un metro y medio con una distancia de 100 metros respecto a barco y con una sensibilidad de 190 dB re.

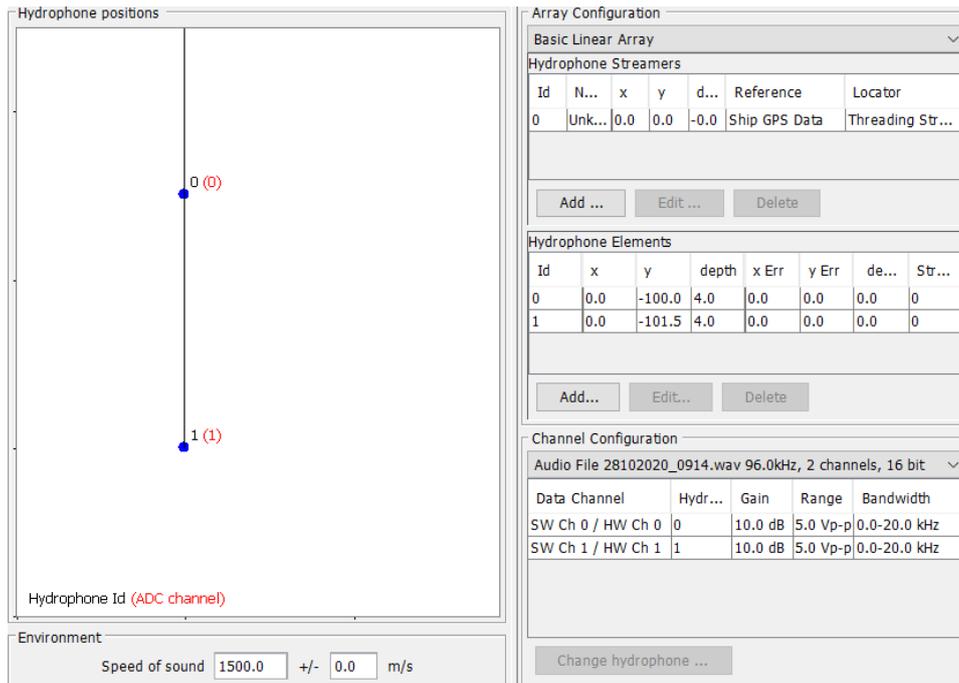


Figura 23. Configuración de las especificaciones del hidrófono de arrastre en el filtro NH1C-NAUTA.

#### 4.2 Identificación de los sonidos emitidos por distintas especies

- Calderón común (*Globicephala melas*)

Durante el primer día de la campaña (día 28/10) fueron registradas varias vocalizaciones del calderón común en un periodo de 40 minutos (véase Anexo.1). Así mismo, fueron registrados dos grupos de estos cetáceos. A pesar de presentar excelentes condiciones climatológicas, no fue posible el avistamiento de estos ejemplares. De todas las detecciones obtenidas, cuatro fueron las más relevantes. Cabe destacar que estos ejemplares (véase Anexo.4) se encuentran principalmente en aguas de más de 100 metros de profundidad, con una distribución entre aguas costeras y profundas debido a la distribución de sus presas (Vester et al., 2017).

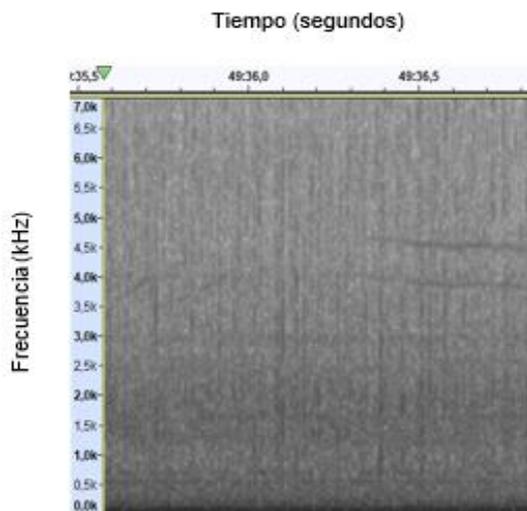


Figura 24. Espectrograma de la vocalización del calderón común del primer grupo. Fuente: elaboración propia.

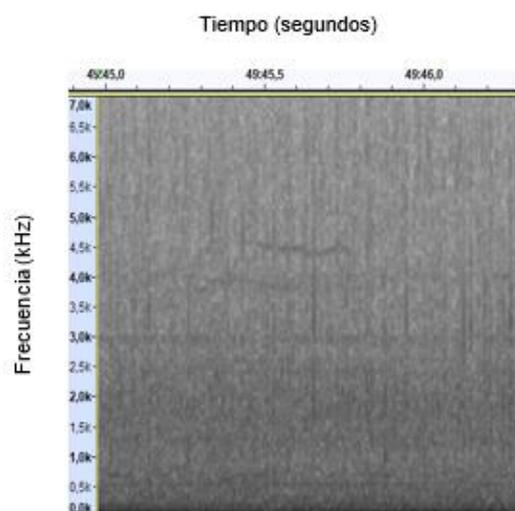


Figura 25. Espectrograma de la vocalización del calderón común del primer grupo. Fuente: elaboración propia.

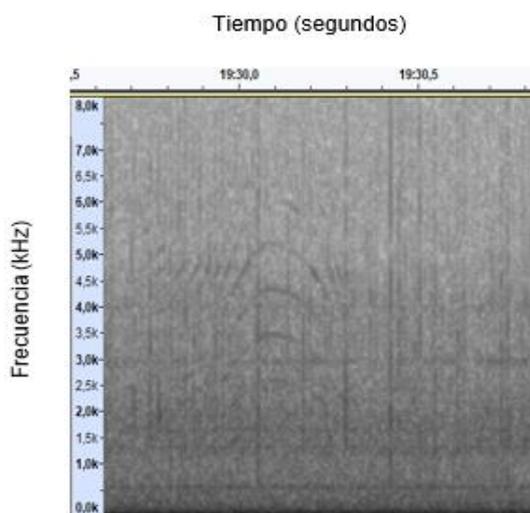


Figura 26. Espectrograma de la vocalización del calderón común del segundo grupo. Fuente: elaboración propia.

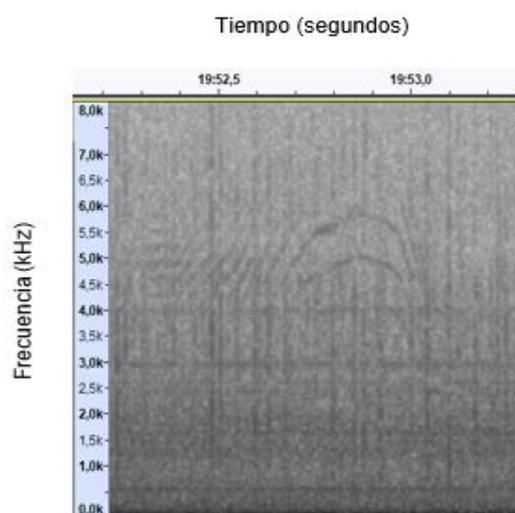


Figura 27. Espectrograma de la vocalización del calderón común del segundo grupo. Fuente: elaboración propia.

Por un lado, observando el espectrograma de la Figura 24 y Figura 25, se puede percibir que el patrón que sigue este silbido es el mismo, lo cual podría atribuirse a un solo animal o a un grupo bastante pequeño. Por otro lado, en las Figura 26 y Figura 27, se observa un patrón diferente a los dos primeros, lo cual se debe a que pertenece a otro grupo de calderones. Además, cabe destacar que existe media hora de diferencia entre éstas vocalizaciones, lo que contrasta el hecho de que pertenecen a dos grupos diferentes.

Por último, cabe señalar que existen tres tipos de sonidos tonales en *Globicephala melas*. Éstos van desde las vocalizaciones con su energía principal por debajo de los 20 kHz hasta el rango ultrasónico, por encima de los 60 kHz (Vester, et al., 2017). Los que se observan en los espectrogramas, son los silbidos emitidos con una frecuencia inferior a los 20 kHz, concretamente por debajo de los 8 kHz.

- Delfin mular (*Tursiops truncatus*)

Los silbidos en esta especie juegan un papel muy importante, debido a que sirven para la comunicación entre los ejemplares de un mismo grupo (véase Anexo.5). Así mismo, cada miembro del grupo puede obtener información sobre cada uno de ellos y mantener así el contacto entre los individuos dispersados. Cabe destacar que tienen la capacidad de producir los silbidos firma, los cuales desempeñan un importante papel en el mantenimiento de la cohesión de un grupo, puesto que, así pueden reconocerse entre los congéneres (Díaz López 2010).

El delfín mular produce dos tipos de sonido relacionados con el alimento. Por un lado están los clicks de ecolocalización, emitidos a altas frecuencias y alta directividad. Estas señales son utilizadas para detectar y perseguir a la presa y debido a las características no sirve para la atracción de los congéneres. Por otro lado, están los llamados “rebuznos”. Este tipo de sonido que se emite a baja frecuencia y es utilizado para la manipulación de las presas, además de presentar relación con la llamada para el acercamiento de los ejemplares del mismo grupo (Janik, 2000).

Durante el segundo día de la campaña (día 29/10) fueron localizados dos grupos de los delfines mulares (véase Anexo.1), un grupo a las 11 a.m. y el segundo grupo a las 5 p.m. El segundo grupo se encontró cerca de la zona costera, en una zona acantilada con cuevas, lo que es propio de esta especie, ya que, son especies costeras debido a su alimentación. Además, esta presencia de unos cinco ejemplares está apoyada con el avistamiento de los observadores visuales.

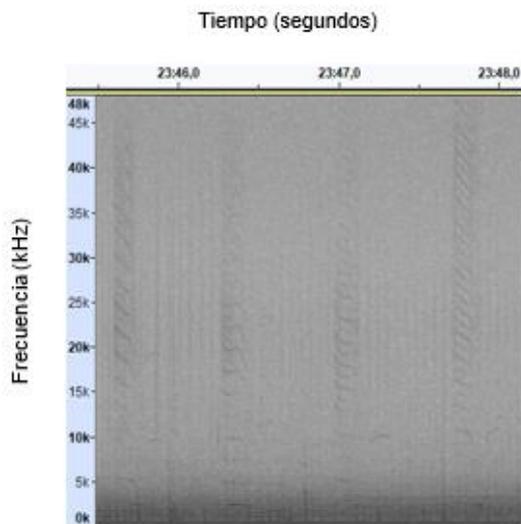


Figura 28. Espectrograma del “rebuzno” del delfín mular perteneciente al primer grupo. Fuente: elaboración propia.

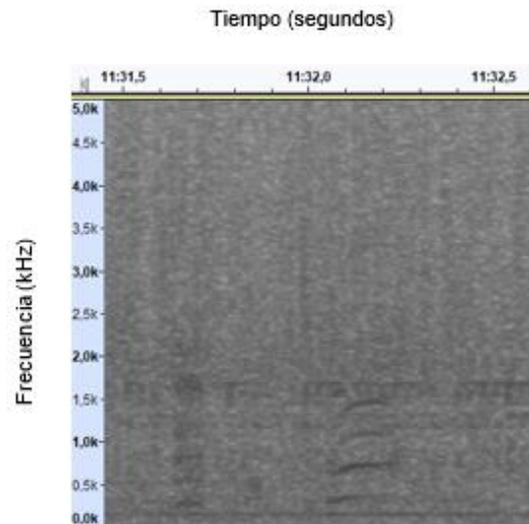


Figura 29. Espectrograma del “rebuzno” del delfín mular perteneciente al segundo grupo. Fuente: elaboración propia.

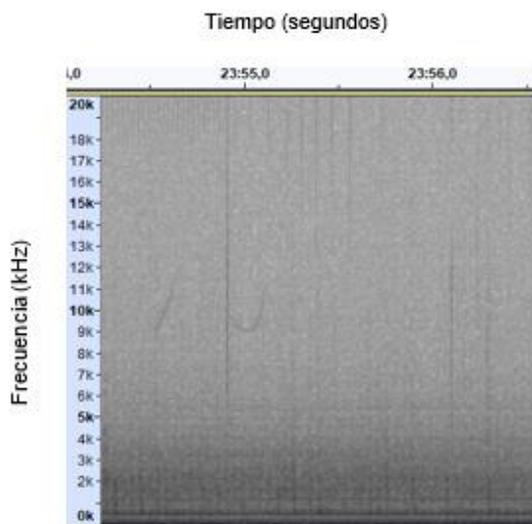


Figura 30. Espectrograma del silbido del delfín mular perteneciente al primer grupo. Fuente: elaboración propia.

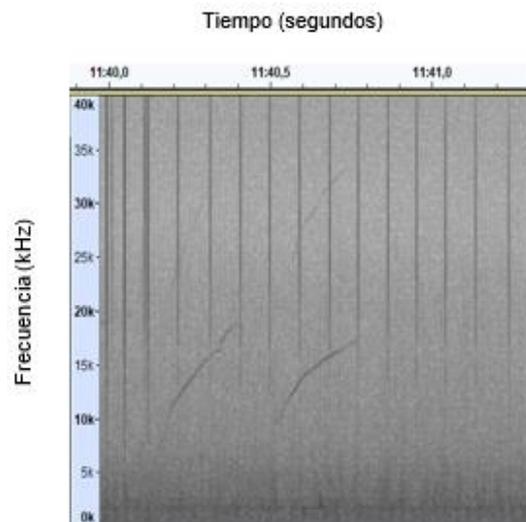


Figura 31. Espectrograma del silbido del delfín mular perteneciente al segundo grupo. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 28 y Figura 29, se pueden observar los “rebuznos” registrados de los dos grupos por el hidrófono de arrastre. En el segundo grupo estas emisiones sonoras apenas alcanzaban los 3,5 kHz. Además, tanto en el primer grupo como el segundo se observan los múltiples “armónicos”, llegando a superar los 48 kHz de frecuencia en el primer caso. En la Figura 30 y Figura 31, se pueden observar los silbidos emitidos por los dos grupos, los cuales se diferencian. El primer grupo emitía silbidos de baja

frecuencia, por debajo de los 12 kHz, sin embargo el segundo grupo presentaba silbidos que superaban los 30 kHz.

Por último cabe destacar los clicks de ecolocalización de cada grupo, representados en los espectrogramas en la Figura 32 y Figura 33.

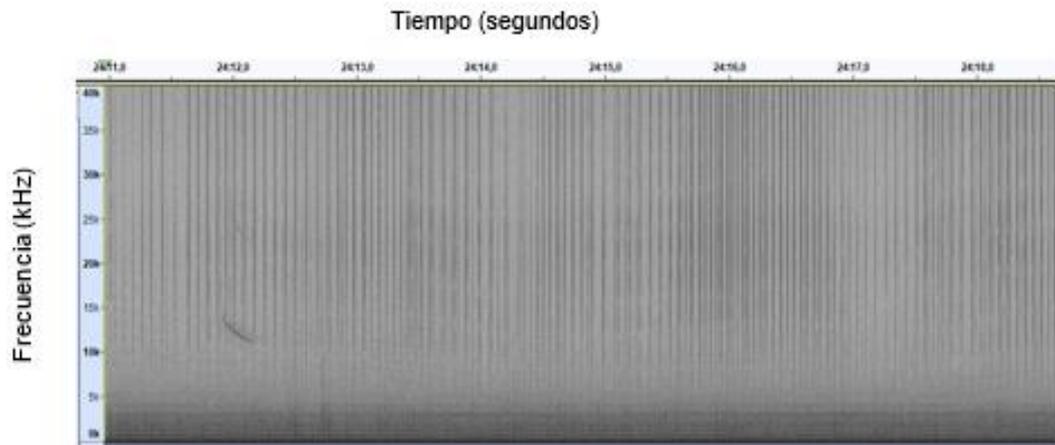


Figura 32. Espectrograma de la ecolocalización de los delfines mulares. Fuente: elaboración propia.

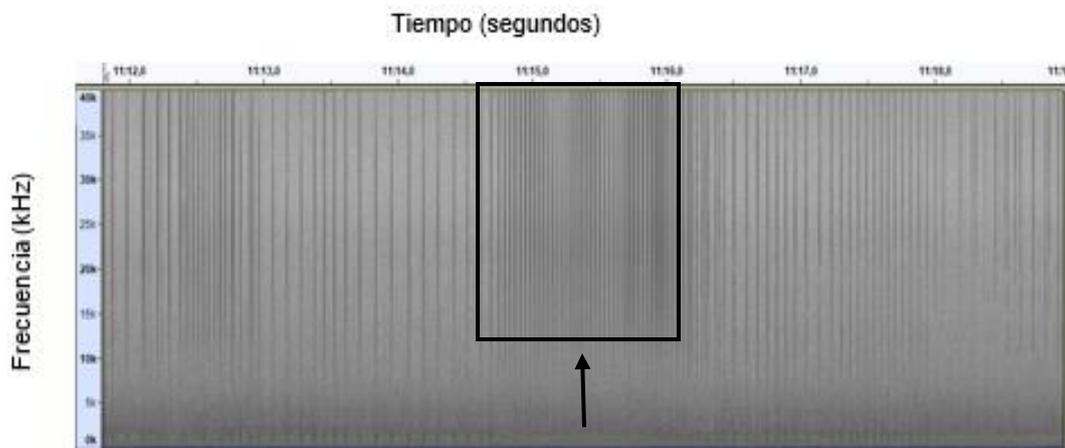


Figura 33. Espectrograma de la ecolocalización de los delfines mulares. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 32 se contempla una fuerte ecolocalización que supera los 40 kHz, con el silbido del delfín emitido por debajo de los 15 kHz. En la Figura 33 se puede observar cómo va aumentando la velocidad de la propagación y la intensidad, lo cual puede deberse a que estaban localizando el hidrófono y conforme se iban acercando al objeto, la velocidad aumentaba. O puede deberse a que estaban localizando una presa, con el mismo efecto.

- Delfin listado (*Stenella coeruleoalba*)

Delfín listado es una especie que presenta elevada abundancia en las aguas mediterráneas (véase Anexo.6). Se trata de una especie gregaria que varía su tamaño de individuos desde unos pocos hasta 1000 ejemplares. Además, se trata de un odontoceto que habita en zonas pelágicas templadas (Panigada, 2011).

Es muy importante la comunicación entre estas especies, por lo que han desarrollado un tipo de señal tonal denominada silbidos. Estos silbidos juegan un papel importante tanto en el reconocimiento entre las especies del mismo grupo, como entre grupos diferentes. Cabe destacar que el grado de modulación de las señales varía notablemente entre las diferentes poblaciones (Papale, 2013).

Durante el primer día 28/10 y segundo día 29/10 de la campaña fueron registrados un total de 19 grupos del delfín listado (véase Anexo 1).

Hay que considerar que para poder diferenciar entre un grupo de ejemplares y otro, se ha tenido en cuenta los 10 minutos de silencio entre los silbidos emitidos basándose en el proyecto “Marine Mammals and Megafauna in Irish Waters - Behaviour, Distribution and Habitat Use” (O’ Brien et al, 2013). En cambio, para el grupo 14 y el grupo 15 se ha tenido en cuenta el tipo de silbido emitido. Esto es debido a que se registraron silbidos durante una hora y media sin silencio de 10 minutos, pero se presentaban diferencias entre un tipo de silbido y otro. Además, durante el avistamiento realizado, se registraron dos grupos diferentes en estas horas.

Entre todos los silbidos registrados, destacan cuatro tipos diferentes mostrados en las siguientes figuras.

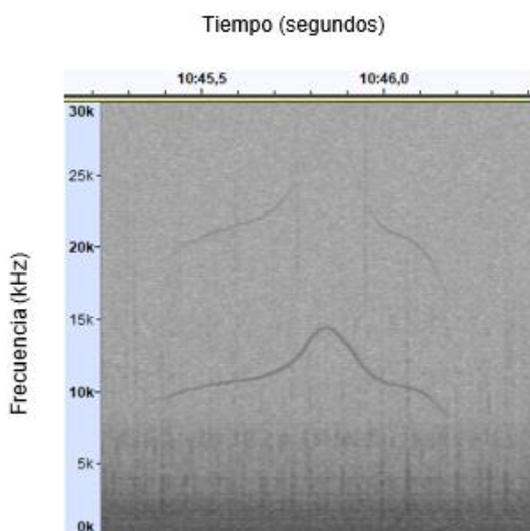


Figura 34. Espectrograma del silbido del delfín listado perteneciente al grupo 11. Fuente: elaboración propia.

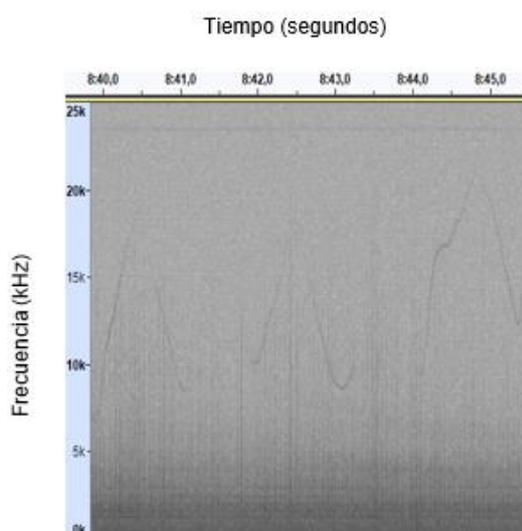


Figura 35. Espectrograma del silbido del delfín listado perteneciente al grupo 4. Fuente: elaboración propia

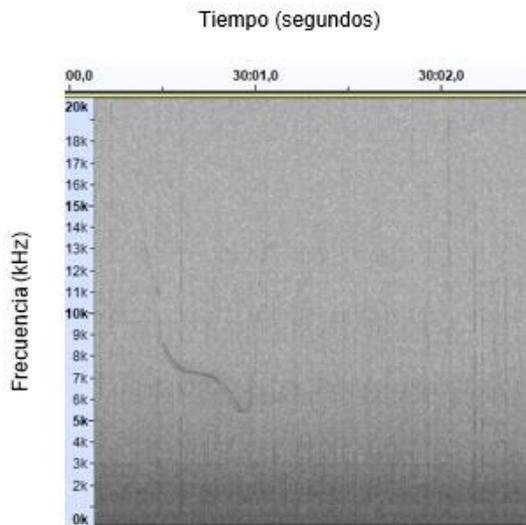


Figura 36. Espectrograma del silbido del delfín listado perteneciente al grupo 18. Fuente: elaboración propia

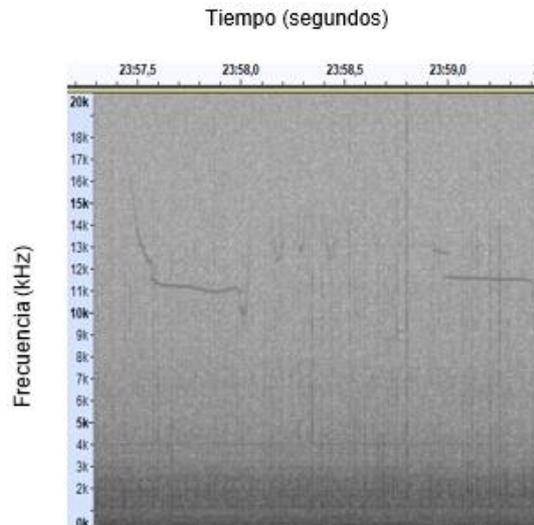


Figura 37. Espectrograma del silbido del delfín listado perteneciente al grupo 14. Fuente: elaboración propia

Como se puede contemplar, se presentan 4 tipos de silbidos, cada uno correspondiente a un grupo diferente. El silbido representado en la Figura 34 pertenece al grupo número 11, aunque presenta el mismo patrón con pequeñas diferencias en los grupos número 1 y 11. La Figura 35 muestra el silbido del grupo 4 con parecidos en los grupos número 1, 8 y 11. La Figura 36 representa el tipo de silbidos detectado en el grupo 18, con patrones parecidos en los grupos número 1, 2 y 7. Por último la Figura 37 pertenece al grupo número 14, y solo se ha registrado en este grupo.

Se podría concluir que aunque se tratase de grupos de ejemplares diferentes, muchos de los grupos muestran tipos de silbidos idénticos o parecidos entre ellos.

Por último, en esta especie existe un tipo de vocalización llamado “Nacchere”. Este tipo de emisión sonora suena como un castaño y está relacionado con la alimentación de los ejemplares (Pavan et al., 2003). Además, esta vocalización está relacionada con el tamaño del grupo, es decir, es más frecuente en grupos pequeños (1-10 ejemplares) (Azzolin et al., 2016).

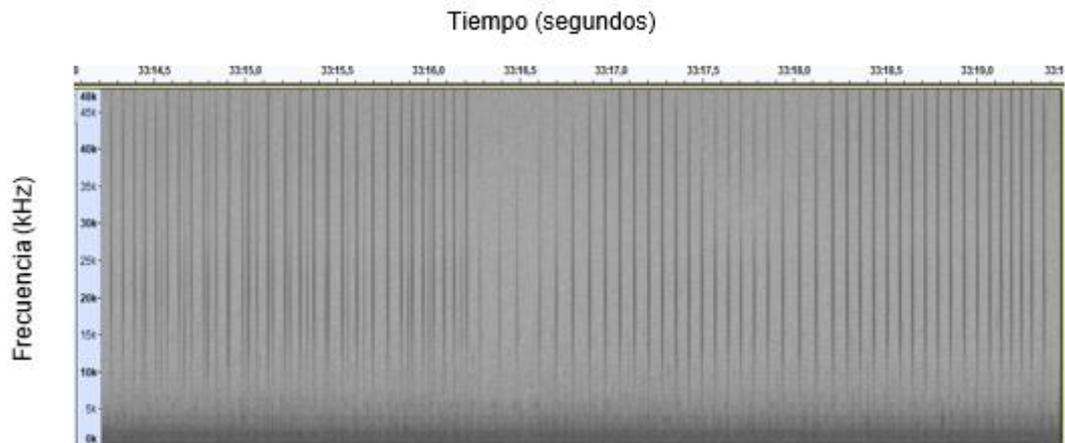


Figura 38. Espectrograma de “Nacchere” emitidos por los delfines listados. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 38, se trata de una señal pulsada emitida con una frecuencia superior a los 40 kHz. Este castaño fue detectado prácticamente en todos los grupos del delfín listado registrados, con mayor intensidad por la tarde.

#### 4.3 Localización de las distintas especies

Antes que nada, habría que tener en cuenta que se ha utilizado el filtro de “Detección de clics de cachalotes y silbidos de delfines”, por lo consiguiente no se obtendría la localización del calderón común registrado debido a la duración del sonido emitido. Por otro lado, este filtro al detectar un silbido, lo desglosa en varias detecciones, es decir, puede ser un solo silbido y dividirlo en varios, o representar los armónicos en varios silbidos diferentes. Por lo cual, no habría que confundirse y pensar que son varias detecciones de varios ejemplares de un grupo (véase Anexo.2). Sin embargo, aunque no se pueda detectar el número de individuos que representa el grupo, es muy útil para detectar el rumbo que sigue el grupo registrado.

- Delfín mular (*Tursiops truncatus*)

La composición de los grupos de esta especie suele ser variada, donde los grupos costeros son más pequeños que los pelágicos. Así mismo, en la cuenca mediterránea, los grupos suelen ser reducidos, desde 1 a 15 individuos (Associació Cetàcea, s.f). Además, puede estar formada por varias unidades sociales, incluyendo crías con la hembra, juveniles y machos adultos.

A continuación se mostrará el grupo hallado a las 11 a.m., del segundo día de la campaña, en el cual mediante el avistamiento se detectó que estaba compuesto por 3 individuos.

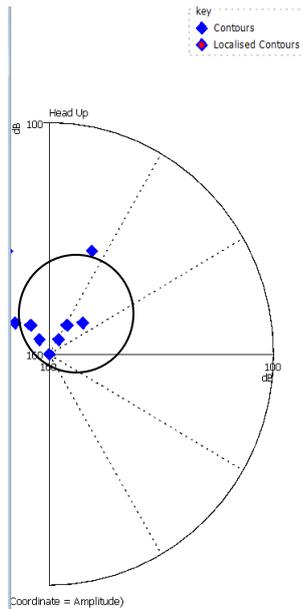


Figura 39. Representación del rumbo seguido por el grupo de los delfines mulares en Display Radar.

Fuente: elaboración propia.

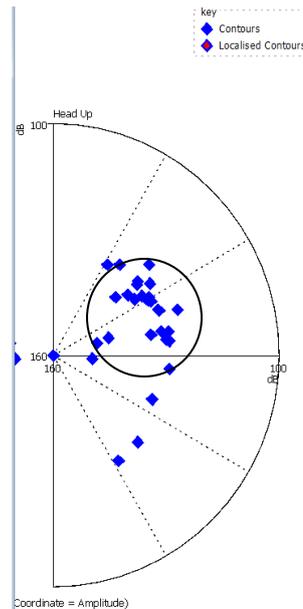


Figura 40. Representación del rumbo seguido por el grupo de los delfines mulares en Display Radar.

Fuente: elaboración propia.

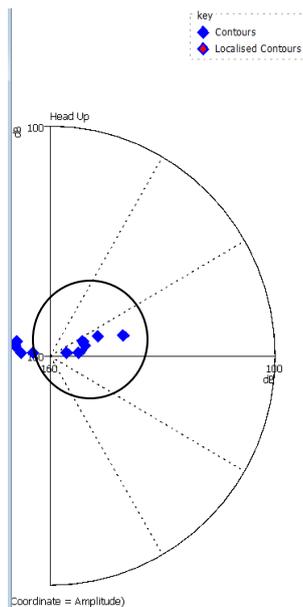


Figura 41. Representación del rumbo seguido por el grupo de los delfines mulares en Display Radar.

Fuente: elaboración propia.

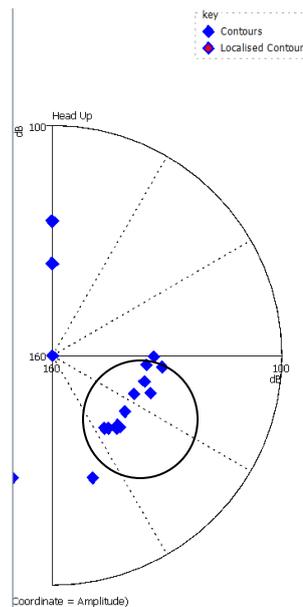


Figura 42. Representación del rumbo seguido por el grupo de los delfines mulares en Display Radar.

Fuente: elaboración propia.

Si se observan la Figura 39, Figura 40, Figura 41 y Figura 42, se puede apreciar la localización que sigue el grupo de los delfines detectado. Se ve claramente como el rumbo del grupo se va desplazando desde la proa hasta la popa del barco. La primera detección se registró a unos  $30^\circ$  y conforme avanzó el *Karyam*, las detecciones acabaron en los  $120^\circ$ . Esto quiere decir que el grupo permaneció aproximadamente en la misma localización, aunque el barco se desplazara.

- Delfín listado (*Stenella coeruleoalba*)

El delfín listado es uno de los cetáceos más abundantes del mar Mediterráneo (Associació Cetàcea, s.f). Es por ello que se han registrado numerosos grupos de esta especie en los dos días de la campaña. Generalmente el hábitat de esta especie se encuentra en aguas profundas, alejadas de la costa debido a su alimentación (Associació Cetàcea, s.f) o el comportamiento agresivo de los delfines mulares (Wedekin et al., 2004). Forman grupos desde 1 a 500 ejemplares con dos tipos de manadas. En los grupos grandes se agrupan en manadas reproductoras, mientras que en los reducidos se agrupan por ejemplares jóvenes inmaduros (Gara Maqueda,s.f). Mediante el avistamiento se llegaron a registrar hasta 7 ejemplares de un mismo grupo. A continuación se mostrara la localización del grupo 11.

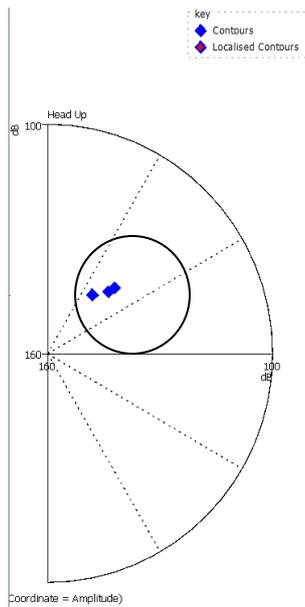


Figura 43. Representación del rumbo seguido por el grupo de los delfines listados en Radar Display.

Fuente: elaboración propia.

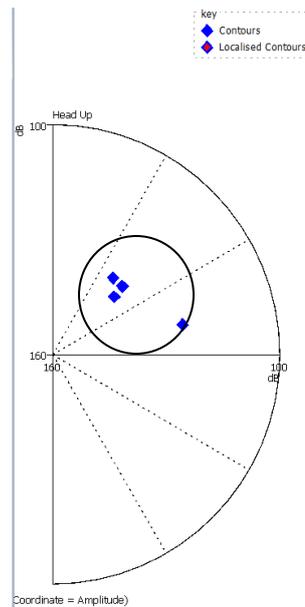


Figura 44. Representación del rumbo seguido por el grupo de los delfines listados en Radar Display.

Fuente: elaboración propia.

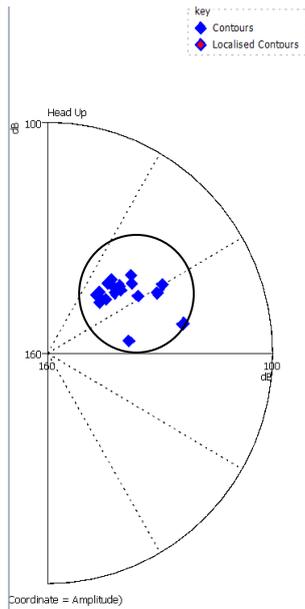


Figura 45. Representación del rumbo seguido por el grupo de los delfines listados en Radar Display.

Fuente: elaboración propia.

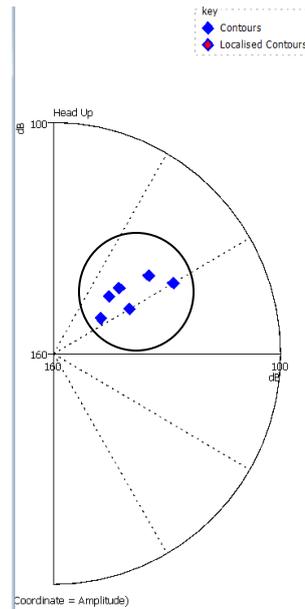


Figura 46. Representación del rumbo seguido por el grupo de los delfines listados en Radar Display.

Fuente: elaboración propia.

Mediante el avistamiento se detectó dos individuos pertenecientes a este grupo, uno de los cuales era una cría. Observando la Figura 43, Figura 44, Figura 45 y Figura 46, se podría asumir que el grupo prácticamente estaba en el mismo sitio, ya que, el ángulo detectado en torno a un minuto, estaba aproximadamente a los 60° del barco. En el Anexo.3 se puede contemplar como este filtro desglosa un silbido en varios, a lo que se debe que se muestren tantas detecciones teniendo un silbido.

Por último se ha elaborado el mapa de la localización de cada especie detectada mediante el *software R* mostrado en la Figura 47.

### Cetáceos detectados en la bahía de Mazarrón

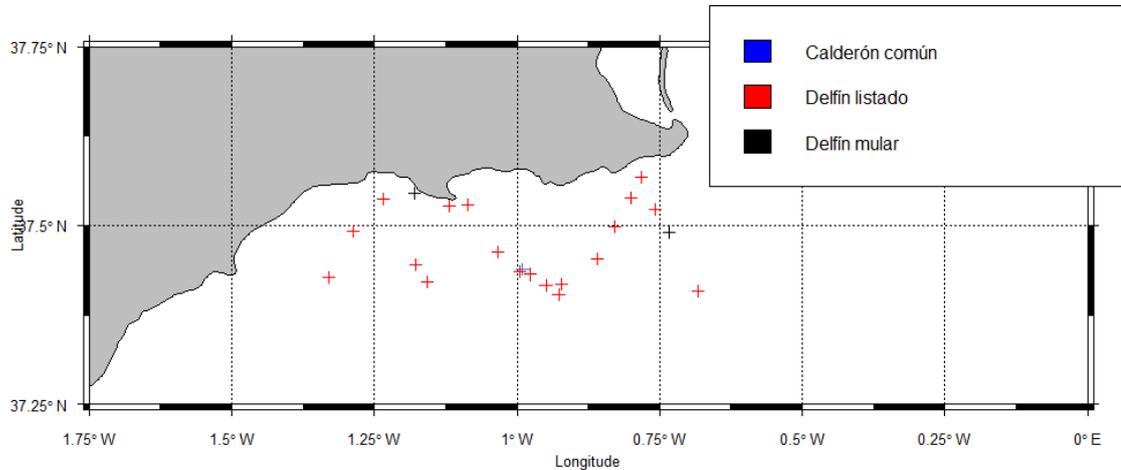


Figura 47. Mapa de la detección de las distintas especies de los cetáceos en la Bahía de Mazarrón.  
Fuente: elaboración propia.

Se ha realizado a partir de las coordenadas geográficas del sistema de referencia UTM, ETRS89. Hay que tener en cuenta que estas coordenadas han sido convertidas a partir del sistema de referencia UTM, ED50 del GPS Etrex utilizado.

## 5. Conclusiones y futuros trabajos

El sistema de monitorización acústica pasiva resulta ser un buen método para la detección de los cetáceos, puesto que, son animales acústicamente activos. Además, es una buena herramienta para el estudio del ruido submarino con el fin de estudiar el estado ambiental del medio marino.

A pesar de presentar un bajo tamaño de la muestra, ya que, la campaña de detección solo ha durado dos días, esta técnica ha presentado buenos resultados. Se han podido identificar las diferentes especies presentes tales como el delfín mular (*Tursiops truncatus*) y el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*) en función de la emisión tanto de los silbidos como de los clicks, además de documentar la localización de las mismas. No obstante, aunque los hidrófonos sí pudieron detectar la vocalización de todos los cetáceos, el filtro N1C-Nauta, no ha logrado detectar a todas las especies presentes en la Bahía de Mazarrón, ya que, presenta limitaciones en detectar al calderón común (*Globicephala melas*).

A pesar de que se han completado los objetivos propuestos y se han obtenido buenos resultados, se plantean futuros trabajos con el fin de mejorar la investigación sobre estos animales marinos.

Se propone seguir trabajando en la mejora del filtro para que sea capaz de detectar las emisiones sonoras de otras especies tales como el calderón común. Habría que adaptar el filtro a bajas frecuencias, ya que, las vocalizaciones emitidas por esta especie van desde los 2 kHz hasta los 7 kHz. Por otro lado, se tendría que tener en cuenta la corta duración que presenta cada vocalización de esta especie, ya que, en algunos casos están por debajo de los 60 milisegundos, debido a lo cual es difícil detectarlos con el filtro. Además, sería muy útil su mejora en el estudio de la estimación de la abundancia. Así mismo, poder cuantificar el tamaño de cada grupo detectado, además de su localización.

Por último, sería interesante contrastar la información obtenida con un muestreo aéreo de los transectos, además de obtener un mayor número de datos.

## 6. Bibliografía

ALONSO LOZANO, L. (2014). *Relación en la distribución y abundancia de los misticetos, con algunos parámetros ambientales en la costa sur-occidental del Golfo de California (enero 2004 – Noviembre 2005)*. Tesis. La Paz: Universidad Autónoma de Baja California Sur.

ÁLVAREZ TOREES, A.M. (2006). *Distinción de clanes de cachalote (*Physeter macrocephalus*) en el Golfo de California, mediante comparación de repertorios de codas*. Tesis. La Paz: Instituto Politécnico Nacional.

APARICIO, J., GARCÍA, E., JIMÉNEZ, A., ÁLVAREZ, F., UREÑA, J. (2010). “Modelos en propagación de señales acústicas en entornos subacuáticos” en *Gigatronic*, p.40-43.

ASSOCIACIÓ CETÁCEA. *Delfín listado*.  
<http://www.associaciocetacea.org/es/conservacion/especies-del-mediterraneo/cetaceos/delfin-listado/>. [Consulta: 15 de Noviembre de 2020].

ASSOCIACIÓ CETÁCEA. *Delfín mular*.  
<http://www.associaciocetacea.org/es/conservacion/especies-del-mediterraneo/cetaceos/delfin-mular/>. [Consulta: 15 de Noviembre de 2015].

AUDACITY. *Un montón de características*. < <https://www.audacityteam.org/>>. [Consulta: 10 de Noviembre de 2020].

AZZOLIN, M., PAPAIE, E., REGENT, M., GIACOMA, C. (2016). “Analysis of the vocal repertoire of *Stenella coeruleoalba* in the gulf of Corinth (Ionian Sea): “nacchere” production in relation to time and number of animals” en *Biología Marina Mediterránea*, p.346. < <http://hdl.handle.net/2318/1689192> >. [ Consulta: 14 de Noviembre de 2020].

BIOENCICLOPEDIA (). *Eclocalización de los cetáceos odontocetos*. < <https://www.bioenciclopedia.com/ecolocalizacion/#:~:text=Cuando%20los%20delfines%20y%20las,se%20forman%20ondas%20de%20sonido>>. [Consulta: 26 de Octubre de 2020].

CHICOTE, C.A., CASTELLOTE, M. (2013). *Manual del Técnico de Acústica Pasiva para operaciones Off-shore generadoras de ruido en aguas españolas*. Barcelona: Fundación Biodiversidad y Submon.

DÍAZ LÓPEZ, B. (2010). "Whistle characteristics in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Mediterranean Sea: Influence of behaviour" en *Mammalian Biology* 76, p.180-189. <<https://doi.org/10.1016/j.mambio.2010.06.006>>. [Consulta: 12 de Noviembre de 2020].

DISTANCESAMPLING. *Welcome to the Distance project website*. <http://distancesampling.org/>. [Consulta: 11 de Noviembre de 2020].

España, Orden AAA/1366/2016, de 4 de agosto, por la que se declaran zonas especiales de lugares de importancia comunitaria de la Region Marina Mediterránea de la Red Natura 2000, se aprueban sus correspondientes medidas de conservación y se propone la ampliación de los límites geográficos de dos lugares de importancia comunitaria. *BOE*, 11 de Agosto de 2016, núm. 196, p. 57904-58468.

España, Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. *BOE*, 23 de Febrero de 2011, núm.46, p. 20912-20951.

FERNÁNDEZ, J-L (2013). *Efecto Doppler* en FisicaLab. <<https://www.fisicalab.com/apartado/efecto-doppler#vertambien>>. [Consulta: 26 de Octubre de 2020].

FUNDACIÓN CETHUS (2010). *Estudiando a los cetáceos a través del sonido*. <[http://www.cethus.org/newsletter/septiembre\\_2010/articulo\\_2\\_ok.html](http://www.cethus.org/newsletter/septiembre_2010/articulo_2_ok.html)> [Consulta: 29 de Mayo de 2020].

GARA-MAQUEDA, E. *Stenella coeruleoalba* (Meyen) 1833. <<https://mammalia.bioscripts.net/mammalia/stenella-coeruleoalba-meyen-1833/>>. [Consulta: 15 de Noviembre de 2020]

GOZALBES, P., JUMENEZ, J., RAGA, J.A., ESTEBAN, J.A., TOMÁS, J., GÓMEZ, J.A., EYMAR, J. (2012). *Cetáceos y tortugas marinas en la Comunitat Valenciana: 20 años de seguimiento*. Col·lecció Treballs Tècnics de Biodiversitat. Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, Generalitat Valenciana. Valencia.

INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA. *Distribución de temperatura y salinidad con profundidad*. <<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/002342/inocar/main.htm>>. [Consulta: 26 de Octubre de 2020].

JANIK, V.M. (2000). "Food-related bray calls in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*)" en *The Royal Society*, vol. 267, núm. 1446. <<https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1091>>.

KNOWLTON, C.W. (2016) *Discovery of Sound in the Sea Book I: Importance of Sound*. Univeristy of Rhode Island Research Foundation.

LARA MARTÍNEZ, G.S (2016). *Caracterización y modelado de la producción de sonidos de las ballenas beluga (Delphinapterus Leucas) basado en modelos de análisis / síntesis de voz*. Tesis Doctoral. València: Universidad Politécnica de València.

LURTON, X (2002). *An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications*. Reino Unido: Springer.

MARQUES, T.A., THOMAS, L., MARTIN, S., MELLINGER, D.K., WARD, J.A., MORETTI, D., HARRIS, D., TYACK, P.L. (2013). "Estimating animal population density using passive acoustics en *Biological Reviews*, vol 88, p. 287-309. <<https://doi.org/10.1111/brv.12001> >.

MARTÍN DÍAZ, N. (2019). *Anatomía comparada del suborden Odontoceti*. Trabajo Final de Grado. Extremadura: Universidad de Extremadura. <<http://hdl.handle.net/10662/8526> >.

MEDWIN, H (2005). *Sounds in the Sea: From Ocean Acoustical to Acoustical Oceanography*. Reino Unido: Cambridge University Press.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2003). *Ocean Noise and Marine Mammals*. Washington: The National Academies Press.

NATURA 2000 (2016). *Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón*. <<https://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=ES6200048>> [Consulta: 6 de julio de 2020].

O' BRIEN, J., BECK, S., WALL, D., PIERINI, A. (2013). "Marine Mammals and Megafauna in Irish Waters - Behaviour, Distribution and Habitat Use- WP 2: Developing Acoustic Monitoring Techniques" en *Marine Research Sub-Programme (NDP 2007-'13)*. <<http://hdl.handle.net/10793/870>>.

OCEAN SCIENCE CONSULTING. *Towed Hydrophone Arrays*. <<http://www.towedhydrophonearrays.com/>> [Consulta: 4 de Octubre de 2020].

PANIGADA, S., LAURIANO, G., PIERANTONIO, N., DONOVAN, G. (2011). "Monitoring cetaceans populations through aerial surveys in the Central Mediterranean Sea" en *25ª Conferencia de la Sociedad Europea de Cetáceos*, p. 104.

PAPALE, E., CASCAÑO, I., AZZOLIN, M., GANNIER, A. (2013). "Geographic variability in the acoustic parameters of striped dolphin's (*Stenella coeruleoalba*) whistles" en *The Journal of the Acoustical Society of America*, núm. 133, p. 1126-1134. <<https://doi.org/10.1121/1.4774274>>.

PAVAN, G., MANGHI, M., FOSSATI, C. (2003). "Nacchere: an acoustic behavior of striped dolphins" en *European Research on Cetaceans*, vol. 17. España: Las Palmas de Gran Canaria.

PONCE SARMIENTO, E.J. (2011). *Comportamiento acústico de tursiones (*Tursiops truncatus*) en cautiverio: comparación entre dos acuarios*. Tesis. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

REDONDO, L., RUIZ MATEO, A. (2017). "Ruido subacuático: fundamentos, fuentes, cálculo y umbrales de contaminación ambiental" en *Revista Digital del Cedex*, núm. 186. <<http://193.145.71.12/index.php/ingenieria-civil/article/view/28>>.

REGION DE MURCIA NATURAL (2017). *ES6200048 Valles sumergidos del escarpe de Mazarrón*. < <http://www.murcianatural.carm.es/web/quest/visor-contenidos-dinamicos?artId=4133081&groupId=14&version=1.0>> [Consulta: 6 de julio de 2020].

REGION DE MURCIA DIGITAL. *Cañones submarinos*. < [http://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,365&r=ReP-28628-DETALLE\\_REPORTAJESABUELO#:~:text=El%20Gran%20Escarpe%20de%20Mazarr%C3%B3n,Espada%20y%20Ca%C3%B1%C3%B3n%20de%20Negrete.&text=Estos%20sedimentos%20se%20acumulan%20en%20la%20cabecera%20del%20ca%C3%B1%C3%B3n](http://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,365&r=ReP-28628-DETALLE_REPORTAJESABUELO#:~:text=El%20Gran%20Escarpe%20de%20Mazarr%C3%B3n,Espada%20y%20Ca%C3%B1%C3%B3n%20de%20Negrete.&text=Estos%20sedimentos%20se%20acumulan%20en%20la%20cabecera%20del%20ca%C3%B1%C3%B3n)>. [Consulta: 3 de Octubre de 2020].

RODNEY, F.W. (2001). *The Advanced Sonar Course: Further Topics in Underwater Acoustic*. Reino Unido: Seiche.Com Limited.

SALON, S., PICCO, P., CRISE, A., MARINIS, E. (2003). "Sound speed in the Mediterranean Sea: An analysis from a climatological data set" en *Annales Geophysicae*, núm. 21, p. 833–846. < [10.5194 / angeo-21-833-2003](https://doi.org/10.5194/angeo-21-833-2003) >.

Servicio de Vida Silvestre (2018). *Avistamiento de cetáceos en aguas de la Comunitat Valenciana 2017*.

SIRA (2013). *Cetáceos, la vida en los océanos*. <<http://cetaceos-lavidaenlosoceanos.blogspot.com/2013/08/os-presento-los-mysticetos-y-los.html>> [Consulta: 29 de mayo de 2020].

STANISTREET, J.E., NOWACEK, D., BELL, J., CHOLEWIAK, D.M., HILDEBRAND, J.A., HODGE, L., PARIJS VAN, S.M., READ, A.J. (2018). "Spatial and seasonal patterns in acoustic detections of sperm whales *Physeter macrocephalus* along the continental slope in the western North Atlantic Ocean" en *Endang Species Res*, núm. 35, p. 1-13. <<https://doi.org/10.3354/esr00867>>.

VESTER, H., HALLERBERG, S., TIMME, M., HAMMERSCHMIDT, K. (2017). "Vocal repertoire of long-finned pilot whales (*Globicephala melas*) in northern Norway" en *The Journal of the Acoustical Society of America* 141, p. 4289–4299. < <https://doi.org/10.1121/1.4983685>>.

WILLIAMS HODGE, L.E (2011). *Monitoring Marine Mammals in Onslow Bay, North Carolina, Using Passive Acoustics*. Tesis Doctoral. Estados Unidos: Universidad Duke.

WEDEKIN, L., DAURA-JORGE, F.G., SIMÕES-LOPES, P.C. (2004). "An Aggressive Interaction Between Bottlenose Dolphins ( *Tursiops truncatus* ) and Estuarine Dolphins (*Sotalia guianensis*) in Southern Brazil" en *Aquatic Mammals*, p. 391-397. < [10.1578/AM.30.3.2004.391](https://doi.org/10.1578/AM.30.3.2004.391)>. [Consulta: 15 de Noviembre de 2020].

WÜRSING, B., PERRIN, W., THEWISSEN, J.G.M (2009). *Encyclopedia of Marine Mammals*. Segunda Edición. Estados Unidos: Academic Press.

## 7. Anexos

Anexo. 1: La tabla de los grupos de cetáceos detectados en la campaña de la Bahía de Mazarrón.

### Delfín listado (*Stenella coeruleoalba*)

Grupo	Transecto	Día	Hora de Inicio	Hora del Final
1	1	28/10/2020	9h 14'	9h 46'
2	2	28/10/2020	9h 54'	10h 30'
3	2	28/10/2020	10h 40'	11h 09'
4	3	28/10/2020	11h 39'	11h 43'
5	3	28/10/2020	11h 55'	12h 18'
6	4	28/10/2020	14h 59'	-
7	5	28/10/2020	16h 14'	16h 42'
8	5	28/10/2020	16h 58'	-
9	-	28/10/2020	17h 13'	17h 36'
10	-	28/10/2020	17h 59'	-
11	-	29/10/2020	7h 58'	8h 25'
12	-	29/10/2020	8h 36'	8h 56'
13	-	29/10/2020	9h 31'	9h 49'
14	6	29/10/2020	9h 59'	10h 22'
15	6	29/10/2020	10h 25'	10h 36'
16	6	29/10/2020	10h 46'	10h 59'
17	6	29/10/2020	11h 13'	11h 19'
18	7	29/10/2020	12h 27'	12h 36'
19	9	29/10/2020	15h 58'	16h 34'

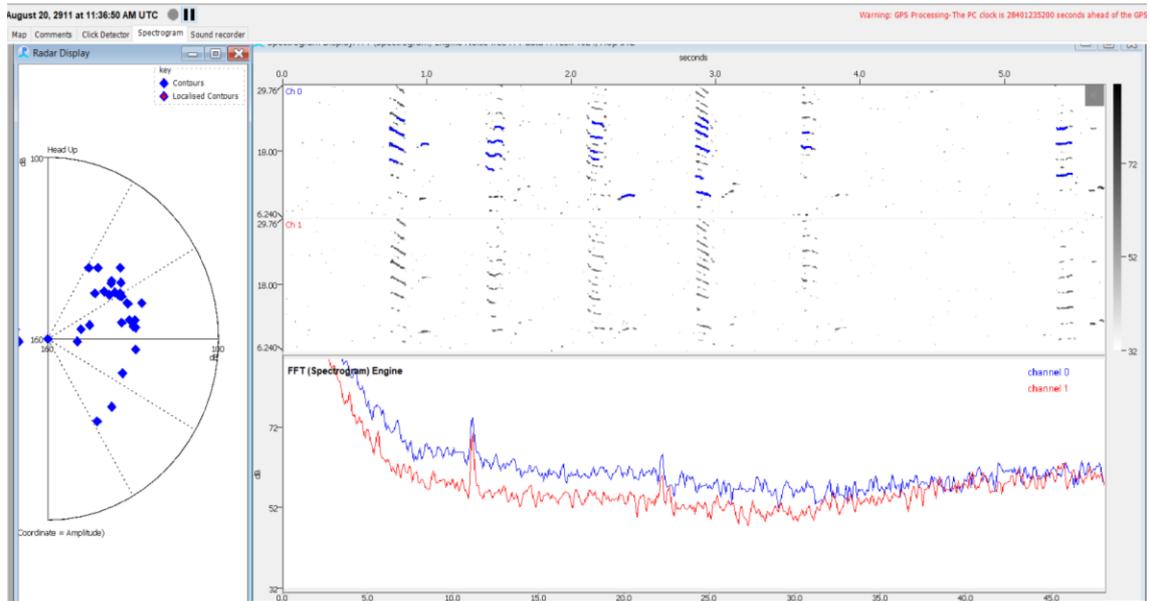
### Delfín mular (*Tursiops truncatus*)

Grupo	Transecto	Día	Hora de Inicio	Hora del Final
1	6	29/10/2020	11h 32'	11h 39'
2	9	29/10/2020	17h 00'	17h 35'

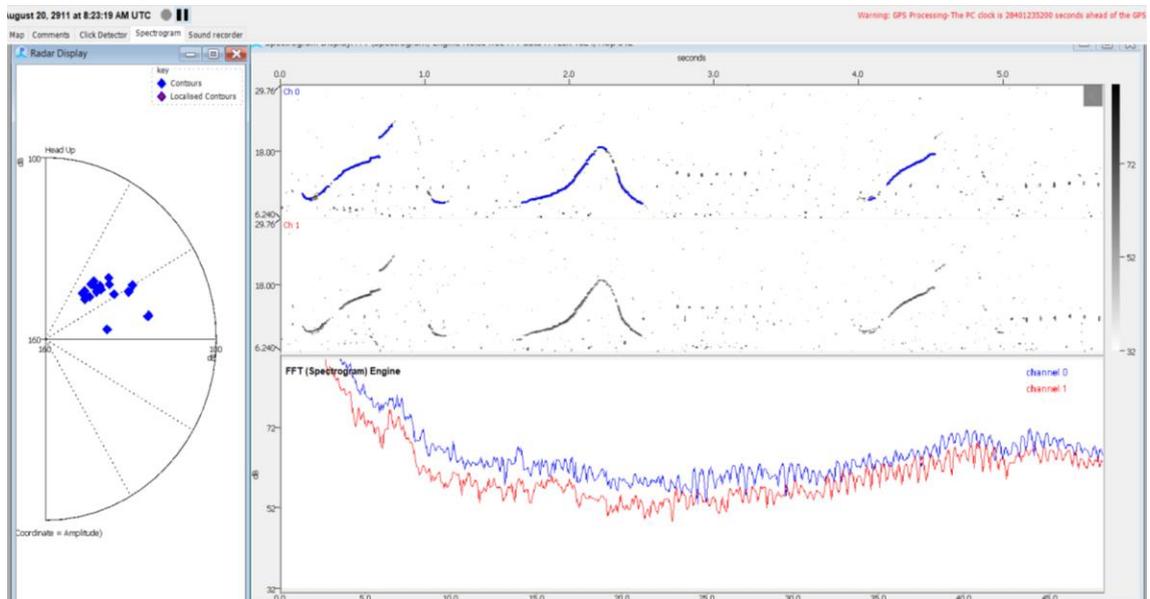
### Calderón común (*Globicephala melas*)

Grupo	Transecto	Día	Hora de Inicio	Hora del Final
1	-	28/10/2020	18h 01'	18h 03'
2	-	28/10/2020	18h 33'	18h 37'

Anexo. 2: Espectrograma de los silbidos con su armónico detectados del delfín mular junto al Display Radar con su localización. Fuente: elaboración propia.



Anexo. 3: Espectrograma de los silbidos detectados del delfín listado junto al Display Radar con la localización. Fuente: elaboración propia



Anexo. 4: Representación del calderón común (*Globicephala melas*). Fuente: Cetáceos y Navegación (2020).



Anexo. 5: Representación del delfín mular (*Tursiops truncatus*). Fuente: Cetáceos y Navegación (2020)



Anexo. 6: Representación del delfín listado (*Stenella coreuleoalba*). Fuente: Cetáceos y Navegación (2020).

