



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Configuración y aplicabilidad del software PAMGuard para la localización e identificación de cetáceos con diferentes conjuntos de datos de hidrófonos de arrastre.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Evaluación y Seguimiento Ambiental de Ecosistemas Marinos y Costeros

AUTOR/A: Pérez Garcia, Laura

Tutor/a: Pérez Arjona, Isabel

Cotutor/a: Espinosa Roselló, Víctor

Cotutor/a externo: BOU CABO, MANUEL

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

RESUMEN

El océano es un medio por el cual las ondas acústicas se propagan con velocidad alta y poca absorción. Debido a esto, la utilización de técnicas de acústica pasiva es de gran interés para comportamiento acústico de los cetáceos y su afección a los impactos negativos de la contaminación acústica. En este Trabajo de Fin de Máster se han detectado cetáceos (delfín mular (*Tursiops truncatus*), delfín común (*Delphinus delphis*), calderón común (*Globicephala melas*) y el cachalote (*Physete macrocephalus*)) en la zona de especial conservación (ZEC) de los valles submarinos de los Escarpes de Mazarrón utilizando técnicas visuales y de acústica pasiva, concretamente un hidrófono de arrastre. Para la obtención de los datos se ha utilizado el software PAMGuard y un filtro para dicho programa con el fin de visualizar las frecuencias de estas especies.

PALABRAS CLAVE

Cetáceos, Técnicas de acústica pasiva, hidrófono de arrastre, Software PAMGuard.

ABSTRACT

The ocean is a medium through which acoustic waves propagate with high velocity and low absorption. Because of this, the use of passive acoustic techniques is of great interest for the acoustic behavior of cetaceans and their affection to the negative impacts of noise pollution. In this Master's Thesis, cetaceans (*Tursiops truncatus*, *Delphinus delphis*, *Globicephala melas* and *Physete macrocephalus*) have been detected in the Special Area of Conservation (SAC) of the underwater valleys of the Escarpments of Mazarrón using passive acoustic techniques, specifically a towed hydrophone. The PAMGuard software and a filter for this program were used to obtain the data in order to visualize the frequencies of these species.

KEY WORDS

Cetaceans, Passive acoustic techniques, towed hydrophone, Software PAMGuard.

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	1
I.I. Propagación de las ondas acústicas en el agua	1
I.II. Contaminación acústica submarina	4
I.III. Cetáceos y acústica	6
I.IV. Cetáceos	9
I.IV.I. Delfínidos (<i>Delphinus delphis</i> y <i>Tursiops truncatus</i>)	10
I.IV.II. Cachalote (<i>Physeter macrocephalus</i>)	11
I.IV.III. Calderón común (<i>Globicephala melas</i>)	12
II. OBJETIVOS	14
III. MATERIALES Y METODOS	14
III.I. Diseño de transectos	14
III.II. Material	15
III.III. Hidrófono	16
III.IV. Software PAMGuard	20
III.V. Software Audacity	22
III.VI. Procedimiento	22
IV. RESULTADOS	23
IV.I. Filtro	23
IV.II. Identificación de los sonidos emitidos por distintas especies	25
IV.II. I. Cachalote (<i>Physeter macrocephalus</i>)	25
IV.II. II. Calderón común (<i>Globicephala melas</i>)	26
IV.II. III. Delfínidos (<i>Delphinus delphis</i> y <i>Tursiops truncatus</i>)	27
IV.III. Localización de las especies	29
IV.III.I. Cachalote (<i>Physeter macrocephalus</i>)	29
IV.III.II. Calderón común (<i>Globicephala melas</i>)	29
IV.III.III. Delfínidos (<i>Delphinus delphis</i> y <i>Tursiops truncatus</i>)	30
IV.III.IV. Mapa de localizaciones	30
V. DISCUSIÓN	31
VI. CONCLUSIÓN	32
REFERENCIAS	33
ANEXOS	38

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un medio por el cual se pueden propagar ondas acústicas con mayor facilidad que otro tipo de ondas. Por ello, en el océano viaja el sonido con velocidad alta y poca absorción. Debido a esto, desde hace aproximadamente un siglo, se ha utilizado el sonido para explorar el medio submarino. Pudiendo así, conocer la adaptabilidad de los ecosistemas acuáticos al medio y el comportamiento acústico de algunos animales marinos como los cetáceos. En este Trabajo de Fin de Máster se van a detectar cetáceos en la zona de especial conservación (ZEC) de los valles submarinos de los Escarpes de Mazarrón utilizando técnicas de acústica pasiva.

I.I. Propagación de las ondas acústicas en el agua.

En las últimas décadas, el empleo de las señales acústicas en medios subacuáticos se ha utilizado para diversas actuaciones como la monitorización de sensores, el uso del sónar, la detección de mamíferos marinos...entre otros. La utilización de las ondas acústicas en vez de las ondas electromagnéticas se explica ya que el medio subacuático presenta unas propiedades que atenúan las ondas, del orden del $\text{dB}\cdot\text{m}^{-1}$ para una frecuencia de 30 kHz. Por el contrario, a esa misma frecuencia, una onda acústica presenta una atenuación del orden del $\text{dB}\cdot\text{km}^{-1}$ (Aparicio et al., 2010).

El sonido es una perturbación mecánica que viaja a través de un fluido (Medwin and Blue, 2005). Durante su propagación a través de un medio, la onda acústica se ve afectada por la atenuación, la absorción, la presencia de ruido o la heterogeneidad espacio-temporal.

En el caso del medio acuático, la velocidad del sonido (c) está comprendida entre 1450 y 1540 m/s. Se ve afectada por las propiedades de la columna de agua, tales como la profundidad, la temperatura o la salinidad. Puede medirse directamente o calcularse a través de distintas expresiones, siendo una de las más extensamente utilizadas la expresión de Medwin (Medwin, 1975) la cual tiene en cuenta la temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), la salinidad S (g/kg) y la presión, siendo esta última proporcional a la profundidad z (m).

$$c = 1449,2 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,00029T^3 + (1,34 - 0,010T)(S - 35,0) + 0,016z \quad (1)$$

Ecuación 1. Velocidad del sonido.

El valor de c se obtiene en m/s. Esta ecuación se utiliza para los siguientes rangos: $0 \leq T \leq 35^\circ\text{C}$; $0 \leq S \leq 45 \text{ g/kg}$ y $0 \leq z \leq 1000\text{m}$ para temperaturas, salinidad y profundidad, respectivamente.

A partir de esta fórmula (Ec. 1) se concluye que a velocidad del sonido se incrementa al aumentar cualquiera de estas tres variables. Por ello, por cada g/kg de incremento de salinidad, la velocidad aumenta alrededor de 1,2 m/s; por cada 100 m de profundidad, aumenta 1,6 m/s; y por cada grado de temperatura, dependiendo de la temperatura inicial, la velocidad varía entre 4,1 m/s siendo la temperatura de partida de 5°C y 2,1 m/s para una temperatura inicial de 30°C (Redondo y Ruiz, 2017).

La propagación del sonido también se ve afectada por el medio, produciendo una pérdida de intensidad a medida que se desplaza debido a la absorción y a la divergencia de energía. Cualquiera que sea la fuente de sonido, esta irradia una señal con un nivel de fuente (SL: Source Level). La intensidad del sonido se reduce por pérdida de transmisión (TL: Transmission Loss) cuando el sonido va desde la fuente hasta el receptor. Esto se expresa en la siguiente fórmula, siendo RL (Received Level) la intensidad del sonido que llega al receptor,

$$RL = SL - TL \quad (2)$$

Ecuación 2. Intensidad del sonido que llega al receptor.

El nivel de absorción de la energía acústica viene dado por la longitud de onda de la señal. Por un lado, se encuentra las ondas de alta frecuencia, con muy pequeña longitud de onda. Estas interactúan con las moléculas de agua, perdiendo su energía. Por ello, se reduce la pérdida de energía por absorción. Este se expresa en la siguiente fórmula,

$$TL = N * \log(R) - \alpha * R \quad (3)$$

Ecuación 3. Pérdida de transmisión en el medio.

Donde,

N , el coeficiente de atenuación, toma el valor de 20 para pérdida por transmisión esférica y 10 para cilíndrica (Ec.3).

α , el coeficiente de absorción del ruido en el agua, superficie y fondo (sedimentos) en dB·m⁻¹. Una aproximación de α es $0.036 \cdot f^{1.5}$, donde f es la frecuencia en kHz (Richardson et al, 1995).

Por otro lado, las ondas de bajas frecuencias tienen una pérdida por absorción despreciable. En este caso, la pérdida de energía es por divergencia. Dicha pérdida se produce debido a que la energía que se concentraba en un punto de emisión, al expandirse, se reparte en un espacio mucho mayor y, por tanto, se reduce la intensidad en cada punto de recepción. Existen tres tipos de divergencia: plana, cilíndrica y esférica. En un medio homogéneo e isotrópico (mismas propiedades de propagación en todas las direcciones), la propagación del sonido es esférica en aguas profundas. Por ello, la fórmula de la pérdida por transmisión de ondas esféricas viene dada la Ecuación 3,

$$TL_{esférica} = 20 \cdot \log\left(\frac{R}{R_0}\right) \quad (4)$$

Ecuación 4. Pérdida de transmisión en el medio de una onda esférica (Redondo y Ruiz, 2017).

Siendo,

$R < R_1$. R (m) es la distancia desde la fuente al receptor, R_1 (m) la profundidad y R_0 (m) la referencia la cual normalmente es de 1m (Ec. 4).

La propagación esférica implica que la intensidad disminuye 6 dB cada vez que se dobla la distancia desde la fuente emisora. Sin embargo, como ya se ha mencionado anteriormente, esto ocurre en aguas profundas. En aguas someras, las cuales son medios no homogéneos, la señal experimenta una propagación cilíndrica, ya que las ondas se ven reflejadas tanto por la superficie como por el fondo marino. Ello implica que la pérdida de intensidad sea de 3 dB cada vez que se dobla la distancia. Por ello, la fórmula para la pérdida de intensidad en ondas cilíndricas es,

$$TL_{cilíndrica} = 20 \cdot \log R_1 + 10 \cdot \log\left(\frac{R}{R_0}\right) \quad (5)$$

Ecuación 5. Pérdida de transmisión en el medio de una onda cilíndrica (Redondo y Ruiz, 2017).

Donde,

$R > R_1$. R (m) es la distancia desde la fuente al receptor, R_1 (m) la profundidad y R_0 (m) la referencia la cual normalmente es de 1m (Ec.5).

A esto se le añade los cambios en la batimetría y el tipo de sustrato del fondo los cuales influyen en la propagación del sonido. Un ejemplo de ello es que la arena refleja mejor el sonido que el fango, el limo o la grava (Redondo y Ruiz, 2017). Si tenemos en cuenta estos parámetros, la fórmula resultante sería,

$$TL = 15 \cdot \log(R) + 5 \cdot \log\left(\frac{\eta \cdot H}{\pi \cdot R_{ref}}\right) \quad (6)$$

Fórmula 6. Pérdida de transmisión en el medio con cambios en la batimetría (Redondo y Ruiz, 2017).

Donde,

H es el gradiente de pérdida de reflexión (0.25 para la arena), H (m) es la profundidad, $\pi = 3.14$, $R_{ref} = 1\text{m}$, $N = 15$ es el coeficiente de atenuación (Ec.6).

I.II. Contaminación acústica submarina

Los efectos que produce el impacto de la contaminación acústica en el medio marino dependen de: las características de la fuente sonora, como el contenido de frecuencia, su duración para los sonidos continuos y para los intermitentes o impulsivos, el ciclo de trabajo y el número de impulsos totales. Además de esto, como ya se ha visto anteriormente, la velocidad de sonido depende del medio por lo que la propagación del sonido depende de la ubicación, los estados del mar, la composición del fondo marino y la profundidad del agua (David, 2011).

En este apartado se presenta una revisión de las principales fuentes de ruido tanto naturales como antropogénicas.

Por parte de las fuentes naturales, se generan a partir de procesos físicos producidos en la corteza terrestre como volcanes y terremotos, procesos biológicos como las vocalizaciones de algunos animales. Además de esto, el viento produce ruido principalmente por las olas, aunque los niveles de este vienen dados por la duración, la velocidad, la profundidad del agua, la batimetría y la proximidad a la costa. A partir de la regla de Wenz (1962), la cual es válida hasta 20kHz los niveles del espectro de ruido ambiental dependientes del viento sin tener en cuenta las desviaciones locales, son:

- Disminución de 5 dB por octava en el nivel espectral cuando se incrementa la frecuencia entre 500 Hz y 5 kHz.
- Un incremento de 5 dB en el espectro, cada vez que se dobla la velocidad del viento entre 2,5 y 40 nudos (5-75 km/h).
- Cuando la velocidad del viento es de 5 nudos (9 km/h) el nivel del espectro a 1 kHz en aguas profundas es 51 dB re1 Pa²/Hz.
- Cuando la velocidad del viento es de 5 nudos (9 km/h) el nivel de espectro a 1 kHz en aguas poco profundas es de 51 dB re1 mPa²/Hz. En aguas so-meras es 5 dB mayor, es decir, 56 dB re1 mPa²/Hz.

En relación con el viento, se encuentra los procesos meteorológicos extremos como los huracanes, los cuales se ha identificado que son una fuente de ruido (Ashokan et al., 2018). Por ello, un aumento de este tipo de fenómenos a causa del cambio climático (Pérez, 2021), produciría mayor nivel de ruido en el medio oceánico.

Por parte del ruido de fuente antropogénica encontramos varias actividades. En primer lugar, el tráfico marítimo produce frecuencias por debajo de 1 kHz, las pequeñas embarcaciones de recreo generan sonido de 1 kHz hasta 50 kHz (Evans, 1996). En segundo lugar, la extracción de petróleo y gas las cuales producen fuentes de ruido continuas o impulsivas y transitorias o permanentes. En tercer lugar, las actividades militares, concretamente el sónar, estos producen sonidos cortos en una sola dirección. En cuarto lugar, se encuentra las operaciones de dragado. Y, por último, en quinto lugar se sitúan los parques eólicos marinos.

Dichas actividades pueden crear un impacto en animales marinos como los odontocetos (Redondo y Ruiz, 2017). De manera que, dependiendo de la frecuencia, puede afectar a unas especies u otras. A baja frecuencia puede afectar a los cachalotes y a los zifios; por el contrario, a alta frecuencia afecta en mayor medida a los pequeños odontocetos. Algunos estudios han relacionado la contaminación acústica producida por el sónar (Watkins et al, 1985; Rendell et al, 1999) o por el dragado marinos (Richardson et al, 1985a, 1985b; Wartzok et al, 1989) con la disminución de avistamientos de mamíferos marinos. Por parte de los parques eólicos, estos tienen exigida la evaluación de impacto ambiental (EIA), están incluidos en el anejo II, grupo 4 h) de la LEA (Ley 21/2013, de evaluación ambiental): Instalaciones para producción de energía en medio marino, aunque no se tienen información detallada sobre los posibles impactos negativos hacia los cetáceos (Redondo y Mateo, 2017).

La legislación que regula los niveles de ruido a nivel nacional actualmente es la Ley 37/2003 del Ruido, así como la Ley 41/2010 de Protección del Medio Marino, la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y la Biodiversidad y la Ley 9/2006 de Evaluación de Impacto Ambiental, en las cuales implementa los niveles de ruido terrestres y acuáticos. Además de esto, la contaminación acústica marina se contempla en el marco del Derecho Internacional, a través de instrumentos normativos y de resoluciones, procedentes de diferentes instituciones tales como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU-PNUMA), la Organización Marítima Internacional (OMI), la Convención sobre el Derecho del Mar de las Naciones Unidas (UNCLOS), las instituciones de la Unión Europea así como numerosos convenios de gestión y conservación del medio marino, tales como OSPAR1 , ACCOBAMS2 , ASCOBANS3 , CBI4 , etc. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012)

I.III. Cetáceos y acústica

Los grupos de especies que se suelen considerar como receptores de los impactos acústicos son: los cetáceos Mysticetos, los pinnípedos fócidos, los otáridos, las tortugas marinas, los peces y los invertebrados marinos. Estos daños pueden ser mortalidad y daños permanentes (fisiológicos y físicos no auditivos), daños auditivos permanentes y temporales, cambios de comportamiento, como evitación o molestias, confusión por enmascaramiento de sonidos útiles como la comunicación o la ecolocalización (Anexo 1).

Existe gran variabilidad en el impacto producido por el ruido entre las diferentes especies o incluso dentro de la misma especie. A pesar de esto, hay semejanzas suficientes para establecer unos patrones auditivos por grupos de especies. La percepción del sonido depende tanto de la frecuencia como de la intensidad (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012).

Concretamente, para los mamíferos marinos se han realizado investigaciones con el fin de proponer criterios de exposición para ciertos efectos. (Southall et al, 2007), convirtiéndose este documento en una referencia para el establecimiento de criterios por diversas Administraciones como U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS).

Tabla 1. Rango de audiciones para mamíferos marinos (NMFS 2013).

Grupo de audición funcional	Rango de audición funcional
Cetáceos, baja frecuencia (misticetos)	7 Hz a 30 kHz
Cetáceos, frecuencia media (delfines, odontocetos)	150 Hz a 160 kHz
Cetáceos, alta frecuencia (marsopas, delfines de río, Kogia, Cephalorhynchus, Lagenorhynchus cruciger y L. australis)	200 Hz a 180 kHz
Pinnípedos fócidos (focas verdaderas)	75 Hz a 100 kHz
Pinnípedos otáridos (leones y lobos marinos)	100 Hz a 40 kHz

Uno de los efectos más dramáticos producidos en los mamíferos marinos es la lesión permanente del oído interno de los mamíferos marinos (desplazamiento umbral permanente), ya que estos órganos son los más sensibles al sonido. Esto puede producir la muerte en esta fauna debido a que pierden la capacidad de comunicación y orientación. De hecho, se han registrado numerosos casos de mamíferos marinos que vararon y murieron con lesiones en el oído interno (David, 2011). Se han observado también otros efectos menos extremos, como es el desplazamiento temporal del umbral debido a los altos niveles de presión sonora. Dicho efecto produce una pérdida temporal de la sensibilidad auditiva, volviendo a la normalidad tiempo después (David, 2011). Otro efecto que produce la contaminación acústica en este grupo de mamíferos es un empeoramiento en la comunicación social ya que los cetáceos dependen en gran medida de las señales acústicas para la comunicarse (Viana, 2022).

Con el fin de mitigar los efectos de la contaminación acústica, en España se ha establecido en el Documento Técnico sobre impactos y mitigación de la contaminación acústica marina los niveles de seguridad y zonas de exclusión (MAGRA-MA, 2012). En dicho documento se especifica que el nivel de seguridad más aceptado por la industria sísmica para reducir el impacto en la fauna marina es de 180 dB re (SACLANTCEN, 1998).

Por parte de los niveles de seguridad, en NMFS (2013), se evalúan efectos sobre los mamíferos marinos para las lesiones auditivas estableciendo un doble criterio. Por un lado, un umbral para la presión de pico, y, por otro lado, para la energía acumulada. Teniendo en cuenta si es una lesión permanente o temporal o si es un ruido impulsivo o no impulsivo, así como el tiempo que dura la actividad impactante.

Por parte de las zonas de exclusión, este se define como el radio horizontal alrededor de una fuente de ruido dentro del cual se llevan a cabo medidas de mitigación en tiempo real en caso de que se detecten individuos de determinados grupos de especies.

Al evaluar los impactos se deben tener en cuenta las diferencias en las condiciones locales que pueden afectar a la propagación del sonido, como la profundidad, el tipo de fondo, el tamaño y el tipo de la fuente. Un ejemplo de ello es el impacto acústico que reciben los odontocetos debido a la inserción de estos, producido por su comportamiento, en el canal de fijación SOFAR. Dicho canal produce que el sonido viaje de manera eficiente a distancias de cientos de kilómetros, produciendo así gran contaminación acústica. Con mayor detalle, la metodología para una evaluación de impacto ambiental puede ser la siguiente:

- Caracterización de la fuente de ruido.
- Conocimiento de la batimetría, composición del fondo, perfiles de temperatura y salinidad.
- Cálculo de la pérdida por transmisión, para determinar el nivel de presión sonora, dependiendo de la batimetría de la zona.
- Cálculo de la zona de exclusión o el radio de seguridad de cada nivel de presión.
- Obtención del daño en función del umbral.
- Conocer la probabilidad, densidad y tipología de animales en la zona, según el radio de seguridad de cada nivel de presión.
- Medidas preventivas y correctoras.
- Estudio de riesgos, las fuentes de ruido y la fauna marina.

En la actualidad, no existe en España ninguna normativa legal que establezca umbrales cuantitativos de ruido subacuático como criterios de evaluación de impactos. Esta situación se repite en la mayoría de los países, a pesar de que en algunos se haya establecido protocolos o directrices para minimizar los impactos del ruido submarino generado por ciertas actividades. Pese a ello, los únicos países que tienen umbrales cuantitativos de ruido subacuático como criterios de evaluación de impactos so EE.UU., el Reino Unido y Nueva Zelanda.

I.IV. Cetáceos

Los mamíferos marinos desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas oceánicos como depredadores principales. En los últimos años, se han adquirido importantes conocimientos sobre su influencia en el almacenamiento de carbono a nivel mundial y en la salud de la pesca comercial (Roman et al., 2014). Además de esto, su distribución puede proporcionar información sobre los cambios a corto y largo plazo en ecosistemas en conservación. A causa de su naturaleza pelágica y altamente móvil, se ha dificultado el estudio de sus distribuciones y patrones de comportamiento espacio-temporales. Por ello el seguimiento de los mamíferos marinos a partir de las metodologías tradicionales ha sido complejo. El seguimiento de los mamíferos marinos mediante estudios tradicionales (Barlow et al., 2004). Debido a ello, en las últimas décadas se han sacado enfoques innovadores en la investigación de los mamíferos marinos. El monitoreo acústico pasivo (PAM) es una alternativa factible para el estudio de los cetáceos debido a la utilización de sonidos por parte de estos para comunicarse, orientarse, evitar depredadores y alimento por ecolocalización. Especialmente para los cetáceos de inmersión profunda, este tipo de monitoreo ha ayudado en su investigación ya que estos animales se sumergen por debajo de los 500m, siendo este un medio de gran oscuridad (Schevill y McBride, 1956). Los métodos PAM, utilizan hidrófonos remolcados (Barlow y Taylor, 2005; Norris et al., 1999), entre otros, con el fin de detectar los clicks producidos por los cetáceos. De manera que, puede monitorearse a grandes escalas temporales y espaciales, independientemente de la visibilidad siempre y cuando los mamíferos estén emitiendo sonidos (Solsona, 2018). Las investigaciones más actuales del método PAM se centran en el desarrollo de métodos eficientes para la detección y clasificación automática de las señales grabadas. Estos tienen la finalidad de mejorar el rendimiento de este método debido a la cantidad de datos grabados (Bittle y Duncan, 2013).

Durante los últimos 50 años, se han estudiado con detalle las vocalizaciones de los mamíferos marinos (Au y Hastings 2008; Backus & Schevill 1966; Gavrilov et al. 2011). Dichas vocalizaciones pueden ser sonidos sociales o sonidos de ecolocalización (Au & Hastings 2008). Su clasificación en especies es complicada debido a la diversidad de factores que influyen, como la zona geográfica, la edad, si están en época de cría, entre otros. A pesar de esto, se han estudiados rangos específicos para cada especie y se considera que el rango de frecuencias en el que se encuentran las vocalizaciones y la audición de los mamíferos marinos es de 7 Hz a 180 kHz (Bittle y Duncan, 2013).

I.IV.I. Delfínidos (*Delphinus delphis* y *Tursiops truncatus*)

Por parte de los delfínidos, sus avanzadas habilidades cognitivas les permite tener un amplio repertorio vocal y la posibilidad de ser modificado a lo largo de su vida. Su sistema auditivo tiene un rango que varía de alrededor de 50 Hz a más de 150 kHz (Richardson et al, 1995). Sus interacciones vocales se utilizan con un fin social directo ya que viven en complejas redes sociales. Estas vocalizaciones pueden ser silbidos, clicks y pulsos de ráfaga. Los primeros son señales tonales con una frecuencia entre 800 Hz y 28.5 kHz. Son sonidos de banda estrecha, de frecuencia modulada, cuya duración oscila entre varias décimas de segundo y varios segundos. En segundo lugar, los clics son relativamente de banda ancha, señales cortas que a menudo llegan muy lejos en el rango ultrasónico. Los clics son utilizados para la ecolocalización y para la comunicación. Y, en tercer lugar, las señales pulsadas por ráfaga consisten en trenes de clic rápido. son trenes de chasquidos con intervalos muy cortos (menos de 10 ms) que hacen que los chasquidos individuales sean indistinguibles al oído humano. Su finalidad es comunicativa Además de esto, Los delfines comunes (*Delphinus delphis*) (Fig.1) también producen zumbidos y otros sonidos pulsados no silbantes, ocasionalmente denominados ladridos, aullidos o chillidos (Henderson, 2012)



Figura 1. Delfín común (Delphinus delphis) (izquierda) y delfín mular (Tursiops truncatus) (derecha). Fuente: CRAM, 2022.

Los delfines pueden producir silbidos y pulsos de ráfagas a la vez. Por ello, según algunos estudios se cree que los delfínidos tienen dos estructuras productoras de sonido. Estas consisten en bolsas dorsales de grasa dentro de un par de labios fónicos una en el conducto nasal izquierdo y otra en el derecho (Oswald, 2021).

I.IV.II. Cachalote (*Physeter macrocephalus*)

El cachalote (*Physeter macrocephalus*) (Fig. 2) es un mamífero marino que se encuentra repartida por todo el mundo. Concretamente, la población mediterránea comprende menos de 2500 individuos maduros, los cuales están catalogados como “En Peligro” en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN2. Estos cetáceos, han ido evolucionando en entornos muy antropizados, los cuales han implicado amenazas como la captura, las colisiones con embarcaciones o la ingestión de residuos sólidos. A esto se le añade uno de los mayores impactos que es la acústica submarina: el tráfico marítimo y las actividades militares. Produciendo cambios en el comportamiento de estos (Taylor, 2019).



Imagen 2. Cachalote (*Physeter macrocephalus*). Fuente: CRAM, 2022.

Por parte de las vocalizaciones de estos cetáceos, durante las inmersiones, los cachalotes emiten trenes de clics y, para la socialización, emiten pequeñas series rítmicas de clics (Codas) (Goold, 1995). Estos clics son de gran potencia pudiendo llegar hasta 230 dB re: 1 $\mu\text{Pa rms}$ (23). Este impulso se produce gracias a la morfología del animal. De manera que este crea un pulso inicial en la parte delantera de su cabeza, en el 'museau de singe' que luego rebotara hacia adelante y hacia atrás en su cabeza, pasando a través de múltiples sacos de aceite, antes de salir. El sonido inicial se filtra hacia adelante en el agua y hacia atrás dentro de la cabeza del animal (pasando a través de los espermatozoides), antes de ser reflejado hacia adelante (por el saco nasofrontal lleno de aire): es el Pulso 1 (P1). Esta reflexión ocurre varias veces, formando el P2, P3, etc. En 1972, Norris et al. propuso que el intervalo de sonido describe el tiempo que tarda el sonido en viajar por la cabeza del cachalote, relacionando el tamaño del animal con el intervalo de sonido (Poupard, 2022).

I.IV.III. Calderón común (*Globicephala melas*)

El calderón común (*Globicephala melas*) (Fig.3) pertenece a la familia de delfínidos (Jiang et al, 2019). Está incluido en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) y en el Apéndice II de la Convención sobre Especies Migratorias (CMS). Esta especie se encuentra principalmente a unos 100m de profundidad debido a la localización de sus principales presas los cefalópodos. Por parte de su estructura social, estos animales forman grupos de unos 11-14 individuos (Vester et al., 2017).



Figura 3. Calderón común (*Globicephala melas*) Fuente: CRAM, 2022.

El calderón común (Fig.3) produce clics, zumbidos, silbidos y una variedad de llamadas para comunicarse, siendo estas más complejas cuanto más activo esté el individuo. La frecuencia media de *Globicephala melas* es 4480Hz (Olson, 2018), aunque pueden llegar hasta más de 60kHz. Estas llamadas pueden ser de dos voces con un elemento de mayor frecuencia y otro con menor frecuencia (Vester et al., 2017).

I.V. Caracterización de la zona

Los Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón (Fig.4) está situado entre la isla del Fraile en el Municipio de Águilas hasta una distancia de 11.79 km al este hasta el cabo de Palos, Cartagena. Alcanza en su límite exterior meridional una amplitud máxima de 88,16 km así como un ancho máximo en la parte más oriental de 26,85 km, cubriendo una superficie total de 154.080,571 ha. Constituye una zona de transición entre el Mar Mediterráneo, el Mar de Alborán y el Océano Atlántico, produciendo una zona de mezcla

y divergencia de aguas, enriqueciendo así sus aguas de nutrientes y alto contenido en oxígeno. La profundidad varía desde 20-25 m en la zona más próxima al litoral, llegando a alcanzar los 2000 metros de profundidad en su sector más meridional. El escarpe de Mazarrón, como elemento más relevante de la fisiografía de la zona, es una imponente pared submarina resultado de grandes fallas que delimitan la plataforma y talud continental de la extensa llanura abisal Argelo-Balear, de más de 2.600 m de profundidad. Algunos de los valles submarinos más destacados son: Negrete, Tiñoso y Espada (Natura 2000, 2022).

Estas características hacen de este espacio protegido sea una zona de gran riqueza en cuanto a flora y fauna marina y en especial, en un lugar de elevada importancia para numerosas especies marinas pelágicas de interés, entre las que se encuentra la tortuga boba (*Caretta caretta*) y numerosas especies de cetáceos, siendo un corredor migratorio y zona de alimentación: de gran importancia para estos. Algunas de las poblaciones más importantes son calderón común (*Globicephala melas*), calderón gris (*Grampus griseus*), la presencia ocasional de ejemplares de zifio de Cuvier (*Ziphius cavirostris*) y la habitual presencia en épocas migratorias de ejemplares de cachalote (*Physeter macrocephalus*) y de rorcual común (*Balaenoptera physalus*). Supone además una zona relevante para especies de delfínidos como el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*) o el delfín común (*Delphinus delphis*). Por su parte, el delfín mular (*Tursiops truncatus*), muestra en el espacio protegido preferencia por zonas de plataforma continental, no siendo corriente observarlos en aguas con profundidades superiores a 1000 metros (BOE-A-2016-7738, 2020).

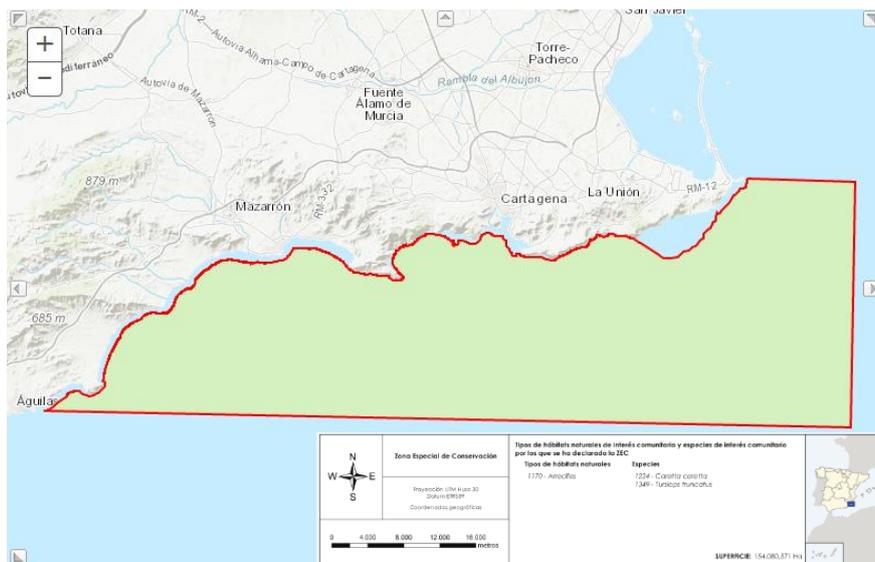


Figura 4. Delimitación geográfica de los Valles Submarinos del Escarpe de Mazarrón (ZEC – ES6200048). Situados frente a la costa de Murcia. Fuente: Natura 2000 (2022).

Por ello, en 2016 se aprueba medidas de conservación para el ZEC ES6200048, Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón (BOE-A-2016-7738, 2020).

II. OBJETIVOS

Los objetivos principales de este Trabajo Final de Máster son los siguientes:

- Generación de un filtro para la detección automática de clics de cetáceos.
- Configuración de un filtro para localizar automáticamente la dirección de la fuente acústica.

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.
- Localización de los individuos/grupos de individuos de especies de interés en el área en la que desarrolla este trabajo.

III. MATERIALES Y METODOS

III.I. Diseño de transectos

Para la realización del muestreo se elaboró un muestreo compuesto por un total de 10 transectos, realizados con Rstudio con el paquete “dssd”. Se escogió el modelo tipo espacio igual en zigzag con una orientación de 90° (Fig.5).

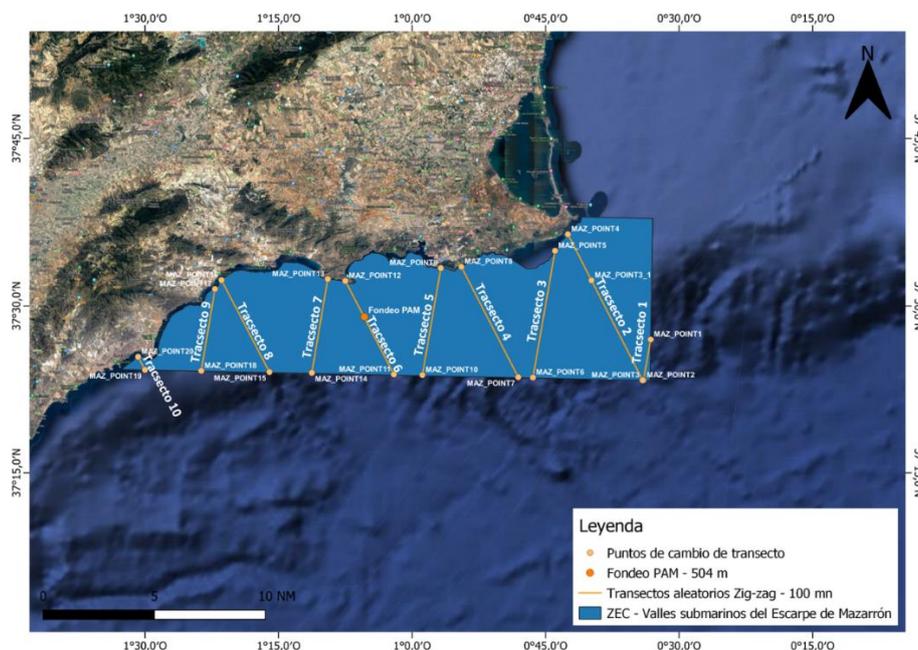


Figura 5. Diseño final del muestreo de la Bahía de Mazarrón para el estudio de la presencia de los cetáceos. Fuente: B. Feliu Tena.

Sin embargo, este diseño preparado fue modificado durante el muestreo. Finalmente se realizaron 9 transectos como se puede observar en la figura 6.

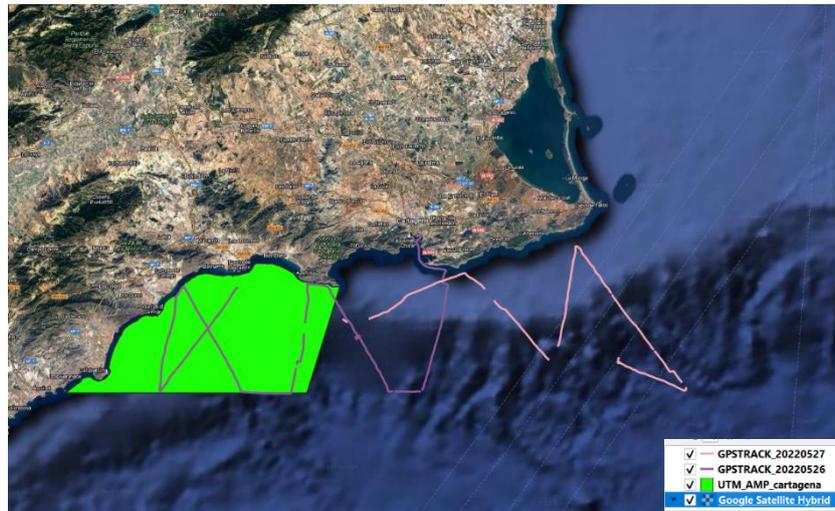


Figura 6. Transectos que finalmente se realizaron en el muestreo de la Bahía de Mazarrón para el estudio de la presencia de los cetáceos. Fuente: B. Feliu Tena.

III.II. Material

El sistema experimental consiste en un sistema acústico pasivo (PAM) que nos permite registrar las señales acústicas de nuestro entorno. El montaje utilizado consta de diversos instrumentos: los hidrófonos de arrastre, el amplificador, el PC (con los software PAMGuard y Audacity), una tarjeta de sonido y el cable (Fig.7).

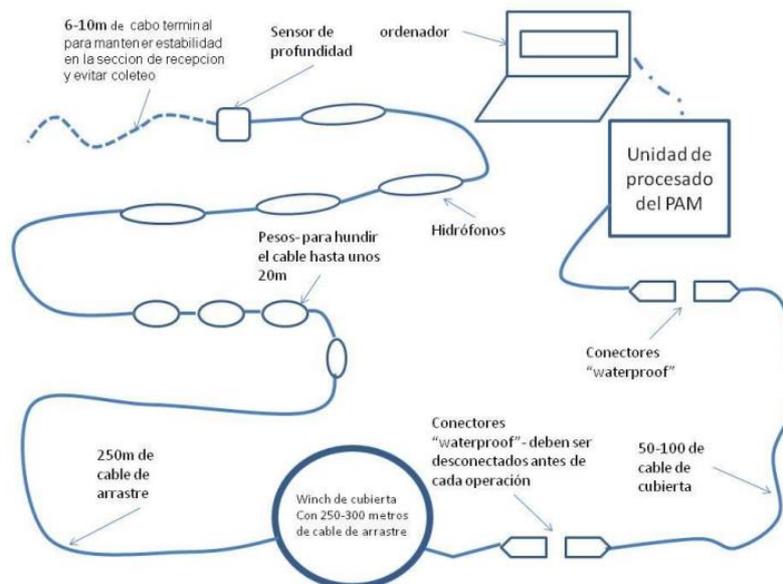


Figura 7. Esquema de un equipo PAM. Fuente: Chicote y Castellote, 2013.

En primer lugar, hidrófono, el cual es alimentando por el cable con 48 voltios, convierte las ondas acústicas en señales eléctricas. Estas ondas viajan por el cable hasta el amplificador de la señal del hidrófono, este convierte la carga en una señal remota (Fernández, 2016), y hasta la tarjeta de sonido, en este caso era una tarjeta Focusrite de dos canales. Esta es un dispositivo de adquisición de señales y va conectada por un lado a un ordenador Dell ruborizado que ejecuta el software PAMGuard y al Audacity, y por otro lado al hidrófono. Una vez la señal llega a la tarjeta de sonido, esta se convierte en señal digital para poder ser procesada por los software.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que se realizó con la embarcación Goleta Karyam, de la empresa Navegación y Cetáceos, y con una velocidad de 7 nudos. Además, 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 (Fig.8).

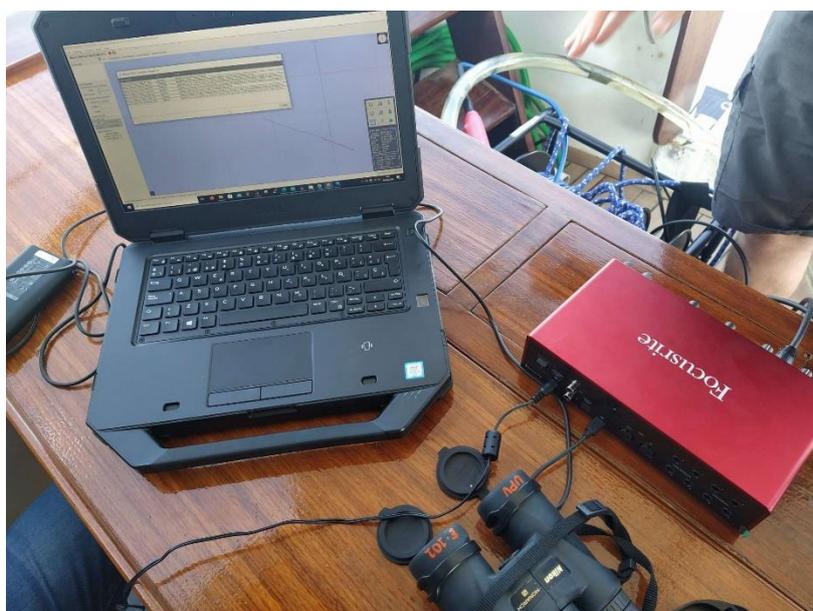


Figura 8. Equipo utilizado en la campaña de detección de cetáceos en el AMP del escarpe de Mazarrón Fuente: Elaboración propia.

III.III. Hidrófono

La bioacústica marina consiste en la utilización de la acústica en el estudio de las capacidades auditivas, la producción del sonido para las ecolocalizaciones y los comportamientos de los animales marinos. Para ello, son muy utilizados los estudios acústicos pasivos con hidrófonos remolcados (Fig.9). Los cuales, se llevan a cabo

utilizando un conjunto corto y lineal de hidrófonos remolcados detrás de una embarcación (Leaper et al., 2000).

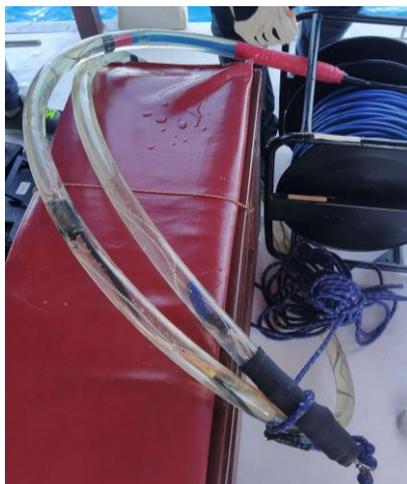


Figura 9. Representación del hidrófono de arrastre utilizado en la campaña de Cartagena.

Fuente: elaboración propia.

El hidrófono (Fig.10) es un transductor piezoeléctrico que se utiliza para captar ondas de sonido convirtiendo la energía acústica la cual es procesada en energía eléctrica que entra en el sistema como una señal analógica (Bittle, 2013) y es representada, en este caso, por el software PAMGuard. Los hidrófonos están formados por una o más piezas que vibran, contrayéndose y expandiéndose cuando pasa una señal por ellas, produciendo así un sonido a una determinada frecuencia. Esto conlleva a un cambio de presión que cuando aumenta, una membrana dentro del transductor mueve una pequeña varilla que presiona una pieza haciendo que vibre. Además de esto, el hidrófono genera ondas en otras frecuencias además de la que queremos generar debido a la inercia del agua, a esto se le denomina armónicos y son comunes en los mamíferos marinos. Cabe destacar que, los hidrófonos tienen unas características, como la sensibilidad ($\text{dB re V/ } \mu\text{Pa}$), la cual ayuda a conocer la frecuencia a la que ha recibido la señal, debido a que cuanto más sensible sea un hidrófono, mayor capacidad tendrá de captar una onda acústica aunque esta tenga poca intensidad.



Figura 10. Hidrófono utilizado en la campaña de detección de cetáceos en el AMP del escarpe de Mazarrón.

La utilización de dos hidrófonos remolcados para la campaña de detección de cetáceos en el AMP del escarpe de Mazarrón presenta ventajas debido a la detección de estos animales sin la necesidad de ser detectados visualmente. Al utilizar dos hidrófonos, mejora la capacidad de detección y localización de mamíferos marinos. De manera que como se puede observar en la figura 11, 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 consiguiente, la presión recibida también será mayor en H_1 . Esta diferencia también se puede ver afectada por la reflexión del fondo y de la superficie. A pesar de esto, si la señal llegase al mismo tiempo a los dos hidrófonos, dificultaría la localización del animal. Por ello, para mejorar la precisión sería conveniente conocer las condiciones de propagación y que la fuente de sonido este relativamente más cercana de un hidrófono que del otro hidrófono.

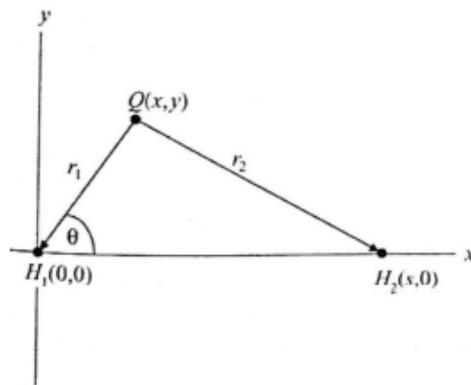


Figura 11. Representación de la recepción de los dos hidrófonos H_1 y H_2 del sonido de la fuente $Q(x, y)$. Fuente: Medwin, 2005

Teniendo en cuenta esta diferencia de nivel recibido, como se puede observar en la figura 12, se establece que la fuente se encuentra en la superficie de una esfera. Dicha esfera se encuentra en un radio donde las intersecciones de las posiciones de las fuentes se encuentran 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 (Medwin, 2005). De manera que, sabiendo la diferencia de tiempo, se puede hallar la posición del objeto dentro de la parábola a la que corresponde. Durante la campaña, este paso ha sido simplificado con la herramienta *Display Radar* del software PAMGuard.

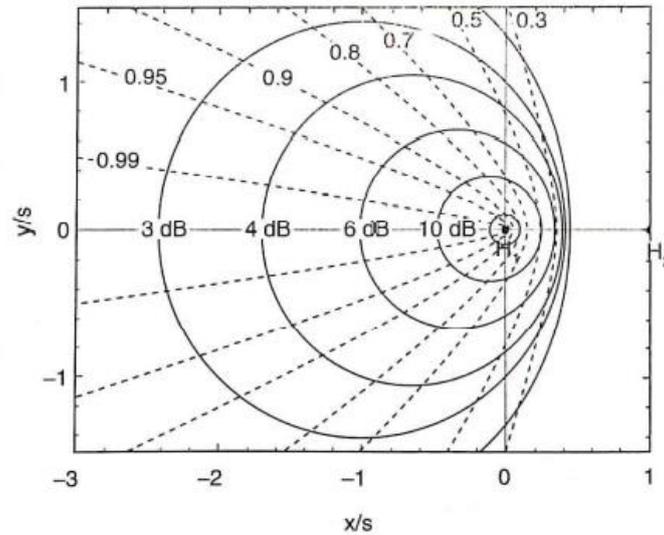


Figura 12. Localización de una fuente en el plano de la intersección del círculo determinado por la diferencia de niveles y la hipérbola determinada por la diferencia de tiempos de llegada.

Fuente: Medwin, 2005.

El hidrófono de arrastre utilizado en la campaña (Tabla 2) 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.

Tabla 2. Especificaciones del hidrófono H1c

Especificaciones H1c	
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

III.IV. Software PAMGuard

El programa PAMGuard se creó con el fin de proporcionar una infraestructura de software estándar para la detección, localización y clasificación acústica, además de para mitigar los daños a los mamíferos marinos y para la investigación de estos, conociendo su abundancia, distribución y comportamiento. PAMGuard es un software de modelización acústica pasiva (PAM) de código abierto basado en una plataforma independiente, flexible y de arquitectura modular. Dicha arquitectura facilita incorporar nuevos módulos a medida que se desarrollan con el fin de incluir funcionalidades adicionales de detección, localización, clasificación y visualización del sonido. Además de esto, su versatilidad también decae en que ofrece una interfaz software/hardware versátil para permitir la flexibilidad en la configuración de los equipos en el mar (número de hidrófonos, sensores, etc.) (PAMGuard, 2022). A pesar de que el desarrollo hasta ahora se ha centrado principalmente en la detección de cetáceos, el software es lo suficientemente flexible como para ser utilizado para muchas otras tareas de detección acústica y localización (Gillespie, 2008). Actualmente está financiado por OGP E and P Sound and Marine Life Joint Industry Program y el código abierto del software es facilitado por la presencia del proyecto SourceForge, ya que los desarrolladores proporcionan recursos adicionales. El desarrollo abierto significa que el software es gratuito y el acceso al código esté garantizado además de protegido. Mejorando e innovando de esta manera el código en beneficio del medio marino [2]. La API panguard ha sido diseñada de tal manera que se puede ampliar fácilmente para manejar datos visuales en el futuro. Claramente, tener datos visuales y acústicos juntos dentro de la misma pieza de software debería ayudar en gran medida al buen funcionamiento de las aplicaciones de mitigación y encuesta. Los resultados de los ensayos de campo indican que PAMGUARD puede proporcionar información útil en tiempo real sobre la ubicación de cetáceos cercanos al buque con el que se está muestreando. Sin embargo, no todos los cetáceos vocalizan todo el tiempo, por lo que PAM no puede considerarse como un método 100% efectivo para detectar este tipo de animales (Gillespie, 2008).

Concretamente, para la detección de ellos datos muestreados durante los días 26 y 27 de mayo de 2022, se ha creado un filtro llamado "H1C- 2022", basándose en datos de campañas anteriores con el fin de establecer la frecuencia y la intensidad necesarias para detectar los cetáceos muestreados durante dichos días. Este filtro se caracteriza por tener un rango de frecuencias entre 5 y 30 kHz y un rango de intensidad entre 31.5 y 88.5 dB

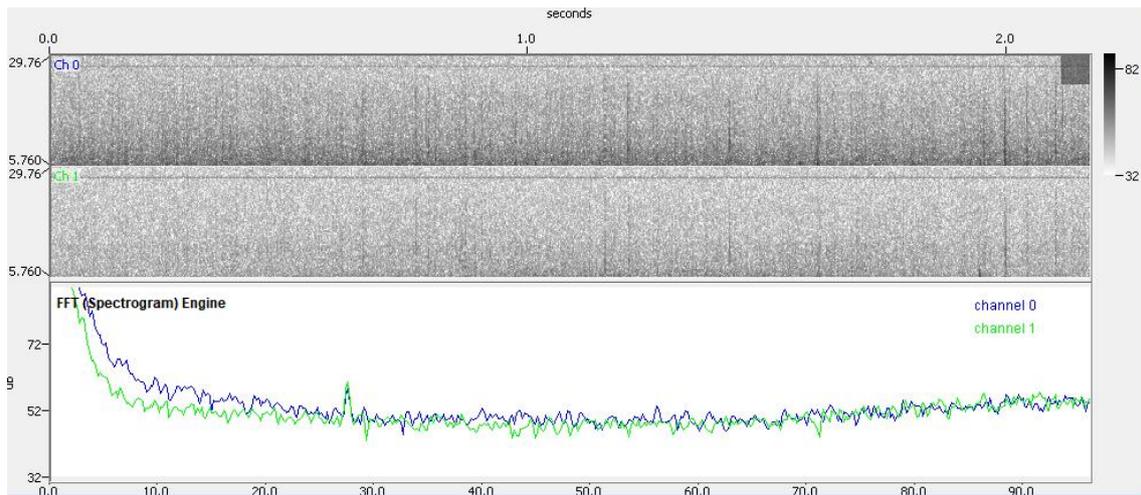


Figura 13. Filtro H1C- 2022. Fuente: elaboración propia

El radar (Fig.14) es utilizado para detectar el rumbo de cada silbido detectado 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, se puede modificar el tiempo de duración de la dirección del silbido que aparece en la pantalla, siendo en este caso 10 segundos.

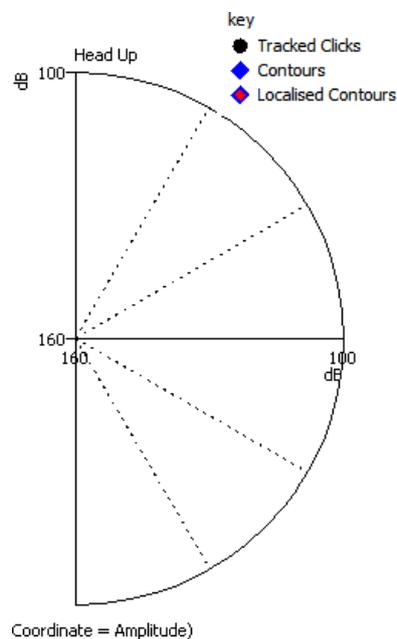


Figura 14. Display Radar utilizado para detectar el rumbo de los silbidos. Fuente: elaboración propia.

III.V. Software Audacity

Audacity es un software de edición de audio y grabación de sonido multipista con un código gratuito y abierto para cualquier sistema operativo (Audacity, 2020). Presenta la capacidad de grabación en vivo a través de un micrófono, en este caso sería a través del hidrófono de arrastre, para la posterior edición y uso de datos muestreados.

Concretamente para este trabajo, este programa sirve de apoyo al software PAMGuard debido a 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 representar visualmente los dos canales (Fig. 14). Asimismo, 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) o modificar el rango (dB) y ganancia (dB). P

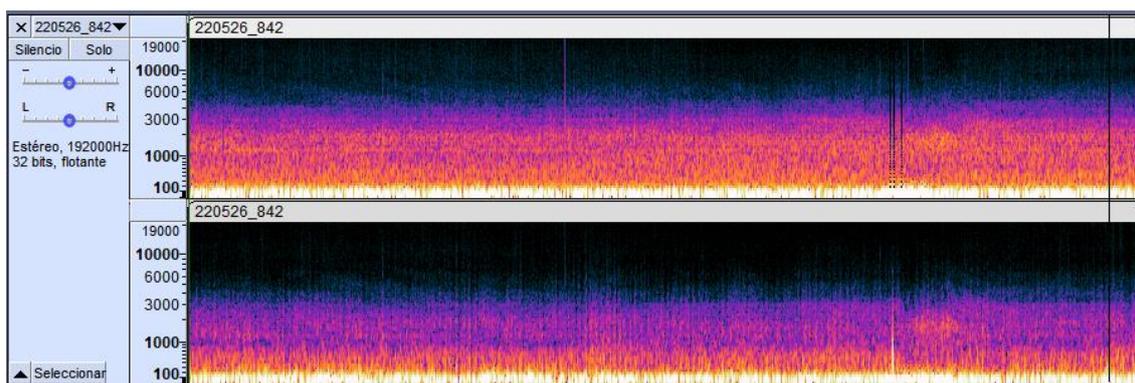


Figura 14. Ventana de trabajo del software Audacity. Fuente: elaboración propia.

III.VI. Procedimiento

El procedimiento consiste en tres fases:

- Largado de hidrófonos y montaje de sistema. Mediante Rstudio 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.

- Adquisición de datos: visualización y localización in situ. Para este apartado se utiliza el programa Audacity y el software PAMGuard con su respectivo filtro. Dicho filtro

presenta las siguientes características: un rango de frecuencia entre los 2kHz y 20 kHz y con un rango de intensidad de sonido entre los 30 dB y 180 dB.

- Procesado y análisis de datos. Una vez acabada la campaña, se procede al análisis de los datos obtenidos. Mediante el programa Audacity se vuelven a procesar los audios obtenidos en el muestreo con el fin de poder detectar los silbidos y los clicks de los cetáceos. A continuación, teniendo en cuenta las frecuencias utilizadas por los cetáceos muestreados, se utiliza el efecto Ecualizador del sonido, con el fin de poder escuchar mejor estos silbidos. 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. 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 censado.

IV. RESULTADOS

IV.I. Filtro

Para la realización del filtro en PAMGuard se estableció un rango de frecuencias entre 5 y 30 kHz y un rango de intensidad de 31.5 a 88.5 dB re1 μPa debido al rango de frecuencias entre los que se encuentran los cetáceos muestreados (Fig.15).

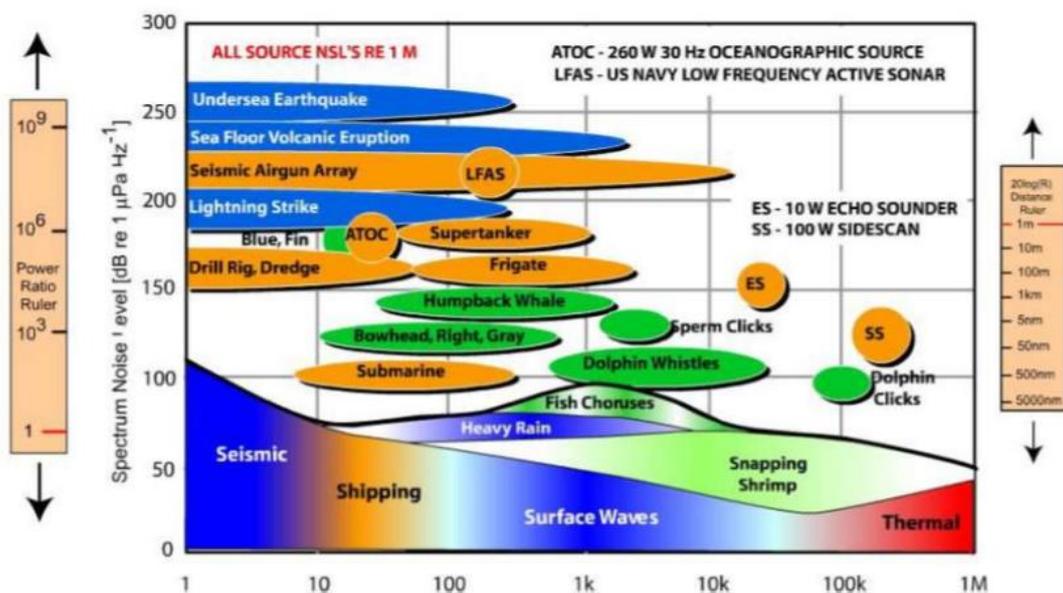


Figura 15. Fuentes de ruido en el medio marino. Fuente: Rodney F.W, 2001.

El modelo de datos creado para este filtro se puede observar en la figura 16. Este se conforma de varias partes. En primer lugar, el “Sound Acquisition” y el “NMEA data collection”, los cuales se encargan de la adquisición de datos y el intercambio de estos entre los diferentes instrumentos, respectivamente. Estos módulos a su vez están relacionados con: el “FFT (Spectrogram) Engine”, el “GPS Processing”, el “Click Detector”, “Sound recorder”, el “Sound Output”, el “Whistle and Moan Detector” y el mapa. Con el fin de visualizar en el PAMGuard audios grabados con anterioridad en un espectrograma, detectando vocalizaciones tonales en unas coordenadas concretas.

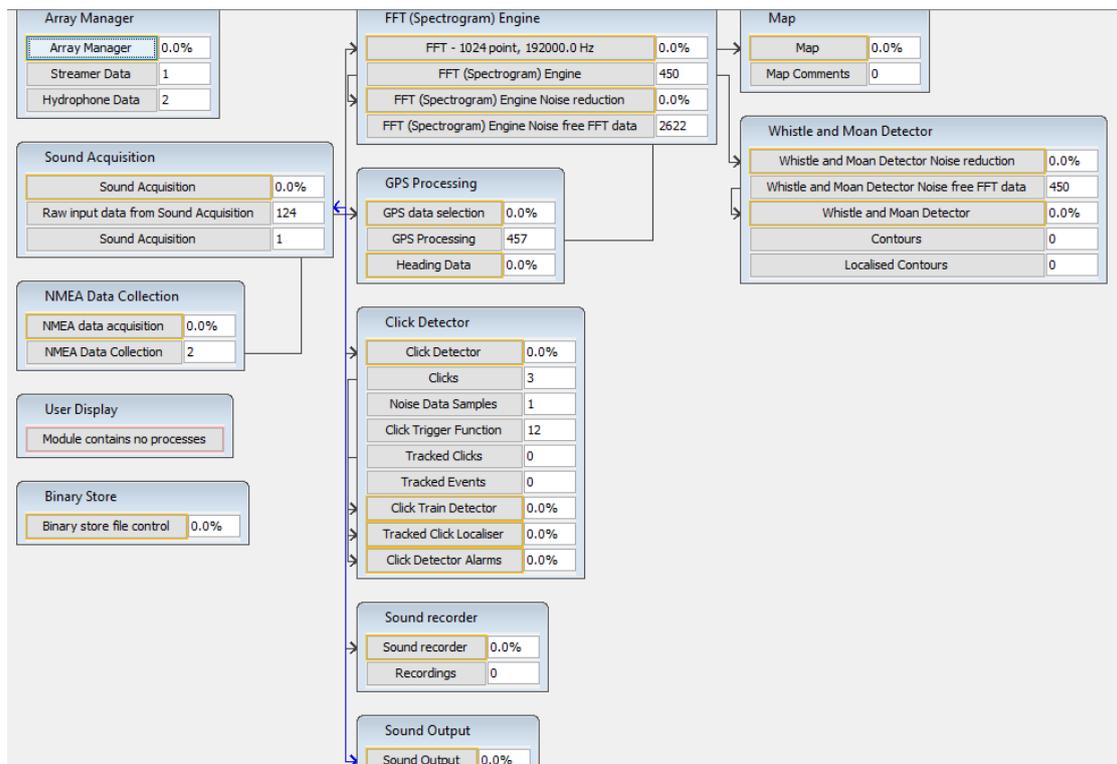


Figura 16. Modelo de datos del filtro H1C-2022. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 17, en la primera aparecen los espectrogramas de cada hidrófono donde van a ser visualizados los silbidos, en la segunda el espectrograma de la intensidad y en el tercero los clics detectados. Al costado derecho aparece el intervalo de intensidad máxima (88.5 dB) y mínima (31.5 dB) establecida. Al costado izquierdo el rango de las frecuencias desde la mínima de 5 kHz hasta la máxima de 30 kHz.

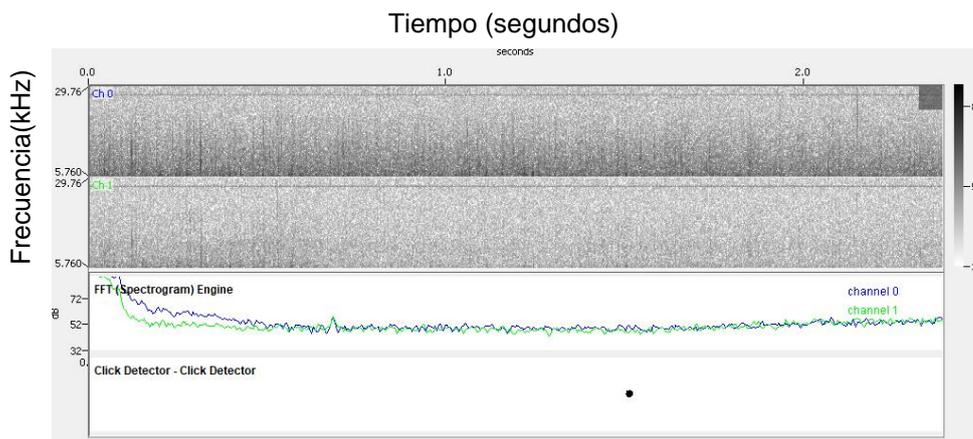


Figura 17. Filtro H1C-2022. Fuente: elaboración propia.

IV.II. Identificación de los sonidos emitidos por distintas especies

IV.II. I. Cachalote (*Physeter macrocephalus*)

Durante el día 26 de mayo de 2022 se registraron varios clics de cachalote en diferentes periodos (Tabla 3). Dichos periodos han sido seis. Los dos primeros consisten en detecciones visuales del mismo individuo, entre las cuales transcurre 15 minutos (10: 52h y 11:07h). La tercera detección se realizó acústicamente mediante el software PAMGuard, la cual duró 22 minutos (de las 13:06h a las 13:28h). La cuarta detección (día 26/04), también mediante el PAMGuard, se obtuvo una hora después, siendo esta de menor longitud (14:23h a 14:26h). Al igual que las dos anteriores, la quinta detección (día 26/04) se realizó acústicamente quince minutos después de registrar los últimos clics (14:52h a 14:57h), con una duración de cinco minutos. Por último, la quinta detección, se realizó e segundo día del muestreo (día 27/04) de las 12:59h a las 13:31h.

Tabla 3. Detecciones de cachalote (*Physeter macrocephalus*) visuales y con PAMGuard, especificando el día, la hora de inicio y final y modo de detección. Fuente: elaboración propia.

Día	Hora de inicio	Hora del final	Detección
26/05/2022	10:52	-	visual
26/05/2022	11:07	-	visual
26/05/2022	13:06	13:28	PAMGuard
26/05/2022	14:23	14:26	PAMGuard
26/05/2022	14:52	14:57	PAMGuard
27/05/2022	12:59	13:31	PAMGuard

Tanto en la figura 18 como en la 19 se puede observar clics de cachalote, con una diferencia de aproximadamente una hora entre ellos. Estos se definen como señales pulsadas, conocidas como codas, las cuales son de secuencias cortas (35 milisegundos), las cuales llegan a unas frecuencias de 5kHz con una intensidad de 10dB. Estos clics son utilizados por dicha especie para la comunicación entre individuos.

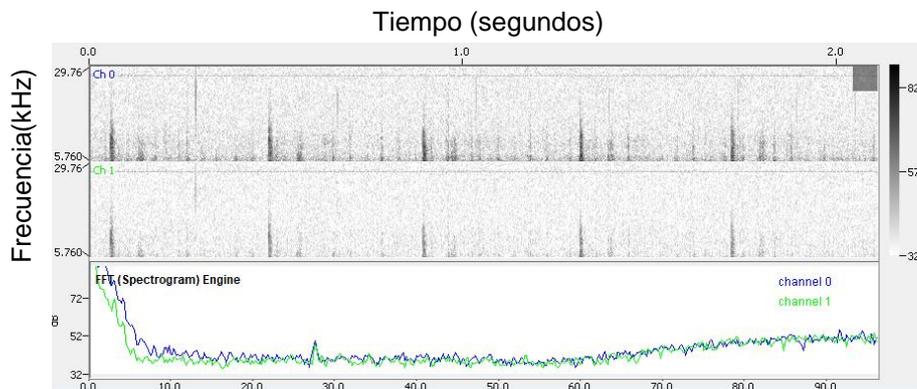


Figura 18. Espectrograma de clics de cachalote muestreado el 26 de mayo a las 13:13h.

Fuente: elaboración propia.

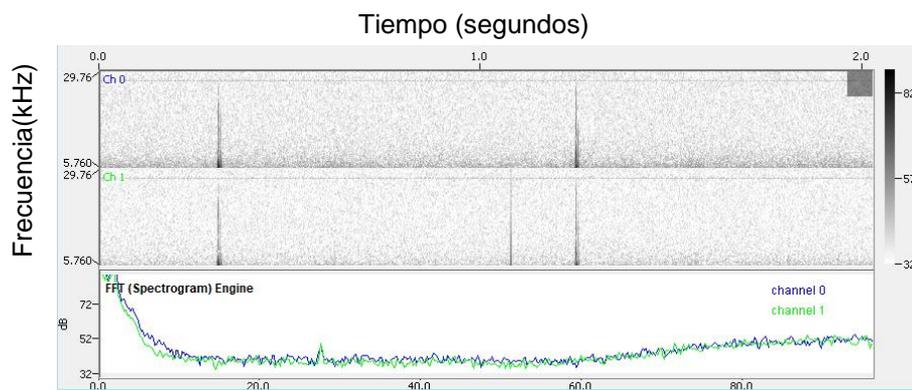


Figura 19. Espectrograma de clics de cachalote muestreado el 26 de mayo a las 14:25h.

Fuente: elaboración propia.

IV.II. II. Calderón común (*Globicephala melas*)

Durante el primer día de muestreo, el 26 de mayo de 2022, se registraron varias vocalizaciones de calderón común en cuatro diferentes periodos (Tabla x). Los dos primeros consisten en detecciones visuales, una a las 9:45h y otra a las 10:26h. dos horas después, se detectó la tercera acústicamente mediante el software PAMGuard, la cual duró 12 minutos (de las 12:27h a las 12:39h). Por último, durante el segundo día de muestreo (día 27/04) se detectaron visualmente un grupo a las 5:55h.

Tabla 4. Detecciones de calderones comunes (*Globicephala melas*) visuales y con PAMGuard, especificando el grupo, el día, la hora de inicio y final y modo de detección. Fuente: elaboración propia.

Grupo	Día	Hora de inicio	Hora del final	Detección
1	26/05/2022	9:45	9:48	visual
2	26/05/2022	10:26	10:26	visual
3	26/05/2022	12:27	12:39	PAMGuard
4	27/05/2022	5:55		visual

En la figura 20 se puede observar vocalizaciones tonales realizadas por el mismo grupo de calderones, concretamente se visualiza un silbido de baja frecuencia, por debajo de los 8kHz.

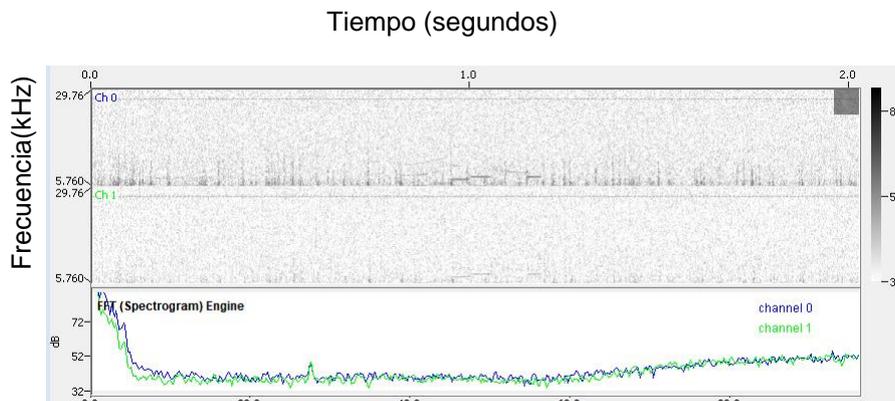


Figura 20. Espectrograma vocalización de calderón común (*Globicephala melas*) el 26 de mayo a las 12:28h. Fuente: elaboración propia.

IV.II. III. Delfínidos (*Delphinus delphis* y *Tursiops truncatus*)

Durante el primer día de muestreo, el 26 de mayo de 2022, se registraron cinco vocalizaciones de delfínidos (Tabla 5). La primera es una detección visual realizada a las 11:25h, la cual corresponde a un delfín mular. Las siguientes dos detecciones se realizaron mediante el software PAMGuard, una se realizó a las 11:33 hasta las 11:51, siendo probablemente el mismo grupo que la detección visual debido al poco tiempo que transcurre entre una detección y otra; la segunda se realizó aproximadamente media hora después, de las 12:09h a 12:11h. Seguidamente, hubo una detección visual realizada a las 12:43h, correspondiente a delfines mulares. Y, por último, una detección acústica mediante el software PAMGuard, concretamente, un silbido a las 12:54h.

Tabla 5. Detecciones de delfínidos (*Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*) visuales y con PAMGuard, especificando el grupo, el día, la hora de inicio y final y modo de detección. Fuente: elaboración propia.

Grupo	Día	Hora de inicio	Hora del final	Detección
1	26/05/2022	11:25	-	visual
1	26/05/2022	11:33	11:51	PAMGuard
2	26/05/2022	12:09	12:11	PAMGuard
3	26/05/2022	12:43	-	visual
3	26/05/2022	12:54	12:54	PAMGuard

En las figuras 21 y 22 se puede observar dos silbidos de delfínidos detectado uno media hora antes que el otro. Estos tienen las mismas características, lo que podría indicar que se trata del mismo grupo. Este tipo de silbidos se encuentran por debajo de los 10kHz.

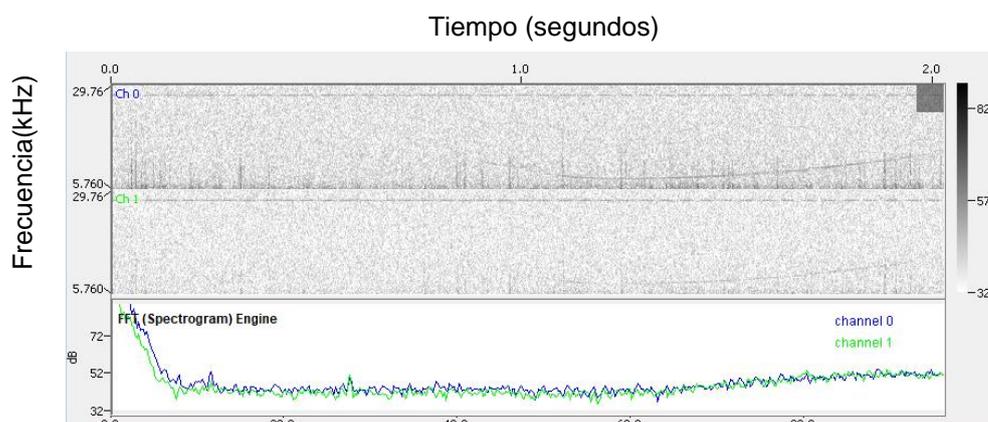


Figura 21. Silbido de delfín mular 11:47h del día 26 de mayo del 2022. Fuente: elaboración propia.

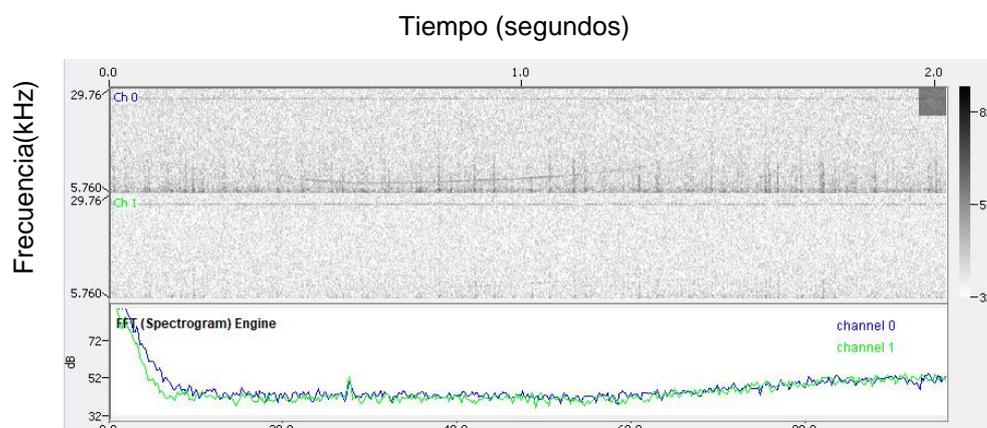


Figura 22. Silbido de delfín mular 12:09h del día 26 de mayo del 2022. Fuente: elaboración propia.

IV.III. Localización de las especies

A continuación, se va a mostrar imágenes del Display radar, una pestaña del software PAMGuard, incluida en el filtro realizado (H1C-2022) con el fin de conocer el rumbo de los individuos detectados.

IV.III.I. Cachalote (*Physeter macrocephalus*)

En las figuras 23 y 24 se puede observar el rumbo del cachalote muestreado a la misma hora en días diferentes. En la figura 23 se observa la detección el día 26 de mayo y en la figura 24 se observa la del día 27.

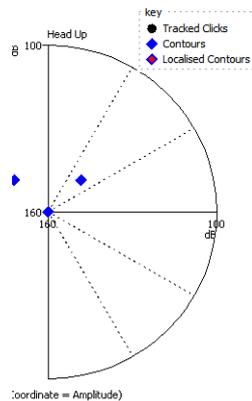


Figura 23. Display radar de cachalote a las 13:10h del día 26 de mayo del 2022.

Fuente: elaboración propia.

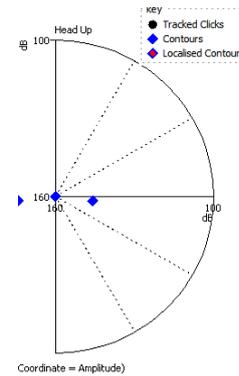


Figura 24. Display radar de cachalote a las 13:14h del día 27 de mayo del 2022.

Fuente: elaboración propia.

IV.III.II. Calderón común (*Globicephala melas*)

En las figuras 25 y 26 se puede observar el rumbo de un grupo de calderones comunes que se muestrearon con una diferencia de 10 minutos.

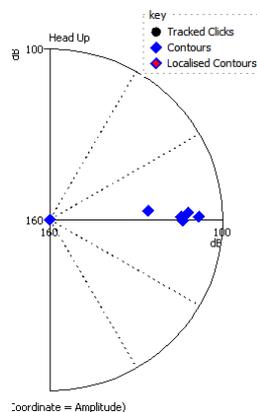


Figura 25. Display radar de calderón común a las 12:29h del día 26 de mayo del 2022. Fuente: elaboración propia.

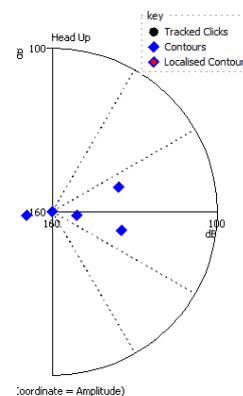


Figura 26. Display radar de calderón común a las 12:38h del día 26 de mayo del 2022. Fuente: elaboración propia.

IV.III.III. Delfínidos (*Delphinus delphis* y *Tursiops truncatus*)

El delfín mular se caracteriza por ser parte de grupos más pequeños que otras especies pelágicas. En la cuenca mediterránea, los grupos pueden ser de 1 a 15 individuos, siendo estos de diferentes unidades sociales. En la figura 27 se observa un grupo de individuos detectado en horas diferentes, que debido a la orientación que llevan y los pocos minutos que transcurre una detección de otra, se podría decir que se trata de un grupo de delfínidos.

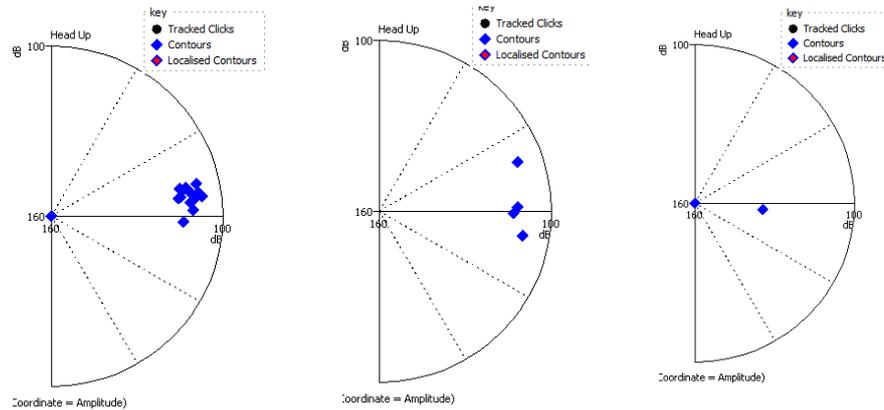


Figura 27. Display radar delfín mular, mismo grupo: 11: 34h del 26/05/2022 (izquierda), 11:43h del 26/05/2022 (centro), 12:09 del 26/05/2022 (derecha).

IV.III.IV. Mapa de localizaciones

En la presente imagen (Fig. 28) se observan los transectos realizados durante el muestreo de los días 2 y 27 de mayo del 2022, junto con los puntos donde se visualizaron cada una de las especies, las cuales están indicadas cada una en un color.

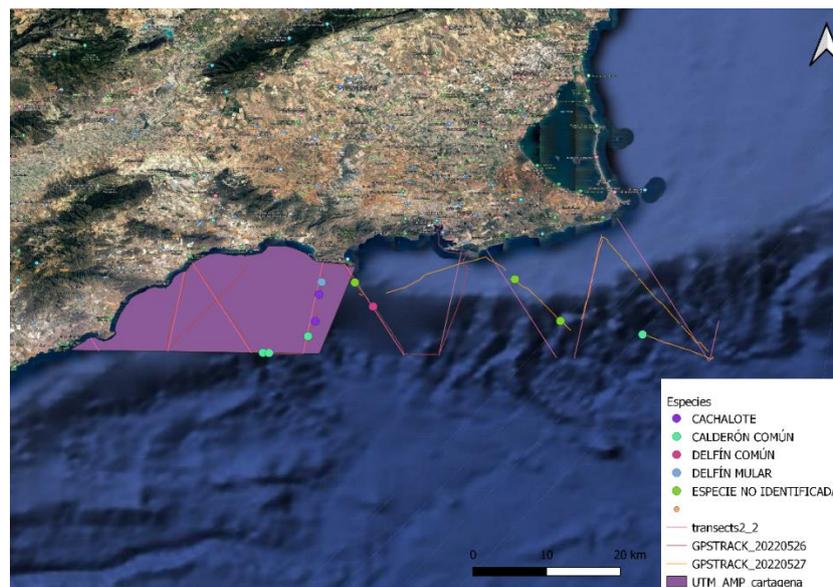


Figura 28. Mapa de la zona de muestreo con los transectos realizados y las diferentes especies detectadas visualmente.

V. DISCUSIÓN

En primer lugar, los resultados positivos de la campaña de los días 26 y 27 de mayo del 2022 mediante un sistema acústico pasivo, permiten afirmar la presencia de calderones comunes (*Globicephala melas*), delfines comunes (*Delphinus delphis*), delfines mulares (*Tursiops truncatus*) y cachalotes (*Physeter macrocephalus*) durante esos días en los Valles Submarinos del Escarpe de Mazarrón.

El uso del sistema acústico pasivo ha sido de gran relevancia en el estudio de cetáceos. Para el conocimiento del comportamiento de estos animales marino (Barlow, 2021) o para entender el impacto negativo que pueden producir algunas actividades antrópicas en estas especies (Holst, 2017; Stanistreet, 2022). Según algunos estudio, los sonidos de baja frecuencia entre 1 Hz y 10 kHz afectan negativamente a las poblaciones de calderones (De Stephanis et al., 2008a; Verborgh, 2015).

La importancia del ruido para la detección de señales ha sido estudiada durante años (Green y Swets, 1966). Ante la presencia de ruido, los animales pueden modificar sus señales haciendo que estas sean más largas o redundantes. A pesar de esto, no siempre le compensa al individuo (Alves, 2014). Algunas exposiciones sonoras causan costes fisiológicos o respuestas de estrés, haciendo que el animal tenga dificultades para realizar las funciones vitales (Tyack, 2008). Por consiguiente, el aumento del tráfico marítimo, concretamente los barcos mercantes, produce mayor ruido de una frecuencia entre 1kHz y 10kHz puede ser de gran impacto para este tipo de animales marinos (Verborgh, 2016).

Concretamente, los estudios de cetáceos en la Zona de Espacial Conservación de los Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón (Cañadas, 1995; García, 2009; UNEP-MAP-RAC/SPA, 2014) describen la importancia de los cetáceos en esta zona. Por ello, según el Real Decreto 138/2011, el cachalote, el delfín común, el delfín mular, el calderón común y el rorcual son especies catalogadas como vulnerables. Por ello, es conveniente hacer estudios sobre la detección de este tipo de especies para conocer su estado actual.

Los grupos de cetáceos comunes en los Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón son: delfín mular (*Tursiops truncatus*), delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), delfín común (*Delphinus delphis*), calderón común (*Globicephala melas*) y el cachalote (*Physete macrocephalus*). Los datos obtenidos en este estudio difieren en algunas especies con los resultados obtenidos durante la campaña de detección de cetáceos en la Bahía de Mazarrón en 2019 (Dovgan, 2019). Durante este año se han detectado las

siguientes especies: delfín mular (*Tursiops truncatus*), delfín común (*Delphinus delphis*), calderón común (*Globicephala melas*) y el cachalote (*Physeter macrocephalus*). Por el contrario, no se encontraron grupos de delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), el cual era el más abundante en la campaña de 2019 (Dovgan, 2019). A pesar de dichos resultados, estos no pueden ser concluyentes para afirmar un empeoramiento en el estado del delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), ya que la campaña fue únicamente de dos días. Para poder tener una visión general de esta especie, se tendría que hacer un muestreo de mayor tiempo.

Por parte de la localización de cada especie detectada, se puede observar (anexo x) una similitud en la localización del delfín mular entre las campañas de 2019 (Dovgan, 2019) y 2022. Y una distancia a la costa por parte del calderón común parecida. Esto puede ser debido a que el calderón común suele encontrarse entre los 350 y 1800m y el delfín mular suele encontrarse en la plataforma continental o hasta 400m (Cañadas, 1995). Además de esto, también sería conveniente estudiar la batimetría, y la clorofila, ya que estas pueden afectar a la localización de dichas especies (García, 2019)

Por otro lado, es importante mencionar que la contaminación acústica no es el único tipo de impacto que están recibiendo estos animales marinos. Los patógenos (Fernández et al., 2008), los contaminantes (Lauriano et al., 2014), la disminución de la calidad de los hábitats (De Stephanis et al., 2008) y el cambio climático (Würsig, 2002) están afectando negativamente a estas especies. Viéndose influenciados su reproducción, su sistema inmunológico (Lauriano et al., 2014) y su sistema endocrino (Rejnders, 2008). Debido a estos efectos, se debería tener en cuenta, además de la contaminación acústica, a la hora de estimar las poblaciones de cetáceos.

VI. CONCLUSIÓN

En conclusión, en la actualidad es de gran importancia la investigación acústica pasiva para el seguimiento de los cetáceos, ya que, gracias a ello, se puede observar el impacto de la contaminación acústica en estos animales. La campaña realizada los días 26 y 27 de mayo, ha presentado buenos resultados debido a la detección de especies características de la zona, a pesar del corto tiempo de muestreo. A pesar de esto, como proyectos futuros, sería interesante realizar este tipo de muestreos a mayor escala temporal, para poder tener una visión anual del comportamiento de estos animales. Por otro lado, para una mejora en los estudios, sería de ayuda complementar los estudios acústicos pasivos con un muestreo aéreo de la zona. Además de agregar mayores datos

a los estudios, midiendo la abundancia de los animales muestreados (García, 2019). De esta manera se podrían relacionar los comportamientos de los cetáceos con actividades antropogénicas, pudiendo así realizar un análisis de la relación entre la contaminación acústica y el comportamiento y el estado de los cetáceos.

REFERENCIAS

- Alves, A. (2014). Vocal Matching of Naval Sonar Signals by Long-Finned Pilot Whales (*Globicephala Melas*). *Marine Mammal Science*, vol. 30, no. 3, pp. 1248–57.
- Aparicio, J.; García, E.; Jiménez., A; Álvarez, F. y Ureña, J. (2010). Modelos de propagación de señales acústicas en entornos subacuáticos. *Gigatronic*, pp. 40-43.
- Au, W.W.L. y Hastings, M.C. (2008). *Principles of marine bioacoustics*, Springer.
- AUDACITY. Un montón de características. Disponible en: <https://www.audacityteam.org/>>. [Consulta:07/2022].
- Backus, R. y Schevill, W. (1966). 'Physeter clicks', *Whales, dolphins, and porpoises*, pp. 510-27.
- Barlow, J. (2021). Acoustic Detections of Beaked Whales, Narrow-Band High-Frequency Pulses and Other Odontocete Cetaceans in the Southern Ocean Using an Autonomous Towed Hydrophone Recorder. *Deep-Sea Research.*, vol. 193.
- Barlow, J.; Rankin, S.; Zele, E. y Appler, J. (2004). "Marine mammal data collected during the Hawaiian islands cetacean and ecosystem assessment survey (HICEAS) conducted aboard the NOAA ships McArthur and David Starr Jordan. NOAA Tech. Memo. NMFS.
- Bittle, M., y Duncan, A. (2013). "A review of current marine mammal detection and classification algorithms for use in automated passive acoustic monitoring," *Proc. Acoust.*
- Boletín Oficial del Estado (2020). Orden AAA/1366/2016, de 4 de agosto, por la que se declara zonas especiales de conservación de lugares de importancia comunitaria de la Región Marina Mediterránea de la Red Natura 2000, se aprueba sus correspondientes medidas de conservación y se propone la ampliación de los límites geográficos de dos lugares de importancia comunitaria.
- Boletín Oficial del Estado (2013). Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, 146, pp. 31-37.
- Chicote, C.A y Castellote M. (2013) *Manual del Técnico de Acústica Pasiva para operaciones off-shore generadoras de ruido en aguas españolas*. Fundación Biodiversidad y SUBMON.
- CMS (2018). *Appendices I and II of the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals*.

- CRAM (2022). Fundación CRAM. Cetáceos. Disponible en: <https://cram.org/fundacion-cram/> [Consulta: 08/2022].
- David, A. (2011). Underwater Environmental Impact Assessment on Marine Mammals and Fish by High Power Anthropogenic Radiated Sound. No 27.
- De Stephanis, R.; Cornulier, T.; Verborgh, P.; Salazar Sierra, J.; Gimeno, N. y Guinet, C. (2008). Summer spatial distribution of cetaceans in the Strait of Gibraltar in relation to the oceanographic context. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 355, pp. 275-288.
- Dovgan, A. (2020). Detección, identificación y localización de cetáceos con técnicas de acústica pasiva. Universitat Politècnica de València.
- Fernández, Luna (2016). Caracterización de hidrófonos de bajo coste y su aplicación en estudios bioacústicos. Universitat Politècnica de València.
- Fernández, A.; Esperón, F.; Herraéz, P.; Espinosa de los Monteros, A.; Clavel, C.; Bernabé, A.; Sánchez-Vizcaino, J. M.; Verborgh, P.; De Stephanis, R.; Toledano, F. Y Bayón A. (2008). Morbillivirus and pilot whale deaths, Mediterranean Sea. *Emerging Infectious Diseases*. 14:792-794.
- García Delgado, 2019. Estudio de las poblaciones de cetáceos en Zona de Especial Conservación "Valles submarinos del Escarpe de Mazarón": aplicaciones para su gestión. Universidad Politécnica de Valencia.
- Gavrilov, A.N.; McCauley, R.D., Pattiaratchi, C. y Bondarenko, O. (2012), 'The use of passive acoustics to observe the presence and movement of pygmy blue whales (*Balaenoptera musculus breviceuda*) in the Perth canyon, WA', 11th European Conference on Underwater Acoustics, Edinburgh, UK, pp. 1802-9.
- Gillespie, D. (2008). "PAMGUARD: Semiautomated, Open Source Software for Real-Time Acoustic Detection and Localisation of Cetaceans." *Proceedings of the Institute of Acoustics*, vol. 30, no. part 5, pp. 54-62.
- Goold, J. C. "Características del dominio de tiempo y frecuencia de los clics de cachalote". *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 98, no. 3, Acoustical Society of America, 1995, pp. 1279-91, doi:10.1121/1.413465.
- Green, D. M. y Swets, D J. A. (1966). Signal detection theory and psychophysics. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Henderson, E.E.; Hildebrand, J.A.; Smith, M.H.; Falcone, E.A (2012). The behavioral context of common dolphin (*Delphinus* sp.) vocalizations. *Marine Mammal Science*, 28 (3), pp. 439-460.
- Holst, M. (2017). Cetacean Sightings and Acoustic Detections During a Seismic Survey Off Nicaragua and Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, vol. 65, no. 2, 2017, pp. 599-612.
- Janik, V.M. (2009). *Advances in the Study of Behavior*, Chapter 4 Acoustic Communication in Delphinids. 40, pp. 123-157.
- Lauriano, G.; Di Guardo, G.; Marsili, L.; Maltese, S. y Fossi, M.C. (2014). Biological threats and environmental pollutants, a lethal mixture for mediterranean cetaceans? *Mar. Biol. Assoc.*, 94 (2014), pp. 1221-1225.

- Leeper, R.; Gillespie, DM y Papastavrou, V (2000), 'Results of passive acoustic surveys for odontocetes in the Southern Ocean', *Journal of Cetacean Research and Management*, vol. 2, no. 3, pp. 187-196.
- Medwin, Herman y Joseph E. Blue. (2005). *Sounds in the Sea : from Ocean Acoustics to Acoustical Oceanography*. Cambridge University Press, 2005.
- Medwin, Herman. "Speed of Sound in Water: A Simple Equation for Realistic Parameters." *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 58, no. 6, 1975, pp.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2012). Documento técnico sobre impactos y mitigación de la contaminación acústica marina. Madrid. 146 pp.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2012). Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en España.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2012). Documento técnico sobre impactos y mitigación de la contaminación acústica marina. Madrid. 146 pp.
- Natura 2000 (2022). Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón. Disponible en: N2K ES6200048 dataforms (europa.eu)
- NMFS (2013). Draft Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammals. Acoustic Threshold Levels for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS).
- Norris, T. F.; McDonald, M. A. y Barlow, J. (1999). "Acoustic detections of singing humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the eastern North Pacific during their northbound migration," *J. Acoust. Soc. Am.*, 106, 506–514.
- PAMGuard (2022). Disponible en: PAMGuard | Passive Acoustic Monitoring |PAM Open Source Software - PAMGuard. [Consulta en: 08/2022]
- Pérez García, Laura (2021). "Influencia de la tormenta extratropical Ophelia en la comunidad planctónica microbiana de la Ría de Vigo ". DigitalCSIC. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10>
- Poupard, M.; Ferrari, M.; Best, P., y Glotin, H. (2022). Passive acoustic monitoring of sperm whales and anthropogenic noise using stereophonic recordings in the mediterranean sea, north west pelagos sanctuary. *Scientific Reports*, 12(1).
- Olson, Paula A. (2018). Pilot whales: *Globicephala melas* and *G. macrorhynchus*. *Encyclopedia of Marine Mammals*, p 701-705.
- Oswald, JN.; Walmsley, SF.; Casey, C.; Fregosi, S.; Southall, B.; Janik, VM. (2021) Species information in whistle frequency modulation patterns of common dolphins. *Phil. Trans.*
- Redondo, L. y Ruiz Mateo, A. (2017). "Ruido subacuático: fundamentos, fuentes, cálculo y umbrales de contaminación ambiental" en *Revista Digital del Cedex*, núm. 186.
- Reijnders, P. J. H. 1998. Reproductive and Developmental Effects of Endocrine-Disrupting Chemicals on Marine Mammals. *Marine Mammal Commission*, pp.93-100.

- Rendell, L.E. y Gordon, J.C.D. (1999). Vocal Response of Long-Finned Pilot Whales (*Globicephala Melas*) to Military Sonar in the Ligurian Sea. *Marine Mammal Science*, 15(1): pp. 198-204.
- Richardson, W.J. (1995). Documented Disturbance Reactions, pp. 241-324.
- Richardson, W.J.; Fraker, M.A.; Würsig, B., y Wells, R.S. (1985a). Behavior of Bowhead Whales, *Balaena Mysticetus*, Summering in the Beaufort Sea: Reactions to Industrial Activities. *Biological Conservation*, 32, pp. 195-230.
- Richardson, W.J.; Wells, R.S., y Würsig, B. (1985b). Disturbance Responses of Bowheads and Industrial Activity, pp. 1980-84.
- Rodney, F.W. (2001). *The Advanced Sonar Course: Further Topics in Underwater Acoustic*.
- Roman, J.; Estes, J. A.; Morissette, L.; Smith, C.; Costa, D.; McCarthy, J.; Nation, J. B., et al. (2014). "Whales as marine ecosystem engineers," *Front. Ecol. Environ.*, 12, 377–385.
- SACLANT Undersea Research Centre (1998). Bioacoustics Panel and Marine Mammal Environmental and Mitigation Procedures Panel. NATO Undersea Research Centre.
- Schevill, W. E. y McBride, A. F. (1956). "Evidence for echolocation by cetaceans," *Deep Sea Res.*, 3, 153–154.
- Solsona Berga, Alba, (2018). Advancement of methods for passive acoustic monitoring: a framework for the study of deep-diving cetacean populations. Universitat Politècnica de Catalunya. Tesis doctoral.
- Stanistreet, J. E. (2022) Changes in the Acoustic Activity of Beaked Whales and Sperm Whales Recorded During a Naval Training Exercise Off Eastern Canada. *Scientific Reports.*, vol. 12, no. 1.
- Taylor, B.L.; Baird, R.; Barlow, J.; Dawson, S.M.; Ford, J.; Mead, J.G.; Notarbartolo di Sciara, G.; Wade, P. y Pitman, R.L. (2019). *Physeter macrocephalus* (versión modificada de la evaluación de 2008). *Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN*. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T41755A160983555.en> [Consultado: 08/2022].
- Tyack, Peter L. "Implicaciones para los mamíferos marinos de los cambios a gran escala en el entorno acústico marino". *Journal of Mammalogy*, vol. 89, no. 3, 2008, pp. 549-58.
- UNEP-MAP-RAC/SPA (2014). Status and conservation of cetaceans in the Alboran Sea. Draft internal report for the purposes of the Mediterranean Regional Workshop to Facilitate the Description of Ecologically or Biologically Significant Marine Areas.
- Verborgh, P; Gauffier, R; Esteban, R.; Giménez, J.; Cañadas, A.; Salazar-Sierra, J.M. y De Stephanis, R. (2016). Conservation Status of Long-Finned Pilot Whales, *Globicephala melas*, in the Mediterranean Sea. *V 75*, p 173-203.

- Verborgh, P. (2015). Demografía y estructura de las poblaciones de calderones comunes (*Globicephala melas*) en el Mediterráneo español. PhD Thesis. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- 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>>
- Viana, Y. (2022). Are Dolphins Modulating Whistles in Interspecific Group Contexts?" *Bioacoustics*.
- W.J. Richardson, C.R. Greene, C.I. Malme, D.H. Thomson (1995). Mamíferos marinos y ruido, Academic Press, San Diego, CA.
- Wartzok, D., Watkins, W.A., Wursig, B., y Malme, C.I. (1989). Movements and Behaviors of Bowhead Whales in Response to Repeated Exposures to Noises Associated with Industrial Activities in the Beaufort Sea. Purdue University, Fort Wayne, Indiana (EEUU).
- Watkins, W.A., Moore, K.E., y Tyack, P. (1985). Sperm Whale Acoustic Behaviors in the Southeast Caribbean. *Cetology*, 49: pp. 1-15.
- Wenz, G. M. (1962). Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 34(12): pp. 1936–1956.
- Würsig, B., Reeves, R.R. y Ortega-Ortiz, J.G. (2002) Global climate change and marine mammals. *Marine mammals: biology and conservation*, pp. 589–608.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de los grupos de cetáceos detectados en la campaña de la Bahía de Mazarrón en 2019. Fuente, Dovgan, 2019.

Delfín listado (<i>Stenella coeruleoalba</i>)				
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 (<i>Tursiops truncatus</i>)				
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 (<i>Globicephala melas</i>)				
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. Mapa de la localización de los grupos de cetáceos detectados en la campaña de la Bahía de Mazarrón en 2019. Fuente, Dovgan, 2019.

