

Memoria técnica 3.- Evaluación del nivel de ruido submarino originado por fuentes acústicas de origen natural en la ZEC ES7020124 Costa de Garafía Lote 1

Junio 2025

LIFE IP INTEMARES

Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español



Autoría:

- DC Servicios Ambientales SL

- Daida Cristina Almeida Navarro, J. Francisco Domínguez Yanes, Diego Antoñanzas Francisco, Gabriel Herrera Quintana y Javier Cenxual Miñano.



Coordinación y revisión:

Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO).

Revisión del documento por parte del MITECO.

Edita:

El proyecto LIFE IP INTEMARES, que coordina la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, avanza hacia un cambio de modelo de gestión eficaz de los espacios marinos de la Red Natura 2000, con la participación activa de los sectores implicados y con la investigación como herramientas básicas para la toma de decisiones.

Participan como socios el propio ministerio, a través de la Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación; la Junta de Andalucía, a través de la Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Sostenibilidad, así como de la Agencia de Medio Ambiente y Agua; el Instituto Español de Oceanografía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas; AZTI; la Universidad de Alicante; la Universidad Politécnica de Valencia; la Confederación Española de Pesca, SEO/BirdLife y WWF-España. Cuenta con la contribución financiera del Programa LIFE de la Unión Europea.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

cepesca
Confederación Española de Pesca

SEO BirdLife



Fecha de edición

09/07/2025

LIFE15 IP ES012 – INTEMARES

Evaluación del nivel de ruido submarino originado por fuentes acústicas de origen natural en la ZEC
ES7020124 Costa de Garafía.
APLI0032

Índice

1. RESUMEN EJECUTIVO	3
EXECUTIVE SUMMARY	4
2. INTRODUCCIÓN	5
3. ÁREA DE ESTUDIO: ZEC COSTA DE GARAFÍA (ES7020124)	7
4. METODOLOGÍA	9
4.1. Ubicación del fondeo	9
4.2. Diseño y descripción del fondeo	10
4.3. Tratamiento de datos acústicos	14
5. RESULTADOS	18
5.1. Periodo de primavera	18
5.2. Periodo de verano	21
5.3. Periodo de otoño	25
5.4. Periodo de invierno	29
6. CONCLUSIONES	33
7. BIBLIOGRAFÍA	35
8. LEGISLACIÓN	39
9. ANEXO I. CARTOGRAFÍA	40

1. RESUMEN EJECUTIVO

Las acciones englobadas dentro del presente trabajo se encuentran relacionadas con el descriptor 11 “Ruido submarino” de las Estrategias Marinas, que pretende definir el Buen Estado Ambiental (BEA) del medio marino con respecto a este impacto. Se considera de especial relevancia ya que esta es una de las presiones antrópicas que afectan a las especies marinas presentes en las áreas marinas protegidas. En este sentido, el objetivo final de esta actuación es que, a través del estudio de datos sonoros mediante el fondeo de hidrófonos en zonas con baja concurrencia de actividades antrópicas, se pueda obtener información relevante que sirva para determinar unos niveles de referencia de ruido ambiente marino, completando los vacíos de conocimiento existentes.

En el presente estudio, se ha fondeado un hidrófono en la costa norte de la isla de La Palma, dentro de la ZEC ES7020124 Costa de Garafía. Se llevó a cabo la grabación en continuo de los períodos estacionales de primavera (14/03/2024 – 26/06/2024), verano (05/08/2024 – 06/09/2024), otoño (21/09/2024 – 10/11/2024) e invierno (11/11/2024 – 18/12/2024) del año 2024.

Durante el periodo de observación, a través del estudio de los distintos valores de presión sonora (SPL) y su distribución temporal y frecuencial en distintas bandas de tercio de octava, se identificaron patrones acústicos que permiten caracterizar el ambiente submarino y sus posibles fuentes de ruido, tanto naturales como antropogénicas.

Los resultados obtenidos muestran un incremento marcado y progresivo del nivel de ruido submarino desde primavera hasta otoño en todas las bandas de frecuencia analizadas. Durante el otoño se presenta los niveles más altos en todos los percentiles, lo que indica una mayor presencia o intensidad de fuentes acústicas durante esta estación.

Este patrón indica una intensificación generalizada del ruido submarino hacia el final del año, que podría estar vinculada a una mayor actividad marítima pesquera o recreativa en otoño.

Durante primavera y verano, los niveles se mantienen relativamente constantes, siendo menores que en otoño e invierno. Por ejemplo, en la banda de 2000 Hz, el percentil 50% apenas sube de 84.8 dB (primavera) a 87.9 dB (verano), una variación menor comparada con el salto a 94.8 dB en otoño.

Los valores de SPL detectados en las bandas más altas, de 8 y 16 kHz, son elevados en relación a lo que se cabría esperar en una zona como la estudiada. Así, sería necesario estudiar más en profundidad la zona para llegar a alguna conclusión que explique estos valores.

En conjunto, estos resultados reflejan una clara transformación estacional del paisaje sonoro submarino.

EXECUTIVE SUMMARY

The actions included in this work are related to descriptor 11 'Underwater noise' of the Marine Strategies, which aims to define the Good Environmental Status (GES) of the marine environment with respect to this impact. It is considered to be of particular relevance as this is one of the anthropic pressures affecting marine species present in marine protected areas. In this sense, the final objective of this action is that, through the study of sound data by means of hydrophone anchoring in areas with low concurrence of anthropic activities, relevant information can be obtained that can be used to determine reference levels of marine ambient noise, filling in the existing gaps in knowledge.

In this study, a hydrophone was anchored off the north coast of La Palma, within the ZEC ES7020124 Costa de Garafía. Continuous recordings were conducted during the seasonal periods of spring (March 14, 2024 – June 26, 2024), summer (August 5, 2024 – September 6, 2024), autumn (September 21, 2024 – November 10, 2024), and winter (November 11, 2024 – December 18, 2024).

During the observation period, through the study of the different sound pressure level (SPL) values and their temporal and frequency distribution in different third octave bands, acoustic patterns were identified that allow characterising the underwater environment and its possible sources of noise, both natural and anthropogenic.

The results obtained show a marked and progressive increase in the level of underwater noise from spring to autumn in all the frequency bands analysed. Autumn shows the highest levels in all percentiles, indicating a greater presence or intensity of acoustic sources during this season.

This pattern indicates a generalised intensification of underwater noise towards the end of the year, which could be linked to increased maritime fishing or recreational activity in autumn.

During spring and summer, levels remain relatively constant, being lower than in autumn and winter. For example, in the 2000 Hz band, the 50% percentile barely rises from 84.8 dB (spring) to 87.9 dB (summer), a minor variation compared to the jump to 94.8 dB in autumn.

The SPL values detected in the higher 8 and 16 kHz bands are high in relation to what would be expected in an area such as the one studied. Thus, it would be necessary to study the area in more depth in order to reach a conclusion that would explain these values.

Overall, these results reflect a clear seasonal transformation of the underwater soundscape.

2. INTRODUCCIÓN

El proyecto LIFE IP-PAF INTEMARES “Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español” tiene como objetivo conseguir una red consolidada de espacios marinos Natura 2000 gestionada de manera eficaz e integrada, con la participación activa de los sectores implicados, con la investigación como herramienta básica para la toma de decisiones y bajo la oportunidad de contribuir a un modelo de desarrollo asentado en la sostenibilidad y en la innovación.

El proyecto está coordinado por la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), que actúa también como socio a través de la Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación. Participan como socios además el Instituto Español de Oceanografía, la Confederación Española de Pesca, SEO/BirdLife, WWF-España, la Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul y la Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía de la Junta de Andalucía, AZTI, la Universidad de Alicante y la Universidad Politécnica de Valencia.

El medio marino es el escenario de multitud de actividades humanas que de una u otra manera generan impacto. De las distintas actividades que contribuyen a generar polución acústica submarina se destaca el tráfico marítimo, relacionado principalmente con la emisión de energía al medio en el espectro de las bajas frecuencias (<1kHz), aunque esto depende del tipo de embarcación, de su velocidad, y de la motorización y actividad que desarrolle, aspectos que se desarrollarán más adelante.

Las acciones englobadas dentro del presente trabajo se encuentran relacionadas con el descriptor 11 “Ruido submarino” de las Estrategias Marinas, que pretende definir el Buen Estado Ambiental (BEA) del medio marino con respecto a este impacto. Se considera de especial relevancia ya que esta es una de las presiones antrópicas que afectan a las especies marinas presentes en las áreas marinas protegidas.

Los diferentes efectos negativos de un elevado ruido submarino sobre la fauna marina, sobre todo cetáceos, están ampliamente estudiados. Se ha verificado que el ruido submarino afecta de manera negativa a diferentes organismos acuáticos si se sobrepasa cierto valor umbral durante un tiempo de exposición determinado (Erbe et al., 2019). El potencial impacto negativo sobre mamíferos marinos, en concreto los cetáceos, se debe a que estos utilizan el sonido para realizar diferentes funciones vitales básicas como orientarse en el medio, alimentarse, reproducirse, comunicarse, etc. (Thomsen et al., 2023). La NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), en su documento “2024 Technical Guidance for Assessing the effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 3.0) Underwater and In-Air Criteria for Onset of Auditory Injury and Temporary Threshold Shifts”, establece ciertos umbrales a partir de los cuales pueden producirse estos enmascaramientos en las comunicaciones y cambios en el comportamiento animal (TTS), así como umbrales donde se podrían producir daños permanentes (PTS). En este caso, estos trastornos auditivos, así como los barotraumas, no son competencia del D11, aunque este pretende definir un estado base para establecer medidas que prevengan este tipo de impactos.

En este sentido, el objetivo final de esta actuación es que, a través del estudio de datos sonoros mediante el calado de hidrófonos en zonas con baja concurrencia de actividades antrópicas, se pueda obtener información relevante que sirva para determinar unos niveles de referencia de ruido ambiente marino, completando los vacíos de conocimiento existentes (Martín-García et al., 2015).

3. ÁREA DE ESTUDIO: ZEC COSTA DE GARAFÍA (ES7020124)

Las áreas marinas protegidas incluyen diversas figuras de protección, entre las que destacan las de la Red Natura 2000. La Red está formada por las Zonas Especiales de Conservación (ZEC) y por los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) hasta su transformación en ZEC, establecidas de acuerdo con la Directiva 92/43/CE relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (o Directiva Hábitats), y por las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), designadas en aplicación de la Directiva 2009/147/CE relativa a la conservación de las aves silvestres, o Directiva Aves. En el territorio nacional se han declarado 1.468 LICs.

La ZEC ES7020124 Costa de Garafía, se emplaza en el norte de la isla de La Palma, en el archipiélago canario (Ilustración 1). Se trata de una ZEC de índole marina, las coordenadas UTM Huso 28N WGS84 de su centro geométrico son X: 218.215, Y: 3.194.808. Esta ZEC cubre una superficie de 3.475,355 ha, y presenta tres Hábitats de Interés Comunitario (HICs). En la actualidad la zona de estudio contiene 7 elementos de interés comunitario. Estos son los HIC bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina, poco profunda (1110), arrecifes (1170) y cuevas marinas sumergidas y semisumergidas (8330), y las especies *Caretta caretta* (1224), *Tursiops truncatus* (1349), *Chilomycterus atringa* (5601) y *Scyllarides latus* (1090) (Tabla 1).

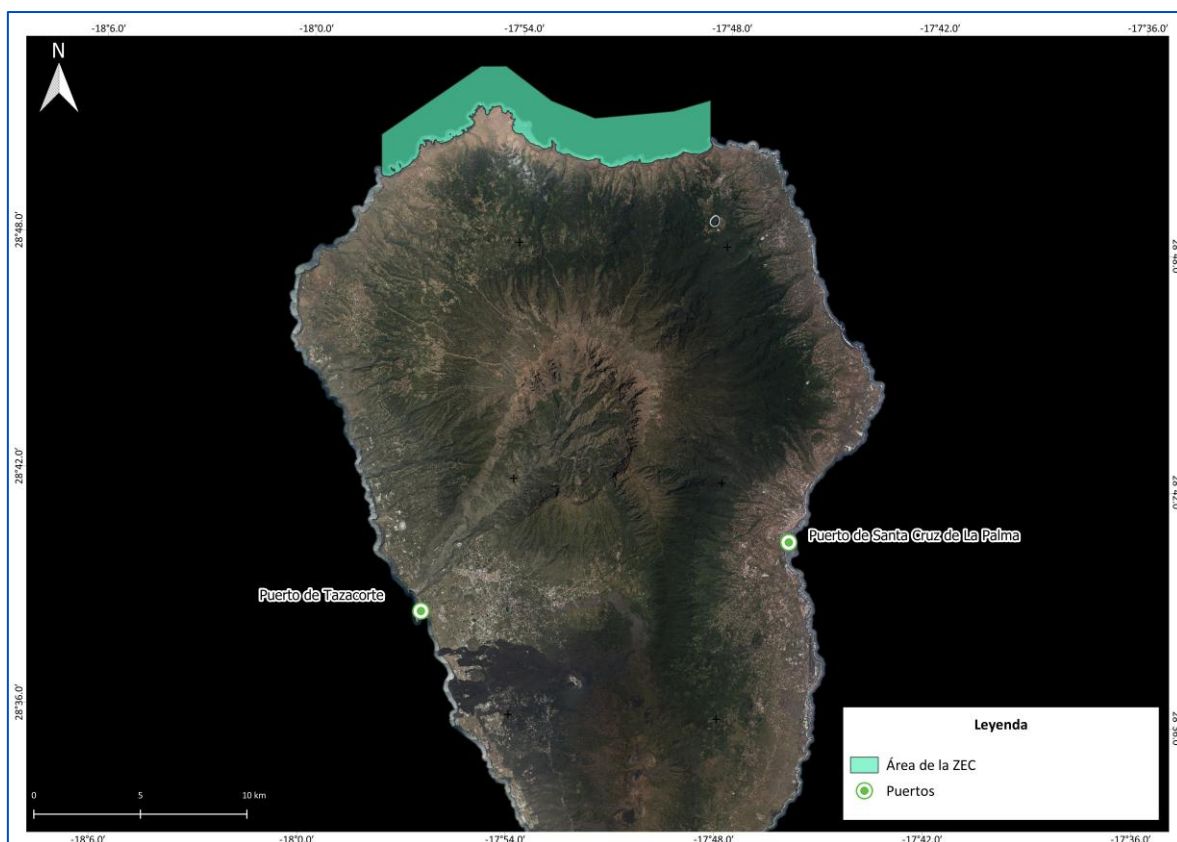


Ilustración 1. Localización de la ZEC Costa de Garafía (ES7020124).

Tabla 1. Listado de Especies de Interés Comunitario y Hábitats de Interés Comunitario presentes en la ZEC Costa de Garafía.

Especie de Interés Comunitario		Código
Clase Reptilia	<i>Caretta caretta</i>	1224
Clase Mammalia	<i>Tursiops truncatus</i>	1349
Clase Actinopterygii	<i>Chilomycterus atringa</i>	5601
Clase Malacostraca	<i>Scyllarides latus</i>	1090
Hábitat de Interés Comunitario		Código
Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina, poco profunda		1110
Arrecifes		1170
Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas		8330

En el plan de gestión de la ZEC se recogen los usos (principalmente buceo recreativo) y zonificación con respecto al HIC 8330 (Ilustración 2).

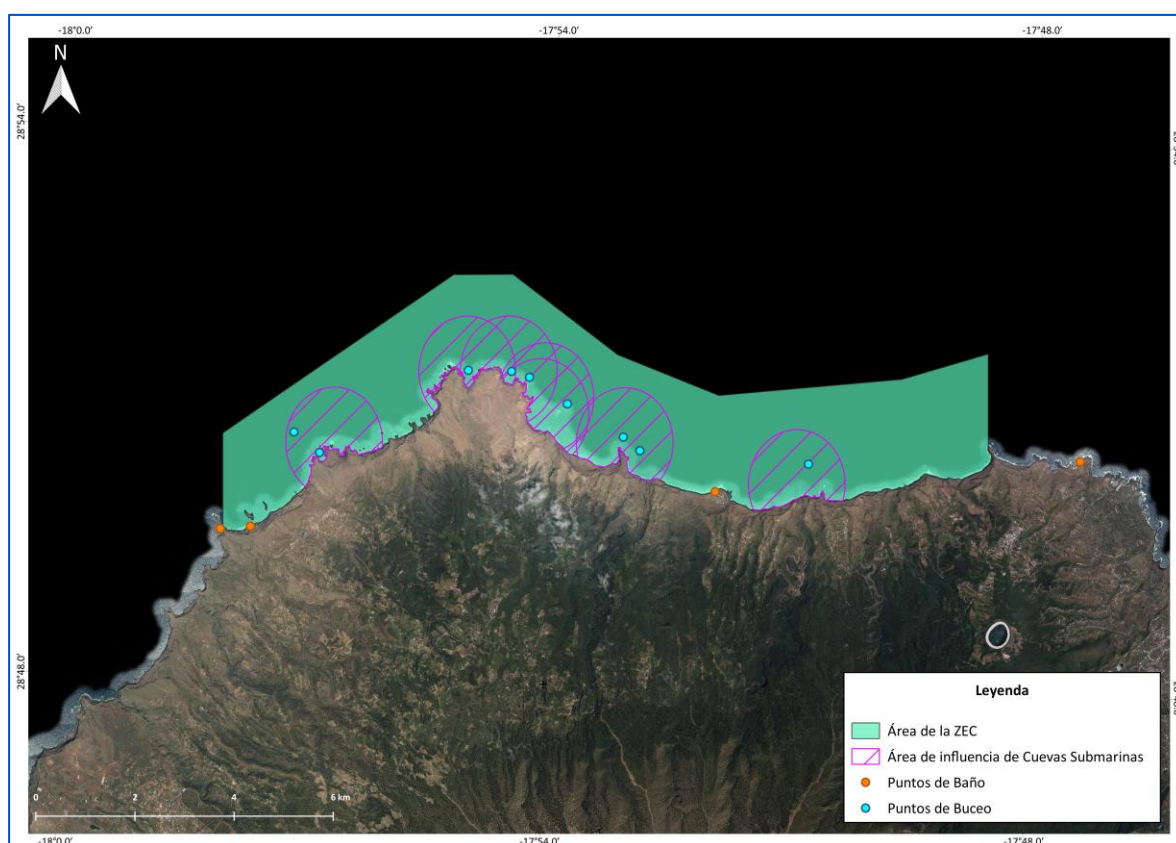


Ilustración 2. Zonificación de la ZEC. Mapa elaborado a partir de datos del Plan de Gestión de la ZEC Costa de Garafía.

4. METODOLOGÍA

En el presente apartado se describe la instrumentación utilizada para la obtención de los datos acústicos, así como la metodología utilizada en la grabación y en el posterior tratamiento de los datos.

4.1. Ubicación del fondeo

El punto de fondeo se localiza dentro de la ZEC Costa de Garafía, y ha sido aprobado con anterioridad por el equipo responsable del Proyecto, según lo recogido en la Memoria técnica 1.

Tabla 2. Coordenadas y profundidad del punto de fondeo.

Profundidad	Coordenadas UTM (WGS84 – Huso 28N)	
	X	Y
35 m	217.951	3.194.644

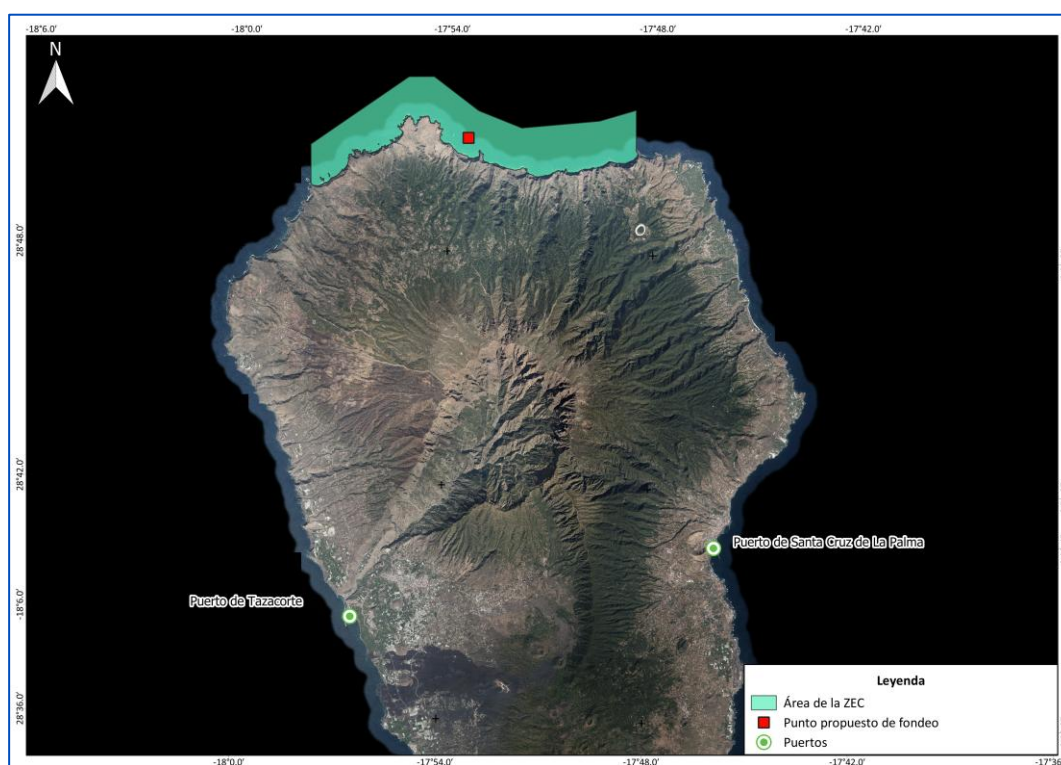


Ilustración 3. Localización del punto de fondeo.

Esta localización tiene las características idóneas para la instalación de un fondeo con el objetivo de toma de datos de ruido submarino de origen natural:

- Fondo eminentemente llano, de pendiente baja y constante.
- No existen elementos abruptos cercanos que puedan alterar las frecuencias y direccionalidad del ruido.
- Fondo de sustrato blando, que absorben las ondas sonoras en mayor medida que los sustratos duros.
- Presencia mínima de fuentes de ruido submarino antropogénico.
- Baja densidad de tráfico marítimo.
- No existen obras marítimas cercanas, ni presencia de zonas de acuicultura.

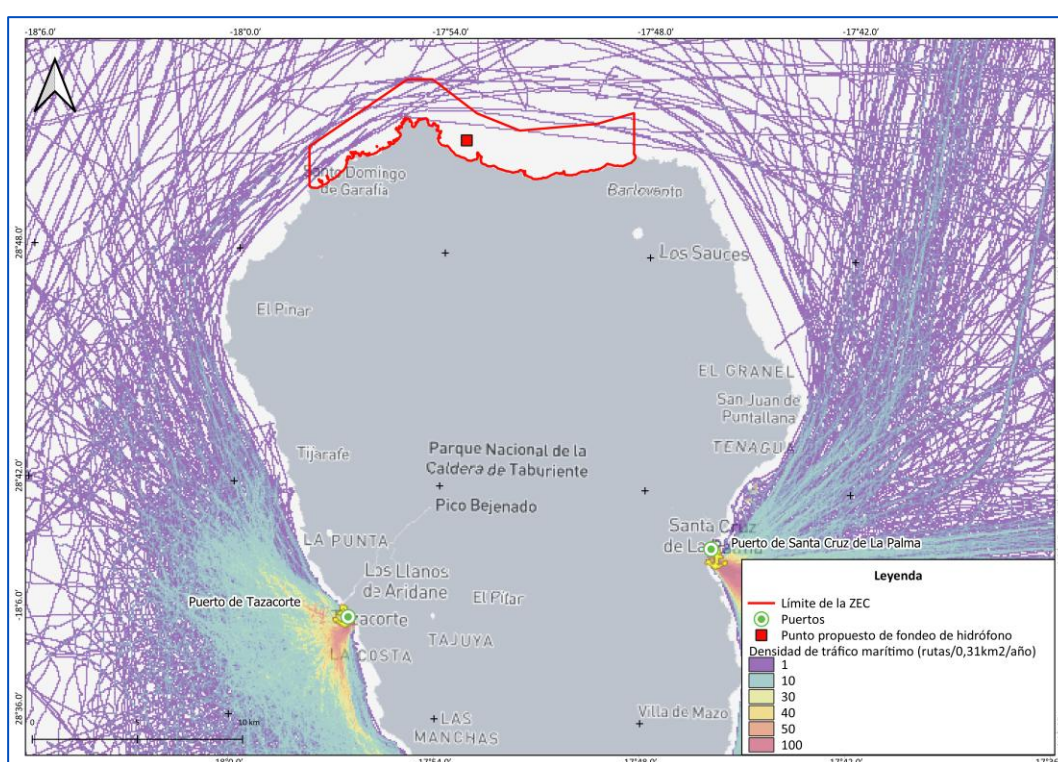


Ilustración 4. Densidad de tráfico marítimo. Mapa elaborado a partir de los datos de MarineTraffic.com. Datos de noviembre del 2022 a noviembre del 2023.

4.2. Diseño y descripción del fondeo

El fondeo del hidrófono consta de los componentes necesarios para su instalación, funcionamiento y posterior recuperación exitosa. Los componentes se recogen en la Tabla 3.

El diseño del fondeo atiende principalmente a tres características clave: estabilidad, recuperabilidad y evitación de ruido no deseado por partes móviles. El hidrófono está fijado a un mástil de sujeción. Este mástil de sujeción elevará la posición del hidrófono a unos 1,5 m del fondo, evitando fenómenos de reverberación. El mástil consiste en una varilla de acero con un enganche en su parte superior, que permitirá su posterior recuperación. Este mástil va fijo al lastre, que consiste en un prisma rectangular de hormigón marino de unos 0,35 x 0,25 x 0,15 m y unos 27 kg aproximados (peso en aire).

Cabe destacar que este diseño carece de partes móviles que puedan influenciar con ruido los datos muestreados.

Tabla 3. Características de los elementos constituyentes del fondeo.

Elemento	Cantidad	Peso en aire	Peso en agua	Flotabilidad neta
Lastre de hormigón marino	1	≈ 27 kg (0,3 x 0,25 x 0,15 m)	≈ 15,75 kg	≈ - 15,75 kg
Mástil de sujeción	1	≈ 2 kg	≈ 1,5 kg	≈ - 1,5 kg
Hidrófono	1	0,1 kg	≈ 0,1 kg	≈ - 0,1 kg
Grabadora	1	4,9 kg	1,6 kg	≈ - 1,6 kg
Total		34,1 kg	18,95 kg	≈ - 18,95 kg

El equipo de grabación consta de un hidrófono Colmar SC0190 con una banda de trabajo de 5 Hz a 180 kHz, junto con una grabadora RTsys Sylence-LP con una capacidad de grabación de 512 kS/s. Algunas de las especificaciones técnicas del hidrófono y de la grabadora se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Características técnicas del hidrófono y de la grabadora.

Hidrófono Colmar SC0190	
Ancho de banda	5 Hz – 180 kHz
High – pass filter	3Hz
Sensibilidad	-175 dB re 1V/uPa
Direccionalidad	Esférico – Omnidireccional
Máxima profundidad de trabajo	3500 m
Cuerpo	Acero inoxidable AISI 316 o POMC
Grabadora RTsys Sylence -LP	
Longitud	440 mm
Diámetro	100 mm
Profundidad de grabación	1000 m
Capacidad de almacenamiento	2 TB

La obtención de los datos se ha realizado siguiendo las características reflejadas en la Tabla 5.

Tabla 5. Características para el procesamiento de los datos.

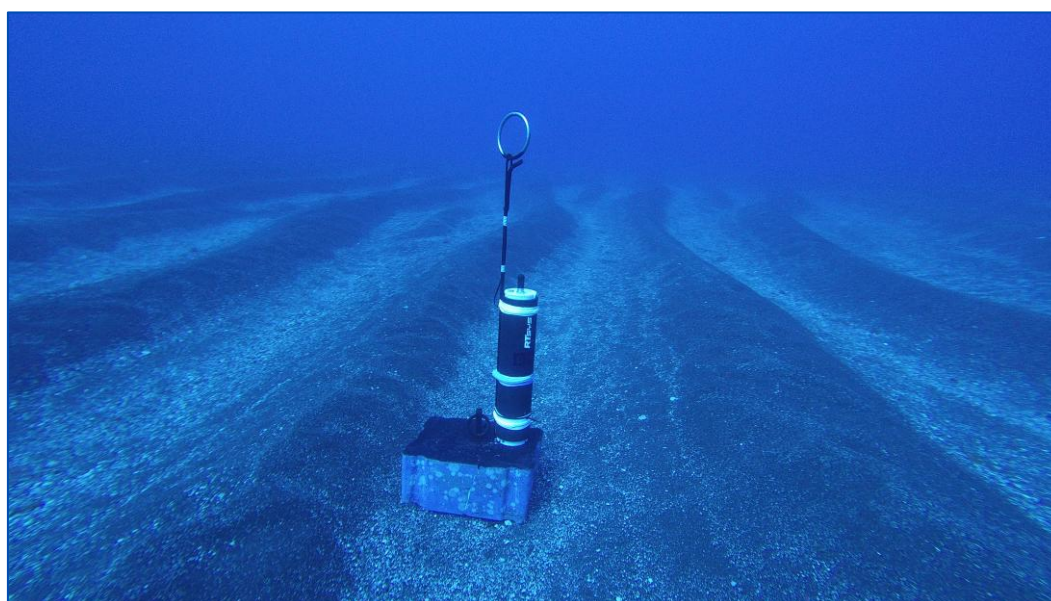
Características para el procesamiento de los datos	
Modelo equipo de grabación	RTsys Sylence – LP; Colmar SC0190
Nomenclatura de archivos	channelA_fecha_hora
Formato de los datos brutos	.wav
Sensibilidad	-175 re 1V/uPa
Frecuencia de muestreo	64 kS/s

Características para el procesado de los datos	
Factor de amplificación	15 dB re1/V
High – pass filter	3Hz
Periodo de grabación primavera	14/03/2024 – 26/06/2024
Periodo de grabación verano	05/08/2024 – 06/09/2024
Periodo de grabación otoño	21/09/2024 – 10/11/2024
Periodo de grabación invierno	11/11/2024 – 18/12/2024
Duty Cycle (ON/OFF)	100%/0%

El primer fondeo se realizó el día 14 de marzo de 2024. A través de una embarcación se llega al punto seleccionado, donde se baja el muerto con el hidrófono mediante un cabo hasta el fondo marino. Tras la puesta, se bajó el ROV para filmar el fondeo y comprobar que se ha posado correctamente en el fondo.

El día 5 de agosto se vuelve a la zona para realizar un mantenimiento del fondeo y descargar los primeros datos. Mediante el ROV, se realiza la extracción del fondeo; ya en superficie, se limpia el grabador y el hidrófono, eliminando las algas y pequeños invertebrados que se han adherido a su estructura. Finalmente, se cambian las baterías, se extraen los datos y se reprograma, volviendo a echar el fondeo al agua en el mismo punto.

Siguiendo el mismo protocolo descrito anteriormente, el día 6 de septiembre se realiza otra visita de mantenimiento, donde se extraen los datos y se vuelve a fondear, siendo el día 18 de diciembre cuando se retira definitivamente.



Fotografía 1. Imagen del fondeo puesto en la ZEC Costa de Garafía.



Fotografía 2. Imagen del momento de recuperación del fondeo puesto en la ZEC Costa de Garafía.



Fotografía 3. Imagen del hidrófono tras su recuperación.

Tras la revisión de los datos, se observa que el hidrófono, durante el primer período, dejó de grabar el día 26 de junio, por lo que se tienen datos de 3 meses de los 5 que estuvo fondeado hasta la primera actuación de mantenimiento, correspondiendo con los meses de primavera. Del segundo periodo se obtienen todos los datos del mes de grabación, correspondiente al periodo de verano. Finalmente, del último periodo también se tienen los datos completos, correspondientes a los periodos de otoño e invierno.

En resumen, se tienen datos del 14 de marzo de 2024 hasta el 26 de junio de 2024, del 5 de agosto de 2024 hasta el 6 de septiembre de 2024 y del 6 de septiembre de 2024 hasta el 18 de diciembre de 2024.

4.3. Tratamiento de datos acústicos

Para determinar los niveles de ruido emitidos al medio se tuvo como referencia para el método de trabajo la *Ley 41/2010 de 29 de diciembre, de protección del medio marino*, transpuesta a partir de la Directiva Marco de Estrategias Marinas (DMEM). Para el seguimiento acústico estandarizado se utilizó la *Decisión (UE) 2017/848 de la comisión de 17 de mayo de 2017, por la que se establecen los criterios y las normas metodológicas aplicables al buen estado medioambiental de las aguas marinas, así como las especificaciones y métodos normalizados de seguimiento de evaluación, y por la que se deroga la Decisión 2010/447/UE*. En esta decisión se establecen los criterios e indicadores que se han de seguir para las mediciones del nivel de ruido. Para el seguimiento acústico se distinguen dos tipos de ruido:

- **Ruido impulsivo:** entendido como aquel sonido capaz de generar repercusiones negativas graves durante periodos muy cortos de tiempo. Los indicadores son:
 - **Nivel de exposición sonora (siglas en inglés, SEL):** Puede usarse tanto en ruido continuo si se mide durante un intervalo de tiempo específico, como también en ruido impulsivo, cuyo uso está más extendido. SEL representa la energía total acumulada del ruido durante ese intervalo, siendo útil cuando se necesita correlacionar el impacto acumulativo sobre organismos marinos, como la exposición total al ruido durante un periodo.

$$SEL = 10 \log_{10} \int_0^T \frac{P^2(t)}{P_{ref}^2} dt$$

- **Nivel de presión sonora pico,** (siglas en inglés, SPL_{peak}) con unidades de dB pico re 1μPa m representa el nivel de presión acústica máxima durante un evento de ruido, siendo la unidad recomendada para el ruido impulsivo. Su ventaja es que captura los picos instantáneos característicos de eventos impulsivos. Es crítico en contextos donde el daño biológico depende del pico máximo, como en organismos que experimentan trauma auditivo.

$$N_{0-p} = 20 \log_{10} \left(\frac{P_{pico}}{P_{ref}} \right)$$

- **Ruido continuo**, es aquel que representa el nivel promedio de presión acústica en un periodo de tiempo. Es útil para medir sonidos continuos, ya que proporciona una estimación de la energía acústica promedio que puede afectar al entorno marino. Su ventaja es que representa la potencia global del ruido continuo de forma más representativa. Su uso se recomienda en evaluaciones de ruido ambiental submarino a largo plazo, como el tráfico marítimo o el uso de maquinaria subacuática.

La unidad de medida utilizada es el RMS (Root Mean Square):

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T |x(t)|^2 dt}$$

Las presiones sonoras en unidades de micropascales (μPa) son detectadas por los hidrófonos por medio de voltajes, de forma que las unidades de referencia para la sensibilidad de los mismos son $1\text{V}/\mu\text{Pa}$. Estas unidades de presión obtenidas por dicha relación es lo que permite obtener las intensidades sonoras en unidades de decibelios, partiendo de la siguiente expresión logarítmica:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)$$

donde P es la presión sonora (en μPa).

En función de las mediciones que se vayan a realizar, esta expresión logarítmica cambia, de modo que, aunque las unidades de referencia obtenidas sean decibelios (dB) no se está haciendo referencia a las mismas presiones sonoras, y por tanto no son los mismos resultados.

A la hora de estudiar las presiones sonoras es necesario tener en cuenta que existen muchos factores que condicionan la propagación de las ondas sonoras en el medio marino, como son la profundidad, salinidad, temperatura, etc. que modifican las propiedades de transmisión del sonido, y que a su vez afectan a la divergencia, absorción, refracción y dispersión del sonido.

Mediante software específico de programación, se realizaron los espectrogramas parciales, por cada hora, mediante una Transformada Rápida de Fourier (FFT), así como los oscilogramas, donde se pueden apreciar las variaciones de intensidad sonora, detectando eventos de mayor intensidad, como el paso de barcos. La Ilustración 5 muestra un espectrograma donde se aprecia el efecto Doppler, que ocurre cuando hay un movimiento relativo entre una fuente de sonido y un observador; en este caso representa el paso de un barco por las inmediaciones del hidrófono. La Ilustración 6 representa el oscilograma asociado al espectrograma, donde se muestra la amplitud de la onda.

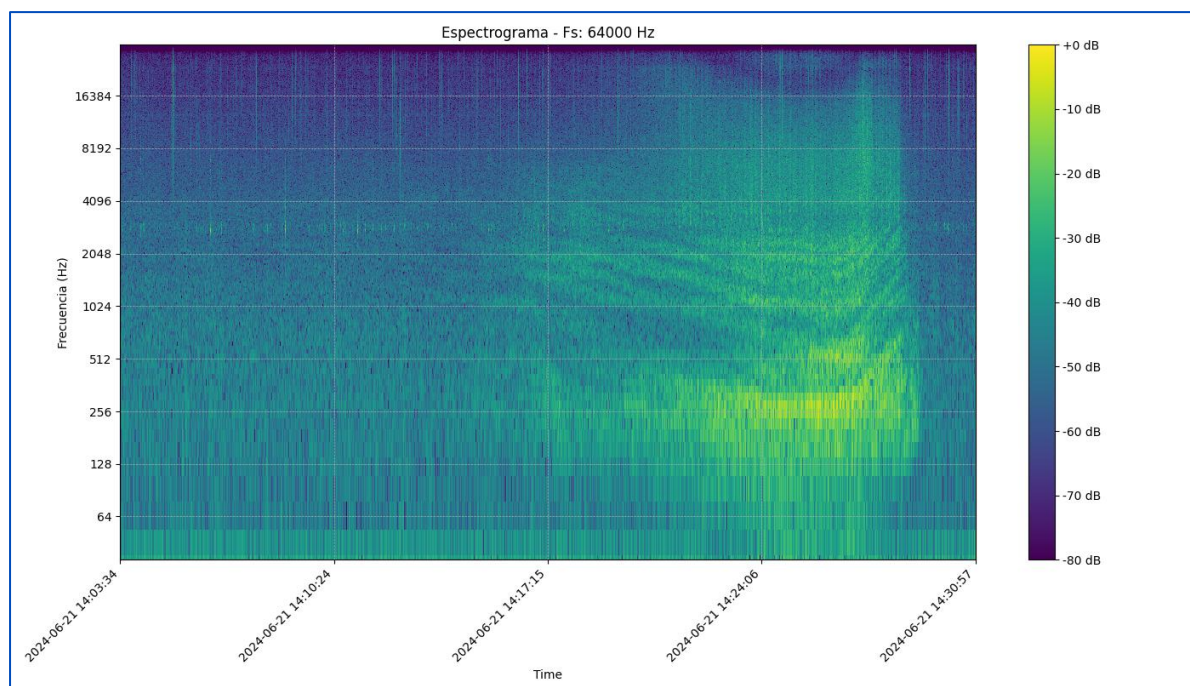


Ilustración 5. Espectrograma donde se muestra un efecto Doppler causado por el paso de una embarcación.

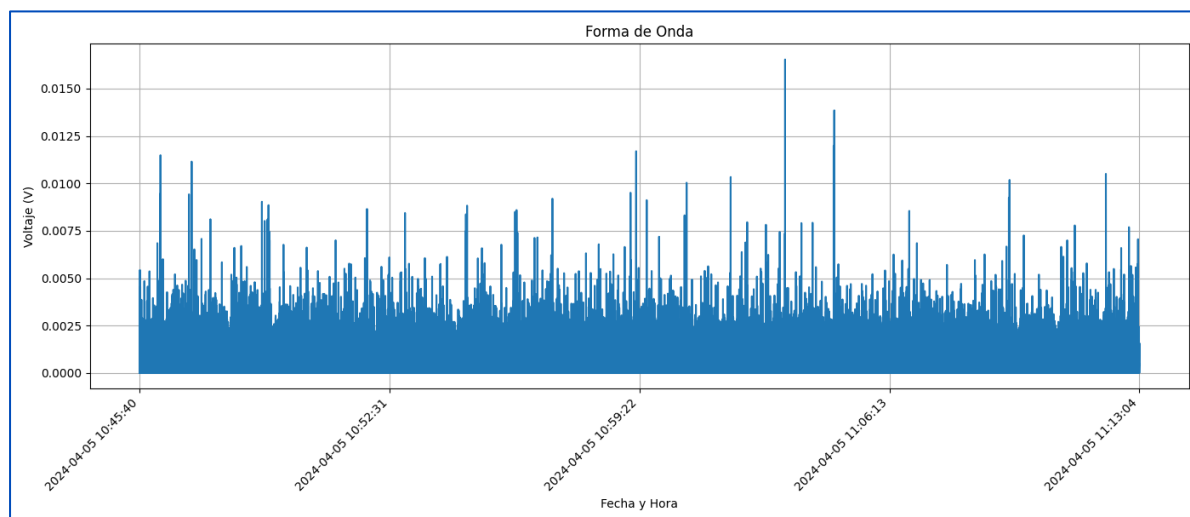


Ilustración 6. Oscilograma asociado al espectrograma.

Gracias a los espectrogramas, y a la localización de eventos donde existe variación en las intensidades sonoras, es posible acudir posteriormente a los audios para intentar detectar de qué se trata, paso de barcos, eventos naturales como tormentas, etc. En la Ilustración 7 se aprecia un evento de mayor intensidad, que tras la escucha del correspondiente audio, se determinó que se trataba de un evento de lluvia.

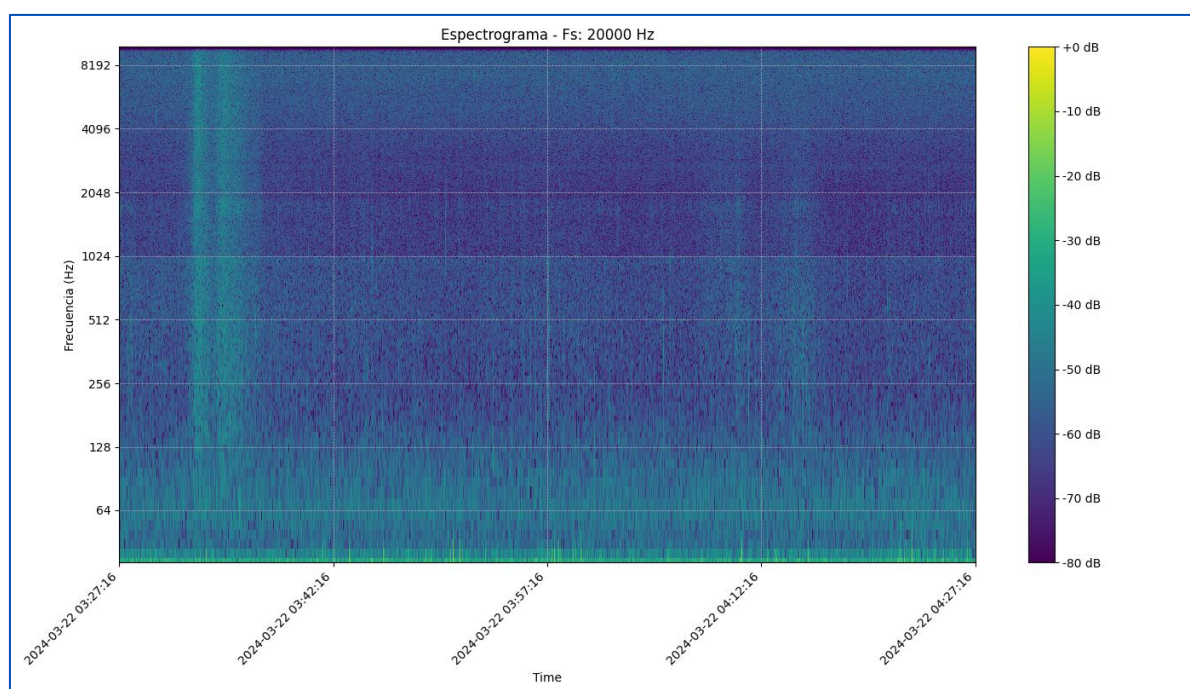


Ilustración 7. Espectrograma donde se representa un fenómeno de lluvias fuertes que aumentan la intensidad del espectro sonoro.

Tras este primer procesado, se realiza un cálculo de los distintos valores de presión sonora en diferentes bandas de tercio de octava (63 Hz, 125 Hz, 2000 Hz, 8000 Hz y 16000 Hz), así como el cálculo de los diferentes percentiles para cada banda.

Estos valores se representan mediante diferentes gráficas temporales, donde se pueden apreciar las variaciones de los niveles de presión sonora a lo largo del período de grabación. Por otro lado, también se representan gráficas temporales de los diferentes periodos estacionales. Los periodos estacionales que se han seleccionado para el procesamiento son los siguientes: periodo de primavera desde el 20 de marzo al 20 de junio (3 meses), periodo de verano desde el 5 de agosto hasta el 6 de septiembre (1 mes), periodo de otoño desde el 21 de septiembre al 10 de noviembre (2 meses y medio), y periodo de invierno desde el 11 de noviembre hasta el 18 de diciembre (1 mes).

5. RESULTADOS

5.1. Periodo de primavera

Para el periodo de primavera, se han procesado los datos desde el día 20 de marzo al 20 de junio, siendo un total de tres meses de datos acústicos medidos en continuo.

Tanto al comienzo como al final del periodo, existen unos días en los que aumenta de forma notable la intensidad del ruido, siendo el periodo entre estos dos eventos algo más constante. Este aumento prolongado de la intensidad sonora, tras la revisión de los espectrogramas y los audios, no parece estar relacionado con ruido antropogénico.

Al observar los niveles de presión sonora en las diferentes bandas de tercio de octava (Gráfico 1) existe una mayor intensidad sonora en las bandas de altas frecuencias (8 KHz y 16 KHz).

Las bandas de 63 Hz y 125 Hz parecen ser las más variables en términos de nivel de presión sonora. Son frecuencias comúnmente asociada a fuentes como motores de embarcaciones, por lo que su variación encaja con el trasiego de embarcaciones que pasan por la zona.

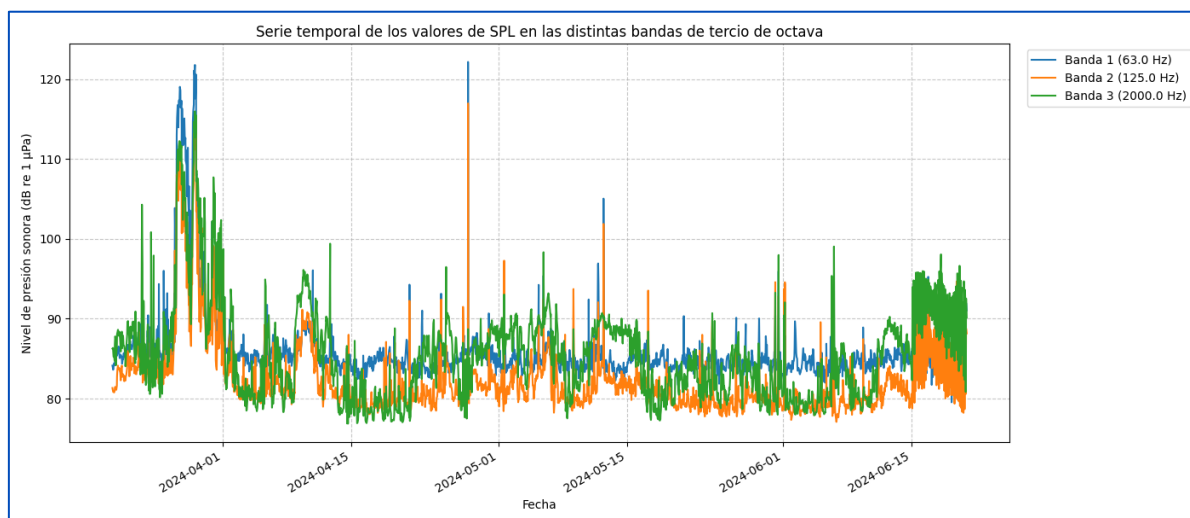


Gráfico 1. Serie temporal de los niveles de presión sonora en las diferentes bandas de tercio de octava, durante el periodo de primavera.

A continuación, se representan las variaciones de los valores de SPL para los diferentes percentiles en cada una de las bandas estudiadas.

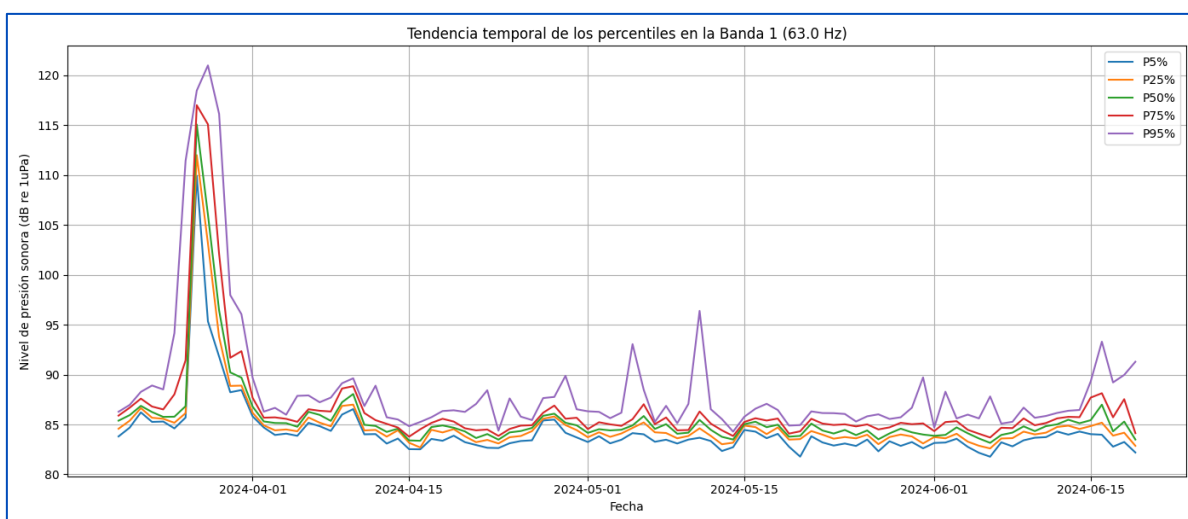


Gráfico 2. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 63Hz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de primavera.

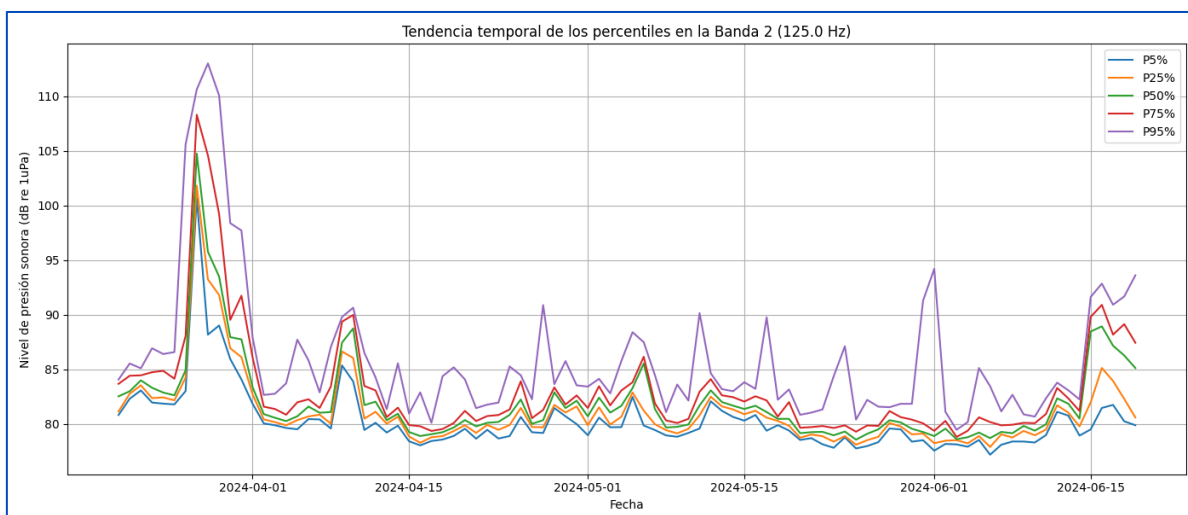


Gráfico 3. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 125Hz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de primavera.

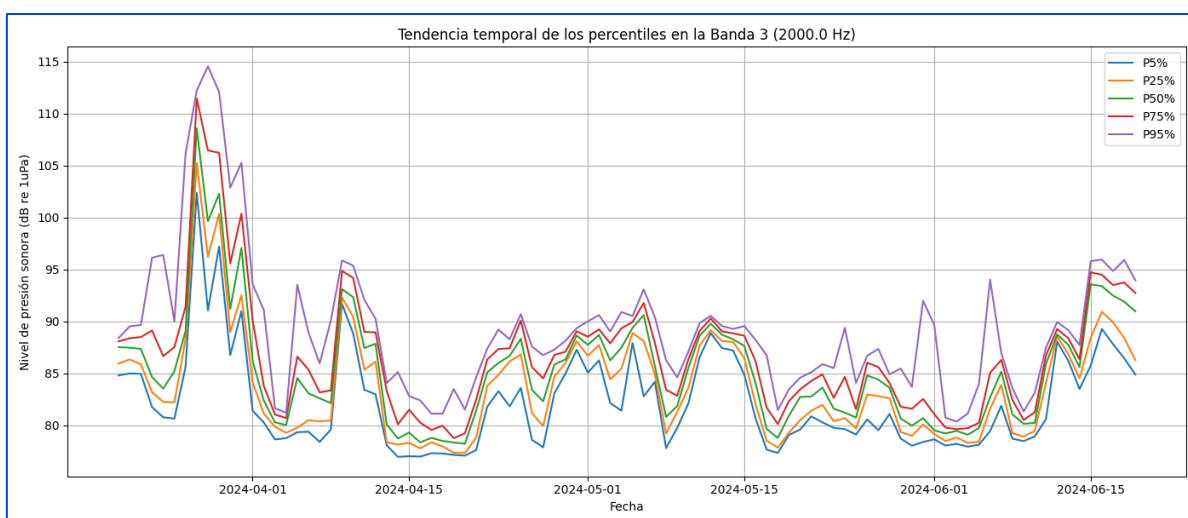


Gráfico 4. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 2 KHz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de primavera.

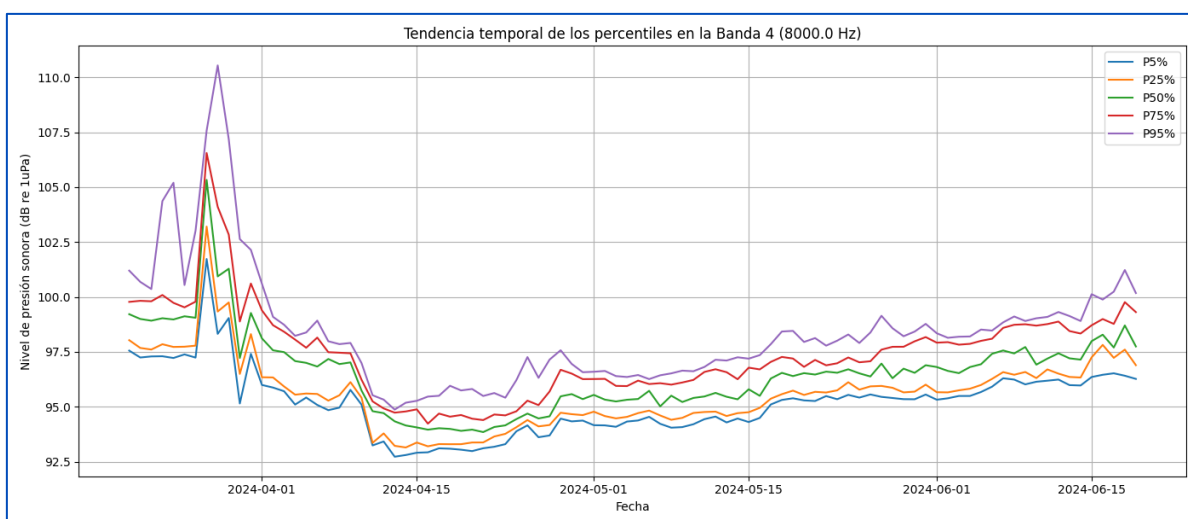


Gráfico 5. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 8 KHz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de primavera.

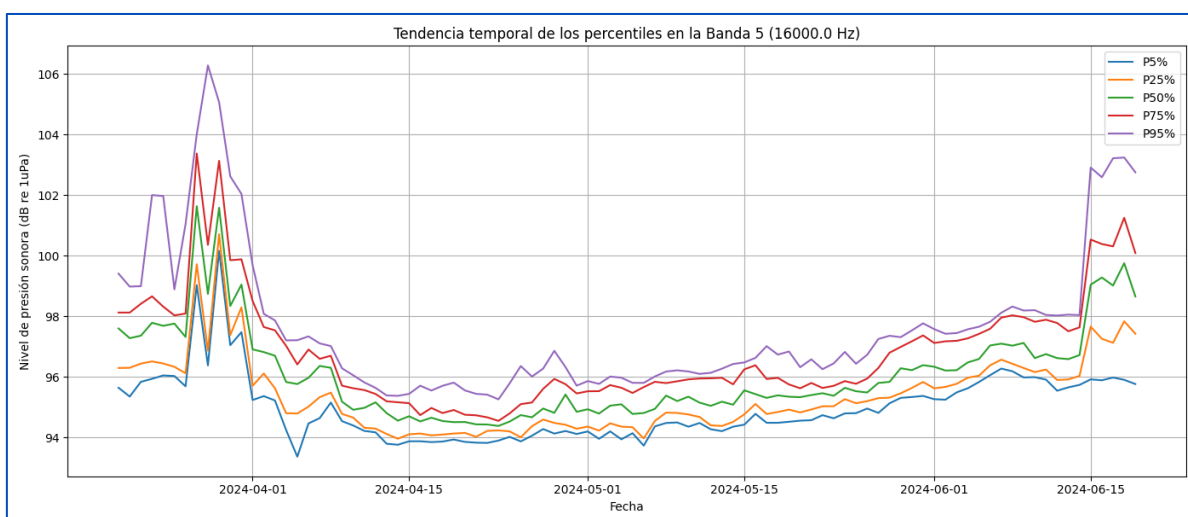


Gráfico 6. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 16 KHz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de primavera.

Los valores detectados en las bandas más altas, de 8 y 16 kHz, son valores de SPL algo altos en relación a lo que se cabría esperar en una zona como la estudiada. Habría que estudiar más en profundidad la zona para llegar a alguna conclusión que explique estos valores.

A continuación, en la Tabla 6 se muestran los valores de los diferentes niveles de presión sonora para el conjunto del periodo de primavera:

Tabla 6. Valores medios de presión sonora durante el periodo de primavera.

Parámetros	Valores (dB re 1μPa)
Banda 1 (63 Hz)	
Percentil 5%	83
Percentil 25%	84
Percentil 50%	84.9
Percentil 75%	85.9
Percentil 95%	91.6
Banda 2 (125 Hz)	
Percentil 5%	78.5
Percentil 25%	79.7
Percentil 50%	80.9
Percentil 75%	83.1
Percentil 95%	91.3
Banda 3 (2000 Hz)	
Percentil 5%	78.3
Percentil 25%	80.8
Percentil 50%	84.8
Percentil 75%	88.5
Percentil 95%	95.7
Banda 4 (8000 Hz)	
Percentil 5%	93.6
Percentil 25%	95
Percentil 50%	96.2
Percentil 75%	97.8
Percentil 95%	100.2
Banda 5 (16000 Hz)	
Percentil 5%	94.1
Percentil 25%	94.8
Percentil 50%	95.7
Percentil 75%	96.9
Percentil 95%	100

Los valores de nivel de presión sonora para las bandas de 8kHz y 16 kHz son mayores que los de baja frecuencia. Aunque los valores no son excesivamente altos, es un comportamiento anómalo.

5.2. Periodo de verano

Para el periodo verano, se han procesado los datos desde el día 5 de agosto hasta el 6 de septiembre, siendo un total de un mes de datos acústicos medidos en continuo. Se observan valores de nivel de presión sonora bastante estables a lo largo del tiempo.

La variación de los niveles de presión sonora en las diferentes bandas de tercio de octavas estudiadas (Gráfico 7) indica que las bandas de 63 y 125 Hz son las más

variables. Estas frecuencias bajas se asocian comúnmente a fuentes como motores de embarcaciones o fenómenos naturales de baja frecuencia.

La banda de 2000 Hz tiene valores de SPL más altos que las bandas de baja frecuencia y es más estable, probablemente esté relacionada con fuentes biológicas.

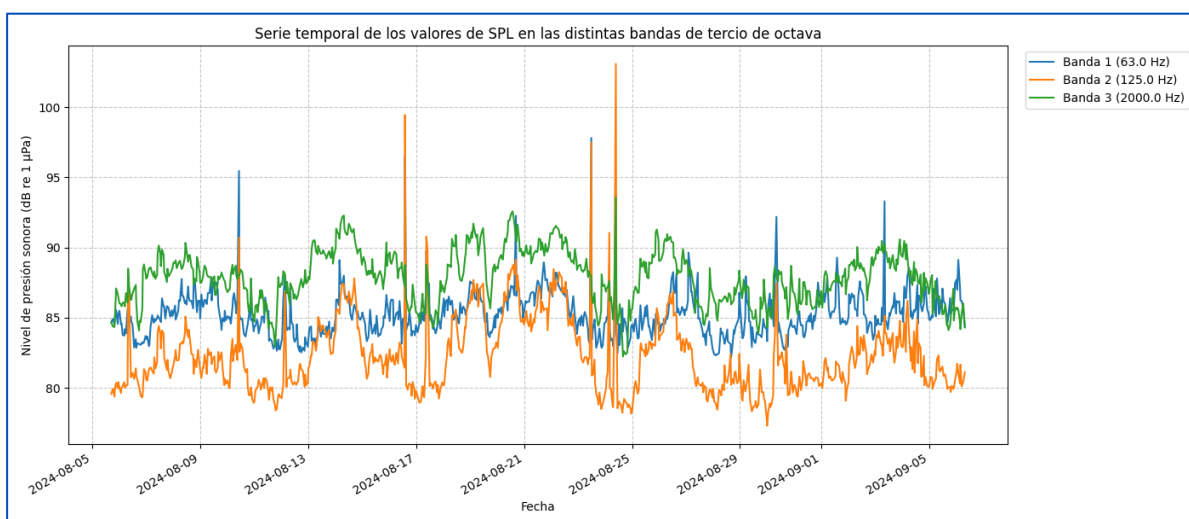


Gráfico 7. Serie temporal de los niveles de presión sonora en las diferentes bandas de tercio de octava, durante el periodo de verano.

A continuación, se representan las variaciones de los valores de SPL para los diferentes percentiles en cada una de las bandas estudiadas.

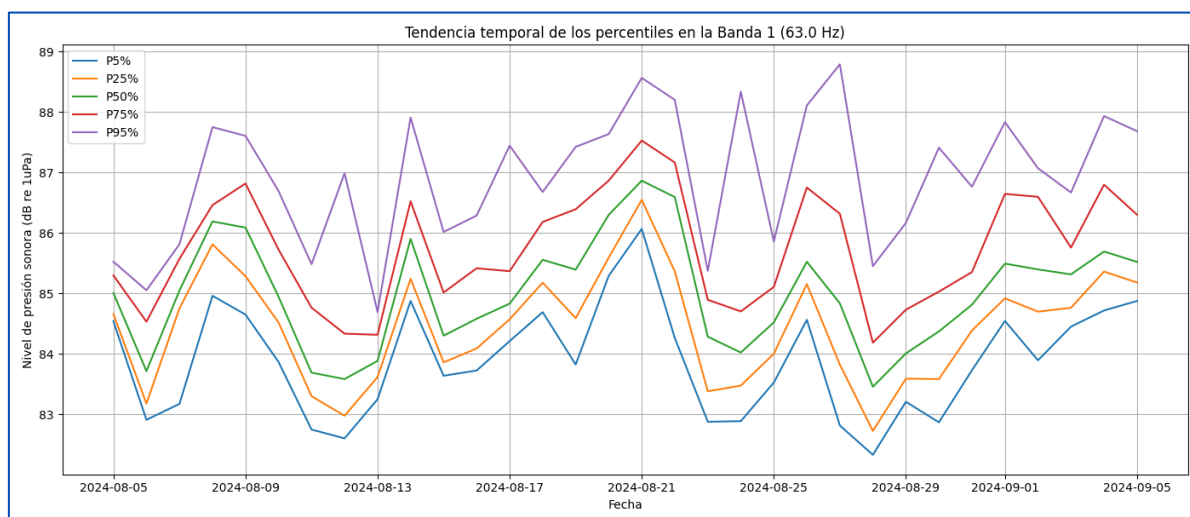


Gráfico 8. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 63Hz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de verano.

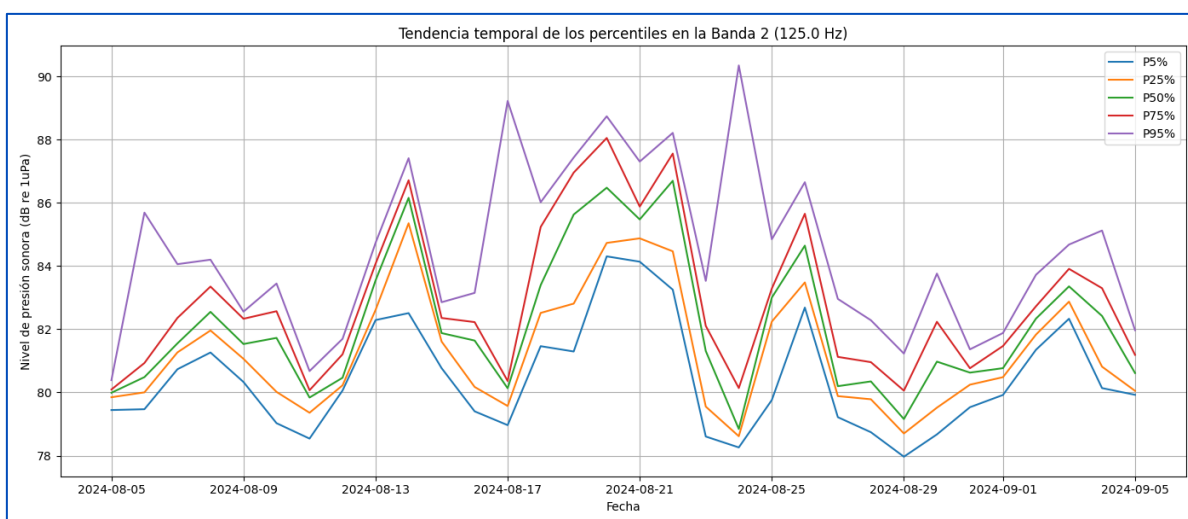


Gráfico 9. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 125Hz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de verano.

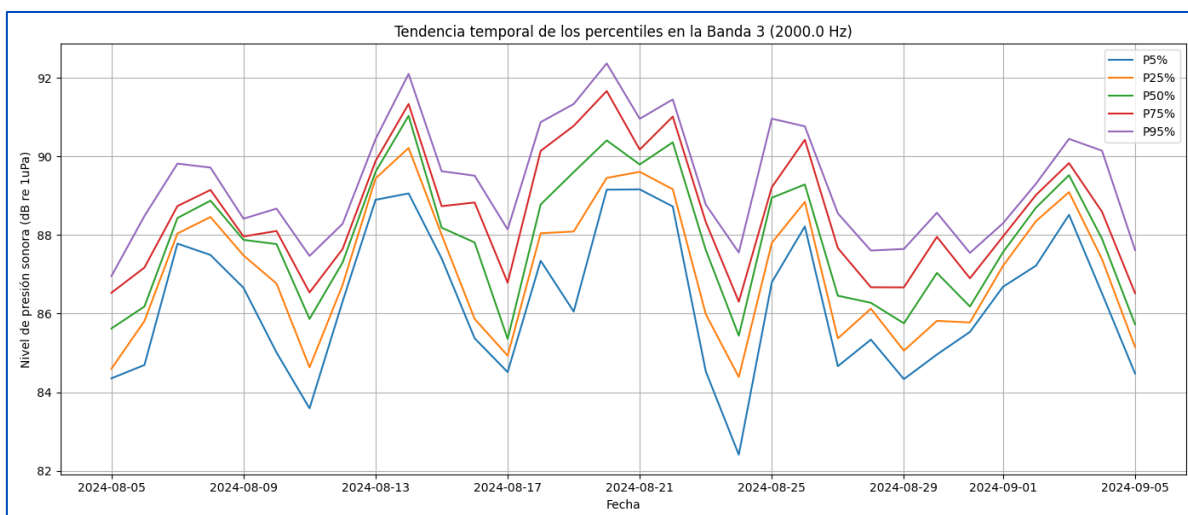


Gráfico 10. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 2 KHz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de verano.

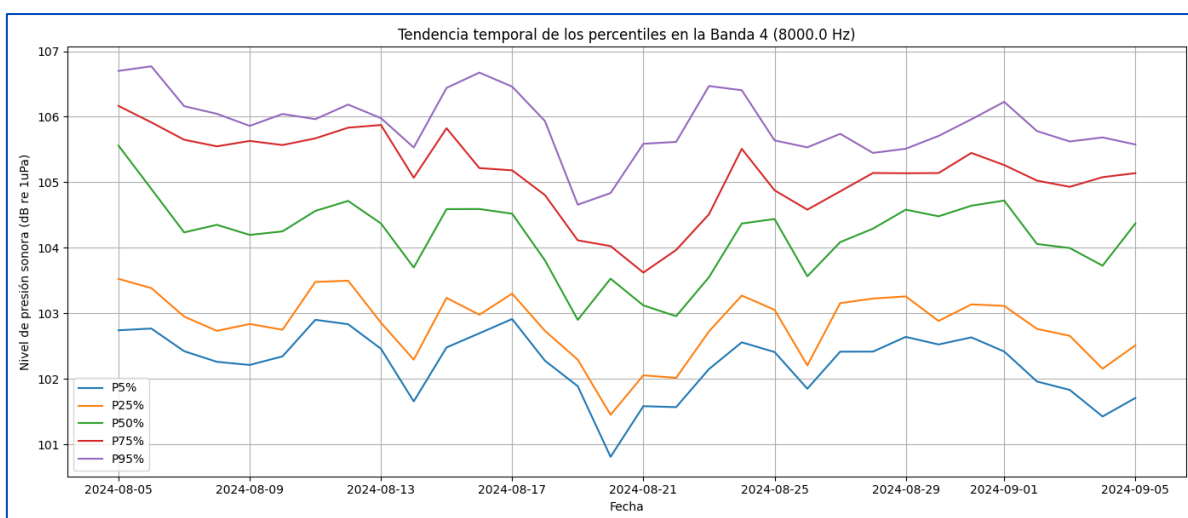


Gráfico 11. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 8 KHz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de verano.

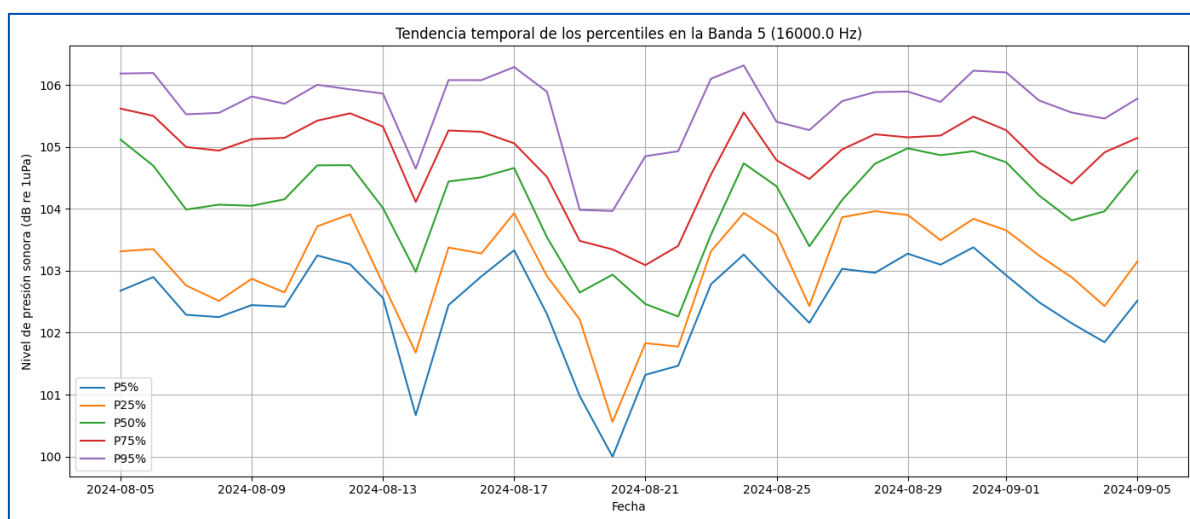


Gráfico 12. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 16 KHz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de verano.

Los valores detectados en las bandas más altas, de 8 y 16 kHz, son valores de SPL algo altos en relación a lo que se cabría esperar en una zona como la estudiada. Habría que estudiar más en profundidad la zona para llegar a alguna conclusión que explique estos valores.

A continuación, en la Tabla 7 se muestran los valores de los diferentes niveles de presión sonora para el conjunto del periodo de verano:

Tabla 7. Valores medios de presión sonora durante el periodo de verano.

Parámetros	Valores (dB re 1μPa)
Banda 1 (63 Hz)	
Percentil 5%	83
Percentil 25%	84.2
Percentil 50%	85
Percentil 75%	86.2
Percentil 95%	87.7
Banda 2 (125 Hz)	
Percentil 5%	78.9
Percentil 25%	80.3
Percentil 50%	81.8
Percentil 75%	83.5
Percentil 95%	87
Banda 3 (2000 Hz)	
Percentil 5%	84.7
Percentil 25%	86.5
Percentil 50%	87.9
Percentil 75%	89.2
Percentil 95%	90.9

Parámetros	Valores (dB re 1μPa)
Banda 4 (8000 Hz)	
Percentil 5%	101.8
Percentil 25%	102.7
Percentil 50%	103.8
Percentil 75%	105.2
Percentil 95%	106.1
Banda 5 (16000 Hz)	
Percentil 5%	101.8
Percentil 25%	103
Percentil 50%	104
Percentil 75%	105
Percentil 95%	106

Los valores de nivel de presión sonora para las bandas de 8kHz y 16 kHz son mayores que los de baja frecuencia. Aunque los valores no son excesivamente altos, es un comportamiento anómalo.

5.3. Periodo de otoño

Para el periodo de otoño, se han procesado los datos desde el día 21 de septiembre al 10 de noviembre, siendo un total de dos meses y medio de datos acústicos medidos en continuo.

El periodo de muestreo presenta un paisaje sonoro bastante homogéneo. Existen algunos eventos de mayor intensidad que, tras la revisión de los espectrogramas y los audios, se corresponden con el paso de embarcaciones por la zona.

Las bandas de 63 Hz y 125 Hz parecen ser las más variables en términos de nivel de SPL. Son frecuencias comúnmente asociada a fuentes como motores de embarcaciones, por lo que su variación podría encajar con el trasiego de embarcaciones que pasan por la zona.

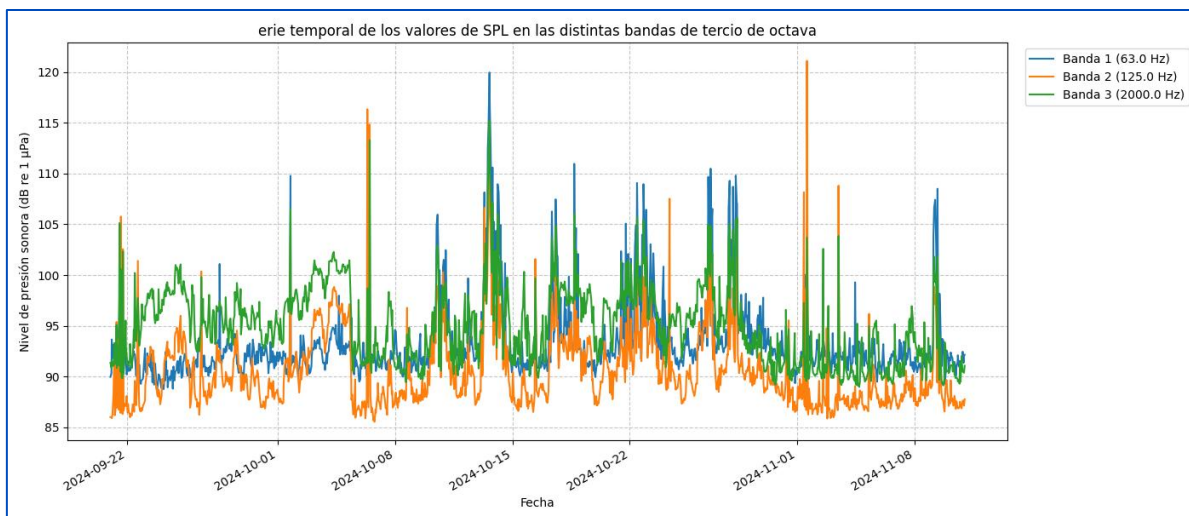


Gráfico 13. Serie temporal de los niveles de presión sonora en las diferentes bandas de tercio de octava, durante el periodo de otoño.

A continuación, se representan las variaciones de los valores de SPL para los diferentes percentiles en cada una de las bandas estudiadas.

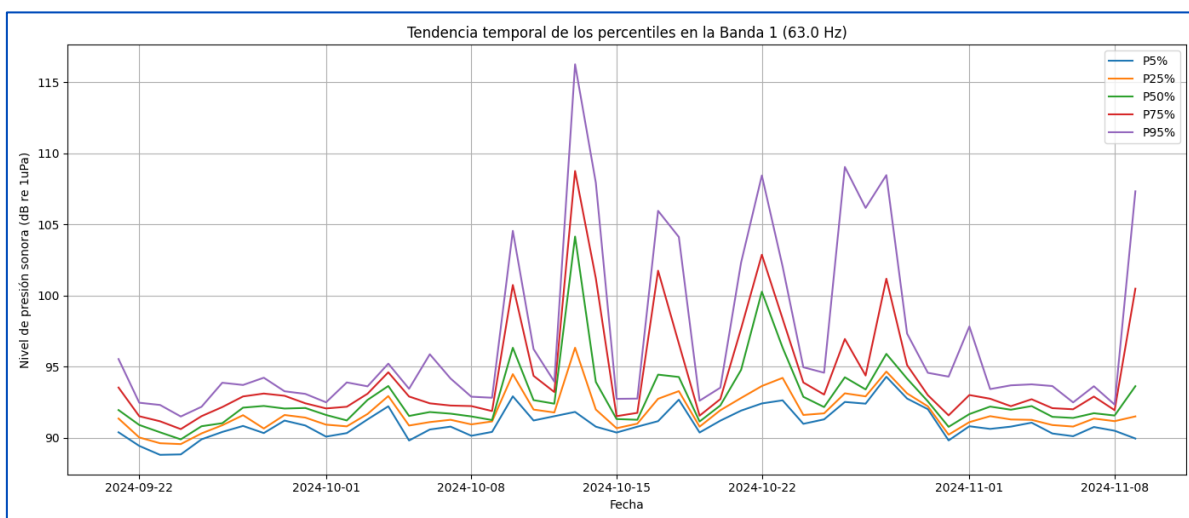


Gráfico 14. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 63Hz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de otoño.

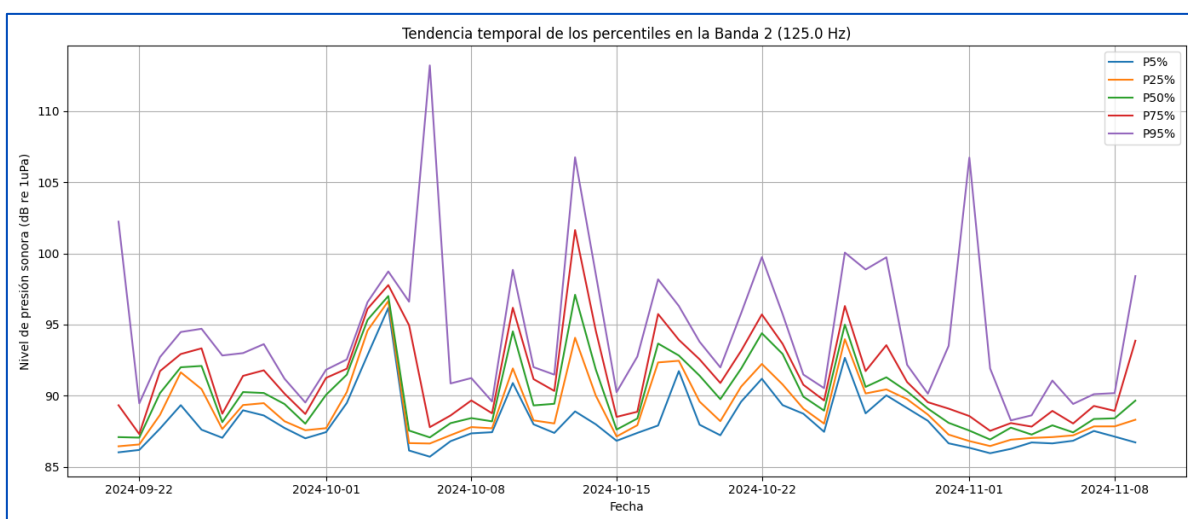


Gráfico 15. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 125Hz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de otoño.

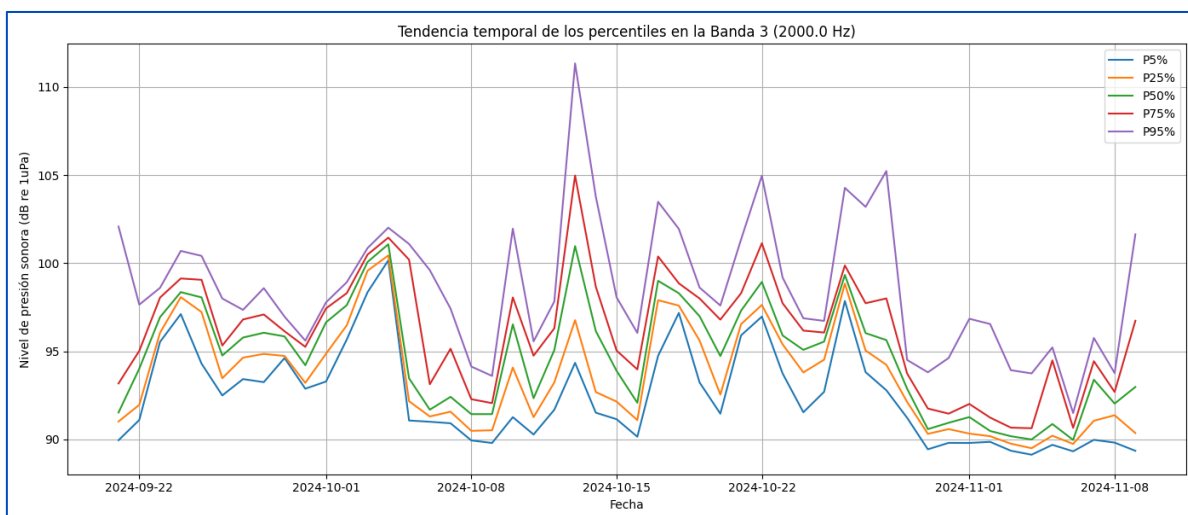


Gráfico 16. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 2 KHz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de otoño.

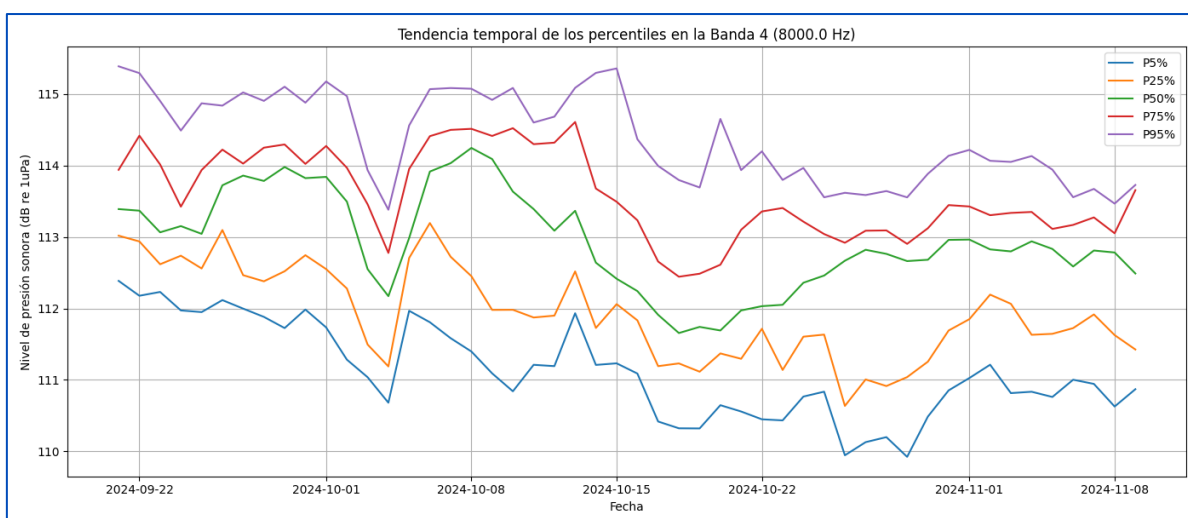


Gráfico 17. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 8 KHz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de otoño.

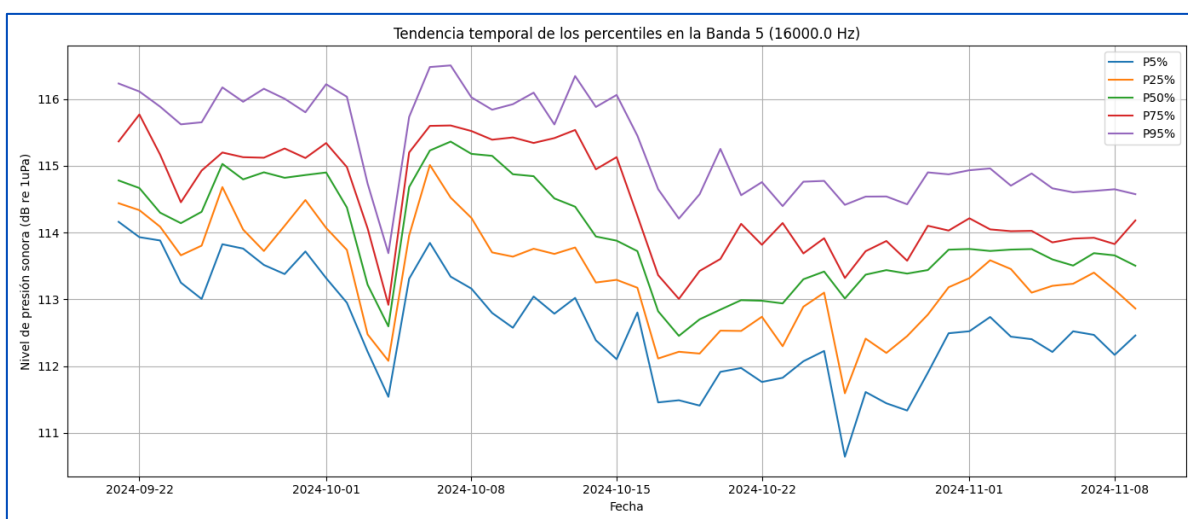


Gráfico 18. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 16 KHz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de otoño.

Los valores detectados en las bandas más altas, de 8 y 16 kHz, son valores de SPL elevados en relación a lo que se cabría esperar en una zona como la estudiada. Habría que estudiar más en profundidad la zona para llegar a alguna conclusión que explique estos valores.

A continuación, en la Tabla 8 se muestran los valores de los diferentes niveles de presión sonora para el conjunto del periodo de otoño:

Tabla 8. Valores medios de presión sonora durante el periodo de otoño.

Parámetros	Valores (dB re 1μPa)
Banda 1 (63 Hz)	
Percentil 5%	90.1
Percentil 25%	91.2
Percentil 50%	92.1
Percentil 75%	93.5
Percentil 95%	102
Banda 2 (125 Hz)	
Percentil 5%	86.6
Percentil 25%	87.9
Percentil 50%	89.5
Percentil 75%	92.2
Percentil 95%	97.3
Banda 3 (2000 Hz)	
Percentil 5%	89.8
Percentil 25%	91.7
Percentil 50%	94.8
Percentil 75%	97.6
Percentil 95%	101
Banda 4 (8000 Hz)	

Parámetros	Valores (dB re 1μPa)
Percentil 5%	110
Percentil 25%	111.8
Percentil 50%	112.8
Percentil 75%	113.7
Percentil 95%	114.7
Banda 5 (16000 Hz)	
Percentil 5%	112
Percentil 25%	113.1
Percentil 50%	113.8
Percentil 75%	114.7
Percentil 95%	115.8

Los valores de nivel de presión sonora para las bandas de 8kHz y 16 kHz son mayores que los de baja frecuencia, en el orden de hasta 20dB de diferencia. Aunque los valores no son excesivamente altos, es un comportamiento anómalo.

5.4. Periodo de invierno

Para el periodo invierno, se han procesado los datos desde el día 11 de noviembre hasta el 18 de diciembre, siendo un total de poco más de un mes de datos acústicos medidos en continuo.

La variación de los niveles de presión sonora en las diferentes bandas de tercio de octava estudiadas (Gráfico 19) indica que las bandas de 63, 125 y 2000 Hz son las más variables. Estas frecuencias bajas se asocian comúnmente a fuentes como motores de embarcaciones o fenómenos naturales de baja y media frecuencia.

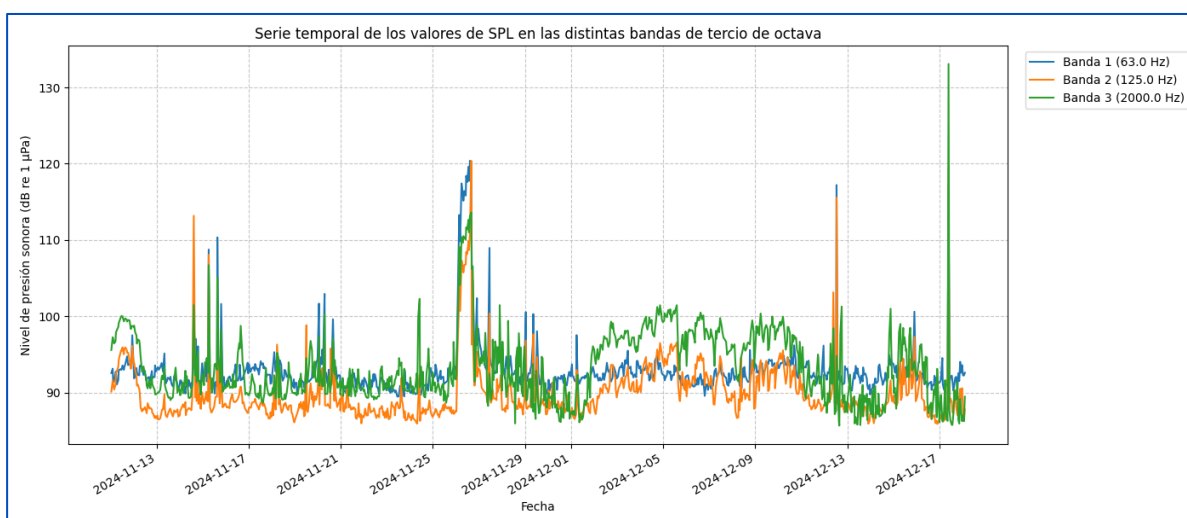


Gráfico 19. Serie temporal de los niveles de presión sonora en las diferentes bandas de tercio de octava, durante el periodo de invierno.

A continuación, se representan las variaciones de los valores de SPL para los diferentes percentiles en cada una de las bandas estudiadas.

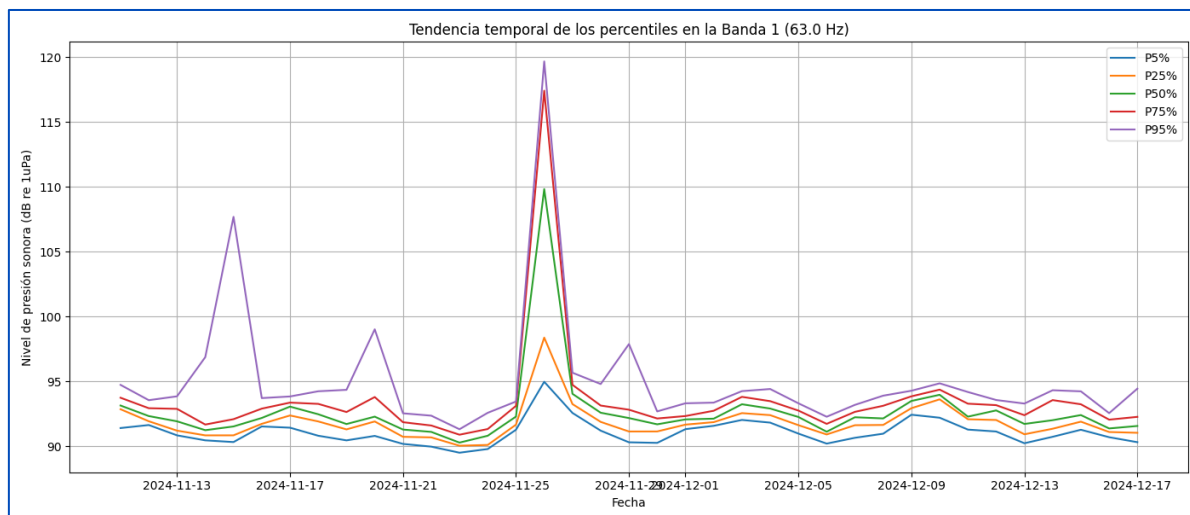


Gráfico 20. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 63Hz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de invierno.

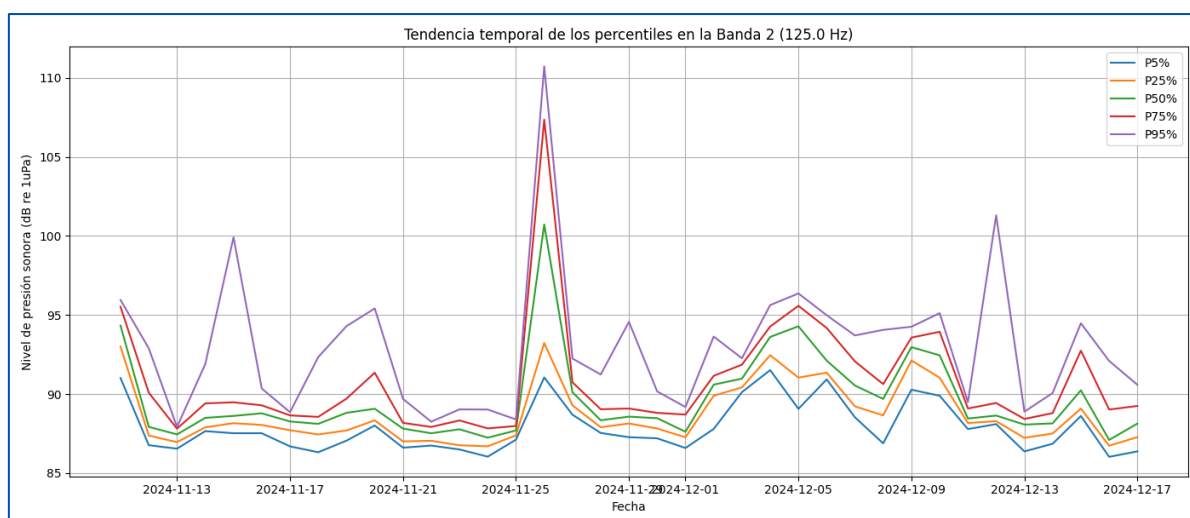


Gráfico 21. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 125Hz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de invierno.

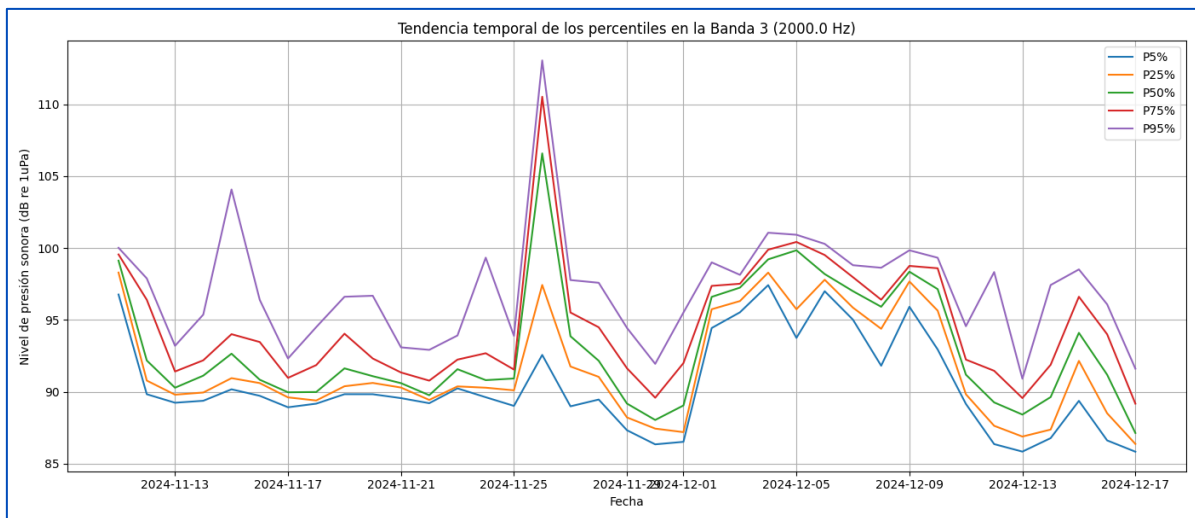


Gráfico 22. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 2 KHz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de invierno.

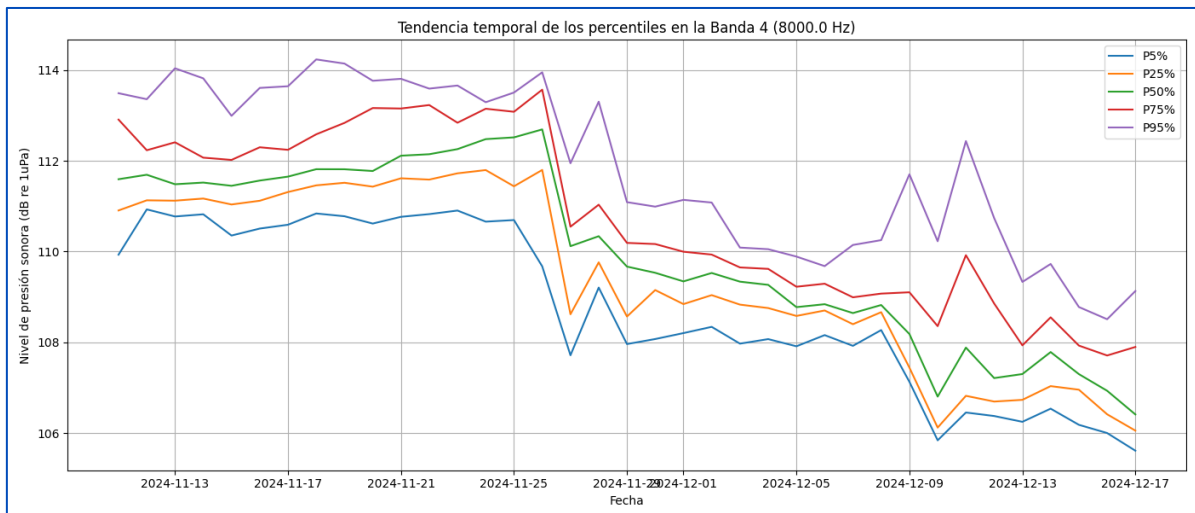


Gráfico 23. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 8 KHz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de invierno.

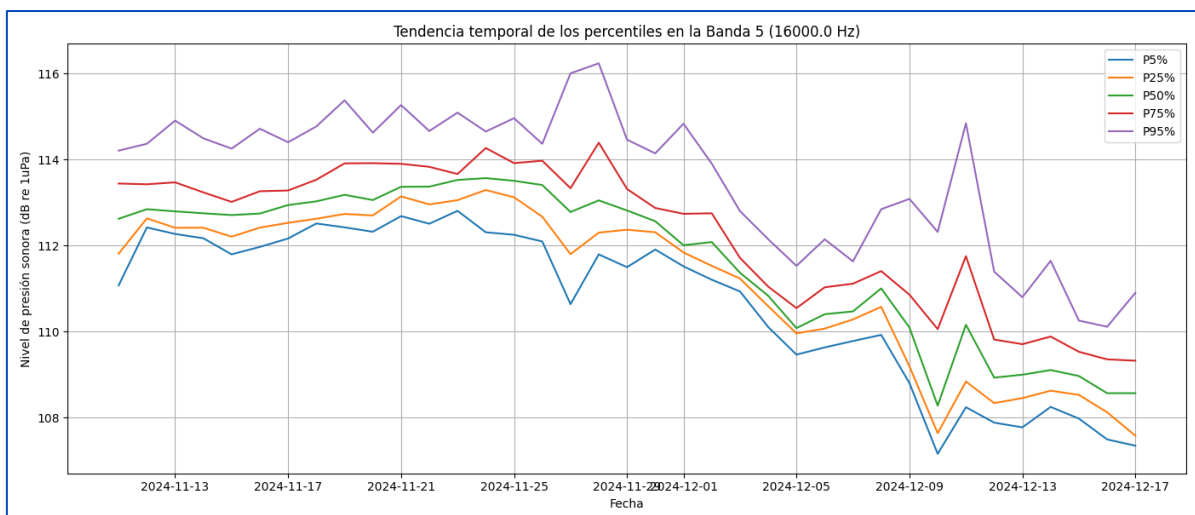


Gráfico 24. Serie temporal de los niveles de SPL en los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, de la banda de 16 KHz, calculados para una ventana temporal de integración de 1 hora. Periodo de invierno.

Los valores detectados en las bandas más altas, de 8 y 16 kHz, son valores de SPL elevados en relación a lo que se cabría esperar en una zona como la estudiada. Habría que estudiar más en profundidad la zona para llegar a alguna conclusión que explique estos valores.

A continuación, en la Tabla 9 se muestran los valores de los diferentes niveles de presión sonora para el conjunto del periodo de invierno:

Tabla 9. Valores medios de presión sonora durante el periodo de invierno.

Parámetros	Valores (dB re 1μPa)
Banda 1 (63 Hz)	
Percentil 5%	90.3
Percentil 25%	91.4
Percentil 50%	92.2
Percentil 75%	93.2
Percentil 95%	95.6
Banda 2 (125 Hz)	
Percentil 5%	86.7
Percentil 25%	87.8
Percentil 50%	88.7
Percentil 75%	91.1
Percentil 95%	95.5
Banda 3 (2000 Hz)	
Percentil 5%	87.2
Percentil 25%	89.9
Percentil 50%	92.1
Percentil 75%	96.7
Percentil 95%	100
Banda 4 (8000 Hz)	
Percentil 5%	106.5
Percentil 25%	108.5
Percentil 50%	110.2
Percentil 75%	111.7
Percentil 95%	113.5
Banda 5 (16000 Hz)	
Percentil 5%	108.2
Percentil 25%	110.4
Percentil 50%	112.3
Percentil 75%	113.1
Percentil 95%	114.5

Los valores de nivel de presión sonora para las bandas de 8kHz y 16 kHz son mayores que los de baja frecuencia, en el orden de hasta 20dB de diferencia. Aunque los valores no son excesivamente altos, es un comportamiento anómalo.

6. CONCLUSIONES

Una vez estudiados los cuatro periodos estacionales, realizamos una comparación para apreciar posibles diferencias entre ellos (Tabla 10).

Se observa un incremento marcado y progresivo de las medias de nivel de presión sonora desde primavera hasta otoño en todas las bandas de frecuencia analizadas. Durante el otoño se presentan los niveles más altos en todos los percentiles, lo que indica una mayor presencia o intensidad de fuentes acústicas durante esta estación.

Este patrón indica una intensificación generalizada del ambiente acústico marino hacia el final del año, que podría estar vinculada a una mayor actividad marítima pesquera o recreativa en otoño.

Durante primavera y verano, los niveles se mantienen relativamente constantes, siendo menores que en otoño e invierno. Por ejemplo, en la banda de 2000 Hz, el percentil 50% apenas sube de 84.8 dB (primavera) a 87.9 dB (verano), una variación menor comparada con el salto a 94.8 dB en otoño.

Los valores de SPL detectados en las bandas más altas, de 8 y 16 kHz son elevados en relación a lo que se cabría esperar en una zona como la estudiada. Habría que estudiar más en profundidad la zona para llegar a alguna conclusión que explique estos valores.

En conjunto, estos resultados reflejan una clara transformación estacional del paisaje sonoro submarino.

Tabla 10. Tabla comparativa de las medias de SPL obtenidas en los periodos estacionales durante el año 2024.

Parámetros	Valores (dB re 1µPa)			
	Primavera (20/03/2024 - 20/06/2024)	Verano (05/08/2024 - 06/09/2024)	Otoño (21/09/2024 - 10/11/2024)	Invierno (11/11/2024 - 18/12/2024)
Banda 1 (63 Hz)				
Percentil 5%	83	83	90.1	90.3
Percentil 25%	84	84.2	91.2	91.4
Percentil 50%	84.9	85	92.1	92.2
Percentil 75%	85.9	86.2	93.5	93.2
Percentil 95%	91.6	87.7	102	95.6
Banda 2 (125 Hz)				
Percentil 5%	78.5	78.9	86.6	86.7
Percentil 25%	79.7	80.3	87.9	87.8
Percentil 50%	80.9	81.8	89.5	88.7
Percentil 75%	83.1	83.5	92.2	91.1

Parámetros	Valores (dB re 1μPa)			
	Primavera (20/03/2024 – 20/06/2024)	Verano (05/08/2024 – 06/09/2024)	Otoño (21/09/2024 – 10/11/2024)	Invierno (11/11/2024 – 18/12/2024)
Percentil 95%	91.3	87	97.3	95.5
Banda 3 (2000 Hz)				
Percentil 5%	78.3	84.7	89.8	87.2
Percentil 25%	80.8	86.5	91.7	89.9
Percentil 50%	84.8	87.9	94.8	92.1
Percentil 75%	88.5	89.2	97.6	96.7
Percentil 95%	95.7	90.9	101	100
Banda 4 (8000 Hz)				
Percentil 5%	93.6	101.8	110	106.5
Percentil 25%	95	102.7	111.8	108.5
Percentil 50%	96.2	103.8	112.8	110.2
Percentil 75%	97.8	105.2	113.7	111.7
Percentil 95%	100.2	106.1	114.7	113.5
Banda 5 (16000 Hz)				
Percentil 5%	94.1	101.8	112	108.2
Percentil 25%	94.8	103	113.1	110.4
Percentil 50%	95.7	104	113.8	112.3
Percentil 75%	96.9	105	114.7	113.1
Percentil 95%	100	106	115.8	114.5

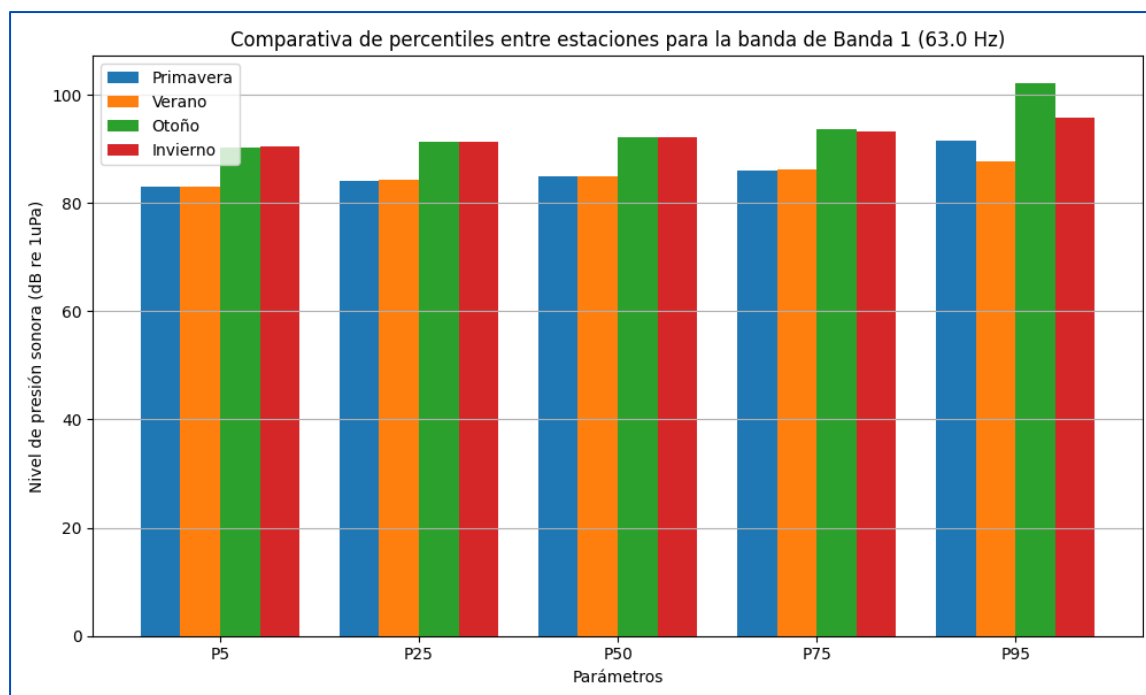


Gráfico 25. Comparativa de las medias de SPL para los diferentes percentiles en la banda de 63 Hz.

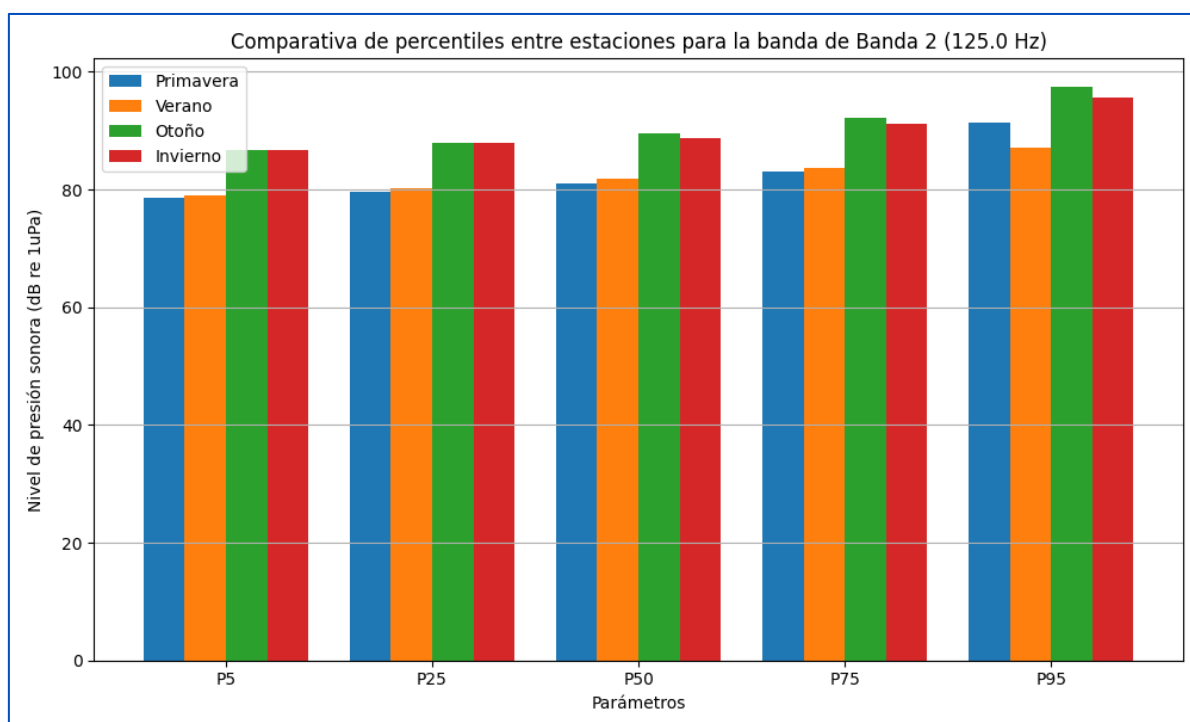


Gráfico 26. Comparativa de las medias de SPL para los diferentes percentiles en la banda de 125 Hz.

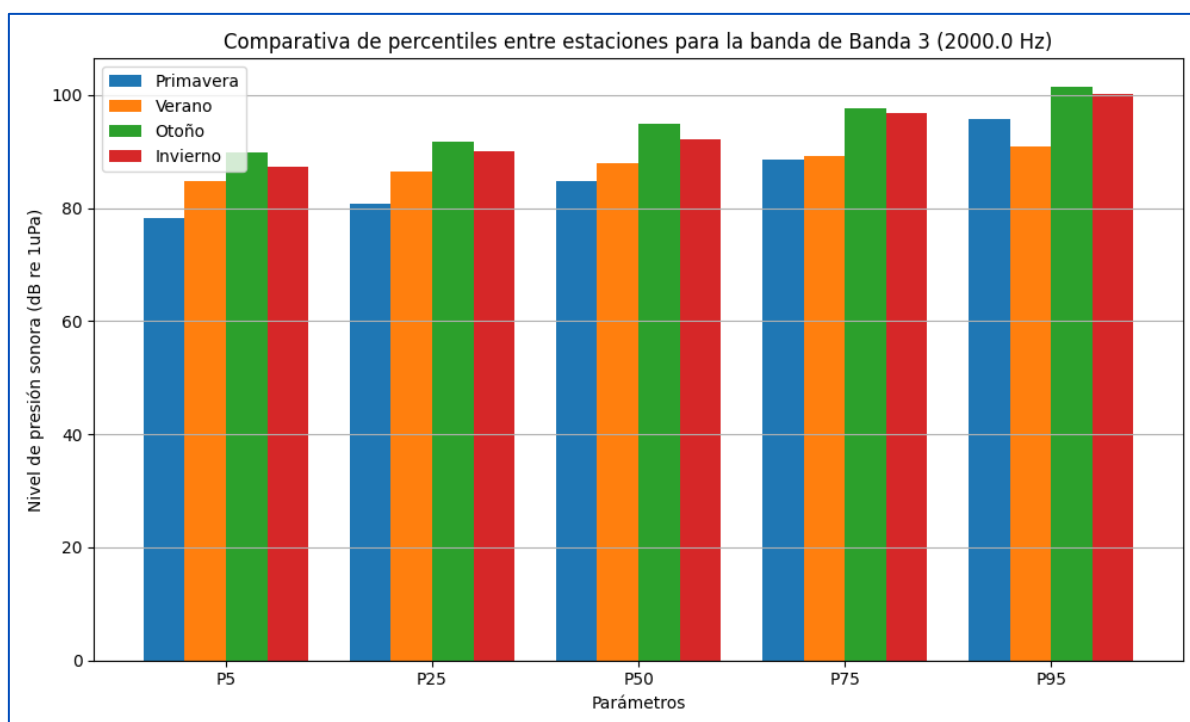


Gráfico 27. Comparativa de las medias de SPL para los diferentes percentiles en la banda de 2 kHz.

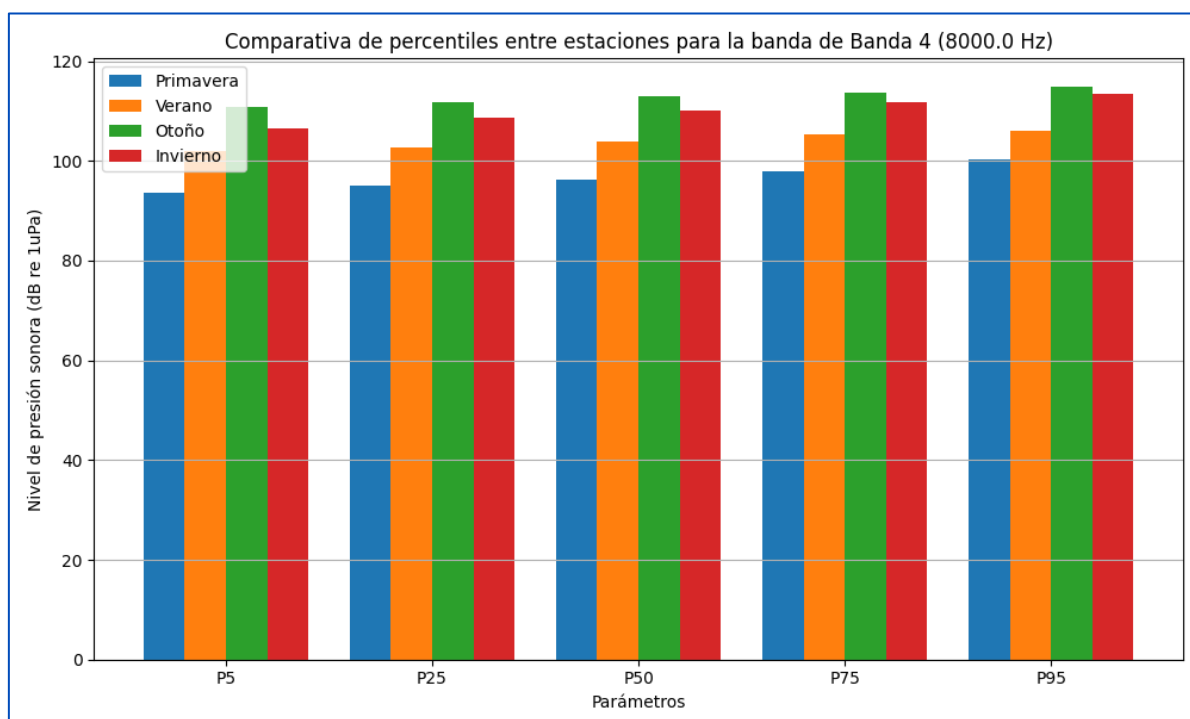


Gráfico 28. Comparativa de las medias de SPL para los diferentes percentiles en la banda de 8 kHz.

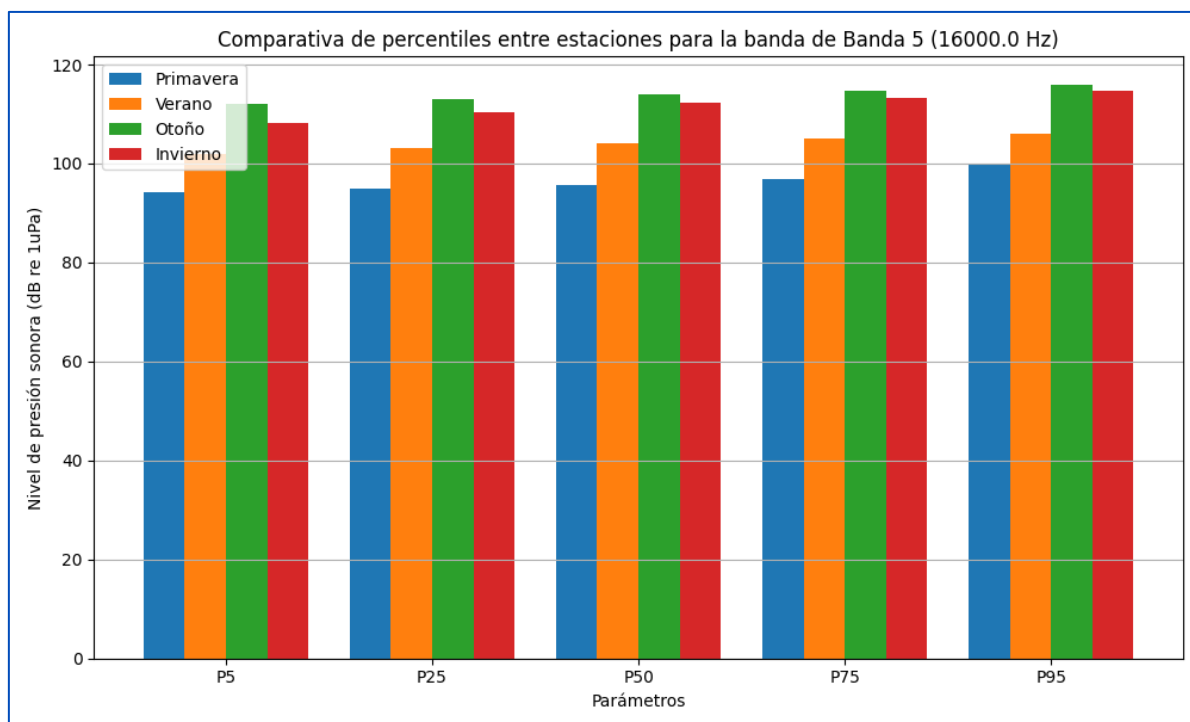


Gráfico 29. Comparativa de las medias de SPL para los diferentes percentiles en la banda de 16 kHz.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Buckingham, M. J., & Richardson, M. D. (2002). On tone-burst measurements of sound speed and attenuation in sandy marine sediments. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 27(3), 429–453. <https://doi.org/10.1109/JOE.2002.1040929>
- Erbe, C., Marley, S. A., Schoeman, R. P., Smith, J. N., Trigg, L. E., & Embling, C. B. (2019). The Effects of Ship Noise on Marine Mammals—A Review. *Frontiers in Marine Science*, 6(October). <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00606>
- J. Swartz, A., H. Clark IV, A., & Olson, D. (2023). *A granular-based approach to the acoustic properties of marine sediments* (Issue June). Naval Postgraduate School.
- Kibblewhite, A. C. (1989). Attenuation of sound in marine sediments: A review with emphasis on new low-frequency data. *Journal of the Acoustical Society of America*, 86(2), 716–738. <https://doi.org/10.1121/1.398195>
- MarineTraffic.com. (2023, December 20). *Marine Traffic*.
- Martín-García, L., Sangil, C., Brito, A., & Barquín-Diez, J. (2015). Identification of conservation gaps and redesign of island marine protected areas. *Biodiversity and Conservation*, 24(3), 511–529. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0833-0>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2012). Documento técnico sobre impactos y mitigación de la contaminación acústica marina. Madrid. 146 pp.
- Sánchez, M; Madrid, E; Felis, I; Martínez, R. (2020) Guía de buenas prácticas para la medición de sonido submarino. Fundación Biodiversidad y CTN.
- Thomsen, F., Ram, M., Chreptowicz, M., Nocon, M., & Balicka, I. (2023). Noise modelling and environmental risk assessment of a geophysical survey and its impact on herring and minke whales in Irish coastal waters. In *Marine Institute, Galway* (Issue October).

8. LEGISLACIÓN

Decisión (UE) 2017/848 de la comisión de 17 de mayo de 2017, por la que se establecen los criterios y las normas metodológicas aplicables al buen estado medioambiental de las aguas marinas, así como las especificaciones y métodos normalizados de seguimiento de evaluación, y por la que se deroga la Decisión 2010/447/UE.

Directiva 2008/56/ce del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de junio de 2008 por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino.

Ley 41/2010 de 29 de diciembre, de protección del medio marino.

9. ANEXO I. CARTOGRAFÍA

