

Cambios en el ambiente acústico en la ZEC Franja Marina Teno-Rasca durante el confinamiento por el COVID-19

Acoustic environment changes at the ZEC Franja Marina Teno-Rasca during COVID-19 confinement



Trabajo de Fin de Grado
Antonio Mampaso Daswani
Tutorizado por Natacha Aguilar de Soto
Grado en Biología. Julio 2021

Índice

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Introducción.....	4
Acústica oceánica: ambientes acústicos.....	4
Objetivos.....	8
Material y métodos.....	9
Área de estudio.....	9
Toma de datos.....	9
Análisis de datos.....	12
Resultados.....	15
Espectrogramas.....	15
Histogramas.....	15
Diagramas.....	18
Boxplot.....	19
Otros gráficos de interés.....	19
Discusión.....	22
Conclusiones.....	25
Conclusions.....	26
Bibliografía.....	27

Agradecimientos

A Natacha Aguilar, por sus conocimientos y su cercanía y pasión por su trabajo.

A Francis Pérez y Susanna Buchanan, por ayudar en la colocación de los fondeos.

A Marina Puebla, por orientarme en la elaboración de esta memoria.

A Pablo José Vázquez Gil y María Aguilar, que ayudaron a construir el fondeo.

Resumen

El ambiente acústico marino natural o “paisaje sonoro” es, en el caso de Canarias, virtualmente desconocido y, sin embargo, afectado por la contaminación acústica antes de ser descifrado.

En este trabajo se analiza el ambiente sonoro en la ZEC Franja Marina Teno-Rasca y se investiga la contribución de ruido antrópico con un análisis comparativo de niveles durante la reducción del tráfico debida al confinamiento durante el COVID-19 y a posteriori. Se utilizaron sistemas autónomos de grabación acústica con frecuencias de muestreo de 96 y 144 kHz, situados en un fondeo cercano a Puerto Colón y en una boya oceánica en la cota de 1000 m.

Los resultados muestran diferencias considerables del ruido de fondo durante y después del confinamiento: unos 7 dB en la banda 10Hz-10kHz dominantes en el ruido del tráfico marino, y unos 2-3 dB a frecuencias mayores de 10 kHz que atribuimos a motos de agua. Comparando el nivel de ruido de fondo mínimo y máximo en los datos de la boya oceánica se encuentra una diferencia de unos 25 dB, debido a una intensa actividad pesquera en la zona durante el confinamiento.

Por último, se presentan dos casos anecdóticos pero ilustrativos: i) la detección de silbidos de delfín durante el confinamiento hubiera sido enmascarada por los niveles típicos de ruido registrados post confinamiento; ii) el descubrimiento de una biofonía no registrada previamente que podría estar causada por una especie abundante en Canarias, la catalufa *Heteropriacanthus cruentatus*

Abstract

The natural marine acoustic environment or “soundscape” is, in the case of the Canary Islands, virtually unknown and, however, affected by noise pollution before being deciphered.

In this work, the sound environment in the Teno-Rasca Marine ZEC is analyzed and the contribution of anthropic noise is investigated with a comparative analysis of levels during the reduction in traffic due to confinement during COVID-19 and afterwards. Autonomous acoustic recording systems were used with sampling frequencies of 96 and 144 kHz, located in an anchorage near Puerto Colón and in an ocean buoy at 1000 m depth.

The results show considerable differences in background noise during and after confinement: about 7 dB in the 10Hz-10kHz band, which is dominant in marine traffic noise, and about 2-3 dB at frequencies greater than 10 kHz that we attribute to jet skis. . Comparing the minimum and maximum background noise level in the ocean buoy data, a difference of about 25 dB is found, due to intense fishing activity in the area during confinement.

Finally, two anecdotal but illustrative cases are presented: i) the detection of dolphin whistles during confinement would have been masked by the typical noise levels recorded post confinement; ii) the discovery of a biophony not previously recorded that could be caused by an abundant species in the Canary Islands, the catalufa *Heteropriacanthus cruentatus*

Introducción

Acústica oceánica: ambientes acústicos

La directiva europea marco sobre las estrategias marinas define 11 descriptores de buen estado ambiental, siendo el último “energías”, entre las que se incluye el ruido. Esto es debido a que la calidad acústica está identificada como indicador de calidad del medio marino (ver *Directiva Marco sobre la Estrategia Marina* en la bibliografía).

Los océanos están envueltos en sonidos naturales, creando paisajes acústicos que proporcionan información de vital importancia para la fauna marina, desde alertar de la presencia de un depredador a informar sobre el estado de fertilidad de un congénere o proporcionar información sobre si un hábitat es adecuado para el asentamiento (Aguilar & Kight, 2016). ¿Y qué es un paisaje acústico? Lo podemos definir como un entorno o ambiente acústico, haciendo énfasis en la manera en que es percibido por un individuo o población en concreto (Zhang et al., 2021): así, los sonidos que podamos captar los seres humanos bajo el mar tendrán una importancia y significado diferentes a los de una ballena jorobada, tanto por limitaciones físicas (rango de frecuencias audible para cada especie) como culturales (señales acústicas de comunicación).

Cada vez se están aunando más evidencias de que muchos taxones de fauna marina han evolucionado para aprovechar las características acústicas del océano (Hildebrand, 2009): los cetáceos, peces e invertebrados marinos usan el sonido para funciones tan diversas como buscar alimento y a su vez escapar de depredadores, orientarse en la oscuridad o encontrar pareja (Nguyen Hong Duc et al., 2021). Los sonidos emitidos por la actividad biológica se conocen como **biofonías**, y al contrario que otras fuentes de sonido como las geofonías (provenientes de eventos geofísicos y meteorológicos), presentan una regularidad, con patrones circadianos, anuales, mareales, etc. (Putland et al., 2017).

Por tanto, es esperable que los organismos marinos elijan su ubicación y modifiquen su comportamiento en función del ruido de fondo, tanto natural como antropogénico (Hildebrand, 2009). Por todo lo comentado, se puede concluir que la calidad acústica del entorno será esencial en el bienestar y en algunos casos la supervivencia de las especies.

Los océanos presentan sonidos naturales. Es importante entender la diferencia entre los términos *señal*, *ruido* y *sonido*: el *sonido* hace referencia a cualquier energía acústica, mientras que el *ruido* es un subconjunto de sonido no deseado por la entidad que lo oye, y, por otro lado, se habla de *señal* acústica para referirse a sonidos concretos producidos en respuesta a estímulos o situaciones específicas y que tienen un significado. Así, cualquier sonido puede ser una señal para algunos animales y un ruido para otros (ACA IMM, 2006). Por ello, se entiende como ruido a cualquier sonido que camufla o introduce ambigüedad o dificultades en la recepción e interpretación de las señales de interés de los animales, o que induce comportamientos nocivos o respuestas fisiológicas (Aguilar & Kight, 2016): las olas o el viento son fuentes naturales de ruido, al igual que eventos catastróficos como movimientos sísmicos o volcanes submarinos.

Sin embargo, no todas las fuentes de ruido son naturales: algunos trabajos aseguran que el ruido de fondo ha aumentado en algunas partes del océano a una razón de unos 3 dB por década entre 1950 y 2000 (de Jong et al., 2020), y esto es debido principalmente al ruido antropogénico, es decir, generado por las actividades del ser humano. Ejemplos de esto son el transporte marítimo comercial, la exploración de petróleo y gas, las operaciones navales que hacen uso de sonares militares, la pesca, las actividades turísticas y de embarcaciones de recreo, etc. (Hildebrand, 2009). El **tráfico marítimo** es la actividad que más ruido genera en zonas cercanas a puertos y rutas de transporte (MacGillivray et al., 2019), especialmente en la banda de frecuencias de 10 Hz a 10 kHz (Wenz, 1962). Desde la década de los 60 a la actualidad ha habido un aumento en el número de buques mercantes de más del doble, y su tamaño también ha aumentado, acompañado de un incremento de potencia y ruido (Aguilar & Tejedor, 2012).

En la actualidad el ruido se puede considerar un contaminante de preocupación emergente en los océanos (Aguilar & Kight, 2016). Los efectos que provoca en el ecosistema varían según el grado de intensidad (además de otras magnitudes como la durabilidad del sonido) y generan efectos de diversa índole. El impacto fisiológico más estudiado de la contaminación acústica es la fatiga auditiva; ésta se puede dividir en pérdida irreparable de audición (PTS), generada por un trauma auditivo, o recuperable (TTS) si el impacto auditivo es menor. Sin embargo, hay que considerar que el ruido llega a inducir una serie de efectos en un rango de dB menor a los que causan TTS (Tougaard et al., 2015), entre los que podemos encontrar el **enmascaramiento de señales** o las **respuestas al estrés**.

- El **enmascaramiento de señales** ocurre cuando el ruido interfiere con la capacidad de un animal para percibir (detectar, interpretar y/o discriminar) un sonido (Clark et al., 2009). Para que una señal acústica sea efectiva, debe ser recibida con una intensidad superior a la del ruido ambiente: la transmisión del sonido conlleva pérdidas de intensidad proporcionales a la distancia recorrida desde el emisor, por lo que el rango máximo al que un animal podrá detectar una señal se reduce conforme aumenta el ruido ambiente (Aguilar & Tejedor, 2012). Algunas especies responden al enmascaramiento de la señal silenciando sus vocalizaciones, mientras que otras aumentan la intensidad o incluso cambian la frecuencia de su vocalización, lo que se conoce como efecto Lombard (Erbe et al., 2019). El enmascaramiento es especialmente dañino cuando ocurre a frecuencias similares a las de señales biológicas, actuando como una “niebla acústica”: por ejemplo, los mysticetos (cetáceos con barbas) usan sonidos graves, en bajas frecuencias, que se superponen con la banda principal de emisión del ruido de los barcos (Hildebrand, 2009).

- Por otro lado, el **estrés** es un factor de gran relevancia no solo del bienestar del animal, sino de su supervivencia. Sonidos puntuales (como sónares militares) o incluso el enmascaramiento de señales pueden conducir a un estado de estrés, cuyas respuestas varían desde cambios conductuales como dejar de alimentarse, a cambios fisiológicos como inmunosupresión, y en algunos casos pueden conducir a la muerte del individuo (Wright et al., 2007): buen ejemplo de esto es la serie de varamientos masivos de zifios, acontecidos en los años 2002 y 2004 en las Islas Canarias. En este caso eran individuos de *Ziphius cavirostris* o zifios de Cuvier, y su muerte fue provocada por el empleo de sónares militares, que al estar en el mismo rango de frecuencia que las llamadas de las orcas, sus principales depredadores, genera en los zifios una respuesta de estrés que hace que el animal rompa su perfil habitual de buceo (Aguilar et al., 2020). Se ha observado en los zifios varados en coincidencia con sonares navales una sintomatología coherente con síndrome de descompresión que se traduce en una embolia gaseosa-grasa, que provoca una obstrucción de los vasos sanguíneos y, en definitiva, hemorragias multiorgánicas generalizadas (Fernandez et al., 2005).

Cabe destacar que estos acontecimientos, y el descubrimiento de poblaciones estables de zifios en Canarias, promovieron que el Ministerio de Defensa dictara una moratoria al uso de sonares navales en Canarias, que ha dado como resultado el fin de estos eventos de muerte masiva, y no se han vuelto a encontrar zifios con el cuadro característico de patología embólica gaseosa-grasa en el archipiélago (Fernández et al., 2013), aunque continúan estos eventos en otras partes del mundo.

Aunque este es un ejemplo positivo, lo cierto es que el ruido antropogénico no está controlado ni tiene fronteras nacionales, ni cuando se habla de reservas marinas: éstas han demostrado su utilidad para evitar la sobrepesca, la muerte por colisión con barcos, la degradación del hábitat... pero muy pocas son lo suficientemente extensas como para evitar la propagación del ruido (Agardy et al., 2007). Esto es relevante en Canarias, que cuenta con una amplia red de zonas marinas protegidas, como son 24 zonas de especial conservación (ZEC) y once ZEPAs (zonas de especial protección para aves), así como tres reservas marinas de interés pesquero. Estas zonas tienen distintos planes de gestión, pero no contemplan el monitoreo ni el control de la contaminación acústica.

Teniendo esto presente, en este trabajo aprovechamos la oportunidad brindada por la situación excepcional de confinamiento ante la pandemia de COVID-19, que tuvo lugar entre el 14 de marzo y el 21 de junio de 2020, para medir el nivel de sonido basal con la mínima contaminación de ruido antropogénico y poder compararlo con los niveles de ruido habituales, aprovechando que “parte de las medidas de salud y seguridad relacionadas con la pandemia han provocado que el tráfico marítimo se haya reducido o detenido por completo, dando lugar a una reducción correspondiente en el ruido submarino” (Thomson & Barclay, 2020). El presente trabajo constituye por tanto una evaluación del efecto del confinamiento sobre la reducción de la contaminación acústica en una zona protegida marina de Canarias (la ZEC Teno Rasca), y además el estudio del ambiente acústico costero realizado en Canarias más completo realizado hasta la fecha, en nuestro conocimiento.

Objetivos

Los objetivos propuestos para este trabajo son:

- Evaluar el ambiente acústico de una zona de especial conservación de la isla de Tenerife.
- Realizar una comparativa de los niveles sonoros durante y después del confinamiento.
- Estudiar los patrones circadianos de sonido antrópicos y naturales

Material y Métodos

Área de estudio

La zona de especial protección (ZEC) de la franja marina Teno-Rasca se encuentra en el sector occidental de la isla de Tenerife. Cubre una superficie de unas 69.500 hectáreas y baña el litoral de los municipios de Buenavista del Norte, Santiago del Teide, Guía de Isora, Adeje y Arona.

Cuenta con praderas de fanerógamas marinas (sebadales), fondos de arena con poblaciones de anguila jardinera (*Heteroconger longissimus*), fondos de maërl, algales, zonas de blanquizales, cuevas marinas y estructuras arrecifales. Además, las aguas cálidas y tranquilas que presenta gran parte del año unidas a la elevada profundidad cerca de la costa ofrecen las condiciones ideales para la presencia de cetáceos, de los que se han registrado 22 especies (ver *Directiva Marco sobre la Estrategia Marina* en la bibliografía).

Toma de datos

La campaña tuvo lugar entre el 17 de abril y el 14 de agosto de 2020. Se realizó un “Diario de campaña COVID 2020” en el que se anotó información de interés, como:

- Investigadores que participaron en la campaña.
- Estado de la marea.
- Acústica (horas de los lances, tipo de lance...)
- Avistamiento de fauna marina.
- Otras anotaciones (presencia de barcos, problemas puntuales con el equipamiento, etc.).

Para la recogida de datos sonoros se emplearon dos SoundTrap (grabadoras compactas de sonido subacuático; ver www.oceaninstruments.nz) propiedad de la Universidad de La Laguna. Estos equipos se encuentran entre los más sofisticados del mercado debido a que pueden grabar con alta calidad sonido entre 5 Hz a 198 kHz, es decir, en el rango infra a ultrasónico. Los datos acústicos se comprimen sin pérdida y se graban en el propio sistema, que debe ser recuperado para su descarga. En nuestro proyecto se utilizaron dos modelos de grabadora diferentes: el SoundTrap serie 300, un modelo compacto que graba en mono, y el Soundtrap 4300 que cuenta con 4 canales, aunque para este estudio se utilizó solo uno. La frecuencia de muestreo elegida fue 144 kHz, aunque en algunos de los muestreos se optó por grabar a 96 kHz para alargar la duración de la grabación (limitada por la batería y la memoria). Ésta tiene una duración de 300 h (13 días de grabación continua) a 144 kHz, aunque a 96 kHz se llegaron a registrar más de 400 horas. Aunque es posible programar las ST para grabaciones intermitentes, en este estudio se decidió grabar de forma continua para estudiar ritmos circadianos.

Para contrastar datos a varias distancias de la costa (diferencias en el tránsito marítimo, ruidos antropogénicos, etc.) se emplearon dos tipos de lance: i) Lances oceánicos en los que la Soundtrap grababa a la deriva, suspendida desde una boya equipada con GPS de seguimiento, lanzada en un punto situado a unos 1000 m de profundidad en una zona entre Puerto Colón y Los Cristianos, II) Fondeo costero con un muerto situado en un punto fijo de costa a 11 metros de profundidad en las cercanías de Puerto Colón, en un fondo arenoso rodeado de rocas a unos 200 metros de costa (Figura 1).

La boya oceánica se lanzó un total de cuatro veces (dos en abril y dos en mayo de 2020) con una duración de entre tres y siete horas de grabación continua. El fondeo de la SoundTrap se realizó un total de siete veces entre los meses de abril y agosto de 2020, con una duración comprendida entre 90 y 400 hrs de grabación continua. Para ambos tipos de lance se usó tanto el ST mono como el ST de 4 canales, en función de cuál estuviera disponible en el momento.

Algunos de las grabaciones del fondeo se realizaron en periodo de confinamiento, y otros una vez terminado éste. En total se grabaron unas 1050 horas de grabación en periodo de confinamiento y unas 620 horas de grabación post confinamiento.

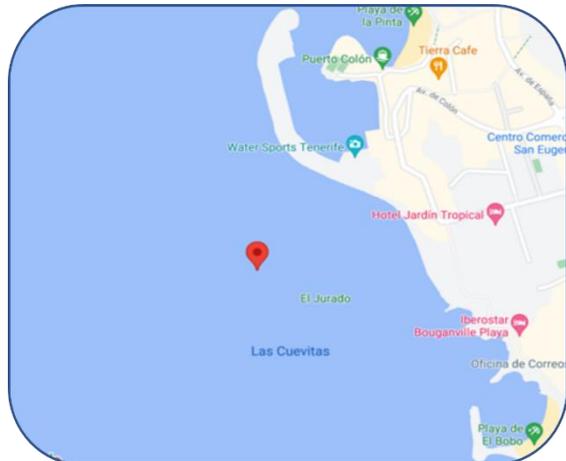
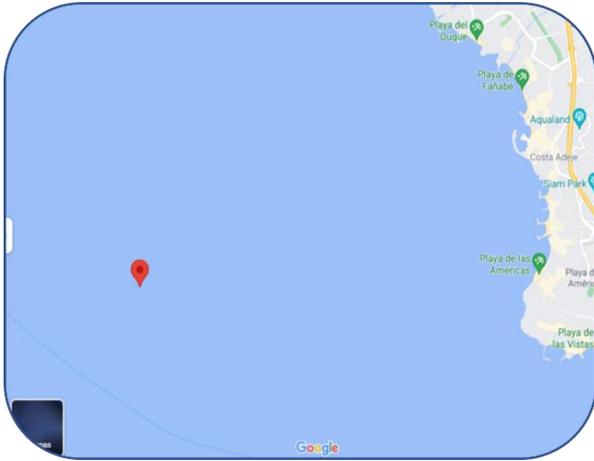


Figura 1. Localización de la boya oceánica (izquierda) y del fondeo (derecha).



Figura 2. Ejemplo de boya oceánica con SoundTrap asociada. Fotografía realizada por el autor.

Análisis de datos

Los datos acústicos recogidos por la SoundTrap en formato wav, se copiaron a un disco duro y luego a la memoria del ordenador, donde se analizaron con el paquete MATLAB.

Acercamiento a la física de la acústica

¿Qué es la acústica? La Real Academia Española la considera “Parte de la física que trata de la producción, control, transmisión, recepción y audición de los sonidos, ultrasonidos e infrasonidos”.

En acústica, los datos de sonido se convierten en imágenes bidimensionales, espectrogramas, para poder estudiarlos. Los espectrogramas son representaciones visuales del sonido donde se observa la variación de energía con la frecuencia y el tiempo. El espectrograma se realiza gracias a la transformada de Fourier, una transformación matemática que detecta la periodicidad en series de tiempo, identificando las distintas frecuencias que la componen y su energía relativa, y transformando estas señales del dominio de tiempo al dominio de frecuencia.

El sonido viaja en forma de ondas sonoras y una fuente de ondas sonoras puede estar compuesta de una superposición de frecuencias diferentes, al igual que la mayor parte de los ruidos ambientales. A nivel fisiológico estimulan muchos de los receptores de la cóclea, es decir, cubren un gran espectro sonoro; es lo que se conoce como sonidos de banda ancha (*broadband*) (Aguilar & Tejedor, 2012).

A la hora de analizar un sonido, es posible filtrar la energía contenida en una parte concreta del espectro que sea de interés para el investigador. Parte del análisis realizado fue usando bandas de tercio de octava; una banda de octava es una banda de frecuencia donde la frecuencia más alta es el doble de la frecuencia más baja, por lo que el ancho de las bandas de octava se incrementa al hacerlo la frecuencia. Es interesante dividir las octavas en tres bandas de tercio de octava, pues su análisis se aproxima al procesado espectral del oído humano, lo que corresponde a su vez con la mayor aproximación al oído de otros mamíferos (Aguilar & Tejedor, 2012). En este trabajo se utilizaron las bandas de 63 y 125 kHz por ser las recomendadas por la directiva marco europea sobre las estrategias marinas para la caracterización y monitoreo del ruido de bajas frecuencias característico del tráfico marino (ver *Directiva Marco sobre la Estrategia Marina* en la bibliografía)

En acústica es importante la energía total emitida al medio, así como su temporalidad. Sonidos de baja energía, pero continuos, pueden contener la misma energía total que sonidos de corta duración pero elevada energía. Un sonido de alta energía instantáneo, de duración menor al tiempo de integración (tiempo que requieren las neuronas en procesar dicho sonido), puede no ser percibido en el cerebro con la sonoridad correspondiente a su nivel máximo y aun así provocar daños auditivos (Aguilar & Tejedor, 2012).

La *sonoridad* es, según el American National Standards Institute, una medida subjetiva de la intensidad con la que los sonidos son percibidos y que permite ordenarlos en una escala desde silenciosos a ruidosos. Depende de la intensidad de un sonido, pero también de otras variables como la frecuencia, la amplitud, la duración o la sensibilidad del oído del receptor. En el caso de los seres humanos, la sonoridad se agudiza para sonidos débiles y disminuye para sonidos fuertes, lo que se debe a que la audición no es lineal, sino logarítmica. Por ello es adecuado medir la sonoridad en unidades logarítmicas, los decibelios (dB). Estos constituyen una medida comparativa o de relación entre dos sonidos, lo cual se ajusta a la audición del ser humano, que no puede dar una indicación precisa de la intensidad de un sonido aislado pero sí es capaz de distinguir diferencias relativas entre dos sonidos (Aguilar & Tejedor, 2012).

Herramientas empleadas

Se empleó el software MATLAB, en el que programamos distintas herramientas de análisis. Con el script “LongSpectrum” desarrollado por el Dr. Ing. M. Johnson, se realizaron espectrogramas de larga duración con todos los ficheros de sonido en formato wav de cada carpeta de fondeo o lance pelágico. Con ello se consigue una visualización completa del registro sonoro de cada lance o fondeo.

Además, programamos scripts para calcular el nivel recibido de tres maneras: i) banda ancha, considerando la energía recibida en todo el rango espectral grabado; ii) en el rango de frecuencias más característico del tráfico marítimo, entre 10 Hz y 10 kHz; iii) en tercios de octava hasta el rango sónico (20 kHz). Los datos se procesaron en bloques de 60 segundos para toda la duración del lance/fondeo. Se crearon en base a los resultados varias figuras distintas:

- Histogramas, comparando los datos tomados en el rango total de frecuencias respecto a los datos acotados al ancho de banda de 10 Hz a 10 kHz para observar el impacto del tráfico marítimo, plasmando la distribución de ocurrencia de distintos niveles recibidos en los n periodos de 60 segundos analizados.
- Diagramas con los datos filtrados en tercios de octava para observar la variabilidad de la amplitud del sonido en distintas frecuencias.

Diagrama de cajas y bigotes para los datos de la boya 2 y 3 de lance pelágico.

Además de Matlab, se utilizó el software de edición de audio “Audacity”, con el que se crearon espectrogramas y se analizaron las variaciones de frecuencia e intensidad en pequeños periodos de tiempo para observar en detalle algunos registros de interés.

Resultados

Espectrogramas de larga duración.

De los 7 espectrogramas realizados a partir de los datos de fondeo, se muestran los dos más representativos, el fondeo 1, obtenido durante el confinamiento, y el fondeo 7, tras acabar aquel (figuras 3 y 4).

Las boyas oceánicas seleccionadas fueron la 2 y 3, ambas con recogida de datos durante el confinamiento (figuras 5 y 6). La boya 2 presenta varios eventos ruidosos, y se compara con la boya 3, la menos ruidosa de los lances pelágicos. Sin embargo, como se discutirá en los siguientes apartados, en todos los lances oceánicos ocurrieron uno o varios eventos de ruido antropogénico.

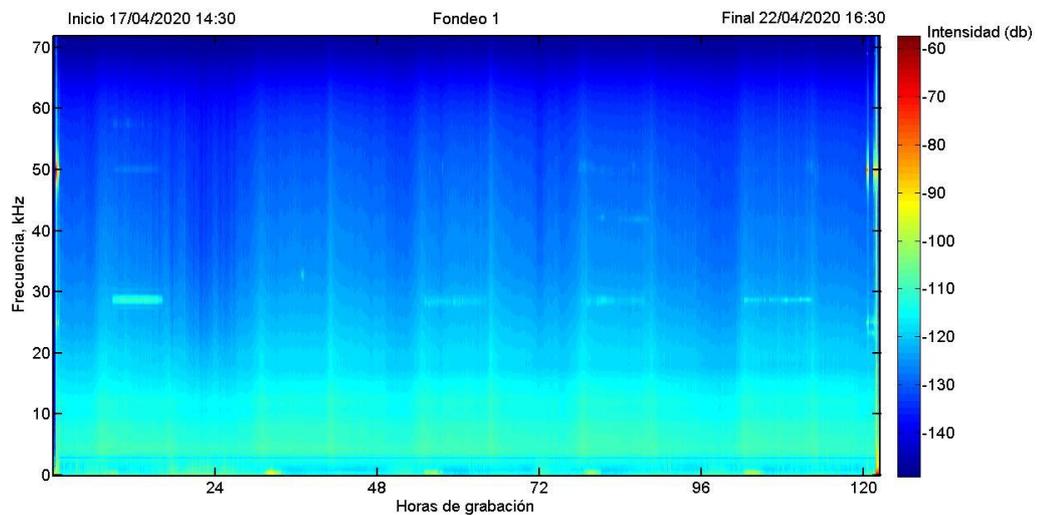


Figura 3) Espectrograma de larga duración, para los días 17/04-22/04. Se muestra la intensidad del sonido (escala de color, a la derecha) según su frecuencia (eje Y) en el tiempo (eje X). El nivel recibido se presenta sin calibrar (deben sumarse 176 dB)

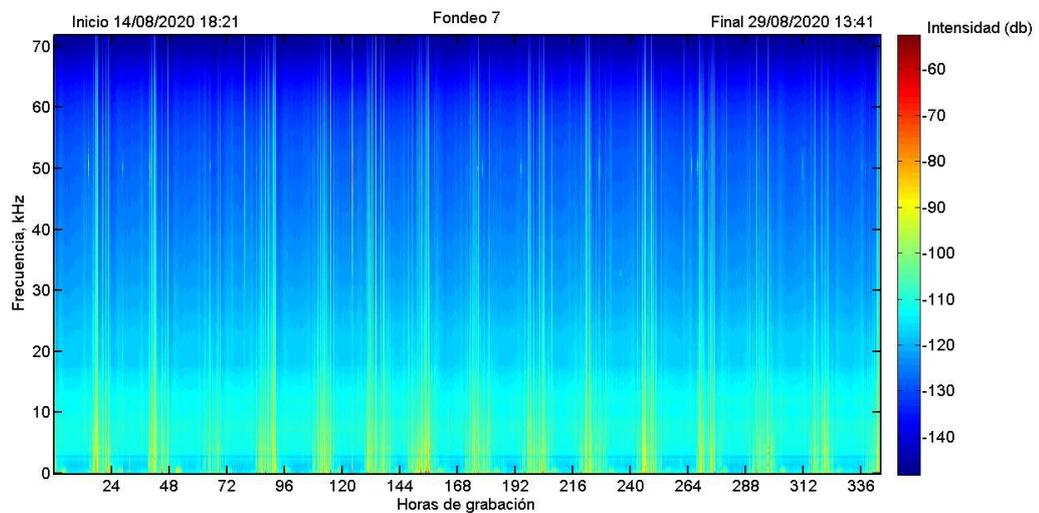


Figura 4) Espectrograma de larga duración, para los días 14/08-29/08. Se muestra la intensidad del sonido (escala de color, a la derecha) según su frecuencia (eje Y) en el tiempo (eje X). El nivel recibido se presenta sin calibrar (deben sumarse 176 dB).

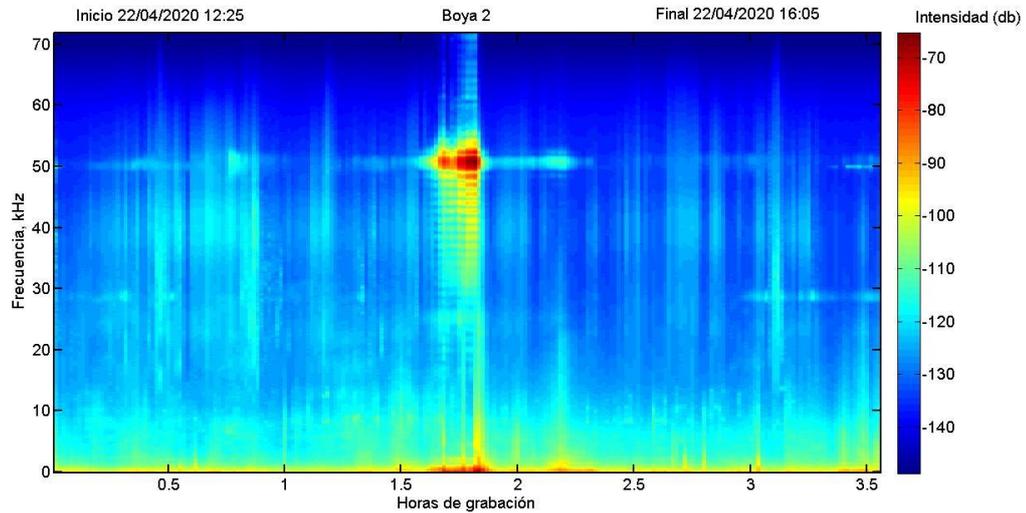


Figura 5) Espectrograma de larga duración, para el día 22/04. Se muestra la intensidad del sonido (escala de color, a la derecha) según su frecuencia (eje Y) en el tiempo (eje X). El nivel recibido se presenta sin calibrar (deben sumarse 176 dB).

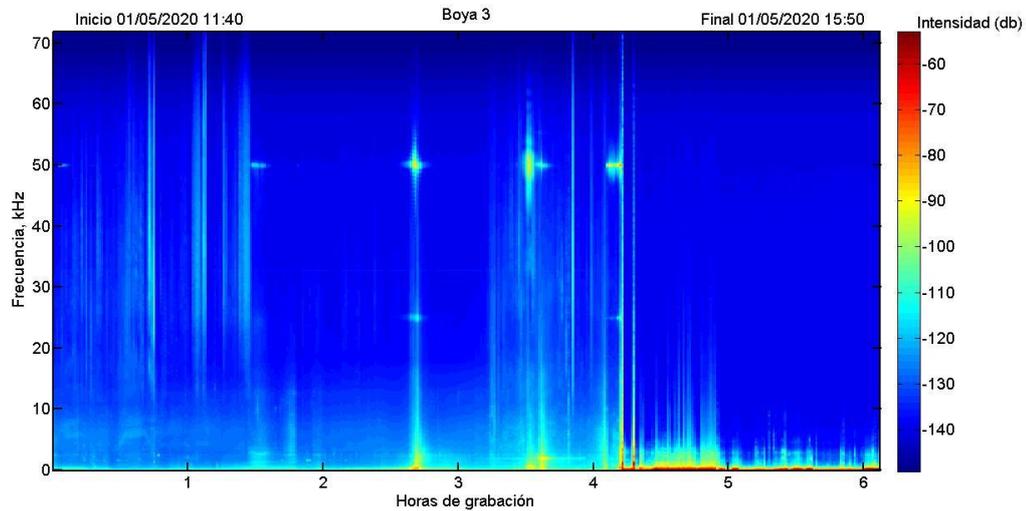


Figura 6) Espectrograma de larga duración, para el día 01/05. Se muestra la intensidad del sonido (escala de color, a la derecha) según su frecuencia (eje Y) en el tiempo (eje X). El nivel recibido se presenta sin calibrar (deben sumarse 176 dB).

Histogramas

En las figuras 7 y 8 se compara la ocurrencia durante 24 horas, en periodos de 60 segundos, de datos tomados en el rango total de frecuencias (histograma superior) con otros con ancho de banda comprendida entre 10 Hz y 10 kHz (histograma inferior).

Se acotó a este rango pues, como se ha comentado anteriormente, varios trabajos confirman que en él actúa la mayor parte del ruido producido por barcos (Thomson & Barclay, 2020).

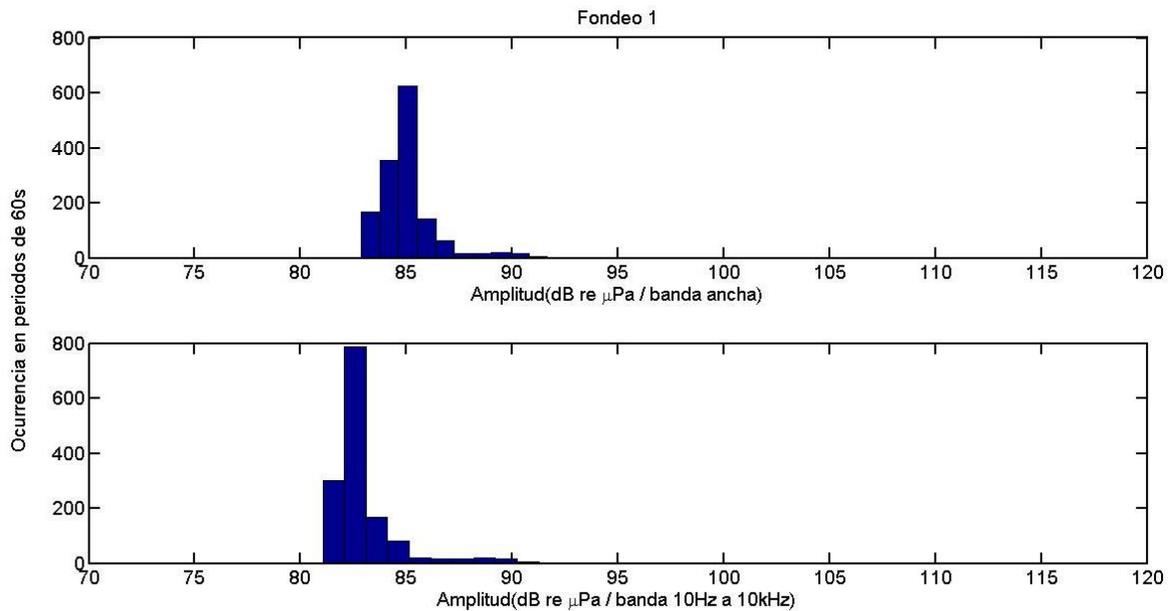


Figura 7). Histograma correspondiente al fondeo 1.

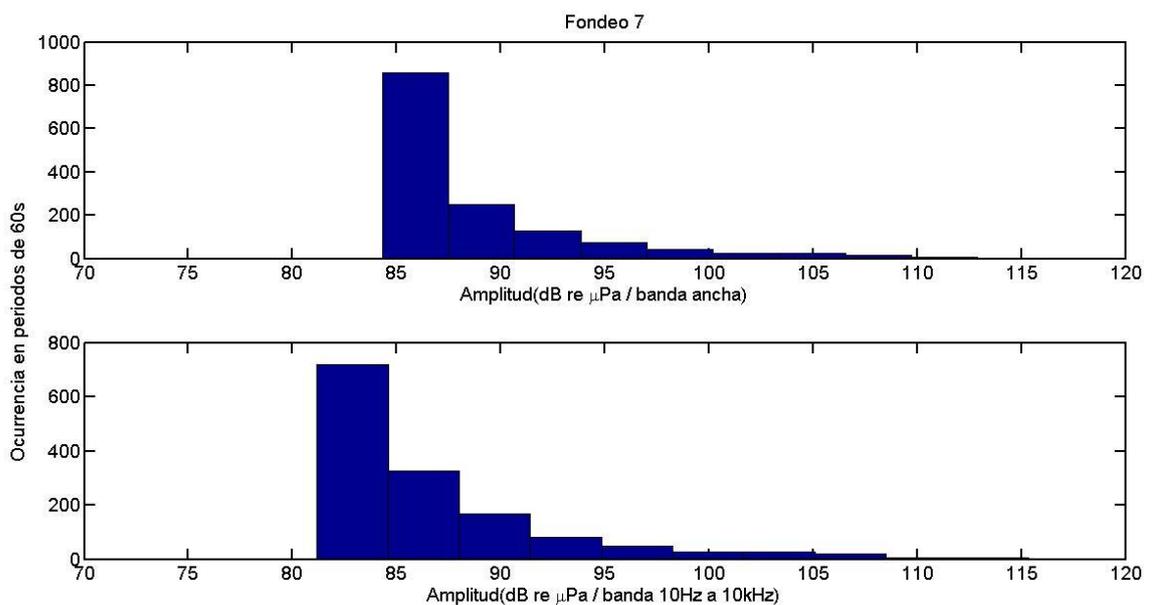


Figura 8). Histograma correspondiente al fondeo 7.

Diagramas de tercio de octava (TOL)

Se hicieron diagramas de los fondeos 1 y 7 con los datos filtrados en tercios de octava, con el fin de observar la variabilidad de la amplitud del sonido a distintas frecuencias.

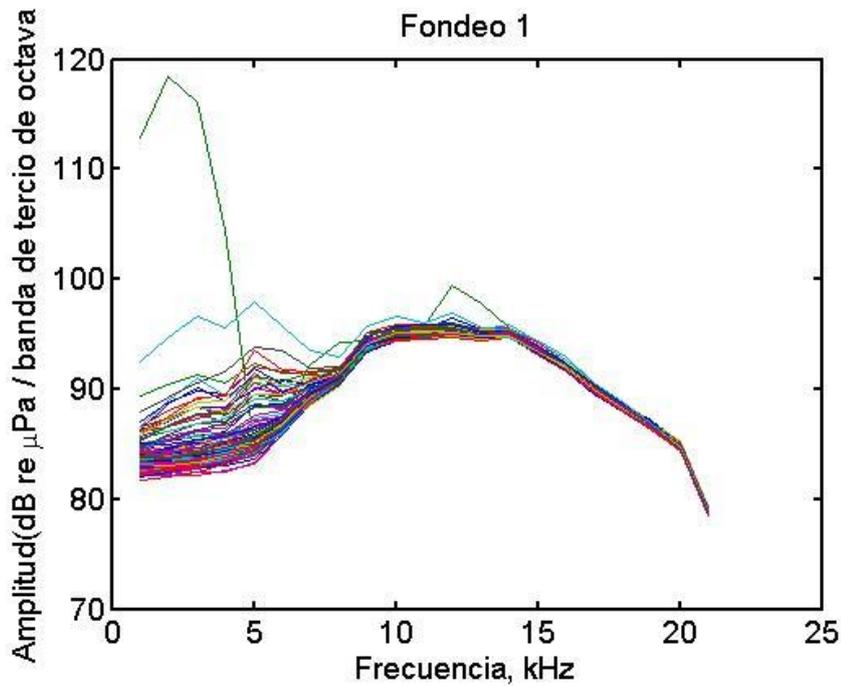


Figura 9). Diagrama representando los niveles de tercio de octava, correspondiente al fondeo 1 (confinamiento)

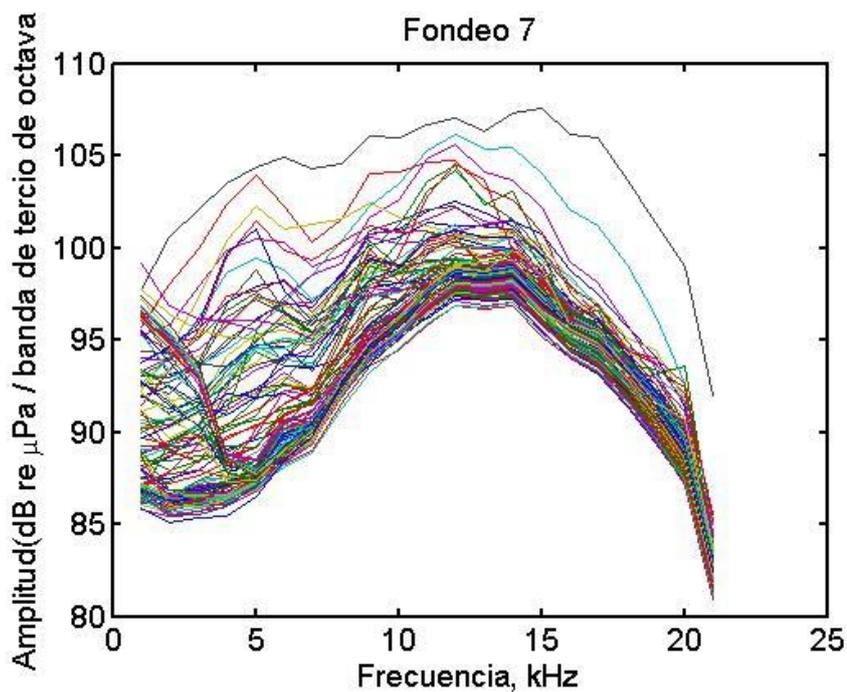


Figura 10). Diagrama representando los niveles de tercio de octava, correspondiente al fondeo 7 (post-confinamiento).

Boxplot

Respecto a las boyas oceánicas, se seleccionó un periodo de 10 minutos de mínimo ruido ambiente de la boya 3 y de máximo ruido de la boya 2, en forma de diagrama de cajas y bigotes, lo que permite comparar el ruido oceánico desde su nivel basal a su máximo.

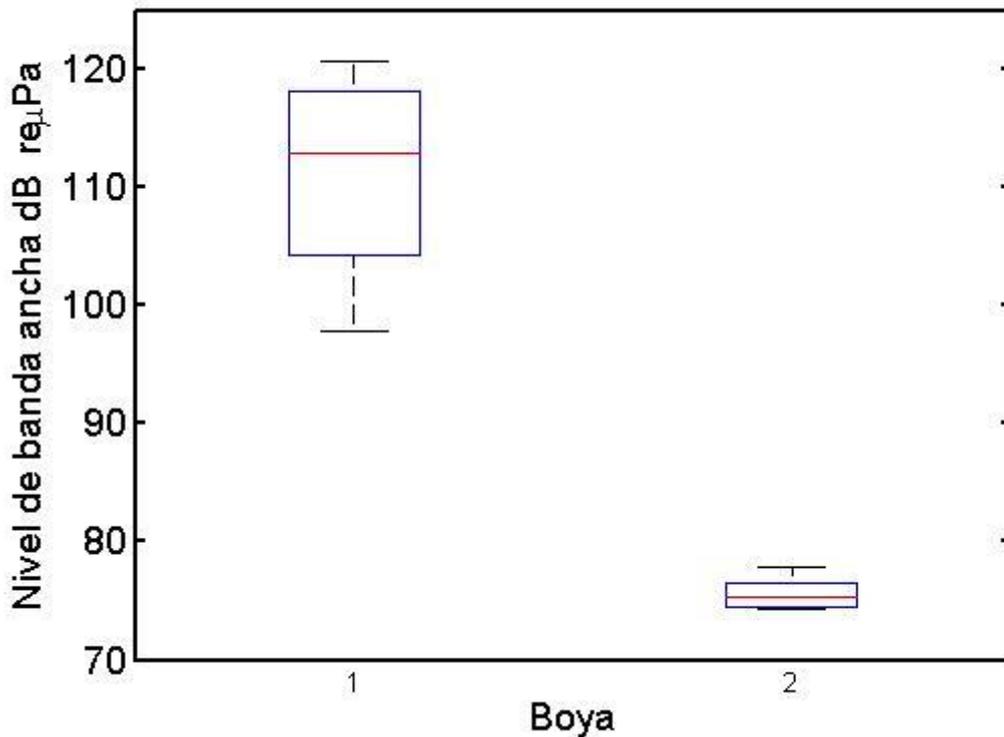


Figura 11). Diagramas de cajas y bigotes de las boyas post-confinamiento y preconfinamiento, de izquierda a derecha respectivamente.

Otras gráficas de interés

Haciendo uso de la aplicación “Audacity” se realizaron una serie de gráficas complementarias: en la figura 12 se muestra un espectrograma donde se aprecia una biofonía. En este caso es un ejemplo captado en el fondeo 1, aunque aparece en todos los fondeos.

Además, se realizó un espectrograma en el que se registra el silbido de un delfín captado en el fondeo 4, que se compara con el nivel de ruido de fondo entre este instante y otro, a la misma hora, de un día del fondeo 7, tras terminar el confinamiento (figuras 13 y 14)

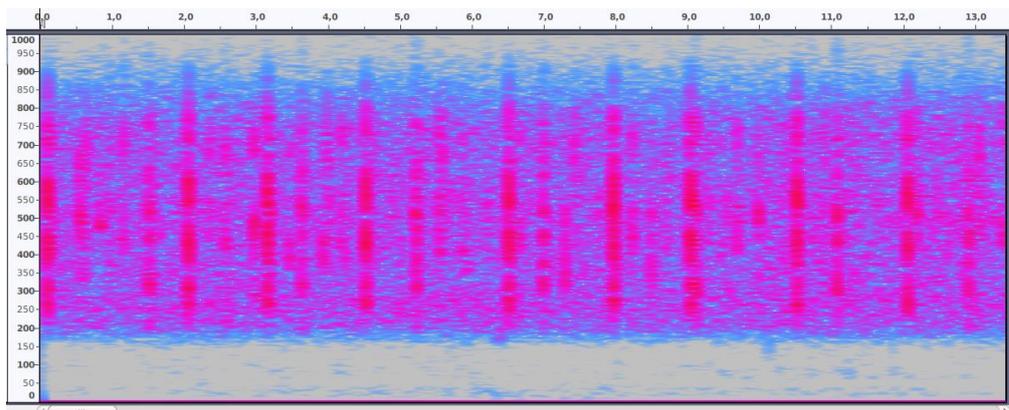


Figura 12). Espectrograma que recoge la señal de una posible biofonía.

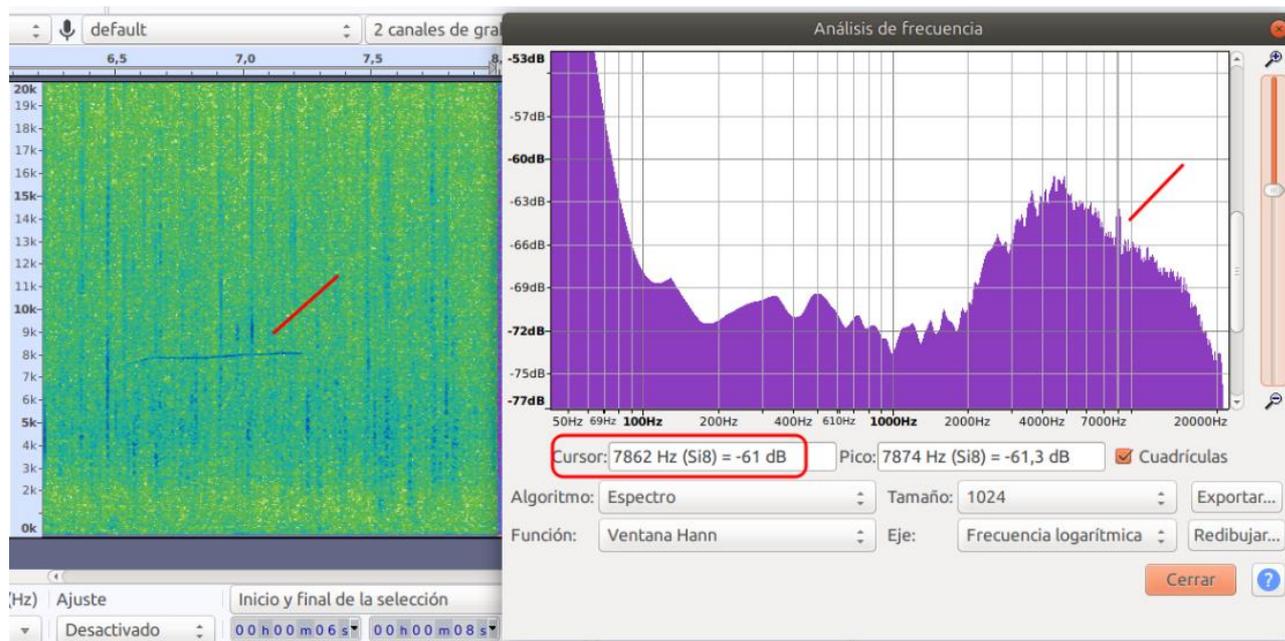


Figura 13). Espectrograma del fondo 1. A la izquierda se observa (señalado con una barra roja) el registro del silbido lejano de un delfín. A la derecha, también marcado, se ve el pico de emisión del delfín en 7860 Hz con una intensidad de -61 dB. El ruido de fondo medido alrededor de esa frecuencia es de -65 dB.

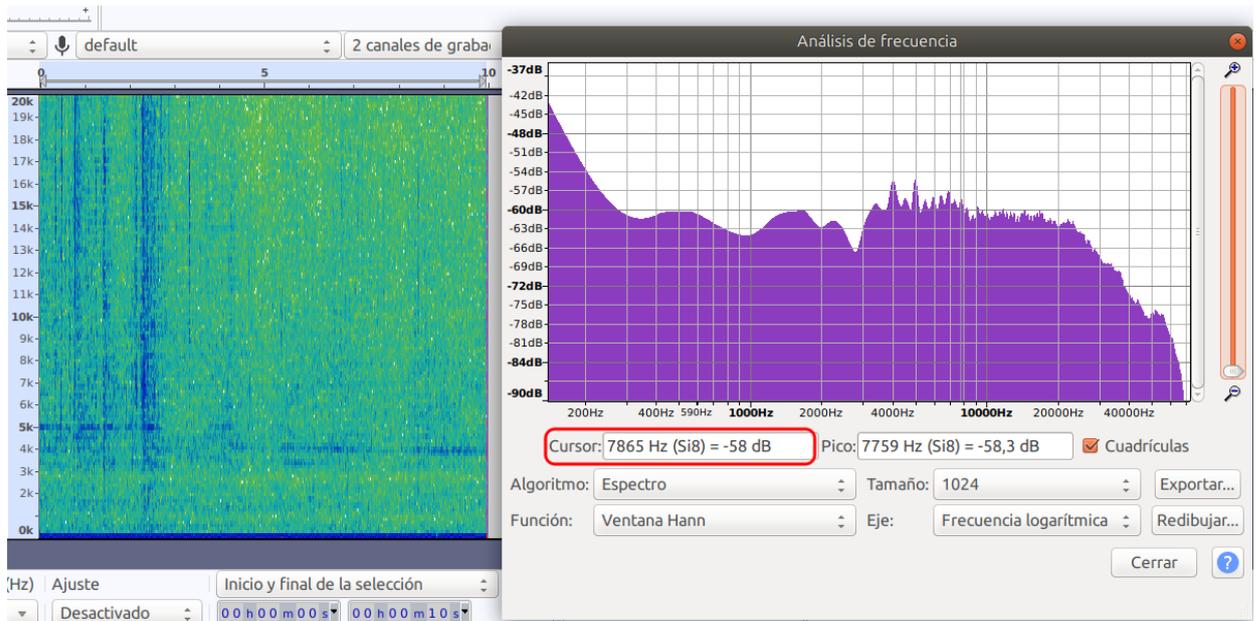


Figura 14). Espectrograma del fondeo 7 (post-confinamiento). Se observa que el nivel de ruido de fondo alrededor del pico de frecuencia del delfín (7860 Hz) es ahora de -58 dB, es decir, superior al de la grabación del delfín que se había realizado anteriormente. Esto significa que el silbido del delfín habría sido enmascarado con el nivel de ruido típico del periodo post-confinamiento.

Discusión

Mediante grabaciones de alta resolución temporal y altas frecuencias de muestreo hemos estudiado la acústica submarina de Tenerife en la zona de protección especial (ZEC) de la franja marina Teno Rasca, para poder entender y cuantificar las diferencias sonoras cerca de Puerto Colón, entre un entorno acústico con limitado ruido antropogénico a causa de las restricciones del confinamiento, y uno con menos limitaciones una vez el confinamiento finalizó. Este trabajo ha permitido poner en evidencia la elevada contribución de las actividades humanas al ruido ambiente de este paisaje acústico.

Un ejemplo de esto se observa en los espectrogramas (figuras 3 y 4), con el fondeo 1 sin prácticamente eventos de barcos mientras en el fondeo 7 se aprecian multitud de eventos sonoros de intensidad media-alta, que además coinciden temporalmente con las horas punta de tráfico marítimo (por lo general, pesca durante la mañana y barcos recreativos hasta las 18:00). Los histogramas (figuras 7 y 8) aportan más información acerca de la intensidad de estos eventos sonoros: se pueden observar en el fondeo 1 ruidos de hasta 90 dB, con una ocurrencia muy baja a partir de los 85 dB para la banda de 10 Hz a 10 kHz. En cambio, en el fondeo 7 se observa un incremento tanto en el número de eventos sonoros como en su intensidad, con ruido hasta 112 dB y destacando negativamente la presencia de unos 1000 eventos entre 85 y 90 dB, tanto para la banda ancha como para la banda de 10 Hz-10 kHz; en esta última se observan decenas de eventos de intensidad superior a 100 dB, lo que remarca la presencia de barcos muy ruidosos. En este contexto, se calculó también el nivel medio de ruido durante 24 horas (las mismas horas de duración que los histogramas de banda ancha), resultando en un nivel medio de ruido de 92 dB en el fondeo 7 y 85 dB en el fondeo 1, una significativa diferencia de 7 dB. Estos resultados son comparables con los del trabajo sobre el impacto del confinamiento por COVID-19 en entornos subacuáticos en la zona de Vancouver, Canadá (Thomson & Barclay, 2020). Midiendo el ruido ambiente en varias estaciones acústicas, esos autores encontraron una reducción acústica durante el confinamiento de entre 1 y 5 dB, con casos puntuales de hasta 7 dB. Cabe destacar que trabajaron únicamente en la banda de 100 Hz.

Las figuras 9 y 10 proporcionan información complementaria a las gráficas anteriores, de la que podemos extraer una serie de puntos de interés:

- Se observa como los valores más bajos en el fondeo 7 (post confinamiento) en los eventos de 0 a 5 kHz, son unos 4 dB más elevados que los del fondeo 1, durante el confinamiento (86 frente a 82 dB). Las diferencias de valores se mantienen en frecuencias más elevadas, véase la banda de 10 a 15 kHz con una diferencia de unos 2-3 dB entre fondeos.

- No cambia solo el nivel de ruido, también lo hace la forma de la curva: en el caso del fondeo 1 (figura 9), la banda de 10-15 kHz se muestra plana desde los 10 kHz, pero continúa creciendo hasta los 13 kHz en el caso del fondeo 7 (figura 10). Esto se puede relacionar con el aumento de ruido de alta frecuencia producido por embarcaciones como motos de agua (Erbe, 2013). En Florida, se reportó durante el verano de 2020 un aumento del tráfico marítimo recreativo, incluso superior al de años anteriores, efecto de la masiva ocupación de los espacios naturales tras el confinamiento. Esto, debido en gran parte a las altas frecuencias generadas por embarcaciones recreativas como motos acuáticas, ha tenido un efecto negativo en la comunicación de *Tursiops truncatus* (Morin, 2020). A falta de datos concretos de entrada y salida de embarcaciones, es muy posible que haya habido un efecto similar en muelles deportivos como el propio Puerto Colón.
- Más importante aún, las curvas no sólo presentan diferencias en su intensidad sonora, sino en la dispersión de los datos: los registros sonoros en el caso del fondeo 1 (figura 9, durante el confinamiento) presentan su mayor dispersión entre los 0-5 kHz en un rango de 82 a 88 dB aproximadamente (a excepción de algún outlier), y se van homogeneizando conforme las frecuencias se hacen mayores. En cambio, el fondeo 7 de la figura 10 muestra una gran dispersión, no solo en la banda de 0-5 kHz (en la que llega hasta más de 100 dB), sino en todas en general: tómese como ejemplo la banda de 10 kHz, que en el histograma del fondeo 1 tiene una diferencia entre los eventos sonoros más y menos ruidosos de 1 dB (de 92 a 93 dB) mientras que en el caso del fondeo 7, los eventos más ruidosos llegan a superar los 100 dB con un rango de 96 a 106 dB aproximadamente (10 dB). La conclusión más importante que se desprende de este análisis es que a partir de los 10 kHz la mayor fuente de sonido es sin duda antropogénica, y se demuestra que el rango de acción del ser humano no se limita al más estudiado, de 0-10 kHz, sino que se extiende mucho más allá.

Por otro lado, gracias a los lances oceánicos pudimos comprobar que durante el confinamiento el ruido por influencia antrópica fue mayor que en los fondeos. En la figura 11 realizamos una comparativa entre un pequeño periodo de tiempo (10 minutos) con mínimo ruido y otro con ruido elevado. Para ello elaboramos un diagrama de cajas y bigotes, donde se observa una diferencia de unos 25 dB entre ambos. Este incremento es muy similar al encontrado por Putland en 2017, que asociaba la cavitación de los motores de las embarcaciones a un incremento de 30 dB del ruido ambiente (Putland et al., 2017).

Como ya se comentó en la introducción, un aumento en el ruido de fondo afecta a las señales biofónicas, superponiéndose a ellas y causando un **enmascaramiento energético** (Clark et al., 2009). Esto se observa en las figuras 13 y 14, donde en el primer caso la intensidad del ruido detectado a frecuencias por encima y por debajo de la del pico de 7860 Hz (frecuencia de emisión del delfín) es de -65 dB, mientras que la propia señal del delfín se observa a -61 dB, es decir, 4 dB por encima del ruido, permitiendo que la señal sea audible para posibles congéneres. En la segunda figura se observa que el nivel de ruido alrededor del pico de frecuencia del delfín es, en un día normal, sin confinamiento, de -58 dB, o sea, 7 dB más ruidoso, lo que haría inaudible la señal del delfín.

En cuanto a las biofonías, se han encontrado registros vocales en todos los fondeos, entre las 10 p.m. y las 12 p.m., aproximadamente. Ante la inexistencia de bases de datos con registros acústicos de la fauna oceánica canaria, se recurrió a la base de datos de la página web “Dosits.org” perteneciente al departamento de oceanografía de la universidad de Rhode Island. La descripción de las vocalizaciones del pez BigEye Neozelandés (*Pempheris adspersa*) (Radford et al., 2015) coincidían en gran medida, y tras compararlas con nuestros resultados se observó que presentan similitudes en el rango de frecuencias, el tipo de sonido y las horas de los coros, como se puede apreciar en las figuras 15 y 16. Una especie similar a *P. adspersa* presente en Canarias es la catalufa (*Heteropriacanthus cruentatus*), , lo que se confirmó consultando con el experto ictiólogo Alberto Brito (comunicación privada, junio 2021). En base a todo ello, proponemos en este trabajo que la catalufa podría ser la principal candidata, ya que es un pez de hábitos nocturnos del cual se tiene constancia que emite sonidos (ver *Heteropriacanthus cruentatus*, Glasseye : fisheries, Aquarium en la bibliografía)

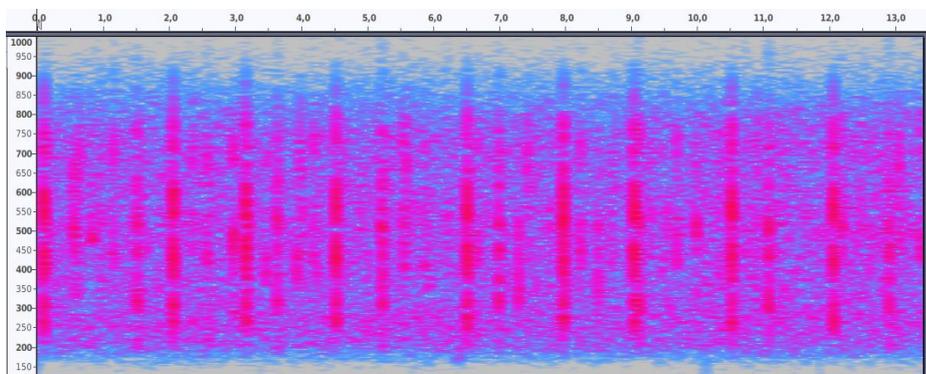


Fig. 15)
Espectrograma de las vocalizaciones de una especie no identificada, probablemente *H. cruentatus*

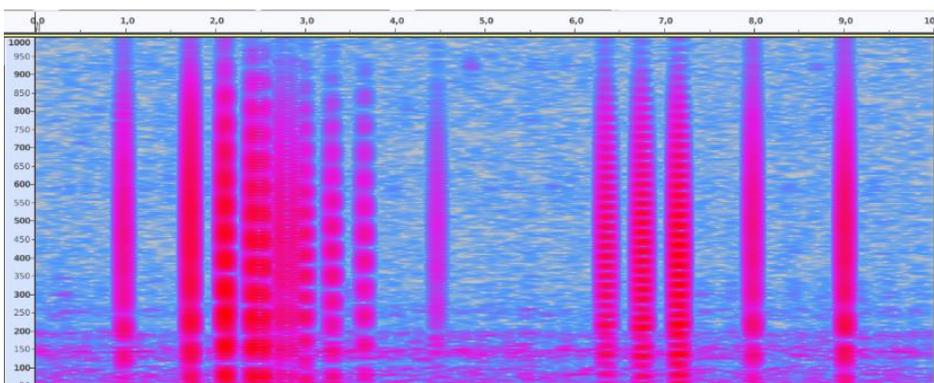


Fig. _16) Igual que la figura 15, para *P. adspersa*

Conclusiones

En nuestro conocimiento, el presente trabajo constituye el único realizado en España acerca de los efectos del confinamiento poblacional debido al COVID 19 sobre los niveles de contaminación acústica marina. Así mismo, una revisión bibliográfica exhaustiva sugiere que es el estudio más completo realizado hasta la actualidad sobre el paisaje sonoro de un ambiente costero en Canarias, aunque aún debe completarse con un análisis más profundo de los datos.

El confinamiento en abril a junio de 2020 resultó en un menor tráfico marítimo de mercancías y la detención total del tráfico recreacional. Esto supuso una reducción sustancial en el nivel de ruido submarino en la ZEC Franja Marina Teno-Rasca.

Los resultados del análisis del fondeo acústico colocado durante y después del COVID demuestran un incremento de hasta 7 dB en el nivel de ruido antrópico de la banda entre 10 Hz y 10 kHz, que es la más característica del ruido del tráfico marino.

En frecuencias superiores a 10 kHz, a las que en teoría no afecta tanto el tráfico marino, el impacto antrópico sigue siendo de gran importancia, con un aumento del ruido del orden de 2-3 dB. Esto podría ser debido al ruido de motos de agua abundantes en la zona de estudio cercana a Puerto Colón

En las boyas oceánicas se registran ejemplos de lo que sería el nivel basal en el ambiente sonoro oceánico, interrumpidas por pasos de barcos pesqueros que realizaron acercamientos a la boya, resultando en ejemplos de aumento del orden de 25 dB en los periodos de máximo y mínimo ruido antropogénico registrados en nuestros datos.

Por otro lado, se analizaron también algunos casos puntuales, como la grabación sonora del silbido de un delfín en el fondeo, que nos ha permitido demostrar que éste quedaría completamente enmascarado por el ruido habitual (post-confinamiento) en la zona.

Por último, se presenta el descubrimiento de una biofonía posiblemente asociada a una especie abundante en Canarias (*Heteropriacanthus cruentatus*). Esta hipótesis se corroborará en una continuación del estudio, dado que en nuestro conocimiento, este trabajo constituiría la primera identificación del patrón vocal de la especie en libertad.

La principal conclusión del trabajo es que el tráfico marino constituye un factor de ruido dominante en la zona de especial conservación de la reserva marina Teno- Rasca. Para el futuro, sería de interés realizar estudios detallados del paisaje acústico de Canarias para contribuir al conocimiento y conservación de su riqueza biológica, considerando los efectos de la contaminación acústica sobre la fauna marina.

Conclusions

This work is, to our knowledge, the only one carried out in Spain on the effects of population confinement due to COVID 19 on levels of marine noise pollution. Likewise, an exhaustive bibliographic review suggests that it is the most complete study carried out to date on the soundscape of a coastal environment in the Canary Islands, although it has yet to be completed with a more in-depth analysis of the data.

The lockdown in April to June 2020 resulted in less maritime freight traffic, a total stoppage of recreational traffic, and a substantial reduction of the submarine noise level at the Teno-Rasca marine ZEC. The results of the analysis during and after COVID show an increase up to 7 dB in the level of anthropic noise in the band between 10 Hz and 10 kHz, the most characteristic of ship noise.

The anthropic impact continues to be important at frequencies above 10 kHz, which in theory are not much affected by marine traffic, with a noise increase of the order of 2-3 dB. This could be due to abundant jet skis in the area near Puerto Colón.

Examples of what the basal level would be in the oceanic sound environment are recorded in ocean buoys, interrupted by the passage of fishing boats approaching the buoy, increasing of the order of 25 dB in the periods of maximum and minimum anthropogenic noise recorded in our data.

Some specific cases were also analyzed, such as the recorded whistle of a dolphin which allowed us to demonstrate that it would be completely masked by the usual noise (post-confinement) in the area. Finally, the discovery of a biophony possibly associated with an abundant species in the Canary Islands (*Heteropriacanthus cruentatus*) is presented.

This hypothesis will be corroborated in a continuation of the study, since to our knowledge, this would constitute the first identification of the vocal pattern of the species in the wild. The main conclusion of the work is that marine traffic constitutes a dominant noise factor in the special conservation area of the Teno-Rasca marine reserve. For the future, it would be of interest to carry out detailed studies of the acoustic landscape of the Canary Islands to contribute to the knowledge and conservation of its biological wealth, considering the effects of noise pollution on marine fauna.

Bibliografía

ACAIMM//Advisory Committee on Acoustic Impacts on Marine Mammals 2006: Report to the Marine Mammal Commission, 1 February 2006. 136 pp

Aguilar, N., Johnson, M., Madsen, P., et al. (2007). *Boletín de la Asociación Amigos del Museo de Ciencias Naturales de Tenerife*. Tenerife. pp. 71-85

Agardy, T., Aguilar de Soto, N., Cañadas, A., H.Engel, M., Frantzis, A., L, H., Hoyt, E., Kaschner, K., LaBrecque, E., Martín, V., Notarbartolo di Sciara, G., Pavan, G., Servidio, A., Smith, B., J, W., L, W., B, W., & Wright, A. (2007, enero 1). *A Global Scientific Workshop on Spatio-Temporal Management of Noise*.

Aguilar de Soto, N., Visser, F., Tyack, P. L., Alcazar, J., Ruxton, G., Arranz, P., Madsen, P. T., & Johnson, M. (2020). Fear of Killer Whales Drives Extreme Synchrony in Deep Diving Beaked Whales. *Scientific Reports*, 10(1), 13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55911-3>

Aguilar, N., & Tejedor, A. (2012). *Documento técnico sobre impactos y mitigación de la contaminación acústica marina*. <http://www.ba.ieo.es/en/multimedia/documentacion-de-interes/1539-documento-tecnico-sobre-impactos-y-mitigacion-de-la-contaminacion-acustica-marina>

ASALE, R.-, & RAE. (s. f.). *Acústico, acústica / Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 14 de junio de 2021, de <https://dle.rae.es/acústico>

Clark, C., Ellison, W., Southall, B., Hatch, L., Van Parijs, S., Frankel, A., & Ponirakis, D. (2009). Acoustic masking in marine ecosystems: Intuitions, analysis, and implication. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 201-222. <https://doi.org/10.3354/meps08402>

de Jong, K., Forland, T., Amorim, M. C., Rieucan, G., Slabbekoorn, H., & Sivle, L. (2020). Predicting the effects of anthropogenic noise on fish reproduction. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 30, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09598-9>

Directiva Marco sobre la Estrategia Marina. (s. f.). Recuperado 24 de junio de 2021, de https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/proteccion-internacional-mar/union-europea-proteccion-medio-marino-y-costero/dm_estrategia_marina.aspx

Erbe, C. (2013). Underwater noise of small personal watercraft (jet skis). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(4), EL326-330. <https://doi.org/10.1121/1.4795220>

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. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00606>

Fernández, A., Arbelo, M., & Martín, V. (2013). No mass strandings since sonar ban. *Nature*, 497(7449), 317-317. <https://doi.org/10.1038/497317d>

Fernandez, A., Edwards, J. F., Rodríguez Guisado, F., Espinosa de los Monteros, A., Herráez, P., Castro, P., Jaber, J. R., Martín, V., & Arbelo, M. (2005). «Gas and Fat Embolic Syndrome» Involving a Mass Stranding of Beaked Whales (Family Ziphiidae) Exposed to Anthropogenic Sonar Signals. *Veterinary pathology*, 42, 446-457. <https://doi.org/10.1354/vp.42-4-446>

Franja marina de Teno-Rasca. (s. f.). Recuperado 24 de junio de 2021, de <https://www.miteco.gob.es/gl/biodiversidad/temas/biodiversidad-marina/espacios-marinos-prottegidos/red-natura-2000-ambito-marino/zec-es7020017.aspx>

Heteropriacanthus cruentatus, *Glasseye: Fisheries, aquarium*. (s. f.). Recuperado 26 de junio de 2021, de <https://www.fishbase.se/Summary/SpeciesSummary.php?id=1150&lang=spanish>

Hildebrand, J. A. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 5-20. <https://doi.org/10.3354/meps08353>

MacGillivray, A., Li, Z., Hannay, D., Trounce, K., & Robinson, O. (2019). Slowing deep-sea commercial vessels reduces underwater radiated noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146, 340-351. <https://doi.org/10.1121/1.5116140>

Morin, H. (2020, junio 3). Underwater Acoustic Impacts of COVID-19. *Discovery of Sound in the Sea*. <https://dosits.org/underwater-acoustic-impacts-of-covid-19/>

Nguyen Hong Duc, P., Cazau, D., White, P. R., Gérard, O., Detcheverry, J., Urtizberea, F., & Adam, O. (2021). Use of Ecoacoustics to Characterize the Marine Acoustic Environment off the North Atlantic French Saint-Pierre-et-Miquelon Archipelago. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(2), 177. <https://doi.org/10.3390/jmse9020177>

Putland, R., Constantine, R., & Radford, C. (2017). Exploring spatial and temporal trends in the soundscape of an ecologically significant embayment. *Scientific Reports*, 7. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06347-0>

Radford, C. A., Ghazali, S., Jeffs, A. G., & Montgomery, J. C. (2015). Vocalisations of the bigeye Pempheris adspersa: Characteristics, source level and active space. *Journal of Experimental Biology*, 218(6), 940-948. <https://doi.org/10.1242/jeb.115295>

Soto, N., & Kight, C. (2016). *Physiological effects of noise on aquatic animals* (pp. 135-158). <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198718826.003.0008>

Thomson, D. J. M., & Barclay, D. R. (2020). Real-time observations of the impact of COVID-19 on underwater noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(5), 3390-3396. <https://doi.org/10.1121/10.0001271>

Tougaard, J., Wright, A. J., & Madsen, P. T. (2015). Cetacean noise criteria revisited in the light of proposed exposure limits for harbour porpoises. *Marine Pollution Bulletin*, 90(1), 196-208. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.10.051>

Wenz, G. M. (1962). Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 34(12), 1936-1956. <https://doi.org/10.1121/1.1909155>

Wright, A., Aguilar de Soto, N., Baldwin, A., Bateson, M., Beale, C., Clark, C., T, D., Edwards, E., Fernandez, A., Godinho, A., L, H., Kakuschke, A., Lusseau, D., Martineau, D., Romero, L., Weilgart, L., B, W., Notarbartolo di Sciara, G., & Martín, V. (2007). Anthropogenic Noise as a Stressor in Animals: A Multidisciplinary Perspective. *Journal of Comparative Psychology*.

Zhang, H., Qiu, M., Li, L., Lu, Y., & Zhang, J. (2021). Exploring the dimensions of everyday soundscapes perception in spatiotemporal view: A qualitative approach. *Applied Acoustics*, 181, 108149. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108149>

American National Standards Institute, "American national psychoacoustical terminology" S3.20, 1973, American Standards Association