



PROYECTO SILENCIOS

EVALUACIÓN DEL ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE RUIDO EN DISTINTOS REGISTROS

Versión:	Final
Fecha:	14/09/2022
Responsable:	Soledad Torres Guijarro

Contenido

1. Resultados de la Tarea 1: Cálculo de los niveles de ruido ambiente de la zona de Cortegada durante el año 2021.....	2
1.1. Análisis de la evolución temporal de los niveles de ruido durante el año 2021.....	3
1.2. Fallos de los hidrófonos.....	4
1.2.1. Fallos de los hidrófonos.....	4
1.2.2. Algoritmo de detección automática de fallos	5
2. Resultados de la Tarea 2: Evaluación y mejora de algoritmos de detección de fuentes antropogénicas y naturales en la plataforma de Cortegada.....	5
2.1. Detector de barcos	5
2.1.1. Problemas detectados y mejoras introducidas	5
2.1.2. Evaluación de prestaciones	7
2.2. Detector de silbidos de cetáceos	7
2.2.1. Problemas detectados y mejoras introducidas.....	8
2.2.2. Evaluación de prestaciones	10
2.3. Evaluación del funcionamiento de los algoritmos de detección sobre los registros tomados en la estación OBSEA en el proyecto SILENCIO.....	13
2.3.1. Nuevo detector de barcos aplicado a OBSEA.....	13
2.3.2. Nuevo detector de silbidos aplicado a OBSEA	13

El proyecto SILENCIOS se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa Pleamar, cofinanciado por el FEMP

1. Resultados de la Tarea 1: Cálculo de los niveles de ruido ambiente de la zona de Cortegada durante el año 2021.

Desde la plataforma de Cortegada se monitoriza el ruido ambiente en la zona a través de la instalación de un hidrófono icListen HF que realiza grabaciones de un minuto cada 3 minutos de forma continuada. A lo largo del año 2021 se han producido interrupciones en estas grabaciones a veces causadas por la imposibilidad de acceder a la plataforma por el mal tiempo o la pandemia, por fases en las que se estaba remodelando el fondeo del hidrófono o la plataforma así como problemas técnicos o períodos en los que hidrófono estuvo averiado.

Mes	Días	f	Min	Max	Media	Prc10	Prc50	Prc90
Enero	5.4	63	62.12	154.45	117.66	66.49	76.13	87.06
		125	64.57	154.27	117.31	70.56	82.34	93.98
		full	84.27	169.07	135.08	92.39	100.50	110.35
Febrero	1.0		65.94	100.35	87.17	69.40	78.29	91.28
			68.65	102.26	88.27	73.39	82.54	91.91
			87.84	124.29	103.77	91.52	98.99	106.57
Marzo	9.6		61.84	119.72	85.47	66.57	77.22	87.60
			64.21	118.73	90.89	68.88	80.31	93.82
			84.35	131.83	106.47	87.68	96.86	107.61
Abril	29.9		61.82	135.26	93.51	66.12	83.01	95.83
			64.28	127.32	97.51	68.32	87.75	102.13
			84.06	144.63	109.41	87.97	101.58	113.37
Mayo	30.9		61.94	125.02	95.27	76.36	87.74	97.06
			64.38	128.61	101.55	79.88	93.50	106.17
			83.89	147.60	111.67	94.70	105.31	115.51
Junio	29.9		61.36	130.85	97.87	73.61	94.58	101.72
			64.26	130.42	104.94	77.89	101.66	109.16
			84.13	145.64	112.67	92.82	109.57	116.18
Julio	30.9		60.89	135.64	94.44	72.25	89.19	96.78
			63.59	132.57	102.32	78.64	97.91	106.72
			83.84	144.98	109.60	92.46	104.86	112.89
Agosto	25.0		60.36	124.93	92.69	62.77	73.41	92.42
			63.21	129.34	92.36	64.68	73.33	95.39
			83.70	142.88	106.60	87.75	97.86	107.30
Septiembre	15.5		60.76	123.04	85.79	63.44	71.24	85.64
			63.19	125.82	88.23	64.99	70.99	86.40
			84.36	134.67	104.30	90.88	96.97	104.79
Octubre	30.9		60.68	116.01	81.27	62.70	71.32	83.79
			63.28	114.97	81.39	64.60	69.97	84.81
			84.27	132.43	103.31	89.85	96.82	103.76
Noviembre	4.3		60.95	110.69	85.92	62.93	74.76	90.37
			63.70	100.22	83.50	64.87	71.97	87.42
			84.71	131.71	103.47	89.57	97.83	104.64

Tabla 1 - Media aritmética, percentiles 10,50 y 90 y niveles mínimo y máximo de las bandas de 1/3 de octava centradas en 63, 125 Hz y banda ancha de los niveles de SPL (dB re 1uPa) obtenidos durante los meses de 2021

La tabla 1 muestra los días de actividad de cada mes de 2021 acompañada de los indicadores típicos de ruido submarino en las bandas de 63 Hz, 125 Hz y banda ancha (full) como son los valores de la media del SPL (antes de la conversión a dB) o los niveles de SPL debajo de los cuales

ocurren el X% de las medidas, véanse, percentiles 10, 50 y 90. Se añaden también los valores mínimo y máximo en las 3 bandas mencionadas, útiles a la hora de analizar el margen dinámico que se está utilizando.

En los próximos apartados se detalla en análisis de los niveles obtenidos así como de los problemas encontrados.

Los datos correspondientes a los niveles completos de la anualidad (Entregable 1.1) se adjuntan en el archivo 'Niveles2021.csv'.

1.1. Análisis de la evolución temporal de los niveles de ruido durante el año 2021.

Como ya se comentó en detalle en el informe del proyecto SILENCIO las grabaciones obtenidas hasta el 15 de Septiembre estaban afectadas por interferencias tonales producidas por el modem inductivo de la plataforma que fueron solventadas a partir de esta fecha limitando la potencia del mismo. Las grabaciones anteriores han sido corregidas mediante el procedimiento de sustracción espectral que permite restar la interferencia a las grabaciones afectadas y por tanto corregir los niveles con correcciones entre 1 y 10 dB. Las grabaciones/niveles analizados en el presente apartado correspondientes a la anualidad del 2021 se obtienen tras esta corrección para los datos previos al 15 de Septiembre, anteriores a la solución del problema. Los datos son procesados utilizando ventanas de 1s con una resolución espectral de 1Hz/muestra.

Como se puede observar en la Tabla 1 durante los meses de Enero a Marzo el acceso a los datos fue limitado debido a problemas técnicos en la plataforma y por tanto los estadísticos calculados no son muy significativos. De Mayo a Julio tenemos los meses con mayor nivel de mediana (percentil 50) muy probablemente causado por una mayor actividad pesquera y marítima en la zona, coincidiendo con el buen tiempo, que durante los meses de Septiembre a Noviembre.

El valor medio del mínimo ruido de fondo en banda ancha (full) está alrededor de los 84.5 dB re 1uPa mientras que el nivel máximo no suele superar los 150 dB re 1uPa; los valores medios oscilan entre los 97 y los 105 dB re 1uPa.

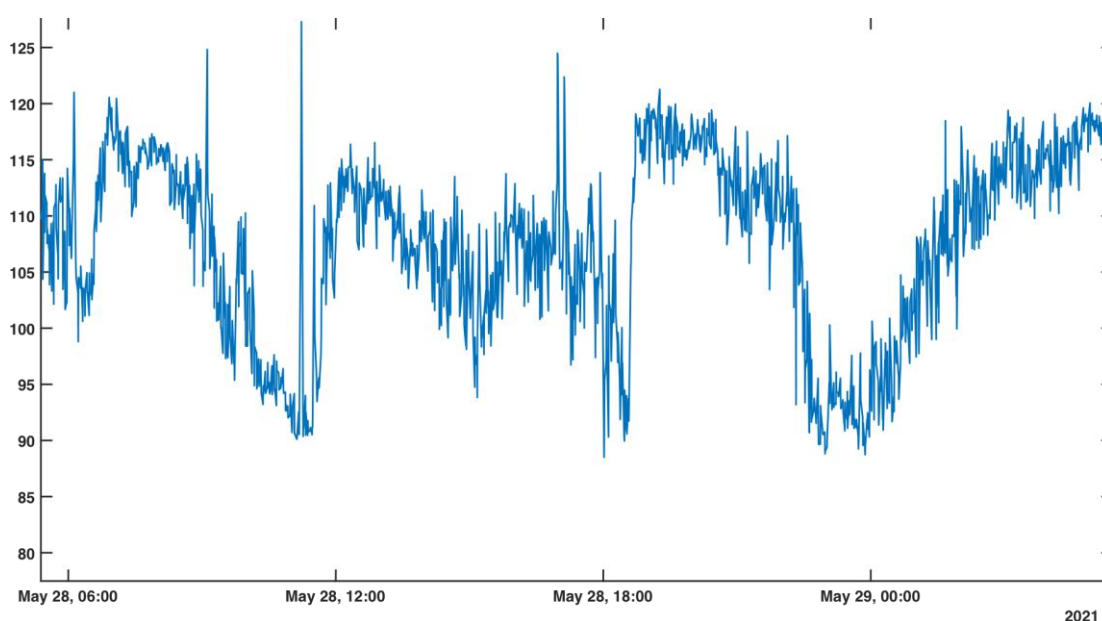


Figura 1 - Evolución temporal del SPL (dB re 1uPa) en banda ancha a lo largo de las 4 mareas de un ciclo de 24h

Además de por la actividad pesquera los niveles también se ven afectados por la intensidad de las mareas y sus corrientes asociadas, que provocan ruido de flujo en el hidrófono. En la figura 1 se muestra la evolución del nivel de presión sonora en banda ancha durante 24 horas, donde se observan los ciclos de las mareas.

El 5 de Noviembre el hidrófono deja de registrar datos y a pesar de que se reemplaza por otro hidrófono de similares características no será hasta Junio del 2022 que se vuelva a registrar datos correctamente. A continuación se comentan los detalles del problema así como la implementación de un algoritmo de detección de fallos que se ha diseñado para la detección temprana de futuras averías.

1.2. Fallos de los hidrófonos

1.2.1. Fallos de los hidrófonos

A partir del 5 de Noviembre el hidrófono deja de registrar datos y aunque es sustituido por otro hidrófono de idénticas características éste resulta estar averiado también y la avería no es detectada hasta el 24 de Mayo de 2022 y reparada hasta el 22 de Junio del 2022. Mientras que el primer hidrófono dejó abruptamente de registrar datos, el segundo sí registraba datos, pero eran erróneos por lo que, ante la falta de un protocolo de detección de fallos, no pudo detectarse el problema hasta pasados pasados varios meses. El problema que sufrió el hidrófono de sustitución tenía que ver con una deriva en la componente continua de la señal que, aunque ya en un inicio era demasiado elevada como para considerar válidas las medidas ($>0.01\%$ del rango de valores de los datos se considera inaceptable según el fabricante), fue incrementándose con el tiempo hasta alcanzar valores que hicieron primero saturar el conversor analógico-digital y posteriormente obtener niveles de “silencio” digital.

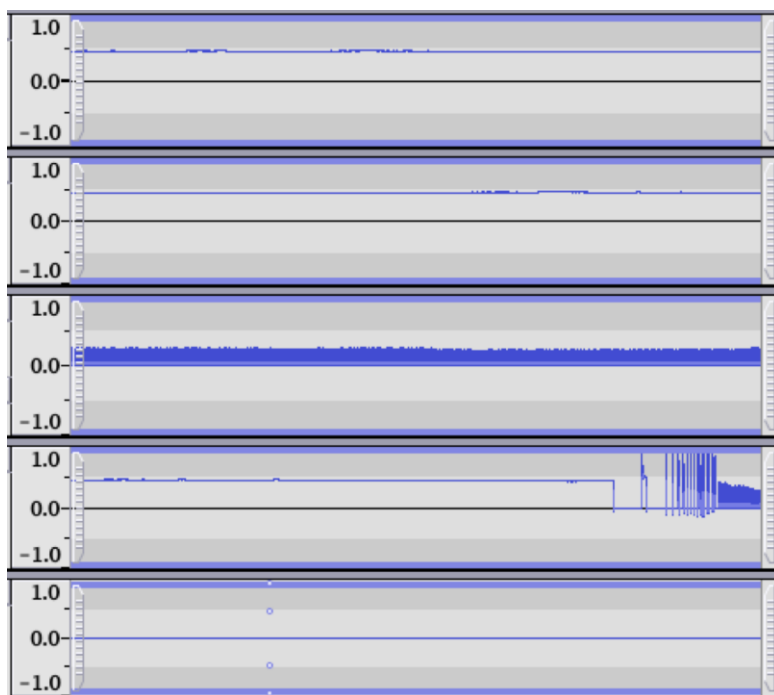


Figura 2 - Detalle de la evolución temporal de la componente continua de las grabaciones del hidrófono averiado

La figura 2 muestra el detalle final de esta evolución, donde se representan los registros temporales de 1 minuto de duración en cada una de las filas de la figura; Inicialmente partimos de un registro con una componente continua de cerca del 0.5% que va incrementándose hasta

saturar el dispositivo (4ª fila/grabación) para posteriormente entrar en una fase de colapso/silencio digital en la que el dispositivo deja de recibir datos.

1.2.2. Algoritmo de detección automática de fallos

Los síntomas detectados a posteriori, y detallados en el apartado anterior, pueden resumirse en 2:

- Nivel de continua >0.01% del rango de los datos.
- Saturación y/o silencio digital provocando niveles anormalmente elevados o bajos.

Por tanto, se programa un detector de averías basado en estos 2 síntomas. Para ello, para cada archivo:

- Se calcula la componente continua (calculando la media de los datos) y se evalúa si esta está por encima del 0.01%. En caso positivo se activa un alarma.
- Se calcula el nivel de SPLf (SPL en banda ancha) y se evalúa si este está por encima de 150 dB y/o por debajo de 80 dB, para ver si se corresponde con niveles normales como los vistos en la Tabla 1.

En caso de que se incumpla alguna de estas condiciones se incluye el nombre del archivo en una línea de un nuevo archivo *Alarma.txt* que se crea exclusivamente cuando alguna alarma es activada y que indica a quien recibe los datos que puede estar sucediendo algún problema y que es necesario revisar las grabaciones indicadas. Estas alarmas también se incluyen en los archivos csv de niveles exportados avisando con el mensaje de texto “AlarmZero” en caso de que se supere el nivel aceptado de continua o “AlarmSPL” en el caso de que se infrinjan los márgenes de SPL normales.

2. Resultados de la Tarea 2: Evaluación y mejora de algoritmos de detección de fuentes antropogénicas y naturales en la plataforma de Cortegada.

Se adjuntan los archivos correspondientes al código open-source de los algoritmos mejorados (entregable 2.1): ['Modelo_2.0.joblib', SAP_v2.03.py]

A la fecha de elaboración de este informe, el código se ejecuta correctamente en el procesador Raspberry Pi instalado en la plataforma de Cortegada. Las modificaciones incorporadas no suponen un incremento en el tiempo de ejecución ni, por tanto, en el consumo de energía

2.1. Detector de barcos

2.1.1. Problemas detectados y mejoras introducidas

El presente detector de barcos es una evolución del detector creado para el proyecto SILENCIO, primera fase de este proyecto, en el que se utilizaron técnicas de machine learning aplicadas a las grabaciones realizadas en la plataforma de Cortegada. Como se detalla en el anterior informe, las principales debilidades del clasificador desarrollado residían en:

- La escasez de datos disponibles. Al analizar las grabaciones realizadas durante el proyecto SILENCIO, se detectaron fuertes ruidos debidos a que el hidrófono compartía fondeo con otros equipos. Se proyectó el cambio de fondeo para mejorar la señal a ruido

de las grabaciones, tras el cual sólo pudo disponerse de 15 días de grabaciones de buena calidad, que fueron etiquetados manualmente para entrenar el clasificador.

- El desequilibrio entre clases *barco* / *noBarco*, debido a que en la base de datos de la que se disponía el número de grabaciones con presencia de ruido de barcos es muy pequeño en comparación con el total.
- Los falsos positivos generados por ruidos ambientales, generalmente ruidos impulsivos, que se confundían con la presencia de barcos.

Para solucionar los problemas encontrados se han implementado las siguientes mejoras:

- Se etiquetan el doble de datos (30 días) y se añaden a los anteriores obteniéndose 45 días de datos etiquetados. Los nuevos datos etiquetados se limitan al mes de Octubre de 2021 debido a que los problemas de adquisición descritos en el apartado 1.2.1 impidieron la utilización de datos posteriores al 5 de Noviembre.
- Se realiza un ajuste entre clases clonando los datos etiquetados como “barco” de forma que ambas clases estén equilibradas.
- Se cambian las características E1 y E2 – SPL en las bandas de 1 a 5 kHz y de 5 a 10 kHz, respectivamente – por las características Ef_med y E1_med, que representan la energía en banda ancha y en la banda de 1 a 5kHz y que se calculan como la mediana de los espectros obtenidos cada 1s. Estas 2 nuevas características ayudan a separar mejor los ruidos impulsivos intensos de los ruidos de barco, mejorando notablemente la eficacia del clasificador.
- Para la selección de las mejores características se utiliza en método de PCA (Principal Component Analysis o Análisis de Componentes Principales) que ayuda a escoger de entre un grupo de características aquellas que están menos correlacionadas y que, por tanto, describen mejor el problema y con menor número de parámetros.

Una última mejora introducida consiste en que el clasificador ahora también devuelve la probabilidad de clasificación de cada evento con lo que se puede hacer un ajuste del umbral de decisión para reducir los falsos positivos. Por ejemplo, si ajustamos la decisión de *barco* para una probabilidad de detección $p > 0.5$ lo que estamos haciendo es ajustar el clasificador para que detecte sólo los barcos cercanos y que sea más difícil, por tanto, confundirlos con eventos impulsivos del ruido ambiente y de esta manera disminuir considerablemente los falsos positivos. Dado que las prestaciones del nuevo clasificador, como veremos en el próximo apartado, tienen un error inferior al 5% para la detección de ambas clases, se decide mantener el valor del umbral de decisión en 0.5 y posponer la opción de variar/ajustar para el futuro y una vez se hayan podido analizar más resultados a lo largo de un período más largo, como un semestre o una anualidad. Esta solución también tiene la ventaja de que una vez tengamos los datos (niveles y probabilidades) podemos volver a decidir desde el servidor cosa que no podríamos hacer si ya enviamos una decisión desde la plataforma.

La construcción del clasificador se hace de forma similar al proceso realizado en SILENCIO: se pasa una batería de clasificadores a los datos obtenidos y se evalúan sus prestaciones analizando la matriz de confusión y teniendo en cuenta la eficacia de la detección así como la minimización de los falsos positivos. El clasificador seleccionado resulta en un modelo *Bagging Trees*, muy popular en la actualidad por su sencillez/rapidez y efectividad a la hora de separar. El modelo seleccionado se entrena y valida usando la técnica de *folding* en la que la base de datos se divide en subconjuntos o *folds* y cada uno de los cuales se utiliza para validar el modelo entrenado con el resto de los datos. En nuestro caso se utiliza una validación con 5 *folds* o subconjuntos.

2.1.2. Evaluación de prestaciones

La siguiente tabla muestra los resultados promedio obtenidos con el clasificador desarrollado tras la validación con 5 folds conformada por 52101 etiquetas de *barco*('1') y 54432 de *noBarco*('0'):

		Predicción	
		0	1
Realidad	0	96% 52624	4% 2168
	1	0% 0	100% 52101

Tabla 2 - Tabla de verdad con los resultados del clasificador de barcas

Como vemos se reducen los falsos positivos con respecto al clasificador anterior (5%) y también los falsos negativos que pasan de un 9% a un 0%. La eficacia media (5 folds) es del 98% con una desviación típica del 0.02%.

El dato de que el detector clasifique con una eficacia del 100% la clase *barco* hay que tomarlo con precaución pues lo que está pasando es que al duplicar los datos de barcos (por escasez y para ajustar la clases) se está sobreajustando el clasificador a los datos de entrenamiento, sin embargo, dado que las embarcaciones que atraviesan la zona suelen ser de la misma tipología, este sobreajuste ayudará sin duda a mejorar los resultados a pesar de que para una evaluación más realista habremos de esperar a disponer datos de un período más amplio como una anualidad o al menos un semestre.

Como ya se comentó en el apartado anterior, la posibilidad de adaptar la decisión mediante la probabilidad de pertenencia a clase puede utilizarse para ajustar los errores de falsos positivos y negativos, aunque la recomendación es la de esperar a tener suficientes datos como para poder realizar un estudio estadístico más significativo.

2.2. Detector de silbidos de cetáceos

En el anterior informe del proyecto SILENCIO se describieron los problemas encontrados al aplicar el detector de cetáceos basado en identificación de silbidos. Tal como se describe en ese informe, se observó una tasa muy alta de falsas alarmas debida a dos fuentes principales de ruido: tonos producidos por el modem inductivo que interfieren en la grabación y golpes producidos por las cadenas del fondeo de la plataforma. Las falsas detecciones debidas al modem inductivo se eliminaron casi por completo al modificar la instalación del hidrófono, alejándolo del modem y bajando la intensidad de la señal de este último. El estudio final descrito en ese informe se realizó tras esta mejora del fondeo del hidrófono, usando grabaciones hechas entre el 15 y el 17 de septiembre de 2021. Al disponer de ellas al final del proyecto no fue posible un etiquetado detallado, por lo que los resultados presentados entonces se consideraron como preliminares. En cualquier caso, los resultados obtenidos indicaban una tasa todavía muy alta de falsas detecciones que se achacó a ruidos tonales provenientes de las cadenas empleadas en el fondeo de la plataforma.

En esta parte del proyecto se realizaron las siguientes tareas:

- Se efectuó un análisis dirigido a la identificación de la relación entre los ruidos producidos por el fondeo y los datos sobre las mareas y la velocidad y dirección del viento, intentando identificar el origen concreto de los ruidos. Como se explica más adelante, el análisis mostró una correlación importante entre los ciclos de mareas, la aparición de falsas alarmas en el detector y la frecuencia de los ruidos indicados.
- Se realizó un etiquetado exhaustivo de las grabaciones realizadas entre el 15 y el 29 de Septiembre de 2021 con el objetivo de analizar con más rigor las prestaciones del detector con el nuevo fondeo (sin ruidos del modem inductivo).
- Se modificaron diversos parámetros del detector para mejorar las prestaciones obtenidas sobre esta base de datos.

2.2.1. Problemas detectados y mejoras introducidas

Para realizar este análisis se emplearon las grabaciones del 15 al 29 de septiembre de 2021. Como tarea inicial se representaron las horas de pleamar y bajamar en la zona de Cortegada, frente a las tasas de acierto (TP), falsa aceptación (FP) y falso rechazo del detector. Los resultados pueden verse en la figura 3, donde la pleamar está indicada con un asterisco rojo y la bajamar con un asterisco azul. Se puede observar que hay una correlación importante entre ambas secuencias, apareciendo un pico en las tasas de falsa detección justo después de la bajamar. Este resultado refuerza la conclusión de que las falsas alarmas se deben ante todo al propio fondeo y sugiere que los ruidos están relacionados con las mareas.

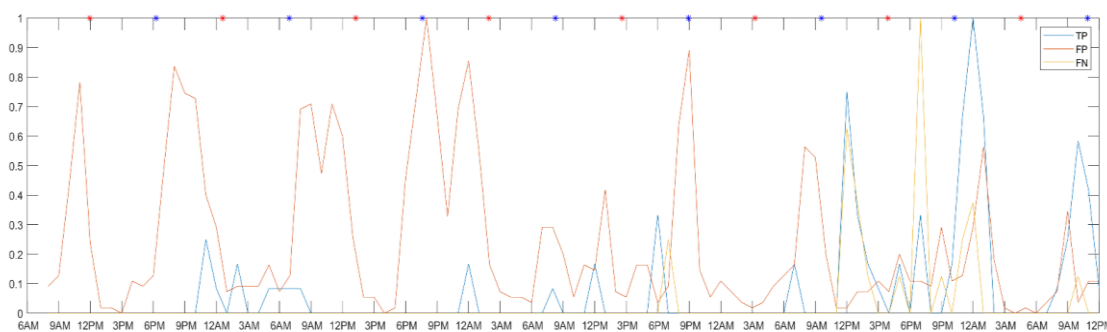


Figura 3 -Estudio de correlación entre las tasas de acierto (TP), falsa aceptación (FP) y falso rechazo (FN) y los ciclos de mareas en Cortegada. El asterisco rojo indica la hora del pleamar y el azul de bajamar

Para reforzar estas conclusiones se implementó un detector de los ruidos de cadena. El detector se basa en el mismo detector de silbidos de cetáceos, pero limitando el rango de frecuencias a la componente principal del ruido de cadena. Los resultados se correlaron con los datos de mareas (altura nivel del mar) y vientos (velocidad, dirección y componentes norte y este). Un ejemplo de este estudio se puede consultar en las figuras 4 y 5. La figura 4 representa el número de detecciones de cadena por minuto (gráfica azul) y la altura de la marea proporcionada por los sensores de la plataforma (línea naranja). Se ve una relación clara entre ambas magnitudes, aunque los picos de la detección parecen coincidir con la pleamar y no con la bajamar como sugiere la figura 3. La figura 5 parece indicar que no hay una relación fuerte entre la velocidad del viento y los ruidos observados.

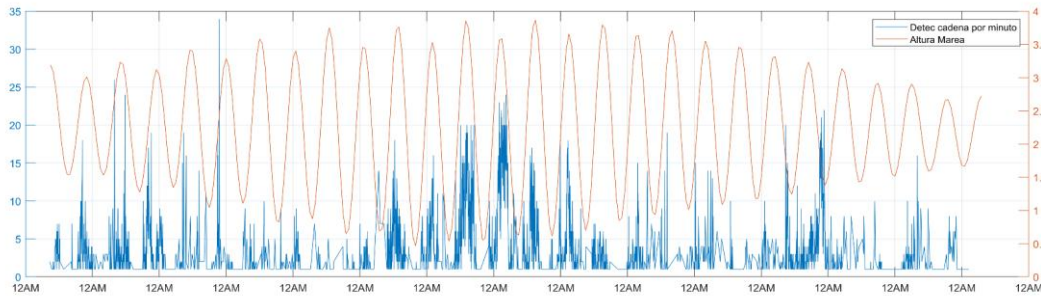


Figura 4 - Eventos detectados del ruido de cadena por minuto frente a altura del nivel del mar

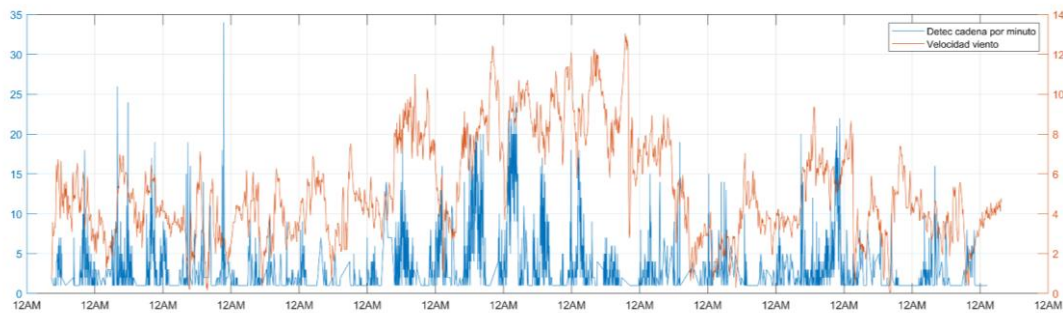


Figura 5 - Eventos detectados del ruido de cadena por minuto frente a velocidad del viento

El 18 de marzo de 2022 se realiza una visita a la plataforma con el objetivo de confirmar que el origen de los golpes es efectivamente la cadena del fondeo Norte. La fecha se selecciona buscando las condiciones meteorológicas y de marea que maximizan la probabilidad de aparición de estos eventos (pleamar viva y viento del NE). Para la inspección de la cadena, CETMAR aporta un robot submarino operado remotamente (ROV) equipado con una cámara de vídeo y un foco de luz.

La cadena norte fue reforzada el 23/06/2021 como muestra en la figura 6, en la que el trazo rojo representa el refuerzo instalado, consistente en añadir una segunda gaza, de cadena más gruesa que la original, rodeando el travesaño de la plataforma. El análisis síncrono de los vídeos del ROV y de las grabaciones del hidrófono muestra que ambas gazas golpean y rozan la una contra la otra cuando la batea y las cadenas se mueven por efecto de las olas y la corriente. Estos eventos provocan fuertes ruidos que no solo confunden al detector de silbidos, sino que falsean los indicadores de nivel de ruido ambiente.

Por otra parte, en los vídeos del ROV se aprecia que los eslabones más cercanos al muerto de la cadena original están muy adelgazados. Por todo ello, se decide sustituir completamente la cadena del fondeo norte por una nueva, con una sola gaza. Esta operación se realiza el 10/06/2022. En las grabaciones posteriores a esta fecha que hemos podido analizar no hemos encontrado ruido de cadena.

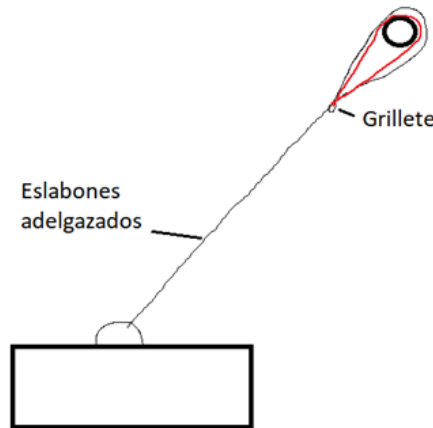


Figura 6 - Croquis del fondeo norte de la plataforma después del refuerzo

2.2.2. Evaluación de prestaciones

Para esta parte del proyecto se etiquetaron de forma detallada un total de 6600 ficheros de audio de un minuto, correspondientes a grabaciones del 15 al 29 de septiembre de 2021. Estas grabaciones se realizaron con la instalación del hidrófono mejorada y, por tanto, con el ruido del modem tonal prácticamente eliminado. Puesto que la detección se realiza en segmentos de 20 segundos, la base de datos final se compone de 19800 eventos.

En el etiquetado se marcaron diversos tipos de silbidos y ruidos tonales. Además se etiquetó la presencia de barcos en las grabaciones usando el detector de barcos ya descrito. Entre los ruidos tonales marcados, se identificaron varios tipos, que habían sido etiquetados como silbidos en la base de datos anterior y cuya procedencia resultó dudosa después de un análisis más detallado. En muchos casos los sonidos parecen proceder de chirridos producidos por la plataforma y no de vocalizaciones de los propios cetáceos. Finalmente se decidió restringir el detector a los silbidos más evidentes por su perfil espectral. En total la base de datos contiene 243 segmentos de 20 segundos conteniendo silbidos a detectar. Obsérvese que el número de eventos positivos es apenas superior al 1% del total, configurando una base de datos altamente desbalanceada.

El algoritmo empleado para la detección es el mismo que el descrito en el informe anterior con las siguientes modificaciones:

- Se emplea ahora una ventana de 10 ms con desplazamiento de 0.5 ms, es decir, con un solapamiento del 95%.
- El parámetro de detección no es el mínimo del índice de tonalidad sino que se modifica para devolver una probabilidad de detección entre cero y uno. Hay que indicar que en realidad no se trata de una probabilidad real, sino de una transformación logarítmica del índice para situarlo en el rango de valores deseado. Este parámetro puede usarse para ajustar la sensibilidad del detector.

- En el análisis descrito en el anterior informe se indicó que parte de las falsas alarmas se debían a la presencia de ruido de barcos en las grabaciones. Para limitar estos errores, en los experimentos descritos a continuación se desactiva el detector de silbidos dependiendo del resultado del detector de barcos. Obsérvese que esta modificación no está implementada en el código actual, sino que queda a discreción del usuario combinar o no ambas detecciones.

Las pruebas iniciales se realizaron empleando el detector descrito en el informe anterior, incluyendo las modificaciones explicadas. Estas pruebas confirmaron los resultados preliminares ya comentados: el ruido generado por las cadenas del fondeo, produce una gran cantidad de falsas alarmas que provocan que el detector sea poco eficaz. Como ejemplo, para un umbral de 0.749, se detectan 19 de los 249 segmentos positivos, con 5 falsos positivos. Disminuyendo el umbral a 0.6 se detectan 52 positivos con 818 falsos positivos. Los resultados son peores que los descritos en el informe anterior debido a que el ruido de cadena es muy alto en alguna de las grabaciones nuevas (probablemente a causa de la altura de la marea). Hay que indicar que debido a que la base de datos está tan desbalanceada, los umbrales de detección para todos estos experimentos se escogieron por tanteo.

La solución más evidente al problema de las falsas alarmas es modificar el fondeo para reducir los ruidos que las producen. Como se describe en este informe, este trabajo se realizó al final del proyecto por lo que no se dispuso de un conjunto de grabaciones limpias a tiempo para su etiquetado. Mientras tanto, se decidió ajustar el detector para intentar minimizar lo más posible estos errores en la base de datos disponible. Para esto se decidió modificar los márgenes frecuenciales de funcionamiento del detector.

Un análisis de los ruidos citados mostró que los ruidos de cadena poseen componentes que se extienden hasta frecuencias en el rango de los 6 kHz e incluso superiores cuando los golpes son fuertes (probablemente en picos de marea baja). Se decidió incrementar el rango inferior de detección de 2kHz a 6kHz y posteriormente a 10kHz. La contrapartida de esta estrategia es que se pierden los silbidos por debajo de esta frecuencia mínima. Esto es un problema para ciertas vocalizaciones de delfines que se mantienen sin grandes variaciones a frecuencias entre 2 y 6 kHz y para vocalizaciones de calderones que típicamente tienen rangos frecuenciales inferiores a los delfines. Sin embargo, se siguen detectando los silbidos más típicos de delfines que, aunque pueden comenzar en torno a los 3 o 4 kHz ascienden rápidamente hasta los 20 kHz o más allá en algunos casos extremos.

Los resultados obtenidos con este detector para diferentes umbrales de detección son los siguientes:

Umbral	TP	FN	FP	TN
0.41	193	50	50	19507
0.5	163	81	7	19550
0.6	121	122	0	19557

Tabla 3 –Resultados obtenidos con el detector de cetáceos para diferentes umbrales de detección

Donde el umbral de 0.41 se ha buscado para equilibrar el número de falsos negativos (FN) y falsos positivos (FP) y el de 0.6 para eliminar totalmente el número de falsos positivos. El umbral recomendado es de 0.5, que minimiza el número de falsos positivos con una tasa relativamente alta de detección (163 eventos de los 243). Para este umbral, los 81 eventos no detectados se componen sobre todo de silbidos en frecuencias inferiores a 10 kHz y otros silbidos dentro del rango de detección, pero con energía muy baja.

Para el umbral de 0.5, la tabla de verdad queda como se muestra en la tabla 4.

		Predicción	
		0	1
Realidad	0	99.9% 19550	0.04% 7
	1	33% 81	67% 163

Tabla 4 - Tabla de verdad con los resultados del clasificador de silbidos

Este mismo detector se aplicó a las grabaciones capturadas entre el 20 de septiembre y el 5 de noviembre de 2021, pero al no haberse etiquetado esta parte de la base de datos, sólo se realizó un análisis cualitativo de los resultados, sin que se pudiesen extraer conclusiones más allá de las descritas para la parte etiquetada.

Se realizaron estudios preliminares del funcionamiento del detector tras renovación de la cadena norte. Los datos empleados se corresponden a grabaciones entre el 23 de junio y el 21 de julio de 2022 (13870 ficheros de un minuto). Esta base de datos tampoco fue etiquetada, por lo que el estudio realizado es cualitativo y debe considerarse como preliminar.

Para este análisis se aplicó el detector ya descrito (con límite inferior de frecuencia en 10kHz). Los resultados se ordenaron por probabilidad de detección y se observaron los ficheros con mayor probabilidad. Entre los 100 segmentos con mayor probabilidad se encontraron del orden de cinco errores de detección, en su mayor parte producidos por ruidos impulsionales esporádicos como los que se muestran en la figura 7. Se observó que la modificación del fondeo ha sido efectiva y que, al menos en el rango de fechas utilizado, parece haberse eliminado el ruido frecuente de cadena.

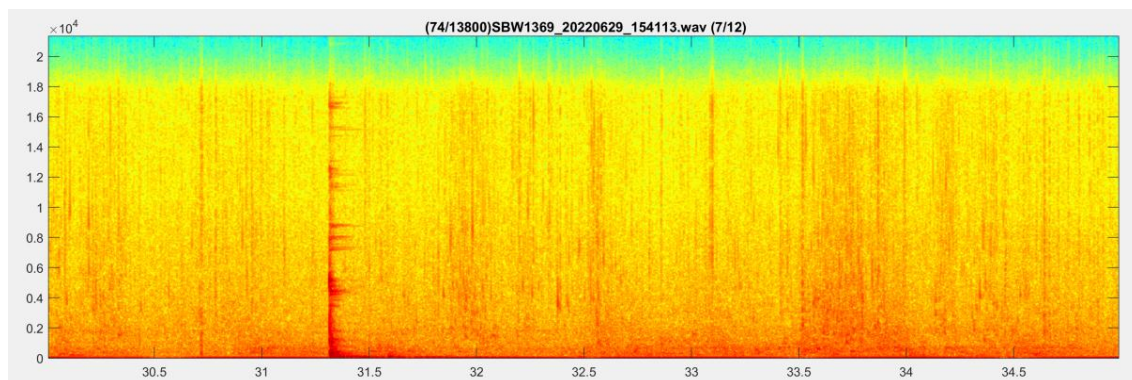


Figura 7 - Ruido impulsional en las grabaciones posteriores al refuerzo de la cadena norte

Ante estos resultados se repitió el experimento anterior reduciendo la frecuencia mínima de detección a 3 kHz. Se pretendía con esto comprobar la desaparición los falsos positivos debidos al ruido de la cadena. Los resultados fueron prometedores. El análisis de los 100 ficheros con mayor probabilidad mostró un número de errores similar al obtenido usando el límite inferior de 10 kHz, lo que sugiere que las falsas alarmas debidas al ruido en el fondeo han desaparecido. Se encontraron errores debido al ruido impulsional de la figura 7, y adicionalmente detecciones de sonidos tonales probablemente producidos por pájaros y no por cetáceos. Es muy posible que utilizando este rango de frecuencias se mejore de forma significativa los resultados del detector, reduciendo la tasa de falso rechazo, pero para extraer conclusiones definitivas sería necesario realizar nuevos experimentos sobre con la base de datos correctamente etiquetada.

2.3. Evaluación del funcionamiento de los algoritmos de detección sobre los registros tomados en la estación OBSEA en el proyecto SILENCIO.

2.3.1. Nuevo detector de barcos aplicado a OBSEA

Tal y como se comentó en el informe del proyecto SILENCIO la base de datos OBSEA presenta una serie de ruidos de fondo, en concreto el elevado y constante ruido en baja frecuencia (superior en más de 10dB en la banda hasta 1kHz en comparación con Cortegada), que hacen que el ambiente acústico sea completamente diferente, en términos de clasificación de ruido, al de Cortegada.

El clasificador desarrollado en el proyecto SILENCIO aplicado a los datos de OBSEA siempre resultaba en la detección de *barco*, estuviera éste presente o no, debido a que no era robusto frente a eventos de ruido ambiente de elevada energía como los descritos en el anterior informe, o el recién citado ruido de baja frecuencia. El nuevo clasificador ha sido rediseñado para separar de forma más eficiente los ruido impulsivos de elevada energía, gracias a las características de energía en mediana E_{f_med} y E_{1_med} , como se detalla en el apartado 2.1.1. Su funcionamiento en el emplazamiento de OBSEA, probado en 24 h de grabaciones, es capaz de detectar algunas tramas de ausencia de barco aunque su eficiencia (<25%) es claramente insuficiente como para aplicarlo con éxito en esta plataforma.

2.3.2. Nuevo detector de silbidos aplicado a OBSEA

Se realizó un nuevo experimento sobre la base de datos OBSEA utilizando el detector de silbidos modificado. El experimento intentaba dilucidar si la reducción del rango de detección a frecuencias entre 10 y 20 kHz podría dar resultado en estas grabaciones. Los resultados no han modificado las conclusiones que se presentaban en el informe anterior. Las grabaciones están contaminadas con diversos tipos de ruidos con componentes tonales, probablemente provenientes de la propia plataforma. Un ejemplo típico de estos ruidos puede verse en la figura 8. La conclusión es que el detector en su concepción actual no puede aplicarse a esta plataforma con éxito.

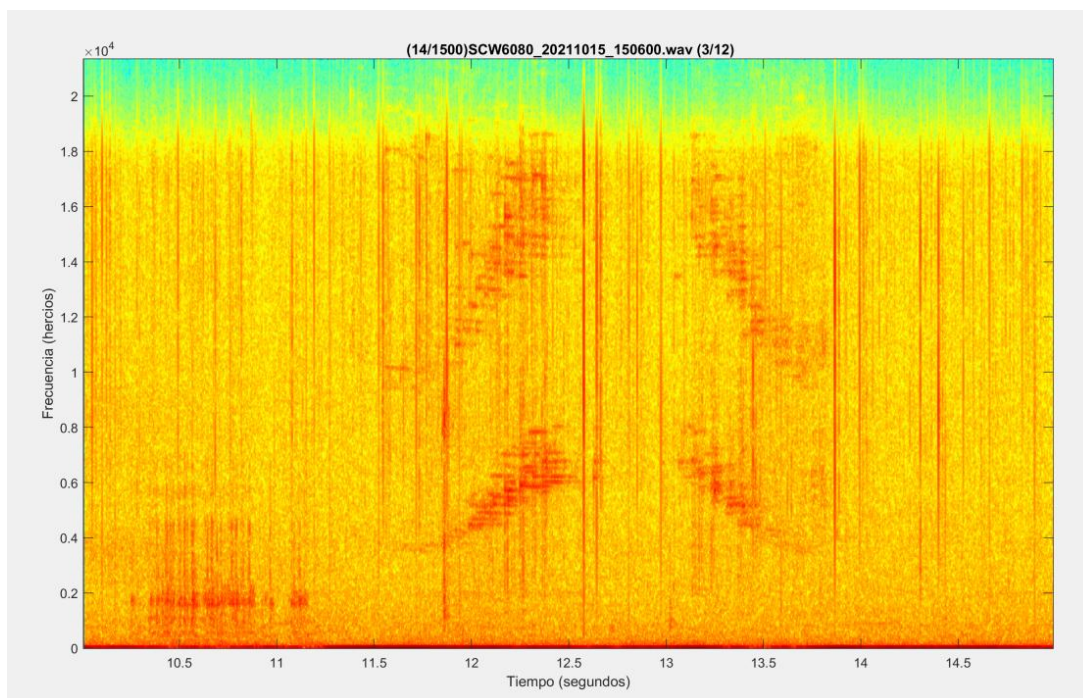


Figura 8 - . Ejemplo de Ruido tonal contaminante de la base de datos Obsea. Obsérvese las componentes tonales entre 10 y 20 kHz