

## UNDERWATER ACOUSTIC IMPACT OF MARITIME TRAFFIC ON CETACEANS USING SOUND PRESSURE LEVEL MAPS

**PACS:** 43.30.-Nb. Ruido en el agua; mecanismos de generación y características del campo.

Pérez Gimeno, N<sup>1.</sup>, Cueto Ancela, J.L. <sup>1</sup>, Nava Baro, E. <sup>2.</sup>

1. Institución: Laboratorio de Ingeniería Acústica de la Universidad de Cádiz.

Dirección: CASEM - Laboratorio de Ingeniería Acústica Campus Universitario de Puerto Real:

Población: Puerto Real, 11510. Cádiz

País: España:

Tel./Fax: 956 01 60 51

E-mail: [neus.perez@uca.es](mailto:neus.perez@uca.es):

2. ETSI Telecomunicaciones Universidad de Málaga

**Palabras Clave:** Acústica submarina, Modelos de propagación, Tráfico marítimo, Mapas de niveles sonoros submarinos

**ABSTRACT.** (Arial, línea 25, tamaño 10, alineado izquierda).

A propagation model of underwater acoustic waves and their derived noise maps is proposed as a tool to assess the possible acoustic affection, caused by underwater noise produced by maritime traffic, on the population of cetaceans.

This first proposed model of underwater acoustic propagation deals with a simplified calculation method that allows obtaining maps at different depths. Concretely, maps can be built from grids of sound pressure level (SPL points) with an accuracy of 100 x 100 meters at different depths (e.g. 10 and 50 meters).

Previously, temporal and spatial analysis of two study areas were carried out, as well as treatments of input data (physical, biological and oceanographic marine area characterization), and the analysis of maritime traffic information.

Finally, different scenarios, as normal operation (an average of maritime traffic flux) or worse case (maxim traffic density) considered as relevant for the impact assessment, are analysed and a sets of sound pressure levels maps are generated.

This presentation will expose the methodology used and the results obtained for the RMS sound pressure level (SPL) of the maritime traffic maps in the study area. Numerical computation of underwater sound levels would be used to assess the noise levels generated by this activity

### RESUMEN.

El objetivo de este trabajo es representar la posible afección acústica del tráfico marítimo sobre la población de cetáceos en una determinada área marina empleando como herramienta mapas de ruido submarino.

Este primer modelo propuesto de propagación acústica submarina trata de un método de cálculo simplificado que permite generar mapas de niveles sonoros a diferentes profundidades, obteniendo una malla de valores globales (puntos) de nivel de presión Sonora (SPL) en RMS con una precisión de 100 x100 metros.

Se presentan dos áreas de estudio con tráfico marítimo donde previamente se han realizado análisis temporales y espaciales del área de estudio, junto el tratamiento los datos de entrada al modelo de cálculo: caracterización del área marina desde el punto de vista físico, biológico y oceanográfico; así como, preparación y análisis de la información del tráfico marítimo.

Finalmente, se generan los conjuntos de planos de niveles sonoros a una determinada profundidad para diferentes escenarios (por ejemplo, promedio y máxima afección).

Esta presentación expondrá la metodología empleada junto los resultados obtenidos para los mapas de niveles de presión sonora (SPL) del tráfico marítimo del área de estudio

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica marina está contemplada en el marco del Derecho Internacional. Son varios los convenios que están trabajando en el desarrollo y adopción de medidas de protección contra la contaminación acústica (OSPAR<sup>1</sup>, ACCOBAMS<sup>2</sup>, etc.) así como en el establecimiento de pautas para las evaluaciones de impacto acústico submarino. Concretamente, el objetivo de un estudio de impacto acústico submarino radicaría en conocer los niveles de presión e intensidad con el fin de determinar su posible afección sobre la fauna empleando modelos de propagación acústica submarina.

Este estudio presenta una propuesta para la evaluación del impacto acústico del tráfico marítimo empleando mapas de ruido submarino (representación cartográfica de niveles de presión sonora). Los mapas se cartografían interpretando la información contenida en una malla de cálculo.

A su vez, la meta del estudio de evaluación del impacto acústico radica en poder establecer áreas o zonas de afección que permitan gestionar o regular los posibles conflictos. Según la especie marina es posible establecer zonas de exclusión teniendo en cuenta ya sean umbrales de presión de pico, exposición<sup>3</sup> o de niveles sonoros RMS.

No obstante, es indiscutible la importancia de realizar Estudios de Impacto Acústico Submarinos con tal de poder gestionar los posibles impactos acústicos procurando minimizar sus efectos, y por tanto, la necesidad de seguir proponiendo metodologías de estudios y análisis del alcance y/o afección del ruido submarino sobre las especies marinas.

### Objetivo de esta comunicación:

El objetivo de este trabajo es representar la posible afección acústica del tráfico marítimo en dos áreas de estudio distintas empleando como herramienta los mapas de ruido submarino.

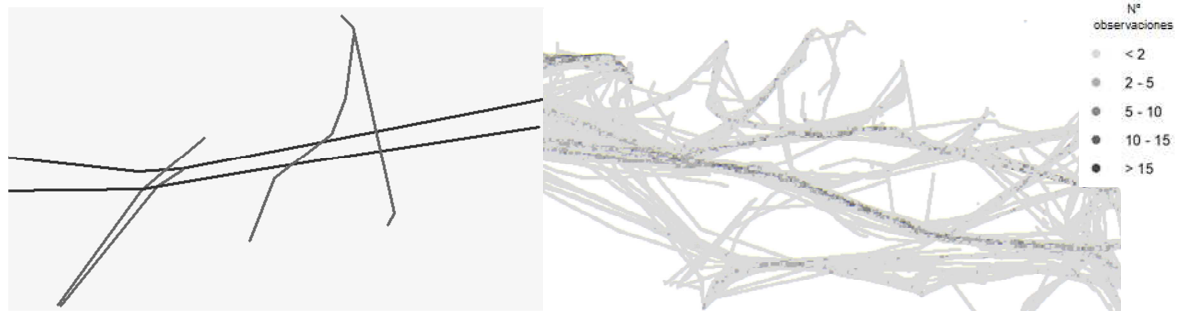
Concretamente, se propone describir qué metodología se adapta mejor para realizar los mapas de ruido en dos casos concretos.

## 2. ÁREAS DE ESTUDIO

Esta presentación no pretende centrarse en analizar los resultados de un área concreta, pero para un mejor seguimiento de la propuesta metodológica, se han efectuado los cálculos y analizados los resultados de dos áreas: Zona 1 y Zona 2 (por cuestiones de confidencialidad de datos no se puede revelar la zona donde se hicieron los trabajos, quedando excluidos algunos datos iniciales).

- Zona 1: Sencillo, integra un canal controlado por VTS (Vessel Traffic Service) donde el tráfico se canaliza a través de una separación de tráfico (vías concretas). Y se ha dispuesto de la siguiente información: Estaciones oceanográficas (perfiles de CTD) y datos del paso de las embarcaciones a lo largo de un año.
- Zona 2: Complejo. Representa una distribución donde las rutas del tráfico es disperso. Y se ha dispuesto de la siguiente información: perfiles de CTD y datos del paso de las embarcaciones a lo largo de un año.

Se trabajan con estas áreas por considerarse representativas de gran variedad de situaciones en las que un investigador puede encontrarse a la hora de realizar un estudio de impacto acústico del tráfico marítimo.



**Figura 1.** Movimiento de embarcaciones. Imagen izquierda, líneas o rutas de navegación (Zona 1). Imagen derecha, densidad del tráfico en malla de 100 por 100 metros (Zona 2).

A lo largo del estudio se detallará porqué se ha calificado la Zona 1 de “sencilla” y la Zona 2 de “compleja” en relación a la metodología empleada.

### 3. METODOLOGÍA

Previo a la ejecución de cálculos o mapas e independientemente del modelo de propagación, se han tomado una serie de consideraciones:

- Todos aquellos datos necesarios en los cálculos que no son adquiridos “in situ” se obtienen a través de investigaciones bibliográficas.
- Los mapas representan una situación temporal finita. Son escenarios promedios de intervalos determinados.
- Son pocos los registros acústicos de embarcaciones, por ello para poder establecer la potencia acústica de cada barco, se considera:
  - o Las potencias acústicas de los barcos se establecen en función del tipo de barco (relacionado a su vez con su eslora)
  - o A pesar de que las características de emisión de grandes embarcaciones dependen del tipo de barco, tamaño y modo de funcionamiento, la mayor parte de la energía sonora se centra por debajo de  $1000\text{Hz}^4$ . Es decir, el tráfico marítimo se considera uno de los principales focos en el rango frecuencial de hasta  $1000\text{Hz}^5$ .
  - o Las pequeñas embarcaciones (fuera bordas, zodiacs, recreativas, etc.) producen niveles sonoros (75- 159 dB  $1\mu\text{Pa m}$ ) y sus características son fuertemente dependientes de la velocidad y otras características de funcionamiento<sup>6</sup>, quedando fuera del alcance de los mapas.
- Existe una amplia colección de modelos de propagación aunque ninguno de ellos diseñado para dar respuesta a los Estudio de Impacto Acústico Submarino y/o que permitan obtener mapas de ruido. En este trabajo se ha empleado un método de cálculo simplificado.

#### PREPARACIÓN DATOS DEL TRÁFICO MARÍTIMO

Es el único foco sonoro considerado en este estudio. La caracterización acústica del tráfico marítimo consiste en poder establecer emisiones sonoras (potencias acústicas) de las diferentes embarcaciones, siendo para ello, imprescindible identificar qué tipo de barcos (junto su velocidad y distancia), transitan por cada área de estudio. Es decir, se pretende establecer la potencia de emisión de cada uno de los barcos, según su tipo de actividad (carguero, tanquer, pasajeros, etc.) y eslora.

Para ambas áreas se trabajó con bases de datos que contenían los mismos campos, a diferencia de que para la Zona 2, se dispusieron datos del 2012 y para la Zona 1 del año 2006. Los datos de embarcaciones consistían en observaciones de embarcaciones, posición de cada

cambio de rumbo de cada uno de los barcos de cada área a lo largo de un año, donde además de la descripción en sí del buque, se indicaba la velocidad y rumbo (por ejemplo la Zona 2 presentó un total de 5.544.159 observaciones de 1.037 embarcaciones diferentes)

Con ellas se realizaron un tratamiento de datos que permitió tipificar y clasificar todas las embarcaciones de cada área.

### EMISIONES ACÚSTICAS DEL TRÁFICO MARÍTIMO

En el caso que se dispusiera de registros de las potencias acústicas de cada embarcación que transita por el área sujeta a estudio, la asignación sería inmediata y dependería de la tipificación del tráfico marítimo en sí y del número de pasadas de cada embarcación para cada periodo temporal establecido. No obstante, esta situación es prácticamente imposible debido a la falta de dichos registros en ningún área.

Por tanto, se asume que se pueden establecer las potencias extrayendo la información tras una investigación bibliográfica y considerando que, navegando a velocidad media constante, las emisiones sonoras de los barcos dependen del tipo de barco y tamaño.

En este caso, la información de las potencias acústicas, se ha extraído de: MMO<sup>4</sup>, Mckenna<sup>7</sup> y Richardson<sup>6</sup>. En la siguiente tabla se resume la recopilación de información.

**Tabla 1.** Recopilación de información de niveles sonoros extraída de (MMO, 2015)

TIPOS EMBARCACIONES SEGÚN BIBLIOGRAFÍA	SOURCE LEVEL (dB 1µPa m)	Mean (dB 1µPa m)	Median (dB 1µPa m)
Recreation (embarcación rápida)	110 - 156	147	130
Boat (embarcación)	157 - 164	161	160
Cargo Bulk (carguero)	175 - 192	186	184
Container (contenedor)	169 - 198	186	181
Fishing (boat/trawler) (pesquero)	110 - 158	150	143
Offshore oil production vessel	174 - 183	180	180
Passenger (pasajeros)	154 - 155	155	155
Mechant vessel	160 - 191	185	181
Supertanker (superpetrolero)	180 - 190	188	189
Tanker (petrolero- cargador)	169 - 185	179	178
Tug and barge (Remolcador y barcaza)	161 - 171	167	166
Vehicle carrier (ro ro)	178 - 182	180	180
Workboat	159	159	159

### 3. ESTUDIO DE CASOS

#### ZONA 1

##### **Selección del escenario temporal**

Son varios los criterios a mantener a la hora de seleccionar un escenario temporal. O bien se evalúan situaciones promedios/ mínimos y de máxima afección, o bien escenarios establecidos en función de las especies sujetas a estudio (objetivo final de los estudios de impacto). En caso disponer información acerca de las especies (periodos de reproducción, alimentación, etc.), se podría establecer un periodo temporal u otros.

Para la Zona 1, al tratarse de canales de tráfico marítimo muy transitados, la densidad del tráfico se mantiene prácticamente constante a lo largo del año, siendo la situación máxima y la

promedio la misma. De manera que se trabaja con el mes de mayo como representación del escenario promedio y máximo.

### Movimiento de las embarcaciones

A la hora de efectuar la modelización acústica, considerar que todas las embarcaciones realizan rutas fijas o transitan por canales de tráfico marítimo (fuentes continuas de trazado lineal), simplificaría los cálculos.

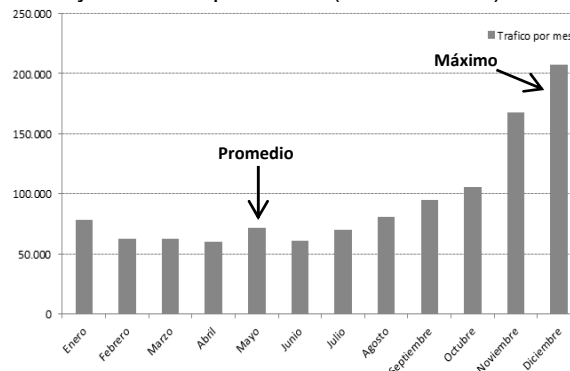
El tráfico marítimo se concentraría en líneas o trazados teóricos en función de su cercanía al trayecto real; debiendo encontrar un equilibrio entre el número máximo de líneas de navegación y la representatividad de la densidad del tráfico que se asignará a cada línea. Con tal de identificar tanto las rutas representativas de los movimientos de los barcos como la asignación del número y tipo de embarcaciones en cada canal, es preciso analizar el patrón del movimiento.

Por ello, en la Zona 1 (ver Figura 1), circulan todas las embarcaciones del área de estudio (excepto las recreativas y pesqueros) por rutas de tráfico establecidas.

### ZONA 2

#### Selección del escenario temporal

En el caso de la Zona 2, se propone como escenarios temporales los periodos con máxima densidad de tráfico marítimo y densidad promedio (ver Gráfica 1).



Gráfica 1. Número de observaciones de embarcaciones en Zona 2 de un año. Distribución mensual.

Concretamente el mes que presenta una densidad promedio es mayo con 71.166 observaciones de embarcaciones; y diciembre es el que representaría una mayor exposición al ruido generado por el tráfico marítimo de todo el año.

### Movimiento de las embarcaciones

Inicialmente se procuró definir el movimiento del tráfico marítimo estableciendo un conjunto de líneas de navegación. No obstante, se detectó que las principales rutas (ver Figura 1) contenían el 30% de los datos de embarcaciones, el resto de tráfico quedaba disperso en el área. De manera que requeriría de como mínimo 4000 rutas para explicar el 95% de los datos de embarcaciones. Debiéndose emplear una malla de puntos para la distribución del tráfico marítimo.

Por tanto, el patrón del movimiento se estudió generando una malla de 100x100 metros, estimando el número de embarcaciones que transitaban a la hora (para cada uno de los meses sujetos a estudio) por cada cuadrante (ver Figura 1).

Consecuentemente, no se podían modelizar focos lineales (rutas marítimas) si no, era preciso trabajar con densidades de distribución espacial de probabilidad de que un buque esté en un determinado punto. De manera que en este caso tratan de focos de emisión puntuales.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis y discusión de los diseños metodológicos para el cálculo y sus resultados.

#### MODELIZACIÓN

Recordar que este trabajo no pretende entrar en discusión acerca de los modelos de propagación acústica submarina más adecuados para la representación del tráfico marítimo. Se ha empleado un método de cálculo simplificado que permite generar mapas de niveles sonoros a diferentes profundidades.

Concretamente, el método de cálculo ha consistido en una estimación de la atenuación en función de la distancia considerando una propagación esférica hasta que a un determinado ángulo de incidencia y profundidad, se inicia una propagación horizontal. A la hora de estimar dicho ángulo y distancia se han tenido en cuenta los perfiles de velocidad del sonido para cada uno de los meses.

Los perfiles de velocidad del sonido se obtuvieron, a su vez, analizando los parámetros oceanográficos (estaciones CTD) de cada mes sujeto a estudio (ver Figura 2 y Figura 3).

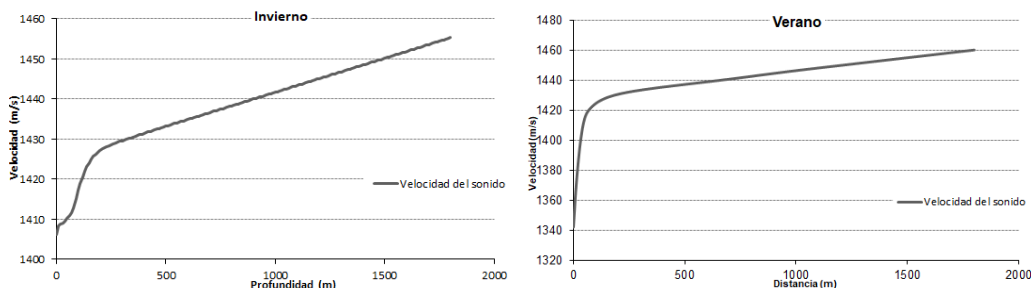


Figura 2. Perfiles de velocidad del sonido para la Zona 1 de una estación de CTD

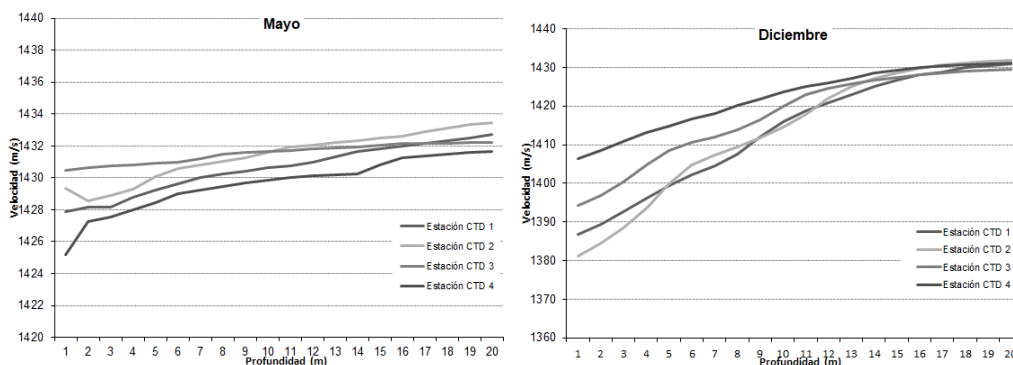


Figura 3. Perfiles de velocidad del sonido para la Zona 2 de 4 estaciones de CTD.

A la hora de configurar los cálculos tan sólo se han tenido en cuenta pérdidas geométricas y pérdidas por transmisión. Al no considerar otros factores de atenuación, estos cálculos mostrarían la situación acústica más desfavorable.



Además, se considera que la superficie del mar es completamente plana. Por tanto, las ondas serán reflejadas hacia el fondo sin difracción. La aportación de la reflexión de la onda en el fondo oceánico se considera despreciable en comparación con la energía de la onda directa. Y el ruido de fondo del área se encuentra por debajo de los niveles del tráfico marítimo.

En resumen, la modelización ha contemplado que:

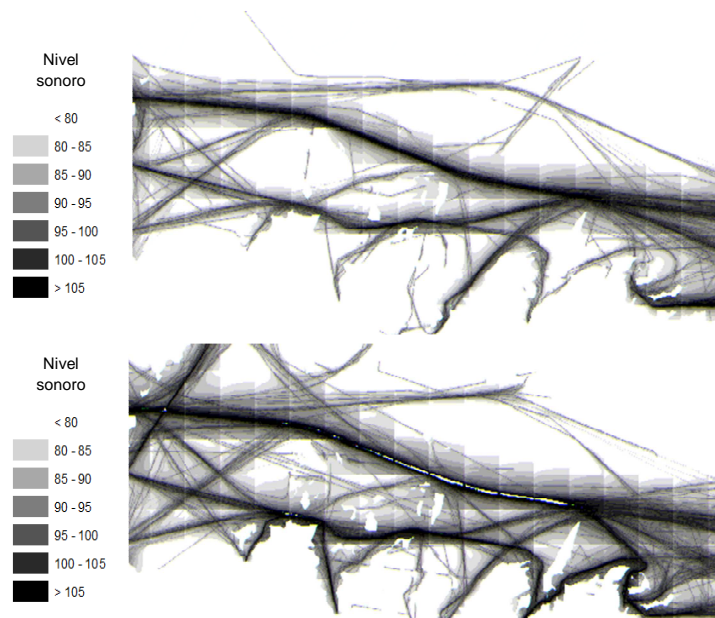
- Se trabaja con una malla de puntos de 100x100 metros
- En la Zona 1, los niveles sonoros son generados por fuentes lineales (emisión semicilíndrica) que se desplazan a velocidades constantes. Las líneas de los canales de tráfico marítimo se trasladan a la malla de cálculo.
- En el caso de la Zona 2 se asigna una potencia en el punto central de cada celda de la malla (emisión puntual semiesférica) determinado en función del número de barcos que han cruzado cada celda y tipo (es decir, todos los barcos del área de estudio fueron clasificados según su tipificación).
- Los centros emisores se encontraban a 6 metros de profundidad
- Los cálculos se efectuaron a una profundidad de 50 metros (los mapas mostraban los niveles sonoros a una profundidad de 50 metros)

## RESULTADOS

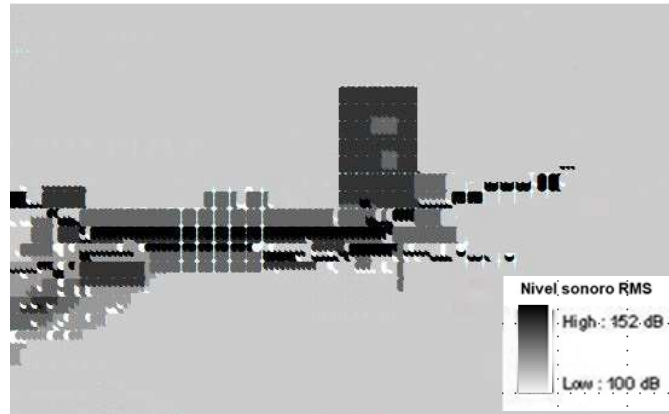
A continuación se presentan los mapas de niveles sonoros RMS del tráfico marítimo a una profundidad de 50 metros para las dos áreas sujetas a estudio (Zona 1 y Zona 2).

El caso Zona 1, al presentar un tráfico marítimo más intenso y constante durante las 24 horas del día, los niveles estimados son mayores, entre los 140 y 150 dB entorno al eje del canal a una profundidad de 50 metros (ver Figura 5).

Los mapas de niveles sonoros de la Zona 2 (ver Figura 4) muestran niveles máximos en las zonas de máxima densidad entre los 100 - 105 dB a una profundidad de 50 metros.



**Figura 4.** Niveles sonoros RMS de la Zona 2. Izquierda niveles sonoros RMS del mes de mayo. Derecha niveles sonoros RMS del mes de diciembre.



**Figura 5.** Niveles sonoros RMS promedio mensual en Zona 1.

Esta metodología se irá depurando y contrastando para diferentes escenarios y situaciones.

## 6. CONCLUSIONES

Los mapas de ruido son herramientas de indiscutible importancia para los Estudios de Impacto Acústico Submarinos y facilitarán la gestión áreas marinas.

El hecho de trabajar con mapas requiere ejecutar muchos cálculos, estimaciones en cada punto de malla. Considerando que la cuadrícula debe cubrir el área de estudio, que se suelen tratar de grandes extensiones y que a cuadrícula de malla (celdas) más pequeña mayor precisión, es necesario encontrar un equilibrio entre el número de cálculos y la cobertura de los resultados, todo ello limitado por la propia capacidad computacional y/o ejecución temporal.

Las estimaciones empleando trazados o rutas marítimas agilizan los cálculos y el manejo de la información, no obstante no es posible representar siempre el tráfico en rutas marítimas.

En algunas áreas marinas es posible concentrar el tráfico marítimo en líneas o trazados teóricos en función de su cercanía al trayecto real; debiendo encontrar un equilibrio entre el número máximo de líneas de navegación y la representatividad de la densidad del tráfico que se asignará a cada línea.

En caso contrario, es posible representar la distribución del tráfico en mallas de puntos. Esta malla dependerá de la información de partida, pero será preciso a la hora de estimar el número de pasadas de los barcos por cada celda, que se tenga en cuenta las velocidades medias de cada uno de ellos.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Convenio OSPAR para la protección del Medio Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste.
2. Acuerdo ACCOBAMS sobre la conservación de los cetáceos del mar Negro, el mar Mediterráneo y el Área Atlántica Vecina.
3. NMFS (2016) "Draft Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammals. Acoustic Threshold Levels for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts.



4. MMO. (2015). Modelled Mapping of Continuous Underwater Noise Generated by Activities. A report produced for the Marine Management Organisation: MMO Project No: 1097. ISBN: 978-1-909452-87-9
5. Urick, J. R. (1984). Sound propagation in the sea. Los Altos, CA 94023 USA: Peninsula Publishing
6. Richardson, W.J., Greene, C.R., Malme C.I., y Thompson D.H. 1995. "Marine mammals and noise". Academic Press, San Diego.
7. Mckenna, M. R. (2012). Underwater radiated noise for modern commercial ships. J. Acoust. Soc. Am., 131(1): 92-103