

PROPUESTA DE UN ÍNDICE DE RUIDO MARINO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA DEL TRÁFICO MARÍTIMO

Referencia PACS: 43.30.+m

Pérez Gimeno, N.^{1,2}; Hernández Molina, R.¹ y Cueto Ancela, J.L.¹

1. Laboratorio de Ingeniería Acústica de la Universidad de Cádiz y Tasvalor Medio Ambiente S.L.
Edificio CASEM, Av. República Saharaui. Polígono Río San Pedro. Puerto Real 11510.
Spain Telf/Fax. (+34)956 016051
2. Tasvalor Medio Ambiente (TMA). Calle Manantial, 13. Polígono Las Salinas de San José 11500 El Puerto de Santa María. Spain Telf (+34) 956857175

ABSTRACT

Management plans must have a solid scientific basis and marine acoustic disturbance impacts from human activities studies are indispensable to support the management actions. However, there is no standard proceeding for marine acoustic evaluation. So, one of the options is to design an noise index through empirical formula that help to evaluate the acoustic impact of certain underwater sources. In spite of thousand underwater noise sources, the marine traffic is the maximum contributed to environmental noise in 5 Hz to 1 kHz frequency range. This paper shows the results of the first approach of a noise index that will be able to describe and characterize the acoustic pollution from a marine area.

RESUMEN

El estudio de la contaminación acústica marina es imprescindible a la hora de diseñar planes de conservación, gestión o medidas correctoras. Al contrario de la acústica ambiental, para la evaluación del ruido ambiental subacuático, no existe un procedimiento estandarizado de evaluación. Por ello, una alternativa sería diseñar un índice que permitiese estimar la aportación de ruido de determinadas fuentes submarinas, a partir de fórmulas empíricas. Considerando que, a pesar de la gran cantidad de fuentes de ruido marino, el tráfico marítimo es el máximo contribuyente en el rango de frecuencias comprendido entre 5 Hz hasta 1 KHz, la siguiente comunicación presenta los primeros resultados obtenidos de la primera propuesta de un posible índice capaz de describir y caracterizar una determinada área marina en función del ruido existente en la zona considerando como único contribuyente el tráfico marítimo.

INTRODUCCIÓN

La literatura acerca de ruido ambiente es muy extensa. Las revisiones sobre este tema más reconocidas y extensas las realizaron Wenz (1962) y Knudsen et al. (1948). Ross (1976), Urlick (1983) y Zakarauskas (1986) entre otros, donde se incluyeron desarrollos y análisis sobre el ruido ambiente en el mar. A pesar de todo, estos modelos no permiten realizar mapas predictivos y genéricos de la distribución del ruido marino ni proponen indicadores ó índices de

ruido, es decir, herramientas capaces de cuantificar e identificar áreas marinas vulnerables al ruido.

El estudio de la contaminación acústica derivada de actividades antropogénicas es uno de los pasos de interés a la hora de diseñar un plan de gestión y sus posibles medidas correctoras. Precisamente, amparándose en políticas de protección medioambiental tanto internacionales como nacionales, en el 2002 se inició el *Proyecto Life Naturaleza "Conservación de Cetáceos y Tortugas en Murcia y Andalucía"* donde se realizó el primer estudio de la posible afección del ruido en los cetáceos en la costa andaluza. Este Proyecto brindó la posibilidad de analizar la contaminación acústica en el área del Mar de Alborán y el Estrecho de Gibraltar aportando datos e información de los muestreos marinos.

Es necesario diseñar un modelo predictivo capaz de representar y estimar la contaminación acústica marina de manera que identifique áreas marinas vulnerables al ruido. Por ello, el presente estudio pretende mostrar los resultados de un primer modelo numérico predictivo de ruido a través del diseño de un índice de ruido marino del *Proyecto Life Naturaleza "Conservación de Cetáceos y Tortugas en Murcia y Andalucía"*.

OBJETIVOS

Estimar la contribución en los niveles del ruido ambiental de las rutas de grandes embarcaciones en el Mar de Alborán y Estrecho de Gibraltar, realizando el mapa acústico ambiental marino.

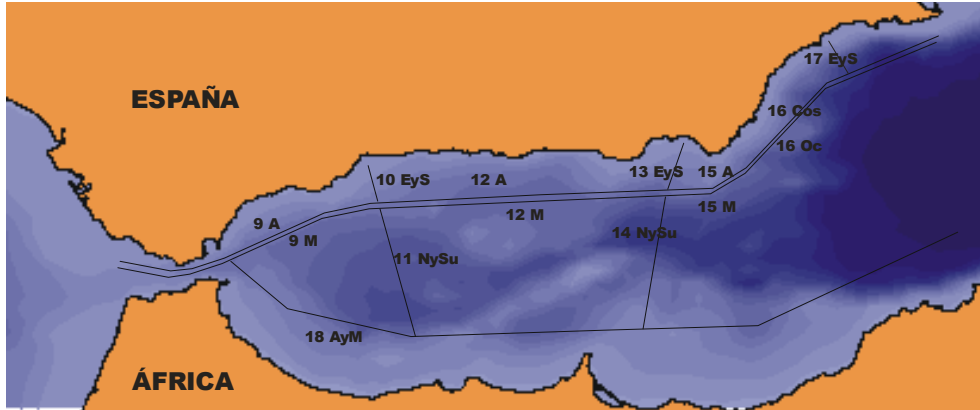
ÁREA DE ESTUDIO

En la zona de estudio se encuentran dos Dispositivos de Separación de Tráfico (DST) uno en el Estrecho de Gibraltar, y el otro al sur del Cabo de Gata encargados de ordenar las corrientes de tráfico marítimo evitando situaciones de cruce entre buques estableciendo rutas obligatorias en las zonas de tráfico denso.

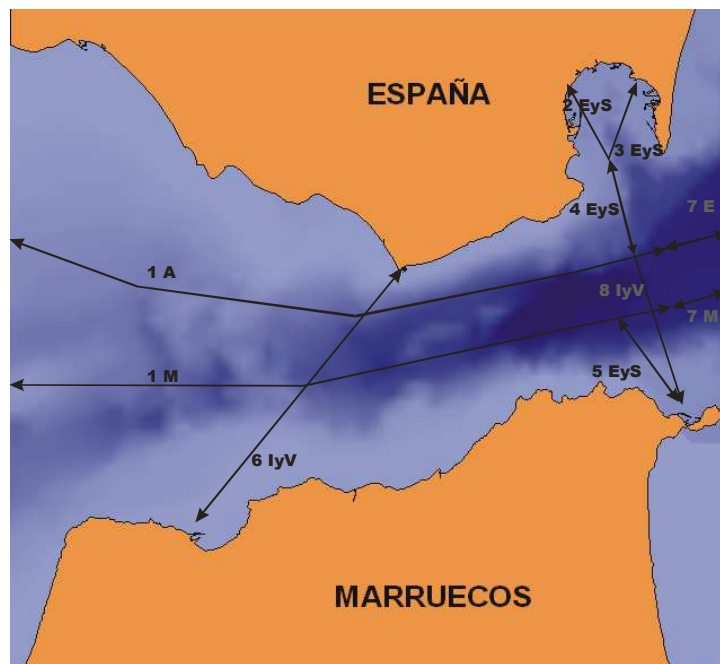
Por el Mar de Alborán transcurren unos 4.400 a 4.500 petroleros que cruzan el Estrecho de Gibraltar cada año, además de los cargueros, lo cual convierte a esta zona en la segunda ruta marítima más transitada del mundo. Según datos de la Torre de Control de Tráfico de Tarifa, en 2004 se identificaron 90.004 barcos en la zona del Estrecho de Gibraltar, de los cuales, 61.184 fueron petroleros y cargueros en dirección E-W, 13.473 fueron ferrys en dirección N-S y 29.825 fueron lanchas rápidas también en dirección N-S. En estos datos no se contabilizaban los barcos de pesca ni los de recreo. Mientras que en Cabo de Gata se contabilizaron un total de 29.485 embarcaciones (fuente: Dirección General de la Marina Mercante, Seguridad Marítima y Contaminación: Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima de Cabo de Gata y Puerto de Almería).

Debido a que la densidad de tráfico marítimo varía en las diferentes zonas del área de estudio, a continuación se presenta el Mar de Alborán y Estrecho de Gibraltar segmentados según la frecuencia de paso de embarcaciones y rutas marítimas (mapas 1 y 2). Estos mapas muestran los tramos descritos en el área de estudio (se ha asumido que el tráfico marítimo era igual en

ambos sentidos, es decir, que todos los barcos que entraban, también salían; y que la circulación anual era constante).



Mapa 1: Descripción de los tramos del área de estudio



Mapa 2: Descripción de los tramos del área del Estrecho de Gibraltar

La clasificación de los tipos de embarcación se realizó en función de sus emisiones o potencia sonora. La emisión de cada barco variará en función del tipo, eslora y velocidad. De National Research Council of the National Academies (2003) y Evans (2003) se extrajo el ruido introducido por cada tipo de embarcación. Además, se caracterizó en cada tramo la proporción de cada tipo de barco que transitaba, considerando que esas proporciones se mantenían en todas las rutas principales de tráfico marítimo. De manera que se calculó el número de embarcaciones presentes en cada ruta de navegación, tipo y velocidad media..

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA PROCEDENTES DEL TRÁFICO MARÍTIMO

Primeramente se ha planteado la posibilidad de cuantificar el ruido generado por las embarcaciones de gran tonelaje, como fuentes continuas y lineales. Para ello, se asume que es posible introducir de manera acertada los parámetros de partida de los cálculos de la propagación aérea, para la propagación marina. La propuesta realizada como método para estimar de forma genérica la contaminación acústica marina producida por el tráfico marítimo, es la determinación de los niveles mínimos de exposición acústica a través de cálculos que cuantifican dicho ruido. Por tanto, el método presentado que estima el ruido incorporado es el “*Nivel de Potencia Continuo Equivalente Marino (Leq-mar)*”. El *Leq-mar* son los niveles de presión sonora que se obtienen sumando las contribuciones de cada fuente, y desciende con la distancia.

Los parámetros escogidos de las medidas subacuáticas que describirán el ruido enmarcado en el área de estudio son básicamente, valores globales de potencia sonora (L_w) en la banda comprendida hasta 1 KHz, (está definida por su potencia relacionada con la eslora); valor de potencia sonora de referencia de 1 p_w ; longitud del cilindro o canal de tráfico marítimo definido (C); y velocidad media de las embarcaciones (v) de cada tipo de barco en cada tramo. Mientras que, los parámetros seleccionados para describir el tráfico marítimo de cada tramo son el periodo de referencia (T) y la frecuencia de paso o número de barcos que pasan en ese periodo de tiempo (f)

Entonces, el nivel sonoro continuo equivalente resulta del cálculo del nivel sonoro continuo equivalente atenuado por la divergencia por la distancia al cilindro (d) y la angular (θ):

“Nivel de presión sonora continuo equivalente” $L_{ft} = L_b - D_c - D_a$ (1)

En donde, el nivel presión sonora continuo equivalente base, L_{ft} :

$$L_{ft} = L_w + \log\left(\frac{n}{4 * v * T}\right) \quad (2);$$

siendo L_w la potencia sonora, n el número de barcos, v la velocidad y T el periodo de referencia.

La divergencia por la distancia al cilindro, D_c :

$$10 * \log(d) \quad (3)$$

Considerando que el nivel de presión sonora varía según la posición del receptor respecto al tramo o canal de tráfico marítimo (efecto denominado divergencia angular), la ecuación (1) se corregirá con:

$$D_c = 10 * \log(\pi) - \log(\theta) = \log\left(\frac{\pi}{\theta}\right) \quad (4)$$

Por otro lado, la divergencia angular responde también al efecto denominado como “*barrera*”, es decir, la divergencia angular variará con la aparición de obstáculos, como sería el caso de presencia de costa. La barrera actúa reduciendo el ángulo con que se observa el canal, si θ es el ángulo con que se observa la barrera y β es el ángulo en el que la barrera obstruye, entonces el ángulo eficaz (sonoro) sería por tanto $\alpha = \theta + \beta$. De esta manera los efectos de la

presencia de una barrera quedarían descritos con el incremento de la divergencia angular, según:

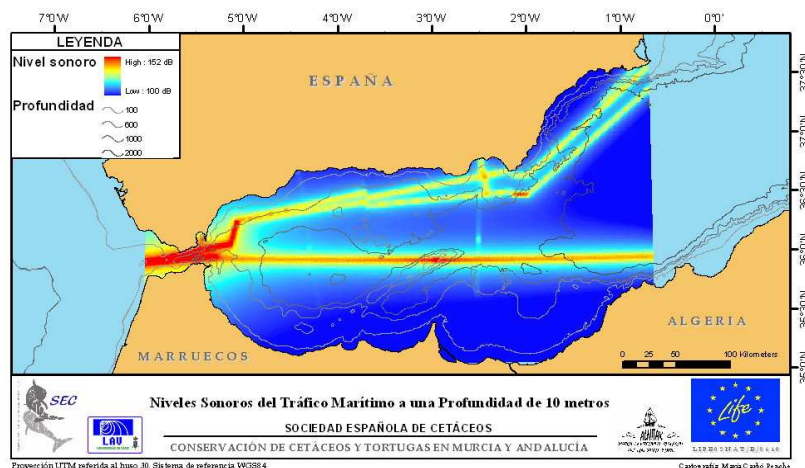
$$D_c = \log\left(\frac{\pi}{\theta - \beta}\right) \quad (5)$$

A modo de ejemplo en la tabla 1 se presentan los valores obtenidos de *Leq-mar* asignados al canal 1A. Se construye el tramo 1-A correspondiente a El Estrecho, ya que por motivos de espacio no se puede listar el resto de tramos considerados (1M, 2EyS, 3EyS, 4EyS, 5EyS, 6EyS, 7M, 8EyS, 9A, 9M, 12A, 12M, 15A, 15M, 16Costa y 16Mar). Como se ha comentado anteriormente, dichos valores son función del tipo de barco, potencia sonora asociado al tipo de embarcación, velocidad y frecuencia de paso de barcos en cada canal.

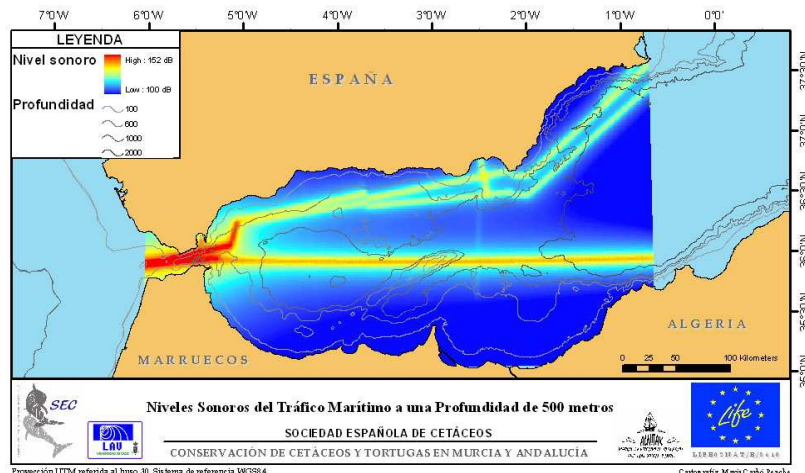
Canal	Tipo	dB	Veloc	Barcos/Hora	Potencia sonora	PotEq	LEQ-mar
1A	Ferry	170	14,85	0,488	100000,00	1,776283	122,50
	FF	180	30	0,024	1000000,00	0,43963	116,43
	Cargo a	160	9,34	0,254	10000,00	0,14692	111,67
	Cargo b	165	14	1,016	31622,78	1,239824	120,93
	Cargo c	181	15	0,551	1258925,41	24,95335	133,97
	Cargo d	181	23,5	0,042	1258925,41	1,225205	120,88
	Tanker a	170	10	0,064	100000,00	0,343058	115,35
	Tanker b	180	11,9	0,296	1000000,00	13,45327	131,29
	Tanker c	187	13,9	0,233	5011872,34	45,35495	136,57
Tanker d	190	12,5	0,042	10000000,00	18,29645	132,62	

Tabla 1: *Leq-mar* asignados a cada canal

El estimador propuesto queda representado con los mapas propagación del sonido, es decir, de distribución del sonido. Y expresado a través de líneas isófonas en decibelios (ver mapas 3 y 4 de *Leq-mar*, mapas de niveles sonoros a distintas profundidades: 10 y 500 metros).



Mapa 3 Niveles sonoros del tráfico marítimo en el área de estudio a una profundidad de 10 metros



Mapa 4 Niveles sonoros del tráfico marítimo en el área de estudio a una profundidad de 500 metros

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Los datos del tráfico marítimo se calcularon de la información obtenida del mes de abril de 2005, escogiendo uno de los meses con menor densidad de tráfico marítimo. Por tanto, la situación durante los meses de mayor tráfico, durante el verano, es más crítica.

Los mapas de niveles sonoros indicarían que la propagación del ruido en la columna de agua, considerando la salinidad y la temperatura constante en toda la masa de agua, tiende a perder niveles conforme aumenta la profundidad. No obstante, debe contemplarse el análisis como una aproximación a la realidad, puesto que las estimaciones desarrolladas no tienen en cuenta la complejidad de los canales en aguas profundas ni las múltiples reflexiones del contorno y superficie marina. El sonido es una variación de presión y como tal está relacionada con los cambios de la temperatura y salinidad, y por lo tanto, con la descripción de las corrientes marinas. Además en aguas someras, las condiciones de propagación se alejan normalmente de las condiciones de campos acústicos libres (condiciones planteadas en el método). El sonido se canaliza a través de reflexiones en la superficie y el fondo y se refracta en la columna estratificada del agua (Kuperman y Lynch, 2004).

Por otro lado, durante los cálculos realizados, no se ha contabilizado el ruido de todos los tipos de embarcaciones. Los barcos pesqueros y recreativos no han sido incluidos en los cálculos debido a que no presentan rutas predeterminadas.

En cuanto al método diseñado, es necesario realizar comparaciones y análisis estadísticos de la respuesta del método con la situación real encontrada en el área de estudio. Para ello, se podrían emplear los datos de niveles globales en decibelios de cada corte de las grabaciones tanto de ruido ambiental como de embarcaciones del Proyecto *Life Naturaleza*. Ya que a lo largo del Proyecto se registraron un total de 1,65 horas de grabación de embarcaciones, 30 horas de animales y 4,3 horas de ruido ambiental.

En cuanto al empleo de un indicador de ruido marino, se debe considerar que los criterios de control de ruido aportan normas para juzgar la aceptabilidad de los niveles de ruido bajo diversas condiciones y fines. Tales criterios son de naturaleza estadística. Un nivel de ruido que pueda constituir un riesgo de daño para la audición de un animal, puede no tener un efecto

importante sobre otro. Siendo de gran dificultad poder establecer los niveles mínimos de exposición de los animales.

Además, el sistema auditivo de los animales marinos, como por ejemplo los cetáceos, no son igualmente sensibles a todas las frecuencias. Las medidas que no están sujetas a una banda de frecuencias determinada, no incorporan las bandas críticas de los sistemas auditivos, deben tratarse con cautela a la hora de determinar cómo perciben el sonido. Siendo, necesario conseguir más información para integrar las frecuencias más características en el estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Evans, P.G.H.. 2003. "Shipping as a possible source of disturbance to cetaceans in the ASCOBAMS region". Doc MOP4/Doc. 17(s)Rev.1. *ASCOBAMS 4th Meeting of the Parties*, Esbjerg, Dinamarca. 19- 22 de agosto 2003.

Knudse V.O., Alford, R.S. y Emling, J.W. 1948. "Underwater ambient noise" *J. Mar. Res.* 7 (3): 410- 429.

Kuperman, A y Lynch J.F. 2004. "Shallow water acoustics". *Phys Today*, Ot: 55-61.

NRC, National Research Council of the National Academies. 2003. "Ocean noise and marine mammals". *The National Academic Press*. Washington, D.C. 134 pp.

Ross, D. 1976. "Mechanics of underwater noise". *Pergamon*, New York.

Urick, J. 1983. "Principles of underwater sound", 3er edn. McGraw-Hill, New York, 423 pp.

Wenz, G.M. 1962. "Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources" *Journal of the Acoustic Society of America* 34: 1936- 1956.

Zakarauskas, P. 1986. "Ambient Noise in Shallow Water: A Literature Review". *Canadian Acoustics*, Julio, 3: vol. 14: 1-3