

# ACTUACIONES PARA AMINORAR EL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN AGUAS ESPAÑOLAS: SONARES Y DETONACIONES MILITARES

Antonio HIDALGO SÁNCHEZ



Francisco Javier RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ  
Paula GÓMEZ PÉREZ  
Profesores del Centro Universitario  
de la Defensa de la Escuela Naval Militar

## Resumen



N este artículo se detalla una investigación realizada sobre las causas y consecuencias principales del impacto de la contaminación acústica en el medio marino derivadas del ámbito militar. La temática abordada permitió la evaluación de aquellas medidas más adecuadas para mitigar este impacto acústico y proponer nuevas formas de actuación encaminadas a completar la legislación española en este ámbito, buscando así un equilibrio entre la protección y preservación del medio marino y la realización de operaciones militares en aguas españolas, objetivo principal de este estudio. En este contexto, las diferentes marinas y organizaciones militares internacionales son conscientes de los efectos que generan sus actividades, especialmente los inducidos por el empleo del sonar, por lo que se ha investigado y propuesto una serie de medidas de mitigación del impacto acústico submarino, susceptibles de completar la política de actuación existente.

## **Análisis de la gestión de la contaminación acústica marina. Actuaciones para la mitigación del impacto acústico submarino adoptadas por parte de la Armada española**

Las principales actuaciones para mitigar este impacto dependen de la Marina de cada país, de acuerdo con las particulares medidas ambientales nacionales. Dentro del marco internacional, evitar zonas de avistamiento de zifios destaca como la más efectiva en los últimos años. No obstante, aún se detectan varadas de estos cetáceos probablemente provocadas por acciones militares; por tanto, se debe seguir investigando sobre estas zonas de especial interés, además de desarrollar nuevas técnicas de modulación espacial y recopilación de información para conseguir reducir el número de varadas.

Para una mayor efectividad, estas medidas han de estar respaldadas por protocolos de detección de fauna silvestre, y de actuación en su caso, durante el desarrollo de las maniobras militares, que reduzcan las posibilidades de producir daños a la fauna, evitando áreas de alto riesgo, realizando censos aéreos y creando equipos de observación de cetáceos. La OTAN es consciente de que todas estas medidas han generado buenos resultados, pero todavía no son suficientes y, por tanto, con su centro específico NURC, sigue investigando mediante el desarrollo de estudios subacuáticos. La Armada española, siguiendo la línea de las marinas de otras naciones y mediante la creación de unas instrucciones permanentes, ha solventado, dentro de unas líneas generales, las medidas de actuación de sus buques frente al impacto medioambiental que generan durante operaciones nacionales e internacionales en aguas de jurisdicción nacional, apoyándose en los estudios de la NURC y del Plan de Acción Estratégico para la Conservación de la Diversidad Biológica en la Región Mediterránea (SAP-BIO) del Ministerio de Medio Ambiente.

El AJEMA, en la Instrucción número 25/07, determina unas acciones preventivas, siempre priorizando que se cumpla el interés de la misión asignada; sin embargo, establece en los alrededores del archipiélago canario una actuación especial más restrictiva para la realización de cualquier ejercicio militar, extrapolándose a cualquier área protegida debido a la presencia de zifios.

El ALMART, en la Instrucción número 2.21/08, establece cómo han de actuar los buques de la FAM (Fuerza Acción Marítima), a pesar de que en tales casos estos no suelen realizar operaciones con sonares activos. Por tanto, la Acción Marítima es la encargada de establecer normas de recopilación, análisis y difusión de avistamiento de cetáceos y estudios científicos del empleo del sonar en los buques de la Armada. Además, se encarga de que realicen una evaluación de información de las medidas de mitigación empleadas para su mejora.

Por último, el ALFLOT, en la Instrucción número 8001, determina una serie de acciones, similares a las del ALMART, que tienen que llevar a cabo

todas las unidades de la Flota y extranjeras participantes en cualquier actividad liderada por España en aguas españolas o de interés internacional. En el caso de actuar simultáneamente con medidas adoptadas por otro país, se utilizarán las más restrictivas.

Podemos observar, por tanto, cómo la Armada española es consciente de la importancia de la protección y conservación del entorno marítimo nacional y de los efectos que producen las operaciones militares, sobre todo con el empleo del sonar; para lo que se han promulgado estas instrucciones de carácter permanente, más aún teniendo en cuenta el hándicap del déficit normativo que existe en la legislación española y la falta de estudios sobre el impacto acústico en las especies marinas predominantes en nuestras aguas. Sin embargo, estas instrucciones son incompletas frente a las acciones llevadas a cabo por otras marinas. En este contexto, a continuación se va a proponer, entre otras, como medida de mitigación, la creación de una zona de seguridad específica para las unidades de la Armada en operaciones militares en las que se emplee el sonar activo. De este modo, se actualizará nuestro régimen de acción y nos colocaremos a la par de otras marinas.

### **Propuestas de medidas de mitigación. Cálculo experimental: zona de exclusión y zona de seguridad**

*Se propone definir una zona de exclusión donde se limite el empleo de sonar en el caso de avistamiento o detección de posibles cetáceos (de ahí la importancia del PAM). Dicha área dependerá de las condiciones batitérmicas (propagación de la velocidad del sonido en el agua dependiendo de factores tales como la presión, la temperatura y la salinidad) que se produzcan en ese momento.*

Este rango va ser igual a la distancia en la que el cetáceo empieza a detectar el sonido originado por el sonar, ya que, aunque la mayoría de ellos tiende a alejarse, se conocen casos en los que la desorientación provocada por el sonar ha originado que se acerquen a la fuente de emisión, creando lesiones permanentes o la muerte por la proximidad al foco sonoro. Cuando se verifique la observación o detección, se detendrá la transmisión del sonar activo y el ejercicio no se reanudará hasta que se compruebe que la zona está clara.

*Por otra parte, también se propone la creación de una zona de seguridad donde estará prohibida la transmisión del sonar activo, tanto ante la inminente presencia de cetáceos como si no está clara esta, debido a que dentro de esta zona los cetáceos se ven expuestos a niveles de presión sonora altos que podrían producir lesiones permanentes, tanto acústicas (pérdida de audición, PTS) como no acústicas (comportamientos anómalos perjudiciales o cambios bruscos de profundidad).*

En el caso de que no se haya iniciado un ejercicio naval, este se suspenderá, y si ya se ha comenzado, se detendrá inmediatamente, siempre que la situación táctica lo permita. Únicamente se reanudará en los siguientes dos supuestos: si se posee la seguridad de que el avistamiento no es de cetáceo, o si así fuese, que esté fuera de la zona de exclusión. Esta zona de seguridad será determinada en el próximo apartado para todas las unidades de la Armada española, sea cual fuere el área de realización de ejercicios con sonar activo.

Tras conocer las medidas de mitigación propuestas estamos en condiciones de comenzar con el análisis y cálculo experimental de las zonas de exclusión y seguridad.

### *Zonas de exclusión*

Primero se va a describir la situación más perjudicial que un cetáceo se puede encontrar en presencia de una transmisión sonar, aquella en la cual existe una mejor propagación de sonido para los medios de que dispone la Armada española. La decisión de seleccionar la circunstancia más perniciosa radica en que los efectos producidos por el sonar no van a sobrepasar nunca el límite que vamos a marcar derivado de ella, el cual se inducirá en el momento en el que el cetáceo perciba el ping sonar, para las zonas de exclusión, y para una sensación sonora por parte del cetáceo igual a 180 (dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ , 1m) (momento en el que se producirían daños permanentes) para la zona de seguridad. Para las zonas límites, esta distancia variará según la situación geográfica en que nos encontremos.

La situación más perjudicial se produciría en los meses de febrero, debido a que las zonas de convergencia se suelen producir en sondas de al menos 200 metros en invierno. Además, las condiciones meteorológicas deben ser idóneas, estado de la mar en calma y sin viento de superficie que genere ruido; y en el caso de tener aguas poco profundas, que el tendadero consista en roca, para que no se produzca ninguna absorción y la cantidad de energía acústica reflejada sea mayor.

Para nuestro estudio se han empleado las características del sonar DE 1160 LF, ya que dentro de todos los sonares que posee la Armada es el que trabaja con una mayor potencia, creando niveles de presión y exposición sonora altos. Además, se trata de un sonar de baja frecuencia y la propagación acústica es mejor (ya que cuanto menor es la frecuencia de la onda sonora se generan menos pérdidas de propagación). Por tanto, dentro del rango de frecuencias que nos permite configurar este sonar, utilizaremos el que posea menor frecuencia. Entonces, ya podemos estudiar estas dos nuevas propuestas de mitigación acústica: zonas de exclusión y zona de seguridad.

El objetivo reside en calcular el rango donde un cetáceo comenzaría a percibir el sonido de la onda generada por el sonar. Para conseguir este alcan-

ce resulta inicialmente necesario calcular la FOM (cifra de mérito) de cara a introducir este dato en las tablas PROPLOS (pérdida de propagación), obteniendo el correspondiente alcance. Para el cálculo de la FOM emplearemos los siguientes datos: nivel de salida de la fuente, nivel de ruido, índice de directividad y umbral de detección, tal y como aparece en la ecuación sonar:

$$FOM = SL - BN + DI - DT$$

Una vez conocidos tales datos, el valor de la FOM se sitúa en 120 dB para la frecuencia más baja de trabajo del sonar DE 1160 LF. Este valor lo introduciríamos en las tablas PROPLOS, que vamos a generar a partir de un programa *software* que utiliza la base de submarinos de la Armada española, WADER 32, para la obtención de los alcances sonar en la realización de ejercicios. Las tablas obtenidas se realizarán a partir de unas condiciones batitérmicas preestablecidas, debido a que durante los meses de enero y febrero normalmente se poseen los mismos valores independientemente del año. En el caso de que variara esta estimación frente a la que obtendríamos del estudio real batitérmico, sería mínima y no nos afectaría significativamente en el valor del alcance obtenido. A continuación reflejamos una distinción entre el alcance obtenido en la zona de exclusión para áreas próximas al archipiélago canario (océano Atlántico) y el obtenido para áreas próximas a la isla de Alborán (mar Mediterráneo).

Empezaremos estudiando lo que ocurre en el océano Atlántico en el mes de febrero (gráfico núm. 1 de la página siguiente). Como podemos observar, se obtendrían alcances aproximadamente de 80 millas para 120 dB.

A continuación, analizamos qué sucedería en zonas próximas a la isla de Alborán (gráfico núm. 2 de la página siguiente). Tal y como se refleja, se obtendrían alcances superiores a 60 millas para 120 dB.

Por tanto, podemos estimar que la zona de exclusión en ambas áreas se situará, aproximadamente, entre 70-80 millas para pérdidas de propagación de 120 dB, y es posible afirmar que el cetáceo percibirá la onda sonora en cuanto lo detectemos con nuestro sonar.

Esta es una conclusión a tener muy en cuenta, ya que en el momento en el que detectemos cualquier contacto sonar puede haber cierta probabilidad de que se trate de un cetáceo y, por tanto, al situarse dentro de la zona de exclusión, debe ser estudiado inmediatamente antes de que se acerque a la zona de seguridad.

Así, en el caso de que se verifique la detección de un cetáceo, se detendrá la transmisión del sonar activo siempre que la situación táctica lo permita y no se ponga en riesgo ninguna unidad durante la ejecución del ejercicio. No se reanudará hasta que se compruebe que la zona de exclusión está clara.

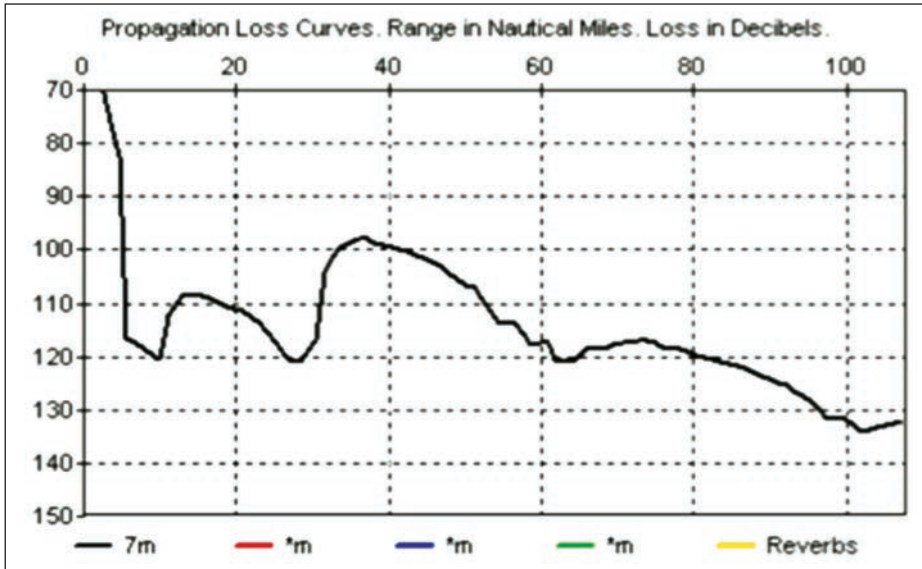


Gráfico 1.—Curva PROPLOS océano Atlántico, mes de febrero, obtenida por el programa WADER 32.

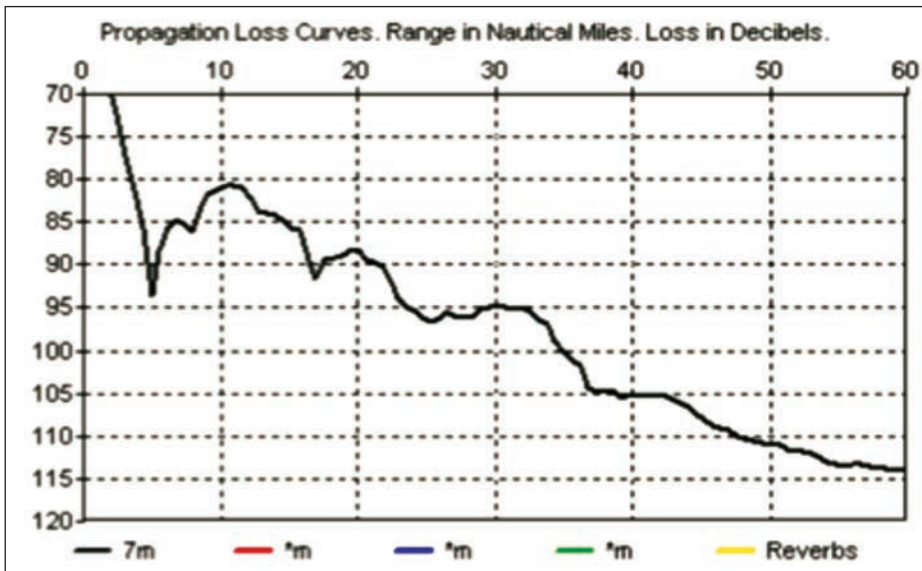


Gráfico 2.—Curva PROPLOS mar de Alborán, mes de octubre, obtenida por el programa WADER 32.

### Zona de seguridad

En este apartado se va a establecer una zona de seguridad donde estará prohibida la transmisión del sonar activo, tanto si existe la certeza de la presencia de zifios como si no la hay, cuando se observe o detecte un posible cetáceo.

Partimos de los diferentes estudios realizados por la NURC, los cuales marcan como nivel crítico de exposición sonora 180 dB. Por tanto, ningún cetáceo puede estar dentro de esta zona, ya que quedaría expuesto a grados elevados de presión sonora, poniendo en riesgo su integridad física: aparición de lesiones permanentes, tanto acústicas (pérdida de audición, PTS) como no acústicas (comportamiento anómalos perjudiciales, cambios bruscos de profundidad). La FOM emplearía un valor de 40 dB, demasiado pequeño para obtener una estimación precisa con el programa WADER 32. Nos vemos en la obligación de desarrollar el estudio acústico submarino mediante el aspecto energético de propagación de la onda sonora. El alcance obtenido teniendo en cuenta las pérdidas por divergencia, las pérdidas de propagación ( $TL = 40$  dB), coeficiente de atenuación ( $\alpha = 0,19$  dB/km) y  $TL_{reb} = 0$  dB (consideramos únicamente rayo directo al ser una distancia pequeña y no se produce ningún rebote tanto en el fondo como en la superficie), el alcance obteniendo sería (aproximación esférica):

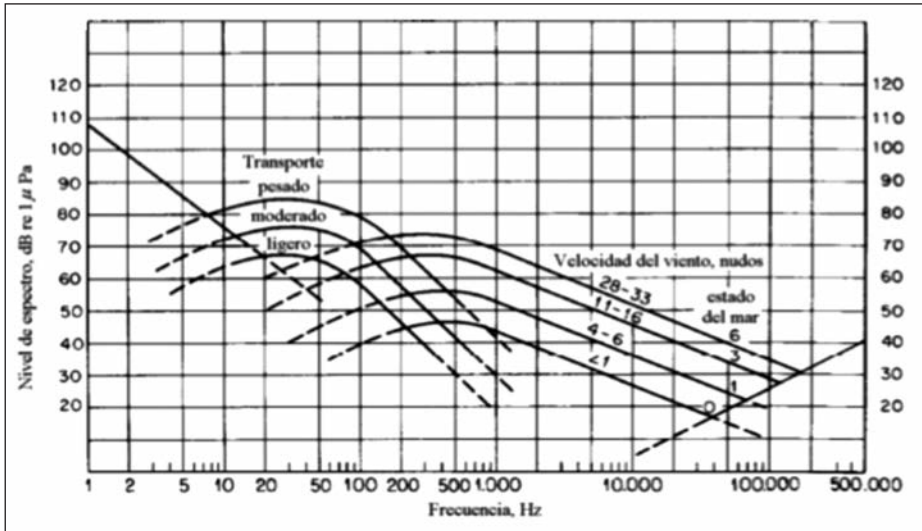
$$TL_{esf} = 20 \log r + \alpha \cdot 10^{-3} + TL_{reb}$$

R = 110 yardas

Por tanto, nuestra distancia de seguridad propuesta va a ser de 110 yardas para cualquier unidad de la Armada española que emplee cualquier tipo de sonar activo independientemente de la situación y condiciones del ejercicio.

Aunque los resultados obtenidos son totalmente válidos y podemos afirmar que la zona de exclusión para el cetáceo es de 80 millas (tanto para aguas oceánicas como aguas poco profundas) y la zona de seguridad es de 110 yardas para cualquier situación ambiental. Estos cálculos podrían ser más precisos si:

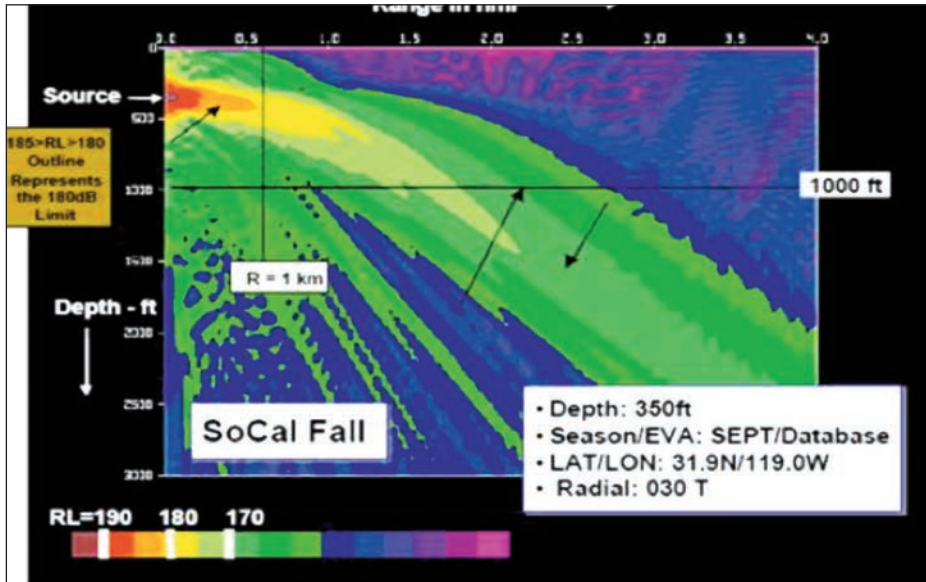
- Para el cálculo de las zonas de exclusión se utilizarán datos batitérmicos reales en la creación de las curvas PROPLOS en el WADER 32 durante la realización del ejercicio.
- Aunque el WADER 32 es un programa bastante preciso para la estimación del alcance sonar, sería conveniente contrastar con otros programas, como el SEAPROF (validado por la NURC e instalado a bordo de los submarinos *S-80* de la Armada española).
- Para el cálculo de la FOM se ha determinado el nivel de ruido ambiental (NB) mediante los niveles de ruido en el fondo oceánico profundo (fuente: Urick) obtenidos mediante la siguiente gráfica:



Espectros medios del ruido ambiental de las aguas profundas.  
 ([http://mit.ocw.universia.net/13.00/NR/rdonlyres/D629E305-6EC8-4664-B7A4-AF44152E54B4/0/1300\\_acoustics\\_lecture\\_notes.pdf](http://mit.ocw.universia.net/13.00/NR/rdonlyres/D629E305-6EC8-4664-B7A4-AF44152E54B4/0/1300_acoustics_lecture_notes.pdf)).

- Por tanto, sería conveniente que el nivel de ruido ambiental no se estimara y se hallase mediante sensores pasivos en el momento de realización del ejercicio para una mayor precisión de la FOM, ya que los demás factores de la ecuación sonar ya están preestablecidos.
- Para el cálculo de la zona de seguridad, el principal inconveniente radica en la obtención de esta distancia y, debido a que es pequeña, al utilizar aproximaciones (como la propagación esférica de la onda sonora en las pérdidas por divergencia) se pueden producir errores significativos. En consecuencia, sería conveniente que esta propagación energética se obtuviera mediante un *software* de análisis de presión implantado en sensores pasivos y para así conocer a qué distancia el nivel de exposición sonora es 180 dB. Este estudio ya se ha realizado con sonares SURTASS-LFA; por consiguiente, se debería realizar también con el sonar DE 1160 LF en las mejores condiciones de propagación posibles, para obtener de manera más precisa la distancia crítica y establecer la zona de seguridad. En este caso, se puede observar que para niveles de presión de salida 200 dB, el rango de seguridad para una exposición sonora recibida por el cetáceo de 180 dB sería un kilómetro en alcance y entre 85 y 160 metros





Niveles de exposición sonora de propagación del sonar LFA-SURTASS.

([http://tanis.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_04\\_05/109/public\\_html/sonar.html](http://tanis.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_04_05/109/public_html/sonar.html)).

de profundidad (en este caso el sonar está colocado en 120 metros de profundidad).

- Sería conveniente que el estudio de la zona de seguridad se estableciera para todos los sonares de la Armada, y así crear una normativa específica para cada uno, aprovechando el máximo rendimiento que nos proporciona el sonar. Se puede dar el caso en el que no sea necesario fijar en un tipo de sonar una zona de seguridad, ya que el nivel de presión de salida del sonar es inferior a 180 dB.
- Por el contrario, la zona de exclusión siempre es necesaria, debido a que, aunque el sonar no trabaje en las frecuencias audibles de los cetáceos y/o su nivel de salida sea inferior a 180 dB, estamos generando ruido artificial y, por tanto, podemos originar comportamientos anómalos en los cetáceos que puedan poner en riesgo su integridad física.

#### BIBLIOGRAFÍA

HIDALGO SÁNCHEZ, A. (2015): *Actuaciones para aminorar el impacto de la contaminación acústica en aguas españolas: sonares y detonaciones militares*. Trabajo Fin de Grado, Centro Universitario de la Defensa de la Escuela Naval Militar.  
<http://calderon.cud.uvigo.es/handle/11621/34>



De camino al punto de embarque, LHD Juan Carlos I.  
(Foto: [www.flickr.com/photos/armadaimde](http://www.flickr.com/photos/armadaimde)).