

4 ALBERT EMBANKMENT
LONDRES SE1 7SR
Teléfono: +44(0)20 7735 7611 Facsímil: +44(0)20 7587 3210

MEPC.1/Circ.906
22 agosto 2023

**DIRECTRICES REVISADAS PARA REDUCIR EL RUIDO SUBMARINO RADIADO
DEBIDO AL TRANSPORTE MARÍTIMO CON EL FIN DE ABORDAR
SUS EFECTOS ADVERSOS EN LA FAUNA MARINA**

1 El Comité de Protección del Medio Marino, en su 66º periodo de sesiones (31 de marzo a 4 de abril de 2014), con objeto de facilitar orientaciones sobre la reducción del ruido submarino debido al transporte marítimo comercial, y siguiendo la recomendación formulada por el Subcomité de Proyecto y Equipo del Buque (Subcomité DE) en su 57º periodo de sesiones, aprobó las "Directrices para reducir el ruido submarino debido al transporte marítimo comercial y sus efectos adversos en la fauna marina" (las Directrices).

2 El Comité de Protección del Medio Marino, en su 80º periodo de sesiones (3 a 7 de julio de 2023), tras una revisión amplia de las Directrices realizada por el Subcomité de Proyecto y Construcción del Buque (Subcomité SDC) en su 9º periodo de sesiones (23 a 27 de enero de 2023), con miras a aumentar la concienciación, la asimilación y la implantación, aprobó las "Directrices revisadas adjuntas para reducir el ruido submarino radiado debido al transporte marítimo con el fin de abordar sus efectos adversos en la fauna marina" (Directrices revisadas).

3 Se invita a los Estados Miembros a que utilicen las directrices revisadas adjuntas con el fin de reducir el ruido submarino radiado procedente de los buques y las pongan en conocimiento de todas las partes interesadas, en particular los proyectistas de buques y equipos, los constructores, propietarios y armadores de buques, las sociedades de clasificación, los proveedores, los fabricantes y otras partes interesadas.

4 Se invita también a los Estados Miembros y a las organizaciones internacionales a que presenten al Comité de Protección del Medio Marino, en relación con el punto del orden del día titulado "Otros asuntos", información, observaciones y recomendaciones basadas en la experiencia práctica adquirida mediante la aplicación de las Directrices revisadas.

5 Las presentes directrices revisadas entrarán en vigor el 1 de octubre de 2023.

6 Esta circular revoca la circular MEPC.1/Circ.833.

ANEXO

DIRECTRICES REVISADAS PARA REDUCIR EL RUIDO SUBMARINO RADIADO DEBIDO AL TRANSPORTE MARÍTIMO CON EL FIN DE ABORDAR SUS EFECTOS ADVERSOS EN LA FAUNA MARINA

1 PREÁMBULO

1.1 El transporte marítimo comercial es una de las fuentes principales del ruido submarino radiado, con sus consiguientes efectos adversos en funciones críticas para la vida de una amplia gama de especies de la fauna marina, incluidos mamíferos marinos, peces e invertebrados, de los que un gran número de comunidades indígenas costeras dependen para su alimentación, sustento y cultura.

1.2 La mitigación eficaz de las repercusiones del ruido submarino radiado causado por los buques en la fauna marina requiere la colaboración internacional y la adopción de medidas a varios niveles, con la participación de diversas partes interesadas, entre las que se encuentran la gente de mar, los proyectistas, los constructores, propietarios y armadores de buques, las autoridades marítimas, los proveedores, los fabricantes y las sociedades de clasificación. Los Estados Miembros desempeñan también un papel importante a la hora de fijar expectativas en cuanto a los objetivos de reducción del ruido y establecer mecanismos y programas a través de los cuales puedan llevarse a cabo los esfuerzos de reducción del ruido.

1.3 El sonido es el principal mecanismo sensorial utilizado por la fauna acuática para interactuar socialmente, reproducirse, desplazarse en el agua y detectar obstáculos, presas, depredadores y otros peligros. Las fuentes de ruido principales de los buques se solapan con las gamas de audición y el uso del sonido de distintas especies. En función de la especie, las repercusiones documentadas del ruido submarino radiado en los mamíferos marinos, los peces y los invertebrados incluyen alteraciones del desarrollo, malestar corporal, aumento de la depredación, disminución de la supervivencia de las crías, peor alimentación, fragmentación del ADN, cambios de comportamiento, problemas de enmascaramiento y respuestas fisiológicas. Aunque las repercusiones del ruido del transporte marítimo se han evaluado teniendo en cuenta las características ambientales de las distintas regiones y la sensibilidad al ruido de las diferentes especies a partir de observaciones sobre el terreno, experimentos de laboratorio, enfoques de modelización y conocimientos indígenas, la obtención de más datos sobre las repercusiones del ruido en especies de interés ecológico y comercial clave ayudará a informar a las partes interesadas.

1.4 Es importante que se reconozca que, tanto para los buques nuevos como para los existentes, la viabilidad técnica y la rentabilidad de las medidas de reducción del ruido submarino radiado, consideradas individualmente o en conjunto, dependerán en gran medida del proyecto, los parámetros operacionales y las prescripciones pertinentes para un buque determinado. Una estrategia eficaz para reducir el ruido submarino radiado debería ser un proceso que incluya, en la medida de lo posible, la fase de proyecto, la determinación de referencias para las mediciones del ruido submarino radiado (previstas o reales), la elaboración de objetivos relativos al ruido submarino radiado y la implantación, la vigilancia y la evaluación de las medidas técnicas y operacionales para alcanzar dichos objetivos. Deberían examinarse detenidamente las interacciones entre la implantación de las medidas de reducción del ruido submarino radiado y otros objetivos, por ejemplo, la eficiencia energética, la reducción de incrustaciones biológicas y la seguridad de los buques, así como las contribuciones resultantes.

2 ÁMBITO DE APLICACIÓN

2.1 Las presentes directrices pueden aplicarse a cualquier buque, teniendo en cuenta su proyecto, construcción, modificaciones y funcionamiento.

2.2 Las presentes directrices no tratan de la introducción de ruido debido a buques de guerra y buques auxiliares de la armada ni de la introducción deliberada de ruido para otros fines, como el sónar o el estudio de la actividad sísmica.

3 FINALIDAD

3.1 Las presentes directrices tienen por finalidad:

- .1 ofrecer una visión general de los enfoques aplicables a los proyectistas, constructores y armadores de buques para reducir el ruido submarino radiado de un buque determinado; y
- .2 ayudar a las partes interesadas pertinentes a establecer mecanismos y programas que permitan reducir el ruido.

3.2 Dadas las complejidades asociadas con el proyecto y la construcción de buques, y los diversos enfoques para reducir el ruido submarino radiado generado por aquellos, las presentes directrices se centran en la determinación de los factores que más contribuyen al ruido submarino radiado generado por los buques y en un enfoque general que puedan adoptar los proyectistas, constructores, propietarios y armadores de buques. Dichos factores se asocian con las hélices, la forma del casco, las máquinas de a bordo, el flujo de la estela y los aspectos operacionales y de mantenimiento.

3.3 Las presentes directrices describen la planificación de la gestión de la reducción del ruido submarino radiado como una herramienta que puede aplicarse al funcionamiento, el proyecto, la construcción y la modificación de los buques, en la medida en que sea razonable y práctico.

3.4 Se alienta a los proyectistas de buques y equipos, los constructores, propietarios y armadores de buques, las autoridades marítimas, las sociedades de clasificación, los proveedores, los fabricantes y otras partes interesadas a que introduzcan y apliquen las presentes directrices a sus actividades específicas y a que sopesen cualquier otra tecnología y medida operacional no incluida en estas directrices que pueda ser más apropiada para aplicaciones específicas y haya demostrado su eficacia para reducir aún más el ruido submarino radiado.

3.5 La elaboración de soluciones tecnológicas para reducir el ruido submarino radiado y los conocimientos científicos en torno a las repercusiones de dicho ruido en la fauna marina seguirán evolucionando. Las presentes directrices se examinarán y actualizarán periódicamente para garantizar que las partes pertinentes dispongan de la mejor información posible para fundamentar los esfuerzos de reducción del ruido submarino radiado y tener en cuenta los vínculos con las medidas de cumplimiento de la eficiencia energética. Se alienta a los Estados Miembros y observadores a que transmitan la experiencia y la información recibida de, entre otros, los proyectistas de buques y equipos, los constructores y operadores de buques, las organizaciones científicas, la sociedad civil y las personas con conocimientos indígenas, a fin de mejorar y actualizar las presentes directrices.

4 DEFINICIONES

A efectos de las presentes directrices, se aplican las definiciones siguientes:

Ruido submarino radiado (URN) de referencia: nivel de la fuente del buque (y la profundidad de la fuente conexas) para condiciones operacionales típicas, que se desprende de las predicciones y ensayos iniciales o, preferiblemente, de mediciones normalizadas.

Cavitación: reducción de la presión ambiental por un medio estático o dinámico que puede deberse a la hélice u otros dispositivos y que causa la formación de burbujas en el líquido. La formación se refiere tanto a la creación de una nueva cavidad como a la expansión de una existente. Cuando estas burbujas se desplazan a regiones de mayor presión ambiental, se rompen y se convierten en la fuente principal de ruido de los buques con propulsión.

Velocidad de inicio de la cavitación: velocidad del buque a la que puede detectarse la cavitación (visual o acústicamente).

Buque existente: buque que no es un buque nuevo.

Gama auditiva: gama de frecuencias que puede detectar el oído o cualquier otro órgano sensorial de un animal.

Conocimientos indígenas: forma sistemática de pensamiento que se aplica a los fenómenos de los sistemas biológicos, físicos, culturales y espirituales. Incluye percepciones basadas en pruebas y adquiridas a través de experiencias directas y a largo plazo y de observaciones, lecciones y habilidades amplias y multigeneracionales. Se ha desarrollado a lo largo de milenios y sigue haciéndolo como parte de un proceso vivo que incluye los conocimientos que se adquieren en la actualidad y los que se adquirirán en el futuro, y se transmite de generación en generación. En virtud de esta definición, los conocimientos indígenas van más allá de las observaciones y los conocimientos ecológicos, y ofrecen una "forma del saber" singular.

Enmascaramiento: cuando el ruido interfiere en la detección y la percepción de otros sonidos importantes para la fauna marina. El enmascaramiento puede causar, entre otras cosas, una reducción o una pérdida de la capacidad de comunicación de las especies marinas.

Buque nuevo: buque cuyo contrato de construcción se adjudique, o, en ausencia de un contrato de construcción, cuya quilla se coloque, o cuya construcción se encuentre en una fase equivalente, en la fecha de entrada en vigor de las presentes directrices, o posteriormente.

Ruido de la hélice: aquel causado por fenómenos de flujo en la hélice cuando funciona en el campo de estela del casco del buque. El ruido de la hélice se compone del ruido de la hélice sin cavitación y del ruido de cavitación. Si se produce la cavitación, suele ser la fuente de ruido dominante.

Nivel de ruido radiado (RNL): se expresa como el nivel de presión acústica en decibelios. El nivel de ruido radiado es un nivel de fuente del buque suponiendo que este es una fuente acústica puntual. Se calcula multiplicando la distancia desde un punto de referencia del buque, D, por la presión acústica media cuadrática de campo lejano, PRMS(D), a esa distancia para un valor de referencia especificado.

Matemáticamente,

$$RNL = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{RMS}}{P_{REF}} \right) + 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{D}{D_{REF}} \right) \text{ dB}$$

El valor de referencia para la presión (PREF) es igual a 1 micro-Pa. El valor de referencia para la distancia (DREF) es igual a 1 metro. En la norma ISO 17208-1:2016: *Underwater acoustics - Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships - Part 1: Requirements for precision measurements in deep water used for comparison purposes* figura una definición técnica completa.

Nivel de presión acústica: para el ruido submarino, 10 veces el logaritmo en base diez del cuadrado del cociente de la presión acústica submarina media cuadrática (P) entre la presión acústica de referencia de 1 micropascal, $SPL = 10 \cdot \log_{10}(P/P_{REF})^2$; donde PREF = 1 micropascal.

Ruido estructural: es la vibración en la estructura del buque que generará ruido cuando una superficie vibrante excite el medio circundante, es decir, cimientos, tuberías, otras máquinas acopladas o equipos auxiliares conectados. El ruido estructural suele medirse y cuantificarse midiendo las vibraciones.

Nivel de la fuente: para los niveles de fuente submarinos, véase la norma ISO 18405:2017 (*Underwater acoustics – Terminology*). En general, el nivel de la fuente se utiliza para cuantificar cuánto sonido (o vibración) genera un dispositivo (máquina u otra entidad, por ejemplo, un buque) a una distancia de referencia (convencionalmente a 1 m para la acústica submarina).

Nivel de ruido submarino radiado (URN): a efectos de las presentes directrices, el ruido causado por cualquier buque. El nivel de ruido submarino radiado se indicará en decibelios como nivel de presión acústica.

Soportes antivibratorios: elementos vibroelásticos (muelles de acero, caucho u otros sistemas) utilizados para aislar las vibraciones de las máquinas de la estructura del buque reduciendo la amplitud de la energía de vibración. También pueden utilizarse soportes antivibratorios para proteger el equipo de vibraciones perjudiciales procedentes del exterior del buque (por ejemplo, los impactos experimentados en condiciones meteorológicas adversas).

5 PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RUIDO SUBMARINO RADIADO (URN)

5.1 La planificación de la gestión del ruido submarino radiado es un enfoque generalizado aplicable a los buques de conformidad con la sección 2 que incluye posibles estrategias para la reducción de dicho ruido en las fases de proyecto, construcción, funcionamiento y/o modificación.

5.2 Dadas las complejidades asociadas con el proyecto y la construcción de buques y los diversos enfoques para reducir el ruido submarino radiado, los propietarios y los proyectistas de buques deberían emprender la planificación de la gestión del ruido submarino radiado en las primeras fases de proyecto. Del mismo modo, la planificación de la gestión del ruido submarino radiado puede llevarse a cabo para los buques existentes en la medida en que sea razonable y factible.

5.3 La planificación de la gestión del ruido submarino radiado está destinada a ser una herramienta flexible que permita un enfoque personalizado, y puede incluir el establecimiento de una referencia (prevista o real) del ruido submarino radiado de un buque, la determinación de objetivos relativos a dicho ruido que deberían ser específicos y, cuando sea posible, cuantitativos, y la evaluación, por separado o en combinación, de diversos enfoques tecnológicos, operacionales y de mantenimiento para reducir el ruido submarino radiado. En el apéndice 3 figuran dos modelos de formulario con diversos niveles de detalle para guiar a los propietarios/proyectistas de los buques en este proceso.

5.4 A fin de apoyar una planificación eficaz de la gestión del ruido submarino radiado, diversas partes cuentan con las oportunidades siguientes:

- .1 Propietarios de buques: elaborar y aplicar el plan de gestión del ruido submarino radiado, incluir las prescripciones sobre dicho ruido en las especificaciones de proyecto de los buques y mantener los buques conforme a dichas especificaciones.
- .2 Proyectistas: proyectar los buques según lo definido en el plan operacional de sus propietarios para cumplir las prescripciones sobre el ruido submarino radiado.
- .3 Constructores de buques: construir un buque que cumpla las especificaciones sobre el ruido submarino radiado.
- .4 Operadores de buques: explotar el buque para cumplir los objetivos relativos al ruido submarino radiado y cualquier prescripción regional adicional a la que estén sujetos.
- .5 Autoridades marítimas: adoptar medidas de apoyo que permitan la planificación de la gestión del ruido submarino radiado y la hagan avanzar, por ejemplo, apoyando el despliegue de herramientas para medir los niveles de ruido de los buques, respaldar la innovación y la adopción de tecnologías de reducción del ruido y comunicar información sobre el ruido submarino radiado.
- .6 Sociedades de clasificación: ayudar a los propietarios/constructores de buques mediante predicciones, ensayos, anotaciones pertinentes sobre el ruido submarino radiado, certificación, etc., en la medida de lo razonable y factible.
- .7 Proveedores y fabricantes: proporcionar equipos a los constructores y propietarios de buques que ayuden a que el buque cumpla las especificaciones sobre el ruido submarino radiado.

6 ENFOQUES PARA LA REDUCCIÓN DEL RUIDO SUBMARINO RADIADO

6.1 Las hélices, la forma del casco, las máquinas de a bordo, el flujo de la estela y los aspectos operacionales y de mantenimiento se consideran las fuentes principales del ruido submarino radiado generado por los buques. A velocidades de funcionamiento típicas, o cercanas a la velocidad de proyecto del buque, la mayor parte de ruido submarino radiado se debe a la cavitación de la hélice, pero las máquinas de a bordo y los aspectos operacionales también son pertinentes, especialmente por debajo de la velocidad de inicio de la cavitación. El propio ruido de la hélice puede ser un factor preponderante del ruido submarino radiado general. En la estrategia óptima de mitigación del ruido submarino radiado para cualquier

buque deberían tenerse en cuenta al menos todas las fuentes de ruido y estrategias de mitigación pertinentes, incluidas las que no se contemplan en las presentes directrices, que pueden ser más apropiadas para aplicaciones específicas.

Enfoques técnicos y de proyecto para la reducción del ruido

6.2 Las mayores oportunidades para reducir el ruido submarino radiado se presentarán durante las etapas iniciales de proyecto y construcción del buque. Para los buques existentes, probablemente no resultará práctico igualar el nivel de ruido submarino radiado que puede alcanzarse con los proyectos nuevos, con la excepción de la posible modificación de las hélices en algunos casos. Por consiguiente, las consideraciones relativas al proyecto que figuran a continuación están destinadas primordialmente a los buques nuevos. Sin embargo, se puede prestar atención a la modificación de los buques existentes, si esto resulta razonable y práctico. En el cuadro 1 se resumen los enfoques de proyecto y de reducción técnica del ruido aplicables a los buques nuevos y/o existentes.

Proyecto y modificación del casco

6.3 El flujo alrededor del casco puede tener un efecto en el ruido submarino radiado, dado que la forma del casco influye en el flujo entrante de agua en la hélice. Se sabe que los campos de estela irregulares o no homogéneos aumentan la cavitación de la hélice. Por tanto, la forma del casco del buque con sus apéndices debería proyectarse de manera que el campo de estela sea lo más homogéneo posible para reducir la cavitación. Además, no debería despreciarse la excitación de la estructura del buque inducida por la hélice.

6.4 Para reducir el ruido submarino radiado del casco debería tenerse en cuenta el ruido estructural. Algunas medidas de mitigación podrían ser la optimización del escantillado, la aplicación de un revestimiento de desacoplamiento y la amortiguación estructural.

Proyecto y modificación de la hélice

6.5 Las hélices deberían proyectarse y seleccionarse para reducir al mínimo la cavitación al tiempo que se consideran y optimizan los efectos sobre la eficiencia energética. La cavitación puede ser la fuente predominante de ruido submarino radiado y puede incrementarlo considerablemente. A velocidades de funcionamiento típicas, la cavitación puede reducirse en condiciones de funcionamiento normales mediante un buen proyecto, como la optimización de la carga de la hélice, el mantenimiento de un flujo de agua uniforme hacia las hélices (en lo que influye el proyecto del casco), y la selección meticulosa de las características de la hélice tales como el diámetro, el número de palas, la superficie de las palas, el paso, la inclinación, la caída y las secciones. El análisis y el estudio de la interacción entre el casco y la hélice pueden optimizar simultáneamente el proyecto de la hélice, el casco, el timón y el funcionamiento del buque.

6.6 Para muchas aplicaciones se dispone de opciones de proyecto de la hélice para la reducción del ruido, que deberían tenerse en cuenta. No obstante, se entiende que no siempre se puede utilizar la hélice óptima en cuanto a la reducción del ruido submarino radiado a causa de limitaciones técnicas o geométricas (por ejemplo, el reforzamiento para el hielo de la hélice, la masa). Asimismo, se reconoce que algunos principios de proyecto para la reducción de la cavitación pueden causar una disminución de la eficiencia. Se han elaborado algunos proyectos y conceptos de hélices nuevos y modernos, como las hélices de gran inclinación, de inclinación hacia delante y contrarrotatorias.

6.7 Se dispone de algunas tecnologías emergentes para reducir la potencia de propulsión necesaria, como la propulsión asistida por el viento o la lubricación del casco

mediante inyección de aire. Pueden tenerse en cuenta esas tecnologías para reducir posiblemente la carga de la hélice y el ruido de cavitación. Debería prestarse atención a que la reducción de la carga de propulsión no tenga efectos adversos en el ruido submarino radiado, por ejemplo, generando cavitación en el lado de aspiración con el mismo nivel de carga de potencia. La inyección de burbujas de aire en la popa y la hélice también se utiliza para reducir el ruido submarino radiado.

Mejora del flujo de la estela

6.8 La mejora del rendimiento hidrodinámico mediante la optimización del proyecto de la forma del casco y de los apéndices del casco y la hélice (por ejemplo, mediante la adopción de un dispositivo de mejora de la propulsión/dispositivo de ahorro de energía o un proyecto asimétrico de la popa) puede aumentar el rendimiento y el flujo de entrada a la hélice y reducir el ruido submarino radiado.

6.9 Para mejorar el flujo de entrada de la hélice de un buque pueden utilizarse muchos dispositivos, pero estos pueden provocar cavitación, por lo que deberían proyectarse cuidadosamente, tanto para buques nuevos como para aquellos existentes. El rendimiento en cuanto a cavitación de tales dispositivos podría evaluarse, y el modelo y la hélice podrían someterse a prueba en una instalación de pruebas de cavitación de la siguiente manera:

- .1 Instalación de dispositivos de acondicionamiento de la estela y optimización del proyecto del timón.
- .2 Estator preturbulencia: algunos estatores antes de la hélice que pueden disminuir el ruido de la frecuencia de paso de la pala y aumentar la eficacia de la hélice.
- .3 Álabes precubiertos: álabes y algunos estatores antes de la hélice que pueden mejorar el rendimiento de cavitación de esta y aumentar su eficacia.
- .4 Un tapacubos con aletas puede ser útil para mejorar la estela de la hélice de un buque. Puede recuperar energía de la estela de la hélice y aumentar su eficacia. Un tapacubos con aletas también puede contribuir a que se evite la cavitación del vórtice del núcleo.

Proyecto y modificación de las máquinas

6.10 Debería examinarse la selección del sistema de propulsión y las máquinas de a bordo junto con las medidas adecuadas de control del ruido estructural, la ubicación adecuada del equipo en el casco y la optimización de las estructuras de sustentación que pueden contribuir a reducir el ruido submarino radiado y el ruido a bordo que afecta a los pasajeros y la tripulación. La alineación de las máquinas/equipos del buque debería optimizarse cuando sea necesario tener un perfil de ruido reducido. La reducción del ruido submarino radiado puede lograrse asegurando el equipo que posiblemente no sea necesario en todo momento o incluso durante determinadas partes de un tránsito. Además, en función de la configuración de la instalación de propulsión del buque, se puede conseguir una mayor reducción del ruido submarino radiado mediante el funcionamiento selectivo de motores y grupos electrógenos. Por ejemplo, los motores montados a bordo pueden producir un ruido submarino radiado menor que los motores montados fuera borda. Se puede elaborar un "perfil de buque silencioso" midiendo el ruido submarino radiado de varios equipos para comprender la contribución de cada unidad al ruido general del buque.

6.11 El ruido aéreo puede excitar el ruido estructural que se transmite al agua. Los proyectistas y los propietarios y constructores de buques deberían solicitar a los fabricantes de los motores/máquinas información sobre la vibración y los niveles de ruido en el aire que generan sus máquinas para permitir el análisis mediante los métodos descritos en el apéndice 2 y recomendar métodos de instalación que puedan contribuir a que se reduzca el ruido submarino radiado.

6.12 Debería considerarse la posibilidad de utilizar soportes antivibratorios y de mejorar el equilibrio dinámico para máquinas alternativas y rotatorias, como instalaciones frigoríficas, compresores de aire y bombas. El aislamiento de las vibraciones de otros elementos del equipo, tales como el sistema hidráulico, las bombas eléctricas, las tuberías, los ventiladores grandes y los conductos del aire acondicionado, puede resultar beneficioso para algunas aplicaciones, en particular como medida de atenuación en casos en que no sean adecuadas unas técnicas más directas para la aplicación específica objeto de examen. También puede considerarse el control activo del ruido para amortiguar las vibraciones estructurales generadas por estas fuentes.

6.13 Los soportes antivibratorios pueden reducir la vibración desde las máquinas a la estructura de sustentación y el ruido estructural. Por la disposición de la propulsión y la transferencia del empuje pueden considerarse soportes elásticos para motores, principalmente para los de cuatro tiempos con transmisión sin deslizamiento, aunque no para los motores de dos tiempos con transmisión directa. Los motores de dos tiempos no pueden utilizar soportes elásticos, ya que el motor transfiere el empuje de la hélice directamente a la estructura del buque por la gran superficie de asiento del motor. El acoplamiento flexible entre el motor y la caja de cambios puede reducir las vibraciones en una transmisión sin deslizamiento y reducir aún más el ruido estructural. El aislamiento de las vibraciones se utiliza más corrientemente para montar los generadores de diésel en sus sujeciones, a fin de reducir el ruido estructural. En algunos casos, debería considerarse la adopción de un sistema diésel-eléctrico, ya que puede facilitar el aislamiento eficaz de la vibración de los generadores diésel, lo cual normalmente no es posible con las configuraciones grandes de transmisión directa.

6.14 Los sistemas alternativos de alimentación y propulsión pueden ayudar a reducir el ruido submarino radiado. La propulsión eléctrica (por ejemplo, diésel-eléctrica, pila de combustible y totalmente eléctrica o mediante batería, propulsiones en cápsulas o propulsores azimutales) se identifica como una opción de configuración prometedora para reducir el ruido submarino. Es probable que el uso de instalaciones y motores eléctricos de alta calidad contribuya a que se reduzca la vibración inducida en el casco por el motor eléctrico.

Enfoques de mantenimiento y operacionales

6.15 Si bien los componentes principales del ruido submarino radiado dependen del proyecto del buque (es decir, la forma del casco, la hélice, la interacción entre el casco y la hélice y la configuración de las máquinas), debería considerarse la posibilidad de introducir modificaciones operacionales y medidas de mantenimiento para reducir el ruido tanto en los buques nuevos como en los existentes. Los enfoques operacionales podrían resultar especialmente importantes para los buques carentes de características de proyecto o de tecnologías necesarias para reducir el ruido, o para todos los buques que operen en zonas protegidas designadas de carácter nacional o internacional en las que sea necesario adoptar medidas adicionales para reducir los efectos adversos del ruido producido por el tráfico marítimo en la fauna marina. En el cuadro 1 se resumen los enfoques operacionales y de mantenimiento aplicables a los buques nuevos y/o existentes.

Enfoques de mantenimiento

6.16 El mantenimiento de la calidad y el acabado de la superficie de las hélices, por ejemplo mediante una pulimentación correcta, eliminan las incrustaciones biológicas marinas y reducen enormemente la rugosidad de la superficie, con lo cual disminuye la cavitación de la hélice.

6.17 La reducción de la rugosidad del casco y el mantenimiento de una superficie lisa del casco bajo el agua, mediante la utilización de revestimientos adecuados, la limpieza y el mantenimiento proactivo del casco en el agua¹ también pueden mejorar la eficiencia energética de un buque al reducir su resistencia y la carga de la hélice. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los sistemas antiincrustantes ultrasónicos emiten energía acústica de alta frecuencia en gamas de frecuencia y a amplitudes que pueden ser perjudiciales para las especies acuáticas. El uso de estos sistemas debería evitarse en la medida de lo posible en las zonas protegidas designadas de carácter nacional e internacional.

6.18 Las vibraciones de las máquinas causan ruido estructural. El mantenimiento adecuado de las piezas móviles y las máquinas, así como los soportes antivibratorios, ayudan a mantener las vibraciones y el ruido a un nivel bajo y evitan que aumente el ruido debido al funcionamiento de dichas máquinas.

Enfoques operacionales

6.19 La optimización del asiento y el calado del buque puede reducir la potencia necesaria y, por tanto, el ruido de cavitación de la hélice.

6.20 Los operadores pueden ajustar y optimizar la ruta del buque, la velocidad y el tiempo de navegación para reducir el tiempo que esté fondeado y el ruido submarino radiado en puerto y zonas costeras. La planificación del viaje puede facilitar el uso de rutas alternativas para evitar las zonas protegidas designadas de carácter nacional e internacional y reducir la velocidad en ellas, cuando pueda hacerse sin peligro, durante las épocas críticas del año para disminuir los efectos del ruido submarino radiado en la fauna marina y las comunidades que dependen de ellas. Las oficinas hidrográficas y las administraciones marítimas deberían considerar la posibilidad de marcar y actualizar las zonas protegidas designadas de carácter nacional e internacional en las cartas para permitir a los marinos y a los usuarios de los puertos planificar los viajes de forma que se reduzcan al mínimo los efectos del ruido submarino radiado de sus buques en la fauna marina.

6.21 Las mejores prácticas incluyen el examen de la información sobre las zonas protegidas designadas de carácter nacional e internacional para determinar si los buques transitan por dichas áreas o realizan operaciones en ellas. Dichas zonas pueden ser, entre otras, regiones cubiertas de hielo marino, e incluyen Inuit Nunaat, puertos y vías de navegación muy transitados que se solapan con hábitats importantes o críticos para especies en peligro, amenazadas o protegidas, zonas importantes para los mamíferos marinos, zonas marinas protegidas según el Convenio sobre la Diversidad Biológica y otras zonas nacionales/regionales protegidas.

6.22 En Inuit Nunaat, algunas características de la región y las actividades que se registran en ella podrían agravar los efectos del ruido submarino radiado. Esto incluye la posibilidad de que se rompa hielo, la presencia de especies sensibles al ruido y la posible interferencia con los derechos de caza de los indígenas. Es aconsejable que los buques que operan en estas

¹ Swain, G., Erdogan, C., Foy, L., Gardner, H., Harper, M., Hearin, J., Hunsucker, K.Z., Hunsucker, J.T., Lieberman, K., Nanney, M. and Ralston, E., 2022. *Proactive In-Water Ship Hull Grooming as a Method to Reduce the Environmental Footprint of Ships*. *Frontiers in Marine Science*, p.2017.

zonas realicen esfuerzos adicionales para reducir los efectos en la fauna marina, prestando especial atención a la reducción del impacto acústico de la rotura del hielo y a la aplicación de enfoques operacionales y de vigilancia.

Velocidad del buque

6.23 En general, para los buques equipados con hélices de paso fijo, reducir la velocidad del buque, las RPM en el eje y/o la potencia del motor pueden ser medidas operacionales muy eficaces para reducir el ruido submarino, principalmente debido a la reducción de la cavitación. Esto es especialmente cierto cuando las velocidades son inferiores a la velocidad de inicio de la cavitación, pero incluso pequeñas reducciones de potencia pueden causar un descenso considerable de la cavitación. Por lo tanto, se prevé que la limitación de la potencia en el eje o la limitación de la potencia del motor anulables (como las que pueden adoptarse para cumplir las prescripciones sobre el EEXI de la OMI) reducirán el ruido submarino radiado cuando estos límites sean inferiores a la potencia de funcionamiento habitual del buque.

6.24 Se recomienda medir y comprender la velocidad de inicio de la cavitación (CIS) del buque y se operará a una velocidad inferior en las zonas protegidas designadas de carácter nacional e internacional cuando sea factible. En el caso de los buques provistos de hélices de paso variable, es posible que la reducción de la velocidad no produzca una reducción del ruido. Por consiguiente, deberían estudiarse las combinaciones óptimas de la velocidad en el eje y el paso de la hélice.

6.25 No obstante, puede que existan otros motivos de mayor importancia para que se mantenga una velocidad determinada, tales como la seguridad, el funcionamiento y la eficiencia energética. En general, debería examinarse toda velocidad crítica de un buque determinado en relación con la cavitación y los aumentos resultantes del ruido submarino radiado.

Cuadro 1: Resumen de los enfoques de proyecto, técnicos, operacionales y de mantenimiento para la reducción del ruido submarino radiado aplicables a los buques nuevos y/o existentes en la medida de lo posible. Esta lista no es exhaustiva y no debería restringir otras opciones de proyecto que el propietario de un buque pueda considerar como solución.
Para más información, consúltense [el informe técnico](#) y [la matriz de ruido submarino radiado del buque](#)

Enfoques para la reducción del ruido submarino radiado	Buque nuevo	Buque existente
Optimizar el proyecto de la forma del casco del buque (y sus apéndices) para obtener un funcionamiento hidrodinámico y un campo de estela homogéneo que reduzca la cavitación	X	X
Optimizar el proyecto de la hélice para reducir la cavitación, optimizar la carga, garantizar un flujo uniforme del agua y la interacción entre el casco y la hélice, y la selección cuidadosa de las características de la hélice, como el diámetro, el número de palas, la superficie de las palas, el paso, la inclinación, la caída, las secciones y el material innovador	X	X
Tecnologías emergentes como las asistidas por el viento para reducir la carga de las hélices y el ruido de cavitación	X	X
Inyección de aire a la hélice	X	X
Mejora del flujo de la estela	X	X
Selección cuidadosa de las máquinas de a bordo e instalación con medidas adecuadas de control de los niveles de ruido estructural, ubicación adecuada del equipo en el casco y optimización de las estructuras de sustentación	X	
Instalación y aislamiento de las máquinas, por ejemplo, soportes elásticos y acoplamiento flexible en motores de cuatro tiempos con un engranaje reductor, soportes antivibratorios y mejora del equilibrio dinámico para maquinaria alternativa	X	X

Optimizar el asiento del buque para reducir la potencia necesaria y, por tanto, el ruido de cavitación de la hélice	X	X
Mejorar la planificación de los viajes (por ejemplo, ruta óptima, coordinada entre flotas, zonas protegidas designadas de carácter nacional e internacional/región cubierta de hielo marino, incluidos los hábitats conocidos o las rutas migratorias)	X	X
Disminuir las RPM de la hélice mediante la reducción de las RPM en el eje y/o de la potencia del motor para los buques equipados con hélices de paso fijo ²	X	X
Medidas de organización del tráfico marítimo ³ para evitar las zonas protegidas designadas de carácter nacional e internacional, incluidos los hábitats conocidos o las rutas migratorias	X	X
Mantenimiento (y limpieza/revestimiento) de la hélice	X	X
Mantenimiento del casco (revestimiento y mantenimiento y limpieza del casco en el agua, excepto sistemas antiincrustantes acústicos cuando sea posible en zonas protegidas designadas de carácter nacional e internacional)	X	X

7 EFICIENCIA ENERGÉTICA Y REDUCCIÓN DEL RUIDO SUBMARINO RADIADO

7.1 Debería prestarse atención especial a las interrelaciones entre la eficiencia energética, los GEI y la reducción del ruido submarino radiado, al tiempo que se cumplen las obligaciones reglamentarias y se garantiza que el nivel de ruido submarino radiado cumplirá los objetivos establecidos en el plan de gestión de dicho ruido. Muchas de las opciones de mejora de la eficiencia energética para cumplir las reglas sobre eficiencia energética (EEDI, EEXI y CII) pueden dar lugar a una mejora del rendimiento en cuanto al ruido submarino radiado y podrían traducirse en sinergias positivas con las políticas climáticas. Cuando las medidas de reducción del ruido submarino radiado no favorezcan la eficiencia energética, deberán prevalecer las obligaciones reglamentarias relativas a la eficiencia energética y las emisiones. Las medidas relativas al ruido submarino radiado no deberían ir en detrimento de las prescripciones de la OMI sobre reducción de los GEI y eficiencia energética ni de otras prescripciones de la Organización que afecten a la seguridad de los buques, por ejemplo, la maniobrabilidad.

7.2 Los proyectistas, constructores, propietarios y operadores de buques deberían investigar y tener en cuenta el riesgo de que el ruido submarino radiado aumente con arreglo al proyecto del buque cuando se trate de alcanzar unos valores del EEDI, el EEXI y/o el CII más bajos.

7.3 Debería prestarse especial atención al proyecto del casco y la hélice como unidad, de manera que se cree un campo de estela uniforme para reducir la cavitación de la hélice, ya que de este modo también aumentará la eficiencia energética y se reducirán las emisiones.

7.4 Reducir la cavitación de la hélice es una manera eficaz de reducir el ruido submarino radiado. Las medidas destinadas a reducir la potencia de propulsión aplicada o instalada y la carga del empuje de la hélice, con las restricciones de seguridad apropiadas,⁴ son opciones para mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones, y, por lo general, se traducen en una reducción del ruido submarino radiado; por ejemplo, la asistencia eólica, el proyecto optimizado del casco y la limpieza y el mantenimiento periódicos del casco para evitar las

² Es vital mantener la velocidad y la potencia suficientes para una navegación segura. Véase la circular MEPC.1/Circ.850/Rev.3: "Directrices para determinar la potencia de propulsión mínima que permita mantener la maniobrabilidad del buque en condiciones desfavorables".

³ Por "medidas de organización del tráfico marítimo" se entiende el proceso de alejar las vías de navegación existentes y reconocidas de las zonas protegidas nacionales o internacionales que puedan incluir rutas migratorias o hábitats importantes para los mamíferos marinos. Se sabe que la organización del tráfico marítimo es una medida eficaz para reducir la exposición al ruido de los buques en el medio marino.

⁴ Véase la circular MEPC.1/Circ.850/Rev.3.

incrustaciones y reducir la resistencia del casco son medidas eficaces para reducir las emisiones y el ruido submarino radiado.

7.5 Los métodos de cálculo del ruido submarino radiado deberían integrar métodos de optimización para incluir los parámetros que afectan a la eficiencia energética y a otras emisiones al mismo tiempo que al ruido submarino. Esto permitirá optimizar el ruido submarino radiado, otras emisiones y la eficiencia/rendimiento.

8 EVALUACIÓN Y VIGILANCIA

8.1 La evaluación y la vigilancia continua del ruido submarino radiado es un paso esencial para evaluar la eficacia de los esfuerzos por reducir el ruido en los océanos. Esto puede hacerse mediante la medición real del ruido submarino radiado del buque, o mediante su modelización, a partir de las características del buque y los parámetros de proyecto, así como de las condiciones ambientales.

8.2 La modelización del ruido submarino radiado debe tener en cuenta la pérdida de propagación del sonido, ya que esta se ve influida por varios parámetros ambientales (por ejemplo, el estado del mar, el hielo marino, el perfil de velocidad del sonido, la temperatura del agua del mar, la absorción del sonido, las corrientes, la batimetría o las propiedades del fondo marino). Existe una gran variedad de modelos de propagación del sonido bajo el agua para abordar los objetivos de la aplicación específica.

8.3 Debería hacerse lo posible por comprender mejor la situación y los cambios en cuanto al ruido submarino radiado. La capacidad de vigilancia desarrollada en colaboración con los puertos interesados debería fomentarse a lo largo de las vías de navegación y utilizarse en programas de incentivos para complementar otros programas de vigilancia del ruido submarino radiado, siempre que sea posible.

8.4 Habría que apoyar los esfuerzos comunitarios para comprender el ruido subacuático del transporte marítimo y sus repercusiones en las especies marinas y las comunidades costeras.

8.5 Los Estados Miembros y otras partes interesadas, incluidas las sociedades de clasificación, los proyectistas, los constructores, propietarios y operadores de buques, los proveedores y los fabricantes pueden aportar datos, en la medida de lo posible, para la comprensión general de las emisiones de ruido de los buques, incluso a través de programas establecidos de vigilancia de los niveles de las fuentes de los buques y/o del ruido ambiental.

8.6 Una vez se hayan recopilado los datos sobre el ruido submarino radiado, los resultados de las medidas aplicadas podrán compartirse presentando al Comité de Protección del Medio Marino, dentro del punto "Otros asuntos", información, observaciones, sugerencias y recomendaciones basadas en la experiencia práctica adquirida mediante la aplicación de estas directrices. Los datos podrán facilitarse anónimamente a fin de apoyar la planificación y la elaboración de medidas relacionadas con el ruido submarino radiado por parte de los Estados Miembros y otras partes interesadas.

9 INCENTIVACIÓN

9.1 Se alienta a las autoridades marítimas, las instituciones financieras y de seguros y a otras entidades a que promuevan el establecimiento de sistemas de incentivos para apoyar la implantación de programas de vigilancia del ruido submarino radiado y los esfuerzos de reducción del ruido por parte de proveedores, proyectistas y constructores, propietarios y operadores de buques, cuando se considere oportuno. Los incentivos pueden apoyar también

la recopilación y el intercambio en general de datos sobre el ruido submarino radiado de los buques.

9.2 La incentivación podría basarse, por ejemplo, en anotaciones de clasificación de los buques pertinentes para el ruido submarino radiado, el reconocimiento de un plan de gestión del ruido submarino radiado, los objetivos de reducción del ruido submarino radiado, las tecnologías y el mantenimiento de los buques y motores, los programas de reducción de la velocidad de los buques, el suministro de energía eléctrica desde tierra en puerto u otras certificaciones voluntarias de sostenibilidad que incluyan pruebas de reducción del ruido submarino radiado o beneficios complementarios sobre eficiencia y mantenimiento (por ejemplo, la prevención de las incrustaciones biológicas mediante la limpieza en el agua del casco y la hélice de los buques podría aumentar la eficiencia y reducir al mínimo la transferencia de especies invasivas).

9.3 Entre los ejemplos de incentivos se encuentran los descuentos en las tasas portuarias, las tasas de paso, o los servicios o productos adicionales y la promoción.

9.4 Los proveedores, proyectistas, constructores, propietarios y operadores de buques deberían concienciarse y esforzarse por conseguir incentivos relacionados con la reducción del ruido submarino radiado.

APÉNDICE 1

NORMAS INTERNACIONALES DE MEDICIÓN DEL RUIDO SUBMARINO RADIADO, RECOMENDACIONES Y REGLAS DE LAS SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN

1 Los propietarios, proyectistas y operadores de buques y otras partes interesadas pueden utilizar, entre las que se enumeran a continuación, la norma de medición del ruido más actualizada y adecuada para su contexto.

2 ANSI S12.64 e ISO-17208-1⁵ son dos versiones de la misma norma. Incluía tres grados: levantamiento, aspectos técnicos y precisión, siendo la última la metodología más exacta. La norma ISO-17208-1 se tomó de la norma S12.64 y se adoptó para uso internacional, y la diferencia principal fue que se suprimieron los tres grados. Ambas normas se refieren a la medición del nivel de ruido radiado (RNL) de un buque en aguas profundas. La norma ISO-17208-2⁶ proporciona una metodología para tomar datos medidos utilizando la norma ISO-17208-1 y convertir el nivel de ruido radiado medido en el nivel de fuente omnidireccional (MSL). Estas dos normas serían las más pertinentes para la medición del ruido de un buque. Ambas normas serían necesarias si se utilizara el criterio del nivel de fuente omnidireccional.

Lista no exhaustiva de normas de medición del ruido submarino radiado

Norma u organización	Fecha de publicación	Ámbito de aplicación	Metodología	Profundidad mínima del agua
ICES-CRR-209 ⁷	Mayo de 1995	Se aplica únicamente a los buques de investigación pesquera (R/V). Este documento proporciona orientaciones sobre el ruido ambiental, la audición de los peces, el ruido de los buques, la reacción de los peces al ruido de los buques, la instrumentación del ruido submarino radiado, la mitigación del ruido para los buques de investigación pesquera.	La metodología prevista para los resultados del nivel de presión acústica a 1 metro en un espectro de 1 hercio (banda estrecha). No se indica ningún proceso de corrección de la distancia.	No se especifica.

⁵ **ISO 17208-1** *Underwater acoustics — Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships — Part 1: Requirements for precision measurements in deep water used for comparison purposes.*

⁶ **ISO 17208-2** *Underwater acoustics — Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships — Part 2: Determination of source levels from deep water measurements.*

⁷ Consejo Internacional para la Exploración del Mar (CIEM), Cooperative Research Report 209, *Underwater Noise of Research Vessels, Review and Recommendations*, mayo de 1995.

Norma u organización	Fecha de publicación	Ámbito de aplicación	Metodología	Profundidad mínima del agua
ANSI/ASA S12.64 ⁸	Septiembre de 2009	Se aplica a cualquier buque de cualquier tamaño con una velocidad inferior a 50 nudos. (Se trata de la primera norma para la medición del ruido submarino radiado de los buques comerciales).	Los resultados se expresan en nivel de presión acústica a 1 m, suponiendo que el buque se modele como una fuente puntual mediante dispersión esférica. Existen tres grados de medición: precisión, aspectos técnicos y levantamiento. Utiliza tres hidrófonos situados en la columna de agua con aspecto de haz.	<i>Prec.:</i> 300 m o 3x L <i>Aspectos técnicos:</i> 150 m o 1,5x L <i>Levantamiento:</i> 75 m o 1x L, donde L es la eslora total del buque.
Bureau Veritas, DNV ⁹	Noviembre de 2015	Se aplica a los buques comerciales, lo que incluye cualquier buque dedicado al comercio o al transporte de pasajeros por cuenta ajena.	Los resultados se expresan en nivel de presión acústica a 1 m utilizando las pérdidas de propagación calculadas con el buque modelizado como fuente acústica omnidireccional.	No se especifica.
ISO-17208-1 ¹⁰	Marzo de 2016	El mismo que para la norma S12.64 (<i>supra</i>).	La metodología y los resultados son en su mayor parte los mismos que para la norma S12.64, pero con un único grado entre los grados de precisión y aspectos técnicos de la norma S12.64. Utiliza tres hidrófonos situados en la columna de agua con aspecto de haz.	Superior a 150 m o la que se indica en la nota 1).

⁸ American National Standards Institute (ANSI)/Acoustical Society of America (ASA) S12.64-2009; *Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships – Part 1: General Requirements*, septiembre de 2009.

⁹ Achieve Quieter Oceans by Shipping Noise Footprint Reduction (AQUO) and Suppression of UW Noise Induced by Cavitation (SONIC), *Guidelines for Regulation on UW Noise from Commercial Shipping*

¹⁰ Organización Internacional de Normalización (ISO), ISO-17208-1-2016; *Underwater acoustics - Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships – Part 1: Requirements for precision measurements in deep water used for comparison purposes*, marzo de 2016.

Norma u organización	Fecha de publicación	Ámbito de aplicación	Metodología	Profundidad mínima del agua
Directrices 7.5-04 de la ITTC ¹¹	Septiembre de 2017	Se aplica a la medición del ruido submarino radiado de los buques en superficie.	Los resultados se expresan en nivel de presión acústica a 1 m, suponiendo dispersión esférica y ajuste mediante normalización de la distancia.	300 m o el triple de la eslora del buque para el grado más alto; 150 m o 1,5 veces la eslora del buque para el grado medio; 75 m o la eslora del buque para el grado más bajo.
Lloyds Register ¹²	Febrero de 2018	Se aplica a cualquier buque cuyo ruido submarino radiado haya sido medido y certificado de conformidad con la anotación <i>SHIPRIGHT</i> de LR.	Se facilita la corrección para aguas profundas suponiendo mediciones de conformidad con la norma ISO-17208-1. En aguas poco profundas se procederá como se indica en la norma ISO-17208-1. Utiliza tres hidrófonos situados en la columna de agua con aspecto de haz.	Superior a 60 m o la que se indica en la nota 2).
Bureau Veritas ¹³	Julio de 2018	Se aplica a cualquier buque autopropulsado.	Los resultados se expresan en nivel de presión acústica a 1 m utilizando las pérdidas de propagación calculadas con el buque modelizado en una fuente acústica omnidireccional. Utiliza tres hidrófonos situados en la columna de agua con aspecto de haz.	Superior a 60 m o la que se indica en la nota 3).
China Classification Society ¹⁴	Octubre de 2018	Se aplica a los buques que soliciten la anotación de clase de CCS.	Los resultados se expresan en nivel de presión acústica a 1 m, suponiendo dispersión esférica y utilizando la pérdida	La profundidad del agua bajo la quilla no deberá ser en general inferior a 40 m cuando se utilice

¹¹ International Towing Tank Conference (ITTC), Recommended Procedures and guidelines - Underwater Noise from Ships - Full scale measurements.

¹² Lloyd's Register (LR), *Additional Design Procedures, Additional Design & Construction Procedure for the Determination of a Vessels Underwater Radiated Noise*, febrero de 2018.

¹³ Bureau Veritas (BV), *Underwater Radiated Noise*, Rule Note NR 614 DT R02 E, julio de 2018.

¹⁴ China Classification Society, *Guidelines for underwater radiated noise of ships*, octubre de 2018.

Norma u organización	Fecha de publicación	Ámbito de aplicación	Metodología	Profundidad mínima del agua
			de propagación calculada.	el método de un solo hidrófono, ni inferior a 60 m cuando se aplique el método de varios hidrófonos.
ISO-17208-2 ¹⁵	Julio de 2019	Este documento especifica métodos para calcular un nivel de fuente omnidireccional equivalente mediante la conversión de valores del nivel de ruido radiado obtenidos en aguas profundas, de conformidad con la norma ISO 17208-1.	Esta no es una norma de medición de buques, debe utilizarse la norma ISO-17208-1 para las mediciones sobre el terreno.	N/A
DNV ¹⁶	Julio de 2019	Se aplica a todos los buques que deseen obtener la notación <i>SILENT</i> de DNV-GL.	La metodología para aguas profundas debe seguir la norma ISO-17208-1 (se indica <i>supra</i>). En aguas poco profundas se utiliza un método único con un único hidrófono colocado en el fondo, y la corrección de la distancia se realiza utilizando la pérdida de propagación real medida <i>in situ</i> o la relación $18 \times \text{Log}(r)$, donde r es la distancia entre el buque y el hidrófono.	150 m (para pruebas en aguas profundas, con independencia de la eslora del buque) 30 m (para pruebas en aguas poco profundas).
DNV ¹⁷	Julio de 2020	Se aplica a todos los buques que deseen obtener la notación <i>SILENT</i> de DNV-GL.	Los resultados se expresan en nivel de presión acústica a 1 m, suponiendo que el buque se modelice como una fuente puntual o lineal que se determine durante la evaluación. Este documento sólo	N/A

¹⁵ Organización Internacional de Normalización (ISO), ISO-17208-2-2019; *Underwater acoustics — Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships — Part 2: Determination of source levels from deep water measurements*, julio de 2019.

¹⁶ Det Norske Veritas/Germanischer Lloyd (DNV/GL), Class Guideline DNVGL-CG-0313, *Measurement procedures for noise emission*, julio de 2019.

¹⁷ Det Norske Veritas/Germanischer Lloyd (DNV/GL), Rules for Classification, Ships, Part 6, *Additional class notations, Chapter 7 Environmental Protection and Pollution Control*, julio de 2020.

Norma u organización	Fecha de publicación	Ámbito de aplicación	Metodología	Profundidad mínima del agua
			proporciona los límites y la necesidad de llevar a cabo la medición de conformidad con DNVGL-CG-0313 (véase <i>supra</i>).	
ABS ¹⁸	Mayo de 2021	Se aplica a cualquier buque de investigación o comercial autopropulsado.	Los resultados se expresan en nivel de presión acústica a 1 m utilizando la dispersión esférica para aguas profundas y la pérdida de propagación calculada (mediante la ecuación facilitada) para aguas poco profundas. Utiliza tres hidrófonos situados en la columna de agua con aspecto de haz.	Superior a 60 m o la que se indica en la nota 4).
RINA ¹⁹	2021	Se aplica a todos los buques que deseen obtener las anotaciones <i>DOLPHIN QUIET</i> o <i>TRANSIT</i> de RINA.	Los resultados se expresan en nivel de presión acústica a 1 m, suponiendo que el buque se modelice como una fuente puntual mediante dispersión esférica. Utiliza tres hidrófonos situados en la columna de agua con aspecto de haz.	150 m o la que se indica en la nota 5).
Korean Register ²⁰	Julio de 2021	Se aplica a los buques nuevos y existentes que hayan solicitado la anotación opcional relativa al ruido submarino radiado de un buque.	Los resultados se expresan en nivel de presión acústica a 1 m	60 m como mínimo

NOTAS SOBRE LA PROFUNDIDAD MÍNIMA DEL AGUA:

1. ISO-17208-1: 1,5 x eslora total del buque, que es la distancia longitudinal entre la parte más a proa y la más a popa de un buque.
2. Lloyds Register: $0,3 \times v^2$, donde v es la velocidad del buque en m/s o $3 \times (B \times Dt)^{1/2}$, donde B es la manga del buque y Dt es su calado, ambos en metros.

¹⁸ American Bureau of Shipping (ABS), *Underwater Noise and External Airborne Noise*, mayo de 2021.

¹⁹ Registro Italiano Navale (RINA), *Dolphin Quiet Ship* y *Dolphin Transit Ship*, 2021.

²⁰ Korean Register: *Guidance for Underwater Radiated Noise* (julio de 2021).

3. Bureau Veritas: $0,3 \times v^2$, donde v es la velocidad del buque en m/s. Se considerará aguas profundas un valor de 200 m o igual a 2 veces la eslora del buque, a menos que el buque mida más de 200 m, en cuyo caso el valor de referencia será igual a 1,5 veces la eslora del buque.
4. ABS: $0,3 \times v^2$, donde v es la velocidad del buque en m/s. Se considerará aguas profundas el valor mayor entre 150 m y 1,5 veces la eslora del buque.
5. RINA: Las mediciones pueden realizarse en aguas poco profundas siempre que se haya acordado con RINA un procedimiento adecuado para la pérdida de propagación real.

APÉNDICE 2

TIPOS DE MODELOS INFORMÁTICOS PARA OPTIMIZAR EL PROYECTO DE LOS BUQUES Y LOS ENFOQUES TÉCNICOS DE REDUCCIÓN DEL RUIDO SUBMARINO RADIADO

Los tipos de modelos informáticos para optimizar el proyecto de los buques y los enfoques técnicos de reducción del ruido submarino radiado son:

- .1 **Características del flujo:** puede utilizarse la dinámica de fluidos computacional (CFD) para predecir y visualizar las características del flujo, la cavitación y las fuentes hidroacústicas alrededor del casco y los apéndices, así como el campo de la estela en el que opera la hélice. Para predecir y probar el efecto de la cavitación en el funcionamiento de la hélice pueden utilizarse también métodos de análisis de hélices, como los métodos de superficie sustentadora o la CFD.
- .2 **Radiación del ruido:** pueden utilizarse el análisis por el método de los elementos finitos, el método de elementos de contorno y el análisis estadístico de la energía para calcular el ruido radiado debido al campo del flujo, la cavitación y las excitaciones de las máquinas. Se pueden tener en cuenta la batimetría, el fondo marino, la superficie del mar y las estructuras elásticas de los buques. Otros métodos para predecir la radiación son los métodos híbridos, los métodos basados en las ondas y el método del flujo de energía. La mayoría de los métodos pueden utilizarse tanto para estructuras como para fluidos.
- .3 **Propagación del ruido:** el trayecto del ruido desde la fuente hasta el receptor depende del entorno y de algunas características del sonido. Para modelizar la propagación del sonido a larga distancia pueden utilizarse métodos como la teoría de los rayos, los modos normales, la integración del número de ondas o las ecuaciones parabólicas.

Los ensayos con modelos normalizados del ruido submarino radiado de la hélice en combinación con las pruebas de cavitación ofrecen la posibilidad de que los fabricantes, los proveedores y los propietarios y constructores de buques acuerden si se cumplen las especificaciones contractuales relativas a la contribución de la hélice al ruido submarino radiado antes de que se construya el buque.

- .1 Las pruebas de cavitación a escala de modelo²¹ pueden ofrecer en la actualidad la predicción y el ensayo más precisos de los niveles de fuente del ruido submarino radiado de las hélices cavitantes, lo cual indica una concordancia entre buena y aceptable con los ensayos en el mar respecto de los niveles de fuente del ruido submarino radiado. Sin embargo, los efectos de escala y el efecto de los ruidos de fondo y reverberación de las instalaciones deberían examinarse cuidadosamente, y se esperan nuevas mejoras en estos temas a partir de los estudios en curso. Además, como estas pruebas con modelos se centran únicamente en el ruido de la cavitación, se puede evaluar bien el efecto de una medida de atenuación del ruido de la cavitación. El efecto de esta medida de mitigación en el ruido total

²¹ ITTC – *Recommended Procedures and Guidelines, Model-Scale Propeller Cavitation Noise Measurements, 7.5–02–03–03.9*

del buque requiere conocer las demás fuentes de ruido, como el ruido de las máquinas y el ruido estructural.

- .2 Podrían realizarse pruebas con modelos del buque, su hélice y los apéndices especiales (como el soporte del eje, el estabilizador de aletas, etc.) en una instalación de pruebas de cavitación, por ejemplo un túnel de cavitación, para medir los aspectos del proyecto con respecto a los impulsos de presión inducidos por la cavitación, la velocidad de inicio de la cavitación y el ruido radiado.

Las predicciones y pruebas con modelos sobre el ruido submarino radiado deberían evaluarse, cuando sea posible, con pruebas de validación del modelo a escala o a tamaño real, preferiblemente en entornos controlados.

APÉNDICE 3

MODELOS DE PLANTILLAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RUIDO SUBMARINO RADIADO

Para ayudar a los propietarios de buques en la elaboración de un plan de gestión del ruido submarino radiado que pueda adaptarse a sus necesidades, se facilitan dos plantillas como muestra de lo que dicho plan puede contener. Las plantillas se proporcionan únicamente a título orientativo y pueden modificarse para abordar contextos específicos de propietarios de buques concretos.

Modelo de plantilla nº 1: Plan de aspiraciones con pasos iniciales:

Plan de gestión del ruido submarino radiado

1 *Objetivo*

Esta sección debería incluir una visión general del objetivo de alto nivel relativo a la reducción del ruido submarino radiado de los buques. Por ejemplo, podría formularse así: "En los próximos cinco años, nos proponemos alcanzar los siguientes objetivos [...] y determinar oportunidades nuevas para reducir el ruido de nuestros buques".

2 *Enfoque*

En esta sección deberían describirse los diversos esfuerzos que se realizarán para alcanzar el objetivo general. Entre ellos pueden encontrarse las inversiones en investigación, los esfuerzos para medir la firma acústica de los buques o la determinación/implantación de soluciones operacionales o técnicas pertinentes para un buque.

3 *Métodos de vigilancia/evaluación*

Esta sección debería incluir un breve resumen de cómo el propietario/operador del buque prevé vigilar y evaluar el progreso de su plan a lo largo del tiempo.

Modelo de plantilla nº 2: Plan detallado que siga más explícitamente el ciclo planificar-implantar-vigilar-evaluar

Plan de gestión del ruido submarino radiado

1 *Visión general*

Esta sección debería incluir una visión general del objetivo de alto nivel relativo a la reducción del ruido submarino radiado de los buques y el objetivo del plan. Por ejemplo, podría formularse así: "En los próximos cinco años, nos proponemos alcanzar los siguientes objetivos [...], implantar las medidas siguientes [...] y determinar oportunidades nuevas para reducir el ruido de nuestros buques".

2 *Ruido submarino radiado de referencia*

Esta sección debería ofrecer una visión general de cómo podría determinarse un ruido submarino radiado de referencia.

En la medida de lo posible, debería intentarse determinar una referencia para el buque. La condición de ruido submarino radiado de referencia del buque puede predecirse (métodos informáticos/empíricos/pruebas con modelos) o, preferiblemente, medirse. La determinación de la referencia para la condición del buque relativa al ruido submarino radiado prevista y/o medida debería llevarse a cabo en las condiciones normales de funcionamiento del buque, incluidos una velocidad operacional y un calado típicos, con el uso de equipos/máquinas de funcionamiento estándar.

El ruido submarino radiado debería medirse con arreglo a una norma objetiva. En el apéndice 1 se resume la disponibilidad de normas de medición reconocidas que se han utilizado en la investigación y para apoyar los programas en los puertos. En el apéndice 2 figuran ejemplos de modelos informáticos para optimizar el proyecto de los buques y los enfoques técnicos de reducción del ruido.

3 *Objetivos relativos al ruido submarino radiado*

Esta sección debería describir los objetivos generales de reducción del ruido de la fuente que el plan pretende alcanzar. La información que figura a continuación ofrece algunas posibles orientaciones sobre cómo podrían establecerse dichos objetivos.

La investigación ha documentado una variabilidad significativa entre regiones en las condiciones de propagación del sonido submarino, las contribuciones a los niveles de ruido submarino radiado y la sensibilidad auditiva y las respuestas fisiológicas o de comportamiento adversas al ruido de los buques entre las especies marinas. Por tanto, es probable que los límites de ruido basados en la biología reflejen esta variabilidad, y que cualquier límite universal sirva como resumen de los intereses de reducción de los efectos en diversos entornos. No obstante, pueden establecerse objetivos individuales relativos al ruido de acuerdo con la clasificación del buque, el arqueo u otra característica, a partir de las mediciones de referencia, reales o previstas. Estos objetivos de reducción del ruido submarino radiado pueden reforzarse gradualmente a lo largo de un periodo determinado, que deberá establecer el propietario del buque.

Los objetivos relativos al ruido submarino radiado para un buque determinado deberían tener en cuenta su finalidad y tipo, la predicción sobre el ruido submarino radiado y la medición de referencia, así como consideraciones operacionales. Los objetivos de reducción del ruido submarino radiado pueden establecerse también mediante la adopción de uno de los conjuntos de reglas relacionadas con el ruido submarino radiado de las sociedades de clasificación. Como alternativa, los propietarios de buques pueden establecer objetivos de reducción del ruido submarino radiado, entre otras cosas, reduciendo los niveles de ruido en un porcentaje determinado.

4 *Enfoques de reducción del ruido submarino radiado y medidas conexas*

Esta sección brinda la oportunidad de articular claramente los enfoques que deben adoptarse para reducir el ruido submarino. Esto podría incluir una combinación de enfoques técnicos y operacionales, que podrían adaptarse con el tiempo. También puede incluir la determinación de iniciativas de investigación u otros proyectos de colaboración para avanzar en el conocimiento y la concienciación sobre los esfuerzos de reducción del ruido submarino radiado. Véase la sección 6 de las directrices para orientarse sobre los tipos de enfoques que podrían utilizarse.

5 Vigilancia y evaluación

Esta sección debería indicar cómo podrían vigilarse y evaluarse los esfuerzos de reducción del ruido de los buques.

Como parte de la planificación de la gestión del ruido submarino radiado, los propietarios y operadores de buques deberían elaborar un enfoque de vigilancia para evaluar periódicamente la eficacia de los esfuerzos de reducción del ruido de los buques en comparación con las mediciones de referencia y los objetivos del ruido submarino radiado y para orientar y mejorar las actividades dirigidas a la reducción del ruido (sección 8). Dicha evaluación puede incluir formas de medición del ruido submarino radiado, simulaciones, modelización u otros métodos científicos de recopilación y evaluación de datos.

Debería considerarse la posibilidad de medir el ruido submarino radiado del buque procedente de las fuentes de ruido identificadas en la gama prevista de condiciones típicas de funcionamiento para determinar si se cumplen los objetivos relativos al ruido submarino radiado del buque. De este modo, los operadores de buques podrían optimizar su funcionamiento y ajustar adecuadamente los niveles del ruido submarino radiado a lo largo de una ruta (por ejemplo, optimizando el asiento del buque, reduciendo así la potencia necesaria, o reduciendo la velocidad, cuando sea seguro hacerlo, lo que posiblemente haga disminuir el ruido de cavitación de la hélice). La verificación del mantenimiento de niveles de ruido previamente aceptables también puede demostrarse mediante registros de mantenimiento adecuado del casco, las máquinas y la hélice.

Entre las actividades de medición, el ruido submarino radiado puede vigilarse *in situ*. La elaboración de herramientas dinámicas de optimización del viaje en tiempo real que proporcionen información analítica personalizada para aumentar la eficacia, ahorrar en combustible y costes y reducir las emisiones resulta prometedora para una gestión adaptativa. La reducción del ruido debería añadirse como opción de optimización.
