



Servicio de  
Evaluación  
Ambiental

Gobierno de Chile

**SEA**  
Servicio de Evaluación Ambiental

# CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: PREDICCIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS POR RUIDO SUBMARINO



Fotografía: Jorge Herreros de Lartundo



## **CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: PREDICCIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS POR RUIDO SUBMARINO**

**Autor:** Servicio de Evaluación Ambiental

Primera Edición

**Diseño y diagramación:** Servicio de Evaluación Ambiental

**Santiago, agosto 2022**

Si desea presentar alguna consulta, comentario o sugerencia respecto del documento, favor escribir al siguiente correo  
[comentarios.documentos@sea.gob.cl](mailto:comentarios.documentos@sea.gob.cl)

## Resumen

El presente documento elaborado por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) en conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), constituye un aporte al integrar en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) los potenciales impactos por emisiones de ruido submarino a los que puede estar expuesta la fauna marina presente en el territorio nacional, a causa de la ejecución de un proyecto o actividad.

Con el objetivo de entregar lineamientos técnicos para la elaboración de las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) o Estudios de Impacto ambiental (EIA), en este documento se presenta el detalle de los antecedentes e información necesaria que deben presentar los titulares para la predicción y evaluación de impactos por ruido submarino. En particular, se entrega la información referente a la descripción de emisiones, determinación del área de influencia, identificación de impactos, descripción y caracterización de la fauna marina objeto de protección, predicción y evaluación de impactos y, medidas para su control y gestión.

Se hace presente que este documento materializa la atribución del SEA expresada en el artículo 81, letra d), de la Ley N°19.300, en torno a uniformar criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter ambiental que establezcan los Ministerios y demás Órganos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental (Oaeca), en particular respecto al procedimiento de evaluación ambiental, a través de guías y otros instrumentos.

Este documento incorpora ejemplos típicos que tienen relación con mamíferos marinos, siendo responsabilidad del titular incluir toda aquella información de fauna marina susceptible de ser afectada por emisiones de ruido.

**Palabras clave:** ruido submarino, acústica ambiental, medio marino, subacuático, fauna marina.

# 1. Descripción de las emisiones de ruido submarino

En el capítulo Descripción de Proyecto de una DIA o EIA se debe presentar, cuando corresponda, una descripción de las emisiones de ruido submarino que genera el proyecto o actividad en sus fases de construcción, operación o cierre.

Para tal efecto, se deberán identificar las obras, partes y acciones del proyecto que se ubiquen en el medio terrestre o marino y que constituyan fuentes emisoras de ruido submarino, tales como: dragado, hincado de pilotes, perforación, tronaduras, embarcaciones, motores, entre otros. En cada caso se deben detallar las maquinarias, equipos o dispositivos que se emplearán y sus respectivas capacidades técnicas como tonelaje, potencia eléctrica, dimensiones u otro que corresponda; su ubicación georreferenciada y los horarios y tiempos de operación.

En dicha descripción se excluyen como fuentes de ruido del proyecto aquellas embarcaciones que, siendo del proyecto, transitan por rutas de navegación establecidas y, aquellas fuentes que no tienen relación con el objetivo del proyecto o actividad<sup>1</sup>, sin perjuicio que ambas deben ser identificadas e incorporadas en la evaluación cuando interactúen con las partes, obras o acciones de este. Las fuentes móviles<sup>2</sup> deben incluirse en la evaluación cuando su área de influencia se superpone con el área de influencia determinada para las fuentes fijas, a fin de considerar el efecto conjunto como el escenario más desfavorable<sup>3</sup>.

Así, para cada fuente de ruido identificada, se deberá presentar como mínimo la siguiente información:

- Tipo de ruido: impulsivo o continuo.
- Nivel de fuente (SL)<sup>4</sup>, utilizando alguno de los siguientes descriptores  $SPL_{rms}$ ,  $SPL_{peak}$  (ambos en dB re 1 $\mu$ Pa @1 m) o SEL (en dB re 1 $\mu$ Pa s<sup>2</sup> @1 m)<sup>5</sup>.
- Rango de frecuencia predominante de la emisión de ruido (en Hertz, Hz).
- Referencia bibliográfica, ficha técnica o reporte de medición de referencia que acredite la información presentada.

Un ejemplo de lo anterior se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Ejemplo de identificación de fuentes de ruido y caracterización de su emisión**

Fuente de ruido	Tipo de ruido	Nivel de fuente SL	Rango de frecuencia predominante	Referencia bibliográfica
Máquina de hincado de pilotes (Potencia 1.000 kJ)	Impulsivo	$SPL_{rms}$ 231 dB re 1 $\mu$ Pa	100 - 1.000 Hz	Hildebrand, 2009

Fuente: Elaboración propia

<sup>1</sup> A modo de ejemplo, en un centro de engorda de salmonidos cuyo objetivo es la producción de peces, también se produce la cosecha de estos por medio, entre otros, de barcos *wellboat*, así como también el centro, vía marítima, se abastece de insumos y gestiona sus residuos. En ambos casos las naves que prestan servicios al centro utilizan rutas de navegación establecidas, por lo tanto, en una primera instancia estas acciones quedan fuera del análisis de emisiones hasta que interactúen con las partes, obras o acciones del proyecto, momento donde se tendrá que evaluar si pueden generar emisiones de ruido con potencialidad de afectación sobre la fauna marina.

<sup>2</sup> Se entenderá por fuentes móviles toda nave o artefacto naval, embarcaciones o similares que cuenten con un sistema de propulsión (motor, otro) que les permita desplazarse con autonomía y que para efectos de determinar sus emisiones se encuentren en movimiento.

<sup>3</sup> Si el proyecto contempla solo emisiones de fuentes móviles, entonces estas serán aquellas que conformarán el escenario más desfavorable.

<sup>4</sup> Del inglés *Source Level*.

<sup>5</sup>  $SPL_{rms}$ : Nivel de presión sonora rms (del inglés *Sound Pressure Level*),  $SPL_{peak}$ : Nivel de presión sonora peak, SEL: Nivel de Exposición Sonora (del inglés *Sound Exposure Level*).

En cada caso, las emisiones de referencia informadas deben presentar equivalencia técnica y asimilarse a la fuente que considera el proyecto en evaluación, lo cual debe ser justificado a partir de la información presentada.

Cuando las emisiones hayan sido obtenidas a partir de mediciones realizadas a fuentes existentes o proyectos en ejecución, se deberá describir detalladamente la metodología de medición y estimación del parámetro nivel de fuente (SL). Se sugiere tomar como referencia los lineamientos del *National Physics Laboratory* del Reino Unido (NPL, 2014) en cuanto al uso y especificación del instrumental idóneo para la medición, condiciones espaciales y temporales de muestreo, influencia del ruido de fondo y análisis de los registros para caracterizar exclusivamente la emisión de la fuente.

Cuando corresponda, se deberá indicar si existirá funcionamiento simultáneo de dos o más fuentes de ruido para fines de establecer los escenarios de mayor emisión, tanto para la determinación del área de influencia como para la predicción y evaluación de impactos.

## 2. Área de Influencia

### 2.1. Determinación del Área de Influencia

El Área de Influencia (AI) es el área o espacio geográfico, cuyos atributos, elementos naturales o socioculturales deben ser considerados con la finalidad de definir si el proyecto o actividad genera o presenta alguno de los efectos, características o circunstancias del artículo 11 de la Ley N°19.300, o bien para justificar la inexistencia de dichos efectos, características o circunstancias<sup>6</sup>.

A la vez, se desprende de la letra e) del artículo 6º del Reglamento del SEIA que, para fines de evaluar si se generan efectos adversos significativos sobre recursos naturales renovables, específicamente si se alteran las condiciones que hacen posible la presencia y desarrollo de especies y ecosistemas, se deberá considerar *“la diferencia entre los niveles estimados de ruido con proyecto o actividad y el nivel de ruido de fondo representativo y característico del entorno donde se concentre fauna nativa asociada a hábitats de relevancia para su nidificación, reproducción o alimentación”*.

Sobre la base de lo anterior, para el caso específico del AI asociada a fauna marina susceptible de ser afectada por ruido, se deberá determinar en primera instancia el área geográfica de propagación de las emisiones en donde los niveles de ruido estimados para el proyecto superen los niveles de ruido de fondo sin el proyecto. De esta manera, se entiende el ruido de fondo como el ruido representativo o basal previo a la situación con proyecto.

Para tal efecto, deberá considerarse el escenario de mayor exposición a ruido, esto es, los períodos de mayor emisión de ruido y las ubicaciones de fuentes más cercanas a las áreas potencialmente afectadas, lo cual debe ser descrito. Sin perjuicio de lo anterior, la predicción y evaluación del impacto deberá referirse a las distintas actividades emisoras del proyecto, las cuales, a pesar de tener menor emisión en algunos casos, pudieran ser susceptibles de generar impacto, ya sea por su cercanía con los receptores, duración de la actividad y época en que se ejecuten, entre otras características.

Luego, habiendo definido el espacio geográfico donde el proyecto modifica los niveles de ruido de fondo previos a su ejecución, el AI deberá acotarse a la existencia de receptores de fauna marina, cuya exposición a niveles de ruido por sobre el ruido de fondo característico del área pudiera generar efectos adversos significativos. Para el presente caso, se considerarán como receptores aquellas **áreas<sup>7</sup> en donde se concentre fauna marina<sup>8</sup> o que puedan asociarse a sitios de relevancia para su nidificación, reproducción o alimentación, así como áreas marinas protegidas** (AMP) cuyos objetos de conservación sean susceptibles de verse afectados por las emisiones de ruido submarino. Así, se entenderá para la circunstancia de la

---

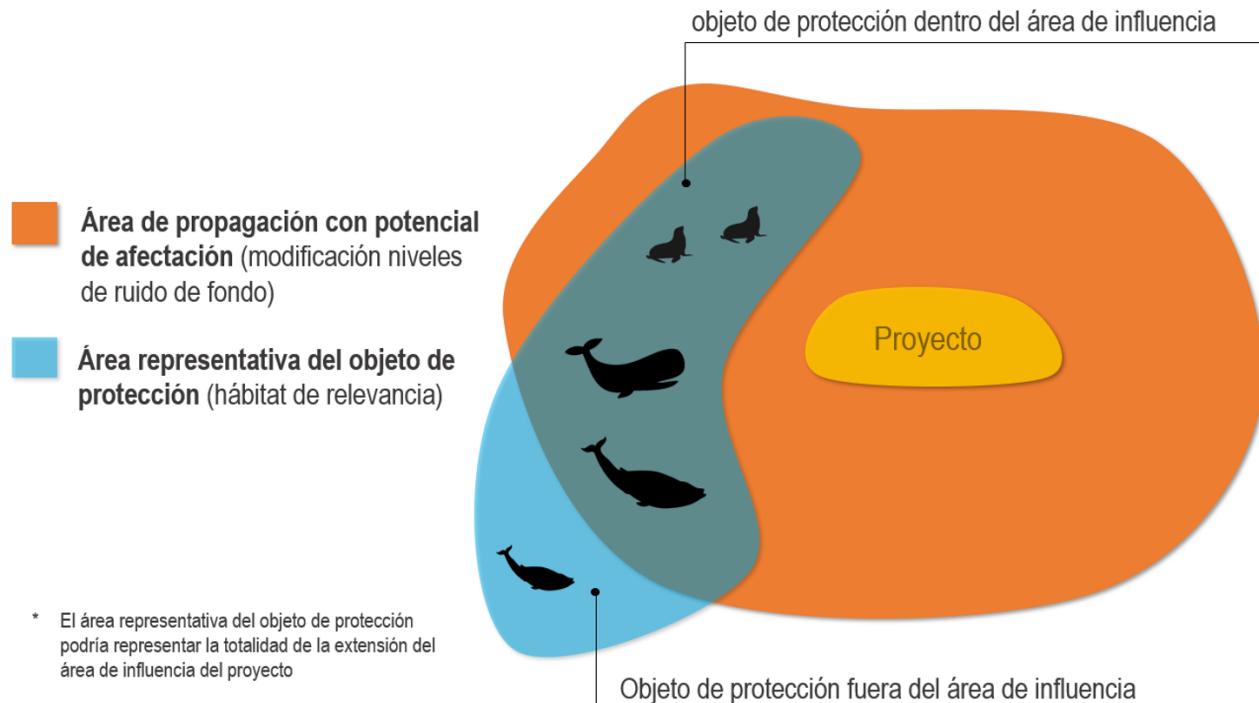
<sup>6</sup> Ref. letra a) del artículo 2º del Reglamento del SEIA.

<sup>7</sup> Debido a la movilidad propia de la fauna marina se debe establecer un **área representativa** que servirá para determinar la zona donde se encuentran los receptores y hábitats de relevancia, como así también, sus singularidades. En esta área es donde se deben predecir y evaluar los impactos.

<sup>8</sup> Se debe presentar como mínimo la información para mamíferos, tortugas y peces, sin perjuicio que siempre se debe poner *“énfasis en aquellos recursos propios del país que sean escasos, únicos y representativos”* (artículo 6º del Reglamento del SEIA) en atención al área de emplazamiento del proyecto.

letra e) del artículo 6º del Reglamento del SEIA que el objeto de protección (OP) corresponde al hábitat de relevancia para la nidificación, reproducción o alimentación en donde se concentre fauna marina.

#### Diagrama 1. Determinación de Áreas de Influencia para fauna marina



Fuente: Elaboración propia

En el diagrama anterior, la zona anaranjada corresponde al área donde el proyecto modifica los niveles de ruido de fondo y presenta potencialidad de afectación. Así también, la zona celeste representa la presencia de fauna marina y hábitats de relevancia, entre otros, que para efectos del SEIA se entenderá como área representativa. Finalmente, luego de un proceso iterativo, el AI del OP corresponderá al área de superposición entre el área de propagación con potencial de afectación y el área representativa.

## 2.2. Descripción del Área de Influencia

### 2.2.1. Descripción del AI y del OP fauna marina

La DIA y el EIA deben contener la determinación, justificación y descripción general del AI, la que se define y justifica para cada elemento del medio ambiente afectado, tomando en consideración los impactos ambientales potencialmente significativos sobre ellos, así como el espacio geográfico en el cual se emplazan las partes, obras o acciones del proyecto<sup>9</sup>.

La elección de la metodología para la descripción del AI pone el énfasis en la interacción que se produce entre las partes, obras y acciones del proyecto, con los OP receptores de impacto. Al enfatizar las interacciones, **la decisión respecto de la metodología y variables que se requieren para describir al receptor se fundamenta en el tipo de transformación predecible del receptor objeto de análisis y no en todos los atributos particulares del receptor afectado**. Además, al centrar el análisis en las interacciones es posible elegir la metodología y variables que mejor describen el estado actual y la probable transformación -el impacto- que experimentará el receptor durante y después que se haya ejecutado el proyecto.

<sup>9</sup> Ref. letra d) del artículo 18 y letra b.1 del artículo 19 del Reglamento del SEIA.

Conforme a lo anterior, el nivel de profundidad de la información estará dado por el impacto ambiental materia de análisis, lo que determina la metodología requerida y las variables a medir.

La Tabla 2 presenta un listado de efectos del ruido submarino en el OP fauna marina, específicamente sobre **mamíferos marinos**, que potencialmente se pueden ver afectados a consecuencia de la ejecución de un proyecto. Esta lista es ilustrativa y referencial y no es exhaustiva, por lo tanto, no incluye todos los potenciales impactos que pueden generarse en **mamíferos u otras especies**, siendo responsabilidad del titular recopilar y presentar dicha información.

**Tabla 2. Resumen de los efectos observados del ruido submarino en fauna marina**

<b>Fisiológicos</b>	<p><b>No auditivos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Daño a tejidos corporales</li> <li>● Posible inducción de embolismo gaseoso</li> <li>● Posible inducción de embolismo graso</li> </ul> <p><b>Auditivos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Daño grave al sistema auditivo</li> <li>● Pérdida Auditiva Permanente (PTS)</li> <li>● Pérdida Auditiva Temporal (TTS)</li> </ul>
<b>Conductuales</b>	<p><b>De percepción</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Enmascaramiento de la comunicación entre conespecíficos</li> <li>● Enmascaramiento de otros sonidos biológicos de importancia</li> </ul> <p><b>De comportamiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Desorientación y varamientos</li> <li>● Interrupción de hábitos normales como alimentación, reproducción o amamantamiento</li> <li>● Variación adaptativa de la vocalización, en intensidad y/o frecuencia</li> <li>● Abandono del área (de corto o largo plazo)</li> </ul>

Fuente: Traducido y adaptado de la Convención para la Protección del Medio Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste (OSPAR), 2009.

En el marco de la evaluación ambiental, los efectos antes descritos se agrupan en dos categorías principales: los **efectos fisiológicos**, que corresponden a efectos directos sobre la fisiología de la especie, tales como lesión física, pérdida temporal o permanente de la audición y, en general, efectos sobre la fisiología general de las especies; y los **efectos conductuales**, asociados al comportamiento propio de la especie en términos de sus dinámicas biológicas, de buceo, velocidad del nado, cambios en rutas migratorias, entre otros. De esta forma, **el análisis debe estar orientado a determinar mediante modelos de predicción para ruido submarino, el área geográfica donde existe el potencial de provocar efectos fisiológicos y conductuales**.

Así, para realizar una correcta evaluación se debe tener en cuenta que los animales tienen una sensibilidad auditiva que es propia de cada especie, la cual varía en función de la frecuencia del sonido. Por ello, y sobre todo en el caso de mamíferos marinos, se deben utilizar umbrales de afectación específicos para cada especie, basados en niveles de ruido ponderados en frecuencia. Incluso, estos umbrales integran la variable temporal, pues se definen según el tipo de ruido que se está evaluando (continuo o impulsivo).

A continuación se presentan algunos criterios para la delimitación y caracterización del AI de fauna marina:

- Identificar las especies de fauna marina presentes en el área afectada por las emisiones de ruido submarino.
- Considerar determinadas singularidades, tales como, sitios de nidificación, reproducción, alimentación o tránsito, o la proximidad con alguna AMP. Para esto se pueden utilizar mapas de distribución de fauna u otras fuentes de información (recopilación de información disponible en publicaciones científicas, informes de expertos, EIA o DIA precedentes, documentos sectoriales y bases de datos cartográficas, entre otras).
- Delimitar la superficie de los receptores de impactos. Para este caso se debe establecer un área representativa que dé cuenta de la movilidad de la fauna.
- Relacionar la ubicación de las fuentes con los receptores de impactos mediante la determinación de la distancia que los separa indicando las coordenadas UTM y Datum, representándolos en un plano georreferenciado que facilite la visualización del emplazamiento de las fuentes de ruido y los receptores<sup>10</sup>. Para efectos de la determinación de la distancia entre la fuente y el receptor se debe considerar el emplazamiento de la fuente emisora en su ubicación más desfavorable respecto al receptor, que en principio corresponde al punto más cercano al receptor o área representativa.

A continuación se dan a conocer los contenidos mínimos que deben ser presentados sobre la **metodología utilizada para la descripción del AI**. Sin perjuicio de ello, el titular debe proporcionar toda la información que permita describirla y caracterizarla adecuadamente.

- a. Proveer el modelo conceptual de impactos, identificando los impactos y señalando en forma expresa las interacciones entre los componentes fauna marina y ecosistema.
- b. Indicar y justificar el número de campañas de terreno y las fechas en las cuales se efectuó el levantamiento de la información, los horarios en que se realizaron, el número de muestras (si corresponde), y el número de réplicas de muestreo. Justificar la idoneidad de realizar una o más campañas de terreno anuales (estacionalidad).
- c. Indicar las bases de datos utilizadas como información de apoyo, indicando datos técnicos tales como origen y año de obtención de la información, series de tiempo incluidas, llenado de datos faltantes, validación de los datos, revisión bibliográfica de especies potencialmente presentes en el AI, entre otros.
- d. Indicar las bases de datos cartográficas utilizadas como información de apoyo, señalando datos tales como:
  - Origen y año de obtención de la información.
  - Escala, datum y huso.
  - Tipo de sensor y fecha de captura de la información (fotografías aéreas o imágenes satelitales).
- e. Presentar cartografía de hábitats para fauna utilizando archivos preferentemente en formato shp (*shapefile*), compatible con la mayoría de las herramientas SIG, sin perjuicio que adicionalmente se presenten en formatos dwg, dxf (*Autocad*), kml o kmz (*Google Earth*). Se debe indicar:
  - Si corresponde a levantamiento propio o levantamiento existente
  - Método

---

<sup>10</sup> El análisis sobre la determinación del AI de la fauna marina debe realizarse en consideración a las ubicaciones de los receptores respecto de las fuentes de ruido para las distintas fases que contempla el proyecto y los niveles de emisión máximos que se generen durante la ejecución de las distintas fases, considerando la emisión simultánea de fuentes.

- Superficie
  - Escala, datum y huso
  - Base topográfica (IGM, propia, otra)
  - Intensidad y distribución del muestreo
  - Sistema de clasificación utilizado
  - Número de polígonos descritos en terreno
  - Método de extrapolación de datos
  - Exactitud y validación de la cartografía
  - Softwares utilizados
  - Otros
- f. Indicar los métodos utilizados para la descripción de fauna, detallando:
- Nombre(s) de la(s) metodología(s)
  - Superficie de muestreo
  - Diseño muestral (tamaño y distribución de la muestra)
  - Georreferencia de cada descripción o unidad muestral
  - Variables medidas y su justificación
  - Número de campañas y estacionalidad del muestreo
  - Método de extrapolación de datos y justificación
  - Validación de las estimaciones obtenidas con modelos
  - Referencias bibliográficas
  - Otros
- g. Con el objetivo de sistematizar la información sobre la descripción de especies de fauna, la información de las especies identificadas y su localización según los métodos utilizados, esta debe ser incorporada en una planilla de registro de especímenes de fauna<sup>11</sup>.

---

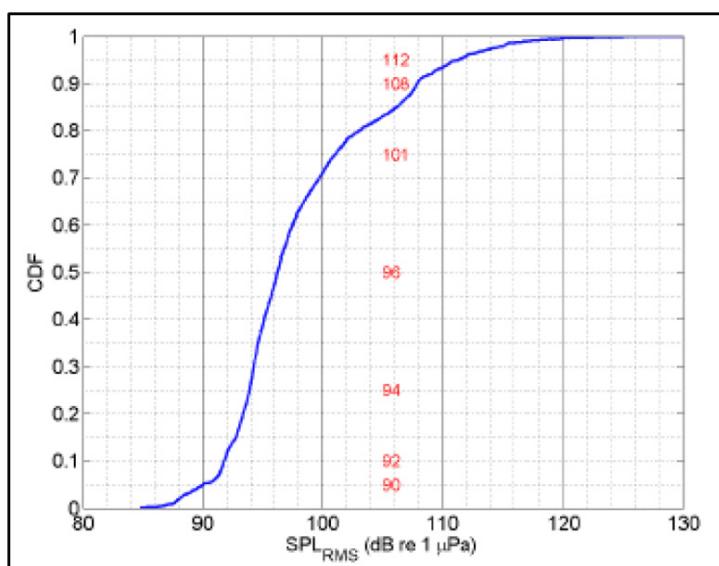
<sup>11</sup> Usar como referencia la ficha presentada en el Anexo II de la Guía para la Descripción de los Componentes Suelo, Flora y Fauna de Ecosistemas Terrestres en el SEIA (SEA, 2015), o la que la reemplace.

## 2.2.2. Niveles de ruido de fondo o niveles basales

Respecto de las mediciones de ruido de fondo o niveles basales previos a la ejecución del proyecto, como información descriptiva del AI en una DIA o EIA, se deberá tener presente que:

- a. Las mediciones deben representar y caracterizar el AI, en particular, donde se ubiquen los receptores identificados. Los registros se deberán realizar alejados del fondo marino y de la superficie, siendo adecuado mantener una altura de al menos 4 m sobre el fondo y una profundidad mínima de 20 m bajo la superficie.
- b. Las mediciones deben realizarse en los horarios y periodos en que se desarrollarán las actividades emisoras en cada fase del proyecto, y también considerar las épocas de mayor sensibilidad<sup>12</sup> para las especies identificadas en el AI.
- c. Las mediciones deberán describir los niveles de ruido de fondo característicos y representativos del sector evaluado, principalmente en aquellos momentos y condiciones de menores niveles basales como situación más desfavorable, lo que dependerá de las condiciones oceanográficas, meteorológicas y la presencia de fuentes sonoras antropogénicas. Una escala de Beaufort menor o igual a 3, en ausencia de lluvia y, en lo posible, en ausencia o baja influencia de fuentes antropogénicas, se considera óptimo para caracterizar dicha condición.
- d. Los niveles de ruido de fondo deberán caracterizarse a partir del descriptor Nivel de Presión Sonora SPLrms, en dB re 1 $\mu$ Pa, presentando el valor global y en bandas de 1/3 de octava de frecuencia, al menos en el rango comprendido entre 20 Hz y 10 kHz.
- e. Para el procesamiento de datos se recomienda considerar ventanas de tiempo estrechas (ejemplo, de 1 minuto), con el objetivo de capturar las variaciones temporales de los niveles de ruido.
- f. Con todas las muestras obtenidas se deberán establecer medidas de tendencia central y de dispersión, como el valor promedio, la mediana y percentiles para describir la variación de los niveles de ruido de fondo. A modo de ejemplo, la siguiente figura muestra la función de distribución acumulativa de niveles de ruido de fondo, en donde se aprecia que el percentil 50 es 96 dB, el percentil 5 es 90 dB y el percentil 95 es 112 dB:

**Figura 1. Función de distribución acumulativa de niveles de ruido de fondo**



Fuente: Stockham, 2010.

<sup>12</sup> En relación con su abundancia o éxito reproductivo y en las cuales sea prevista una coincidencia con las actividades del proyecto; dichas épocas deberán ser descritas de manera detallada y justificada de acuerdo con la estacionalidad de cada especie.

g. La descripción de la metodología e instrumental de medición deberá considerar:

- Ubicación del punto de medición (coordenadas UTM) y profundidad de las mediciones.
- Describir y justificar la duración, periodicidad y cantidad de muestras realizadas, y descripción de la metodología de análisis de los registros.
- Descripción de la cadena electroacústica, identificando marca y modelo de sus componentes como: hidrófono, preamplificador, sistema de grabación, entre otros. Incluyendo la descripción del anclaje o técnica de soporte del hidrófono.
- Rangos de temperatura y profundidad de operación del hidrófono.
- Sensibilidad del hidrófono en el dominio de la frecuencia, medida según normas técnicas: IEC 60565, BS 60565 o ANSI S1.20.
- Frecuencia de muestreo empleada (48 kHz superior), rango de frecuencia y rango dinámico de la cadena electroacústica (resolución mínima de 24 bit).
- Calibración de la cadena electroacústica completa, aplicando el método descrito en la guía técnica estadounidense Caltrans (Caltrans, 2020b; punto II.3.3.1), mediante pistófono de baja frecuencia y sonómetro de referencia, el que deberá contar con su respectivo certificado de calibración periódica emitido por el ISP.

## 3. Predicción de impactos

La predicción de impactos corresponde a una estimación objetiva de los niveles de ruido submarino que genera el proyecto en los receptores identificados.

El nivel de ruido estimado sobre los receptores se denomina **nivel recibido (RL<sup>13</sup>)**. Este parámetro dependerá del **nivel de fuente (SL)** y la **pérdida por transmisión (TL<sup>14</sup>)**, la cual considera los distintos factores de atenuación que intervienen en el camino fuente-receptor tales como: la distancia recorrida, la batimetría, la absorción del medio, reflexiones en el fondo marino y en la superficie, entre otros (ver Ecuación 1).

$$RL = SL - TL \quad (\text{Ecuación 1})$$

Por lo tanto, para un nivel de fuente SL dado, los modelos de predicción de ruido submarino se centran en estimar el valor de la pérdida por transmisión TL.

### 3.1. Modelos de predicción de ruido submarino

#### 3.1.1. Modelos simples

Estas estimaciones consideran como principal factor la divergencia geométrica de la onda acústica. Para lo anterior se utiliza la expresión  $TL = k \log(r)$ , en donde "r" es la distancia entre la fuente y el receptor (en metros) y "k" es el factor de divergencia geométrica.

---

<sup>13</sup> Del inglés *Received Level*, medido en dB re 1μPa o dB re 1μPa·s<sup>2</sup>, según corresponda al nivel de fuente SL.

<sup>14</sup> Del inglés *Transmision Loss*, medido en dB.

Un factor  $k=20$  considera una propagación esférica, mientras que un factor  $k=10$  considera una propagación de tipo cilíndrica. Se recomienda emplear valores intermedios ( $k=15$ ) o una combinación de ambos tipos de propagación, de acuerdo con la profundidad y distancia fuente-receptor<sup>15</sup>.

Estas proyecciones podrían complementarse incorporando el factor de pérdida asociado a la absorción del agua. En dicho caso, deberá describirse detalladamente el modelo empleado y las variables de entrada empleadas tales como, temperatura, salinidad, pH, según corresponda; además de la procedencia de dicha información. Para todos los efectos, cabe tener presente la baja influencia de este factor para frecuencias menores a 10 kHz y rangos de distancia del orden de 1 km.

### 3.1.2 Modelos semi-empíricos

Estos modelos permiten obtener predicciones razonables en situaciones con batimetría regular o de pendiente uniforme.

Entre estos modelos podrá considerarse el de Marsh and Schulkin<sup>16</sup>, también denominado modelo Colossus, el cual es apropiado para aguas poco profundas, y considera entre sus variables el tipo de fondo, la profundidad y el perfil de velocidad del sonido.

De otro modo, podrá emplearse el modelo de Anstie<sup>17</sup> el cual es útil en aguas poco profundas y considera la interacción con el fondo marino según el tipo de sedimento.

El uso de estas ecuaciones permite incorporar factores como la absorción del medio y la reflexión en el fondo marino. No obstante, se debe tener presente que estos métodos presentan validez bajo ciertas condiciones de profundidad en relación con la longitud de onda, rango de distancia, características físicas del fondo marino, entre otros parámetros, lo que debe ser descrito de forma detallada para fines de validar técnicamente su aplicación al proyecto o actividad en evaluación.

### 3.1.3. Modelos físicos

Estos modelos ofrecen mayor precisión que los métodos anteriores, pero presentan una alta complejidad de aplicación. Su utilización permite estimar el valor de TL considerando parámetros físicos complejos como batimetría irregular o un perfil de velocidad del sonido altamente variable con la profundidad. Los principales modelos a emplear son:

- a. **Modelos tipo ecuación parabólica:** el más utilizado es el método RAM (*Range-dependent Acoustic Model*), el cual permite utilizar un fondo marino con variaciones de profundidad. Este modelo se recomienda para aquellos casos que presentan mucha variación de los parámetros físicos con la distancia (*range dependent*), más bien para estimaciones de baja frecuencia.
- b. **Modelos por rayos:** en estos modelos se estima la trayectoria del sonido dependiendo de sus interacciones con el medio. Se adaptan bien a un perfil de velocidad del sonido que cambia con la profundidad y estiman la intensidad local del sonido a partir de la densidad de rayos en el punto de interés (receptor). Típicamente estos modelos permiten una buena visualización y resultados a través de cálculos relativamente rápidos, siendo más apropiados para alta frecuencia, aguas profundas y largas distancias.
- c. **Modelos por modos:** se adaptan mejor en situaciones en que las condiciones físicas son homogéneas y no cambian con la distancia a la fuente, por ejemplo, cuando la fuente de ruido se encuentra en alta mar, con pocas variaciones de batimetría y un suelo homogéneo. Estos modelos se recomiendan mayormente para casos que no presentan una variación de los parámetros físicos con la distancia (*range independent*).

---

<sup>15</sup> Ref. JASCO Applied Sciences (2011). Capítulo 3.B.

<sup>16</sup> Ref. Urick (2013). Capítulo 6.

<sup>17</sup> Ref. Dekeling et. al, (2014). Capítulo 2.1.3.

La siguiente Tabla presenta criterios para la aplicación de los modelos antes mencionados.

**Tabla 3. Dominios de aplicabilidad de modelos de propagación acústica submarina**

Tipo de modelo	Aguas poco profundas				Aguas profundas			
	Baja frecuencia		Alta frecuencia		Baja frecuencia		Alta frecuencia	
	RI	RD	RI	RD	RI	RD	RI	RD
Rayos								
Modos								
Ecuación parabólica								

 Bien adaptado	 Adaptado con limitaciones	 Mal adaptado
---	---	--

Notas:

Baja frecuencia (<500 Hz) - Alta frecuencia (>500 Hz)

**RI:** range independent, parámetros físicos independientes de la distancia

**RD:** range dependent, parámetros físicos dependientes de la distancia

Fuente: Traducción y adaptación de Etter, 2018.

Para la aplicación de dichos modelos se entiende como aguas poco profundas aquellas profundidades en las que el sonido interactúa de forma significativa con el fondo marino. Normalmente se considera una profundidad máxima de 200 m para delimitar las regiones de aguas profundas y poco profundas.

El uso de cualquiera de los modelos antes mencionados debe ser técnicamente justificado de acuerdo con el caso en estudio. A la vez, se deben describir las variables de entrada consideradas como batimetría, tipo de fondo marino, perfil de velocidad del sonido, profundidad y su relación con la longitud de onda, distancia máxima de proyección, todo lo cual debe justificar técnicamente la validez del modelo aplicado.

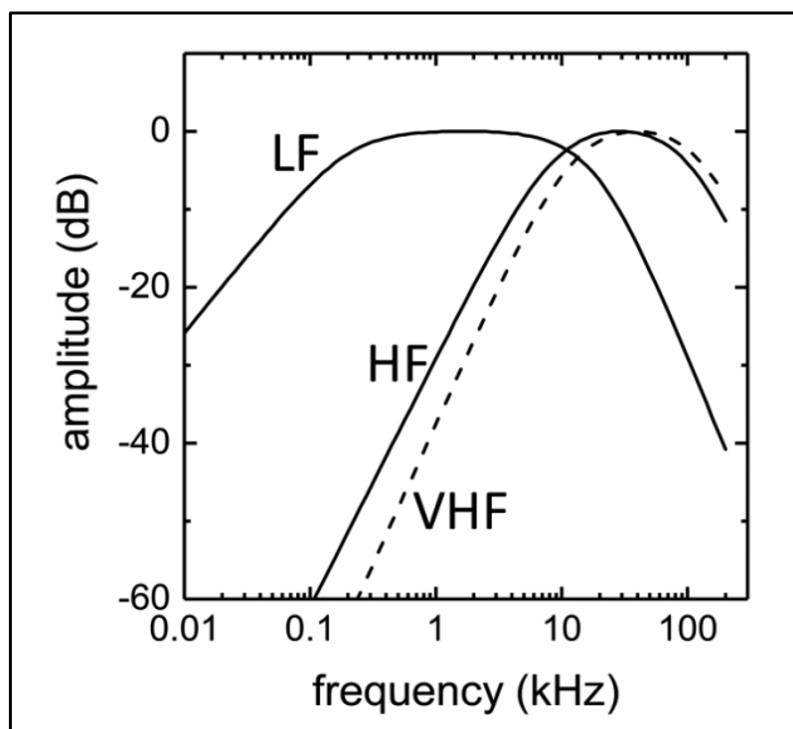
### 3.2. Predicción de niveles de ruido submarino: resultados esperados

Como resultados de las predicciones de ruido submarino, se deberá presentar:

- Una representación cartográfica de los niveles de ruido estimados (mapa de ruido), en la cual se deberá señalar la ubicación de las fuentes de ruido, las curvas isofónicas obtenidas y la ubicación de los receptores identificados en el AI.
- En dicha gráfica las curvas isofónicas deberán presentarse en función de los descriptores  $SPL_{rms}$  o  $SPL_{peak}$  (en dB re 1 $\mu$ Pa), o el descriptor SEL (en dB re 1 $\mu$ Pa·s<sup>2</sup>), lo que dependerá del tipo de ruido emitido por la fuente (continuo o impulsivo) y del umbral de referencia aplicado en la evaluación, a fin de utilizar descriptores comparables.
- Cuando se trate de mamíferos marinos, los niveles de ruido estimados deberán estar ponderados en frecuencia, con el fin de predecir debidamente el impacto, considerando la sensibilidad propia de la especie en evaluación, la cual varía en función de la frecuencia del sonido. En dicho caso, se requiere especificar la ponderación en frecuencia aplicada y la especie o grupo de estas a la cual está asociada.

Para ejemplificar lo anterior, se presentan en la siguiente Figura las funciones de ponderación (en frecuencia) para mamíferos marinos según Southall *et al* (2019), en donde LF: Mamíferos de baja frecuencia (ejemplo, ballena azul, ballena jorobada), HF: Mamíferos de alta frecuencia (ejemplo, delfín común, delfín nariz de botella), y VHF: Mamíferos de muy alta frecuencia (ejemplo, delfín austral, delfín chileno).

**Figura 2. Funciones de ponderación auditiva para mamíferos marinos según Southall *et al* 2019**



Fuente: Southall *et al*, 2019.

## 4. Evaluación de impactos

Con la finalidad de evaluar si los impactos identificados y proyectados son significativos, los niveles de ruido estimados sobre los receptores deberán compararse con umbrales de afectación específicos según la especie evaluada. Dichos umbrales de referencia se determinarán según:

- a. **El tipo de ruido emitido por la fuente:** los umbrales de referencia dependerán si se trata de ruido continuo o impulsivo. Para el segundo caso, deberá indicarse si se trata de ruido de pulso único o pulsos múltiples.
- b. **La especie evaluada:** los umbrales de referencia serán específicos y diferenciados según la especie evaluada o grupos de estas, por ejemplo, peces, tortugas y mamíferos marinos. Para el caso de mamíferos deberá considerarse la sensibilidad auditiva en el dominio de frecuencia mediante funciones de ponderación auditiva.
- c. **El tipo de efecto que representan:** se deberán establecer y distinguir umbrales según estén asociados a efectos fisiológicos y efectos conductuales.

Para fines de establecer los umbrales de referencia más adecuados al caso, podrán considerarse las siguientes guías técnicas y referencias bibliográficas:

**Tabla 4. Referencias para la determinación de umbrales de referencia para la evaluación de impacto por ruido submarino**

Grupo	Referencia
Mamíferos <sup>a</sup>	<i>2018 Revision to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (NMFS, 2018).</i>
	<i>Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations (Southall et al, 2007).</i>
	<i>Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects (Southall et al, 2019).</i>
Peces	<i>Hydroacoustic Biological Assessment Guidance (CALTRANS, 2020).</i>
	<i>Biological Assessment Preparation Manual, Cap. 7.2. (WSDOT, 2020).</i>
	<i>Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles (Popper et al, 2014).</i>
Tortugas	<i>Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles (Popper et al, 2014).</i>
	<i>Criteria and Thresholds for U.S. Navy Acoustic and Explosive Effects Analysis (Finneran et al, 2017).</i>

<sup>a</sup> La referencia Southall (2007) deberá considerarse para evaluar efectos conductuales. Para efectos fisiológicos, deberá considerarse la referencia actualizada de dicho autor (2019) o el criterio NMFS (2018).

Fuente: Elaboración propia

En cada caso se deberá aplicar el umbral de referencia que permita evaluar de la forma más adecuada el impacto sobre la especie identificada como receptor, lo que deberá ser descrito y justificado a partir de los criterios antes mencionados<sup>18</sup>. En caso de ausencia o falta de información para la definición de umbrales de afectación, la evaluación deberá realizarse bajo un criterio preventivo, estableciendo aquellas acciones y condiciones que permiten evitar la ocurrencia de impacto.

Habiendo definido los umbrales de referencia, se deberá determinar y representar cartográficamente el área geográfica en torno al proyecto donde se superan los umbrales asociados a efectos fisiológicos y a efectos conductuales definidos para cada especie. Estas áreas se considerarán como “zonas de impacto” y su alcance geográfico deberá ser contrastado con las áreas con presencia de receptores.

Por último, para fines de evaluar la significancia del impacto, primará lo establecido en el artículo 6º del Reglamento del SEIA, en cuanto a que se considerará como efecto adverso significativo cuando, entre otras circunstancias, las emisiones de ruido del proyecto **“alteren las condiciones que hacen posible la presencia y desarrollo de las especies y ecosistemas”**.

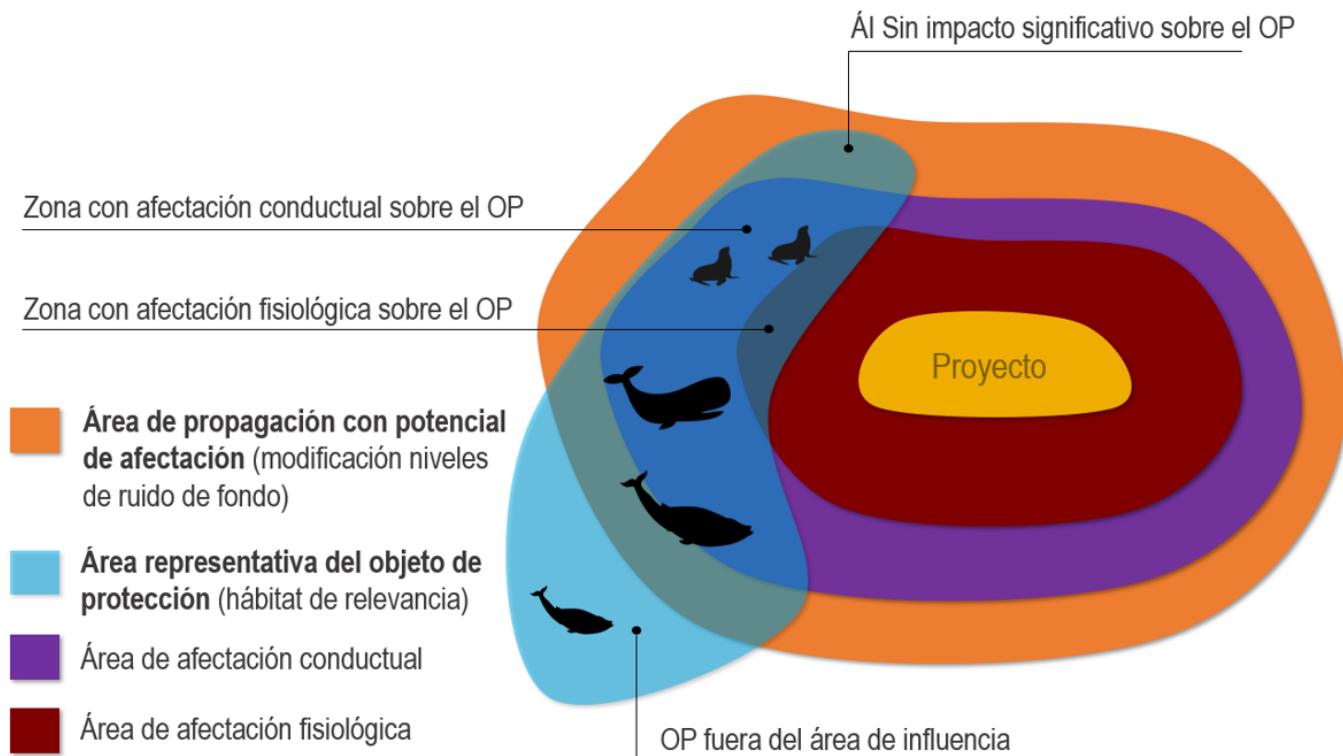
Sobre la base de lo anterior:

- Cuando los receptores presenten un nivel de exposición a ruido igual o superior a los umbrales de referencia asociados a efectos fisiológicos, se considerará que el impacto ocasionado es significativo.
- Cuando los receptores presenten un nivel de exposición a ruido igual o superior a los umbrales de referencia asociados a efectos conductuales, deberán presentarse aquellos antecedentes que permitan evaluar y justificar fundadamente si dicho impacto es o no significativo, considerando variables como: el tipo de efecto conductual ocasionado, la magnitud del área impactada y su relevancia para el desarrollo de la especie, la frecuencia y duración del impacto y su coincidencia con épocas críticas, entre otros que se estime relevante para el caso. Lo anterior deberá ser contrastado con parámetros poblacionales de las especies que pudieran verse afectadas producto de la superación de estos umbrales de referencia.

<sup>18</sup> Estas citas son referenciales, por lo tanto, el titular debe siempre justificar el uso de la bibliografía más adecuada según la especie que se pretenda describir. Al respecto, podrán existir otras referencias que el titular podrá implementar, siempre y cuando se entregue fundamento suficiente al respecto.

El Diagrama 2 presenta de forma gráfica la aplicación de dichos criterios:

**Diagrama 2. Evaluación de la significancia del impacto**



Fuente: Elaboración propia

El diagrama anterior muestra un polígono representativo de los límites del proyecto (en amarillo, partes, obras o acciones), un área representativa asociada al OP y la extensión del AI que se configura **dentro del área de propagación con potencial de afectación**. A su vez, se aprecia que al interior del AI existen zonas de afectación fisiológica y conductual, en donde deberá evaluarse si dichos impactos son significativos de acuerdo con los criterios descritos anteriormente. De la misma forma, se aprecian secciones del área representativa del objeto de protección en donde no se identifican impactos, o bien, donde el impacto previsto no es significativo.

## 5. Recomendaciones finales

Con la finalidad prevenir, reducir y gestionar los impactos asociados al ruido submarino, se identifican los siguientes tipos de acciones.

- Planificación de actividades:** para reducir o evitar el impacto se propone previo al ingreso del proyecto al SEIA, analizar modificaciones a la planificación temporal y espacial de la actividad, cuando sea posible, prefiriendo aquellas épocas de menor sensibilidad para los receptores identificados y, además, aumentar la distancia fuente-receptor al máximo posible.
- Disminución de la emisión de ruido en la fuente:** consiste en incorporar soluciones de diseño y mejoras técnicas al proyecto que permitan disminuir su emisión de ruido. Un ejemplo de ello es preferir la técnica de hincado vibratorio por sobre la de impacto, o reemplazar el uso de explosivos por tecnología plasma o cemento expansivo en el caso de tronaduras. Todo lo cual se recomienda evaluar previo al ingreso del proyecto, de forma tal que sean parte de la descripción de este.

- c. **Uso de pantallas acústicas:** corresponden a medidas de control que se aplican generalmente para ruidos localizados. Una tecnología común para atenuar la propagación del sonido son las cortinas de burbujas, que funcionan como barreras acústicas. De otro modo, es posible construir una estructura hermética que rodee completamente la fuente (por ejemplo, máquina de hincado), extrayendo el agua de la cavidad interior.
- d. **Zonas de exclusión, observación y monitoreo acústico:** consiste en realizar observación de fauna marina, especialmente mamíferos marinos de forma previa, durante y posterior a la ejecución de actividades generadoras de ruido, resguardando el ingreso y presencia de receptores a zonas de exclusión previamente definidas. Complementariamente, se recomienda realizar monitoreo acústico pasivo para medir los niveles de ruido emitidos por la actividad en el AI y para la detección de receptores.

La siguiente Tabla presenta un listado referencial de distintas acciones de control y gestión de impactos para actividades específicas, de acuerdo con su estado avance y que deben ser consideradas y descritas previo al ingreso del SEIA. Dicho listado es orientativo y referencial, por lo que no abarca todas las fuentes de ruido y acciones de control posibles de implementar.

**Tabla 5. Listado de acciones para el control y gestión de impactos por ruido submarino**

Estado de avance de la actividad	Acción de control o gestión	Hincado de pilotes, perforación y dragado	Explosivos (tronaduras)
Planificación de la actividad	Analizar previamente la presencia de receptores en los períodos aptos para el trabajo.	●	●
	Seleccionar períodos de baja sensibilidad biológica.	●	●
	Utilizar los resultados del modelo de propagación del ruido (con verificación en campo) para establecer las zonas de exclusión.	●	●
	Planificar el uso de fuentes con la menor emisión de ruido posible (o menor carga explosiva).	●	●
	Considerar mejores técnicas disponibles.	●	
	Planificar el uso de técnicas de atenuación de ruido (pantallas acústicas o cortinas de burbujas).	●	

Ejecución de la actividad	Utilizar dispositivos de mitigación acústica previo al inicio de la actividad.	●	●
	Utilizar tecnologías de atenuación del ruido, por ejemplo, cortina de burbujas o pantallas acústicas.	●	●
	Aplicar un protocolo de inicio gradual ( <i>soft start</i> ).	●	●
	Aplicar un protocolo de supervisión visual.	●	●
	Aplicar un protocolo de monitoreo acústico pasivo.	●	●
	Informar de forma detallada sobre la adopción de acciones de control y gestión durante la ejecución de la actividad.	●	●

Fuente: Elaboración propia a partir de la Guía Accobams (2016).

## 6. Bibliografía

Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area (Accobams). 2016. Methodological guide: "Guidance on underwater noise mitigation measures". ACCOBAMS-MOP6/2016/Doc30.

Dekeling, R.P.A., Tasker, M.L., Van der Graaf, A.J., Ainslie, M.A., Andersson, M.H., André, M., Borsani, J.F., Brensing, K., Castellote, M., Cronin, D., Dalen, J., Folegot, T., Leaper, R., Pajala, J., Redman, P., Robinson, S.P., Sigray, P., Sutton, G., Thomsen, F., Werner, S., Wittekind, D., Young, J.V. 2014. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part III: Background Information and Annexes, JRC Scientific and Policy Report EUR 26556 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2014, doi: 10.2788/2808.

California Department of Transportation (Caltrans). 2020a. Hydroacoustic Biological Assessment Guidance.

California Department of Transportation (Caltrans). 2020b. Technical Guidance for Assessment and Mitigation of Hydroacoustic Effects of Pile Driving on Fish.

Etter, P.C. 2018. Underwater Acoustic Modeling and Simulation.

Finneran, J.J., E.E. Henderson, D.S. Houser, K. Jenkins, S. Kotecki, J. Mulsow. 2017. Criteria and Thresholds for U.S. Navy Acoustic and Explosive Effects Analysis (Phase III). Technical report by Space and Naval Warfare Systems Center Pacific (SSC Pacific).

Hildebrand, J. A. 2009. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. Marine Ecology Progress Series, 395, 5-20.

Jasco Applied Sciences. 2011. Underwater Acoustics: Noise and Effects on Marine Mammals.

McCauley, R.D., J. Fewtrell, A.J. Duncan, C. Jenner, M-N. Jenner, J.D. Penrose, R.I.T. Prince, A. Adhitya, J. Murdoch, K. McCabe. 2000. Marine seismic surveys - a study of environmental implications.

National Measurement Office, Marine Scotland, The Crown Estate, Robinson, S.P., Lepper, P.A. and Hazelwood, R.A. 2014. Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement. NPL Good Practice Guide No. 133, ISSN: 1368-6550, 2014.

OPSPAR Comission. 2009. Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment.

Popper, A.N., A.D. Hawkins, R.R. Fay, D. Mann, S. Bartol, T. Carlson, S. Coombs, W.T. Ellison, R. Gentry, M.B. Halvorsen, S. Løkkeborg. 2014. Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI. ASA S3/SC1. 4 TR-2014.

Popper, A.N., A.D. Hawkins, Halvorsen M.B. 2019. Anthropogenic Sound and Fishes. Washington State Department of Transportation.

Schulkin M. y Mercer J.A. 1985. Colossus Revisited: A Review and Extension of the Marsh-Schulkin Shallow Water Transmission Loss Model, Applied Physics Laboratory, University of Washington, APL-UW 8508.

Southall, B.J., A.E. Bowles, W.T. Ellison, Finneran J.J., R.L. Gentry, C.R. Greene Jr., D. Kastak, D.R. Ketten, J.H. Miller, P.E. Nachtigall, W.J. Richardson, J.A. Thomas, and P.L. Tyack. 2007. Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations. Aquatic Mammals 33:(44) 411-521.

Southall B. J., Finneran J. J., Reichmuth C., Nachtigall P. E., Ketten D. R., Bowles A. E., Ellison W. T., Nowacek D. P., Tyack P. L. 2019. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. Aquatic Mammals 45:(2) 125-232.

Stockham, M. L., P. H. Dahl, P.G. Reinhard. 2010. Analysis of the Port Townsend underwater acoustic background, Final Report to WSF and WSDOT, Aug. 2010.

U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS). 2016. Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing: Underwater Acoustic Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Department of Commerce, NOAA. NOAA Technical memorandum NMFS-OPR-55: 189.

U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS). 2018. Revisions to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Department of Commerce, NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59.

Urick R. J. 2013. Principles of Underwater Sound Hardcover. Third Edition.

Washington State Department of Transportation (WSDOT). 2020. Biological Assessment Preparation Manual. Section 7.2 Construction Noise Impact Assessment - Underwater Noise, Updated August 2020.

