



# Estudio de Impacto Ambiental para la perforación del pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1 en el Bloque CAN\_100

Informe de Avance de la Modelación Acústica

Agosto 2022

Proyecto No.: 0582679

<b>Detalles del documento</b>	
Título del documento	Estudio de Impacto Ambiental para la perforación del pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1 en el Bloque CAN_100
Subtítulo del documento	Informe de Avance de la Modelación Acústica
Proyecto No.	0582679
Fecha	24 Agosto 2022
Versión	1.0
Autor	Juan Bautista Allegrino
Nombre del cliente	EQUINOR ARGENTINA B.V. Sucursal Argentina

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>ACÚSTICA SUBMARINA .....</b>	<b>3</b>
2.1	Generación de Sonido Subacuático .....	3
2.1.1	Fuentes de Sonido de Baja Frecuencia .....	4
2.1.2	Fuentes de Sonido de Alta Frecuencia .....	4
2.1.3	Rangos de Nivel Sonoro .....	4
2.2	Terminología .....	4
2.2.1	Pulsos .....	4
2.2.2	Sonidos Intermitentes o Continuos (No Pulsaciones) .....	4
2.2.3	Intensidad de Sonido .....	5
2.2.4	Duración .....	5
2.3	Métricas de Evaluación Acústica .....	5
2.3.1	Nivel de Presión Sonora (SPL) .....	5
2.3.2	Nivel de Presión Sonora Pico (Peak Level) .....	5
2.3.3	Nivel de Presión Sonora Pico a Pico (Peak to Peak) .....	6
2.3.4	Nivel de Presión Sonora Raíz Cuadrática Media ( $SPL_{rms}$ ) .....	6
2.3.5	Nivel de Exposición al Sonido (SEL) .....	6
2.3.6	Nivel de Exposición al Sonido Acumulado ( $SEL_{CUM}$ ) .....	7
2.3.7	Nivel de la Fuente (SL) .....	7
2.3.8	Pérdida por Transmisión (TL) .....	7
2.3.9	Pérdida por Esparcimiento Esférico – Spherical Spreading .....	7
2.3.10	Pérdida por Esparcimiento Cilíndrico–Cylindrical Spreading .....	8
2.3.11	Pérdida por Propagación Combinada .....	8
2.3.12	Atenuación .....	8
2.3.13	Nivel Recibido de Presión Sonora Recibido (RL) .....	8
2.4	Análisis de 1/3 de Octava de Banda .....	8
<b>3.</b>	<b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO DEL RUIDO SUBMARINO .....</b>	<b>10</b>
3.1	Mamíferos Marinos .....	10
3.2	Peces, Huevos, Larvas y Tortugas Marinas .....	11
<b>4.</b>	<b>MODELACIÓN ACÚSTICA .....</b>	<b>13</b>
4.1	Escenarios Modelados .....	13
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>20</b>
5.1	VSP .....	20
5.1.1	Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación .....	20
5.2	Buque de Perforación (Drillship) .....	21
5.2.1	Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación .....	21
5.3	Buque de perforación (Drillship) más dos (2) Embarcaciones de Apoyo .....	22
5.3.1	Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación .....	22
5.4	DP-AT (1 Transductor en superficie + 4 Transpondedores en el fondo) .....	23
5.4.1	Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación .....	23

## Lista de tablas

Tabla 2-1: Niveles sonoros subacuáticos indicativos, durante la perforación exploratoria .....	4
Tabla 3-1: Criterios de evaluación para mamíferos marinos, según Southall et al., 2019. ....	11
Tabla 3-2: Criterios de evaluación para peces, huevos, larvas y tortugas marinas, según Popper et al., 2014.....	12
Tabla 4-1: Escenarios distintos en cuanto a tipo de sedimento, espesor de la capa de sedimentos y valores de las propiedades geoacústicas correspondientes. ....	16
Tabla 5-1: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Southall et al., 2019 .....	20
Tabla 5-2: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Popper et al., 2014.....	20
Tabla 5-3: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Southall et al., 2019 .....	21
Tabla 5-4: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Popper et al., 2014.....	21
Tabla 5-5: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Southall et al., 2019 .....	22
Tabla 5-6: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Popper et al., 2014.....	22
Tabla 5-7: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Southall et al., 2019 .....	23
Tabla 5-8: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Popper et al., 2014.....	23

## Lista de figuras

Figura 1-1: Bloque CAN_100 y pozo EQN.MC.A.x-1 .....	2
Figura 2-1: Onda sonora .....	3
Figura 2-2: Bandas de un tercio de octava mostradas en una escala de frecuencia lineal y en una escala logarítmica .....	9
Figura 4-1: Configuración del arreglo del VSP .....	14
Figura 4-2: Modelo del Buque de perforación o drillship y las hélices consideradas .....	15
Figura 4-3: Modelo de embarcaciones de apoyo .....	16
Figura 4-4: Pérdidas de intensidad sonora por Transmisión para los distintos Escenarios planteados .....	18
Figura 4-5: Pérdidas de intensidad sonora por Transmisión para los distintos Escenarios planteados .....	19

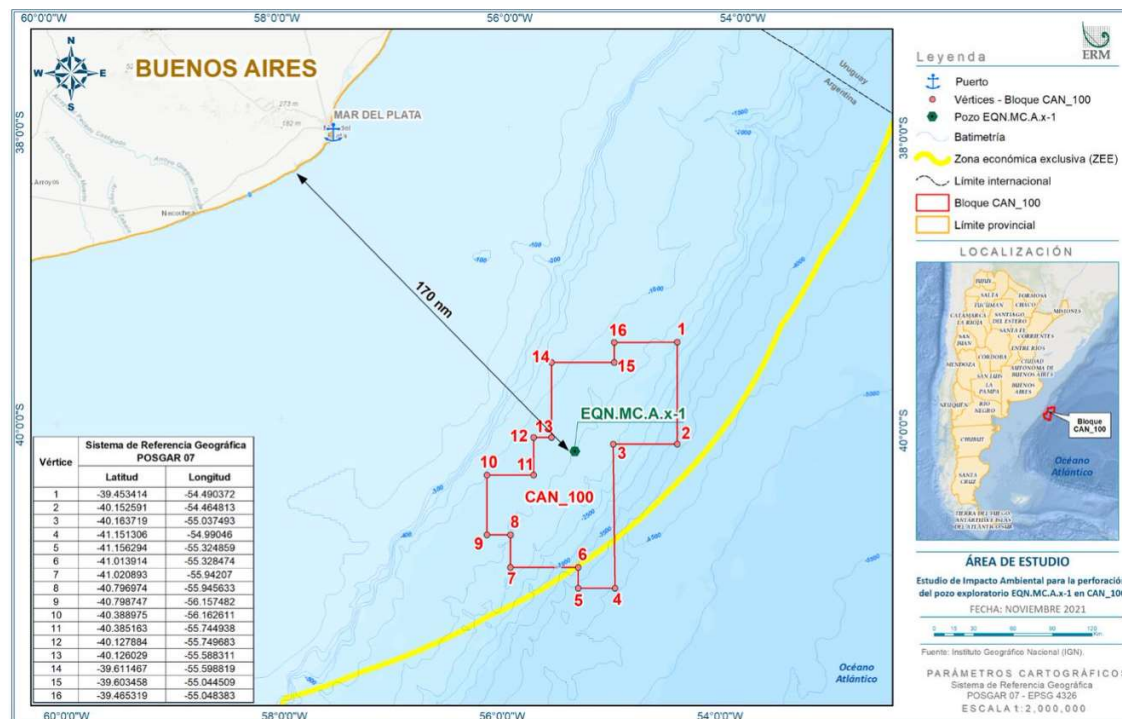
## Siglas y abreviaturas

CAN_100	Cuenca Argentina Norte_100
cm	Centímetro
dB	Decibeles
DP-AT	Transmisores acústicos con sistema de posicionamiento dinámico
Equinor	EQUINOR ARGENTINA B.V. Sucursal Argentina
<i>et al.</i>	Et alii (y colaboradores, en latín)
MODU	Unidad móvil de perforación costa afuera
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
μPa	Micropascales
Pa	Pascales
PTS	Cambio de umbral permanente (por sus siglas en inglés)
SEL	Nivel de Exposición al Sonido (por sus siglas en inglés)
SELcum	Nivel de Exposición al Sonido acumulado
SL	Nivel de la fuente (por sus siglas en inglés)
SPL	Nivel de Presión Sonora (por sus siglas en inglés)
SPLrms	Nivel de Presión Sonora Raíz Cuadrática Media (por sus siglas en inglés)
TL	Perdida por Transmisión (por sus siglas en inglés)
TTS	Cambio de umbral temporal (por sus siglas en inglés)
VSP	Perfil Sísmico Vertical
ZEE	Zona económica exclusiva

## 1. INTRODUCCIÓN

EQUINOR ARGENTINA B.V. tiene previsto perforar el pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1 en el Bloque CAN\_100, que se ubica frente a la costa de la provincia de Buenos Aires, en el Margen Continental Argentino, más precisamente en la cuenca Colorado marina, dentro de la Cuenca Argentina Norte. El bloque, se extiende aproximadamente entre 39.5°S y 41.2°S y entre 54.5°O y 56.2°O y está circunscripto casi en su totalidad a la Zona Económica Exclusiva Argentina (ZEE), aproximadamente a 300 km de la costa más cercana (Figura 1-1). Las coordenadas geográficas del pozo de exploración EQN.MC.A.x-1 (WGS84) son:

- Latitud: 40 ° 13 '13.98 "S
- Longitud: 055 ° 22 '34.73 "O



Fuente: ERM, 2021

**Figura 1-1: Bloque CAN\_100 y pozo EQN.MC.A.x-1**

El pozo se perforará en cinco secciones o intervalos de pozo, con una Unidad Móvil de Perforación Costa Afuera posicionada dinámicamente (MODU) y, una vez terminado, la evaluación del mismo se llevará a cabo mediante Perfiles Sísmicos Verticales (VSP). El sonido emitido por los propulsores de la MODU al mantener la estación durante la perforación, el VSP, el uso de transmisores acústicos del sistema de posicionamiento dinámico (DP-AT) y el sonido emitido por las embarcaciones de apoyo, se identificaron como potenciales impactos ambientales inevitables de la actividad.

Para poder cuantificar los niveles sonoros subacuáticos recibidos a distintas distancias de las fuentes mencionadas y evaluar adecuadamente el impacto ambiental en los receptores sensibles al sonido, se realizó un estudio de modelación acústica.

Cabe destacar que el presente Informe de Avance constituye solamente un adelanto del Informe Final, donde sólo se presentan las distancias a las isopletras de valores umbrales adoptados para la protección de la fauna marina. Estas distancias, fueron obtenidas como resultado del estudio acústico realizado para el programa de perforación EQN.MC.A.x-1.

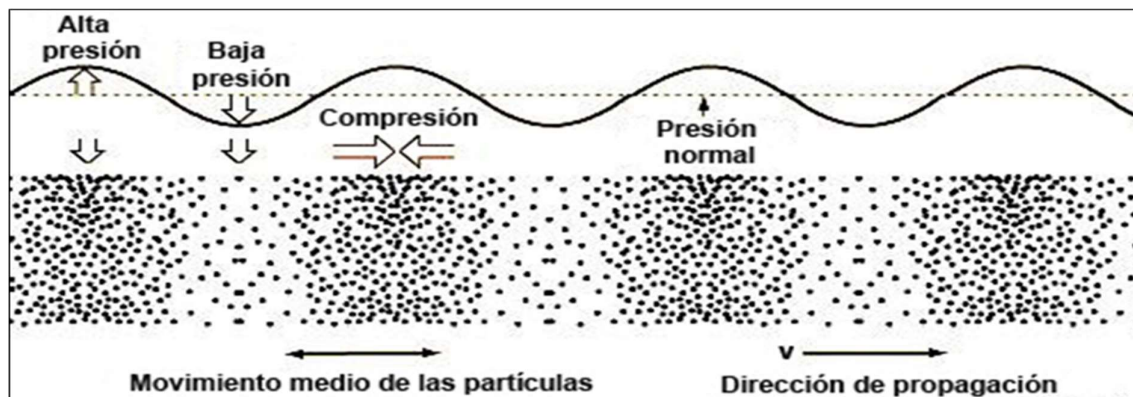


En este sentido, debe considerarse que existen varios detalles de importancia relativos a las características de las fuentes sonoras modeladas, metodologías empleadas para realizar el estudio acústico y referencias bibliográficas entre otros que serán tratados y presentados rigurosamente en el Informe Final.

## 2. ACÚSTICA SUBMARINA

El sonido es un movimiento ondulatorio mecánico que ocurre en un medio elástico, por ejemplo, aire, agua o sólidos. Se genera cuando las partículas del medio son desplazadas por una fuerza externa y comienzan a oscilar alrededor de su posición original.

Las ondas sonoras son ondas longitudinales que se propagan en el interior de un material en forma de fluctuaciones de presión. Las partículas del medio se mueven de un lado a otro en la misma dirección que se propaga la onda comunicando este movimiento a las partículas adyacentes, de manera que las variaciones de presión se propagan alejándose de la fuente con una velocidad definida. Cuando algunas partículas se alejan temporalmente entre sí, hay una rarefacción local (área de baja presión) y cuando están más juntas, hay una compresión local (área de alta presión). La razón de cambio de las fluctuaciones de presión determina la frecuencia del sonido. La Figura 2 muestra cómo las variaciones de presión se propagan en un medio elástico con una velocidad  $v$ .



Fuente: ERM, 2022

Figura 2-1: Onda sonora

El oído humano puede percibir frecuencias entre 20 Hz y 20 kHz, pero los mamíferos y otras especies marinas pueden oír más allá del rango de audición humano. Los distintos medios varían ampliamente en su capacidad para conducir el sonido, por ejemplo, la velocidad del sonido en el agua es aproximadamente,  $1.500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , mucho mayor que en el aire donde es aproximadamente  $330 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . El sonido puede medirse por medio de sensores sensibles a los cambios de presión o al movimiento de las partículas. Si bien los oídos de los mamíferos marinos perciben cambios de presión, los oídos de los peces también pueden percibir el movimiento de partículas directamente.

La terminología acústica básica utilizada en este estudio se presenta en numerosas fuentes publicadas (p. ej., ANSI, 1986, 1984; Richardson et al., 1995; NRC, 2003). Pese a ello, a continuación, se presenta una breve descripción de los términos clave utilizados en el presente informe.

### 2.1 Generación de Sonido Subacuático

Numerosas revisiones científicas y talleres en los últimos 40 años se han enfocado en conocer cómo los sonidos antropogénicos pueden afectar a la vida marina (por ejemplo, Payne y Webb 1971, Fletcher y Busnel 1978, Richardson et al. 1995, MMC 2007, Nowacek et al. 2007, Southall et al. 2007, Weilgart 2007, Tyack 2008).

### 2.1.1 Fuentes de Sonido de Baja Frecuencia

Durante la perforación del pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1, las hélices del MODU y de las embarcaciones de apoyo, así como los transpondedores del fondo marino utilizados para mantener la posición del MODU, generarán continuamente sonido de baja frecuencia (energía principal inferior a 1 kHz). El funcionamiento mecánico del trépano de perforación y de otras máquinas del MODU y de los buques de apoyo también generará sonido bajo el agua. El VSP creará altos niveles de sonido impulsivo durante los cortos períodos de prueba al final de la perforación. Por otro lado, los helicópteros generarán ruido aéreo y subacuático periódicamente a lo largo del programa.

### 2.1.2 Fuentes de Sonido de Alta Frecuencia

El sistema de posicionamiento dinámico del MODU utiliza señales acústicas de alta frecuencia (energía principal superior a 20 kHz), durante toda la operación. Se trata de un sonido similar al que emiten habitualmente las ecosondas de los buques comerciales, pero, con mayor energía, debido a la mayor profundidad de las aguas en las que opera. La energía se emite desde un transductor montado en el barco y desde transceptores en el fondo del mar. El equipo generador de sonido se denomina en este informe transductores acústicos de posicionamiento dinámico (DP-AT).

### 2.1.3 Rangos de Nivel Sonoro

El sonido (medido en la fuente) procedente de las actividades, asociadas a la perforación exploratoria, se sitúa generalmente en los rangos indicados en la Tabla 4-1.

**Tabla 2-1: Niveles sonoros subacuáticos indicativos, durante la perforación exploratoria**

Fuente	Nivel Sonoro (re 1 $\mu$ Pa at 1m SPLrms)
MODU (Propulsores)	190–195 dB (omnidireccional, mayor energía <1 kHz)
Perforación	157–162 dB (omnidireccional, mayor energía <1 kHz)
Embarcaciones de apoyo	108–182 dB (omnidireccional, mayor energía <1 kHz)
VSP	>200 dB (hacia abajo, mayor energía <1 kHz)
DP-AT	>200 dB (hacia abajo el transductor, hacia arriba los transpondedores, mayor energía en la banda de 21 a 31 kHz)

Fuente: ERM, 2022

El sonido generado por los propulsores del MODU, el DP-AT, el VSP y por las embarcaciones de apoyo serán las fuentes sonoras dominantes durante la perforación del EQN.MC.A.x-1. Por lo tanto, estas fuentes de sonido constituyen el foco principal de este estudio de modelación acústica.

## 2.2 Terminología

### 2.2.1 Pulsos

Los Pulsos son tipos de sonidos breves, de banda ancha, atonales y transitorios, caracterizados por un rápido aumento de la presión del ambiente a la presión máxima, y por una corta duración (al menos cerca de la fuente), por ejemplo, explosiones, disparos, pulsos de los cañones de aire comprimido y golpes de hincado de pilotes.

### 2.2.2 Sonidos Intermitentes o Continuos (No Pulsaciones)

Son tipos de sonido que pueden ser tonales, de banda ancha o ambos. Si bien pueden tener corta duración, carecen de los tiempos de aumento rápido de los pulsos. Los no pulsos incluyen aquellos



sonidos de buques, aviones, perforación y sistema sonar activo. Debido a ciertos efectos de la propagación, es posible que un sonido pulsado cerca de la fuente sea percibido por un receptor distante como un no pulso.

### 2.2.3 Intensidad de Sonido

La Intensidad de Sonido se define como la potencia acústica por unidad de área en la dirección de propagación de la onda. Es una medida de la energía transportada por unidad de área. La intensidad es proporcional al cuadrado de la presión acústica y por lo general, se mide en  $\mu\text{Pa}$  (micropascal).

### 2.2.4 Duración

La duración, como el término lo indica, es la extensión de un sonido, medido por lo general, en segundos. Algunos autores como Greene (1997) describen la duración de un pulso de un cañón de aire comprimido como el intervalo durante el cual llega el 90% de la energía sonora al receptor.

## 2.3 Métricas de Evaluación Acústica

La amplitud del sonido se mide en decibeles (dB) en relación con una presión de referencia fija de  $1 \mu\text{Pa}$ . Dado que la intensidad percibida del sonido, especialmente del sonido impulsivo, no suele ser proporcional a la presión acústica instantánea, se suelen utilizar varias métricas de nivel sonoro para evaluar el sonido y sus efectos en la vida marina.

### 2.3.1 Nivel de Presión Sonora (SPL)

Hay un amplio rango de presiones e intensidades en las mediciones del sonido, por lo que es común describirlas por medio del uso de una escala logarítmica. La escala logarítmica más utilizada para describir el sonido es la escala de decibeles (dB). El término Nivel de Presión Sonora se define como:

$$SPL = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{P}{P_{ref}} \right) \quad \text{dB re } 1\mu\text{Pa} ; \quad P = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

Donde  $P$  es la presión eficaz sonora o simplemente presión eficaz de la fuente sonora,  $T$  es la duración del sonido y  $P_{ref}$  es la presión de referencia que por lo general depende del medio.

En el agua, la presión de referencia es generalmente  $1 \mu\text{Pa}$ , mientras que en el aire es por lo general  $20 \mu\text{Pa}$ . La escala de decibeles es una medida relativa, por lo que los valores en dB son útiles únicamente si se incluye un nivel de referencia.

### 2.3.2 Nivel de Presión Sonora Pico (Peak Level)

Para pulsos de presión transitorios como una explosión o una descarga de un cañón de aire, es la presión sonora instantánea máxima medible a una distancia específica de la fuente. Por lo general se mide en bar-m. El Nivel de Presión Sonora Pico, está dado por:

$$SPL \text{ pico (zero to peak)} = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{peak}}{P_{ref}} \right) \quad \text{dB re } 1\mu\text{Pa}$$

Donde  $P_{peak}$  es la presión eficaz sonora pico de la fuente y  $P_{ref}$  es la presión de referencia

A intensidades elevadas, el SPL pico puede ser una métrica válida para evaluar si pueden producirse lesiones potenciales debido a una señal o evento sonoro; sin embargo, dado que el SPL pico no tiene en cuenta la duración de un evento sonoro, es un mal indicador de la intensidad percibida.

### 2.3.3 Nivel de Presión Sonora Pico a Pico (Peak to Peak)

Es la diferencia algebraica entre el máximo positivo y el máximo negativo de la presión sonora. Las unidades son las mismas que para la presión sonora pico. Cuando el pulso tiene partes positivas y negativas aproximadamente iguales a la forma de onda, el Nivel Pico a Pico es igual al doble del Nivel Pico o 6 dB mayor.

### 2.3.4 Nivel de Presión Sonora Raíz Cuadrática Media ( $SPL_{rms}$ )

El  $SPL_{rms}$  es una medida de la presión media o de la presión efectiva durante la duración de un evento acústico, como la emisión de un pulso acústico, la vocalización de un mamífero marino, el paso de una embarcación, o un intervalo de tiempo fijo.

$$SPL_{rms} = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{rms}}{P_{ref}} \right) \quad dB \text{ re } 1\mu Pa \quad P = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

Donde  $P_{rms}$  es el valor cuadrático medio de la presión sonora eficaz de la fuente y  $P_{ref}$  es la presión de referencia. El  $SPL_{rms}$  es por lo general ~10 dB menor que el  $SPL_{pico}$ , y ~16 dB menor que el  $SPL_{pico \text{ a pico}}$ .

Dado que la longitud de la ventana,  $T$ , es el divisor, los eventos más dispersos en tiempo tendrán un  $SPL_{rms}$  más bajos para la misma densidad de energía acústica total.

### 2.3.5 Nivel de Exposición al Sonido (SEL)

El nivel de exposición al sonido es la integral sobre el tiempo de la presión cuadrada sobre una ventana de tiempo lo suficientemente larga como para incluir todo el pulso de presión. El nivel de exposición al sonido es, por lo tanto, la suma de la energía acústica durante un período de medición, y efectivamente toma en cuenta tanto el nivel del sonido como la duración durante la cual el sonido está presente en el entorno acústico.

La exposición al sonido se define por la ecuación:

$$SE = \int_0^T p^2(t) dt$$

Donde  $p$  es la presión sonora de la fuente en Pascales,  $t$  es el tiempo en segundos y  $T$  la duración del sonido también en segundos. La Exposición al Sonido es una medida de la energía acústica y por eso su unidad es  $Pa^2 \cdot s$ .

Para expresar la exposición al sonido mediante la escala logarítmica de decibeles, se la compara con un nivel de energía acústica de referencia de  $1\mu Pa^2 \cdot s$ .

Se define entonces el  $SEL$ , mediante la fórmula:

$$SEL = 10 \cdot \log_{10} \int_0^T \frac{p^2(t)}{P_{ref}^2} dt \quad dB \text{ re } 1\mu Pa^2 \cdot s$$

El  $SEL$  representa el total de energía contenida en un pulso. Se expresa en dB re  $1\mu Pa^2 \cdot s$ . Cuando la duración del sonido ( $T$ ) sea menor que 1 segundo, el  $SPL_{rms}$  será mayor que el  $SEL$ , mientras que, si la duración es mayor que 1 segundo, el  $SEL$  será mayor. Ambas magnitudes están relacionadas mediante la fórmula:

$$SEL = SPL_{rms} + 10 \cdot \log_{10} T$$

Mc. Cauley *et. al.* (2000) encontraron que el  $SEL$  en unidades de dB re-1  $\mu\text{Pa}^2$  es la métrica que mejor describe la señal acústica recibida, a partir del sonido generado por un cañón de aire, y que en promedio el  $SPL_{rms}$  es aproximadamente 13 dB mayor que el  $SEL$ .]

Para la caracterización de sonido continuo, como el de los buques, la ventana de tiempo  $T$ , sobre la que se produce la integración de la energía acústica se toma como 1 s. En este caso, el  $SPL_{rms}$  es igual al  $SEL$ .

En los estudios sobre el sonido impulsivo,  $T$  suele definirse como el intervalo en el que la curva de energía del pulso aumenta del 5% al 95% de la energía total. El SPL calculado en este intervalo se denomina comúnmente el 90% de  $SPL_{rms}$  (dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ).

### 2.3.6 Nivel de Exposición al Sonido Acumulado ( $SEL_{CUM}$ )

Cuando se presentan múltiples ondas de presión acústica transitorias, por ejemplo, durante hincado de pilotes u operaciones sísmicas, el Nivel Total de Exposición al Sonido o Nivel de Exposición al Sonido Acumulado ( $SEL_{CUM}$ ), puede determinarse sumando los  $SEL$  individuales.

### 2.3.7 Nivel de la Fuente (SL)

El nivel de la fuente es el nivel recibido medido o calculado a una distancia nominal de 1 m de la fuente. Se expresa en dB re 1  $\mu\text{Pa}$  a 1 m o en bar-m. Para las fuentes de más de algunos cm (hélices de barcos, cañones de aire comprimido, etc.), la presión se mide a cierto rango, y se aplica un modelo de propagación del sonido para calcular cómo hubiera sido la presión sonora a 1 m de la fuente si está se comportará como una fuente puntual.

### 2.3.8 Pérdida por Transmisión (TL)

La señal sonora que viaja a través del agua se retrasa, distorsiona y debilita. La pérdida por transmisión expresa la disminución de la intensidad de un sonido a medida que se propaga por un medio, y puede considerarse la suma de una pérdida causada por difusión o esparcimiento y una pérdida debida a atenuación. La pérdida por difusión se refiere al efecto geométrico que representa el debilitamiento de una señal sonora a medida que se propaga desde la fuente. La pérdida por atenuación incluye los efectos de absorción, dispersión, viscosidad, y pérdida termal. En términos generales, las pérdidas por transmisión están dadas por:

$$TL(\text{dB}) = TL_d(\text{dB}) + TL_a(\text{dB}) = N \cdot \log_{10} \left( \frac{R}{1 \text{ m}} \right) + \alpha \cdot R$$

Donde el primer término de la ecuación corresponde a la pérdida por difusión y el segundo a la pérdida por atenuación.  $N$  es un factor que depende del tipo de esparcimiento geométrico,  $R$  es la distancia a la fuente y  $\alpha$  el coeficiente de atenuación.

### 2.3.9 Pérdida por Esparcimiento Esférico – Spherical Spreading

Cuando el sonido puede propagarse en forma uniforme en todas las direcciones, TL se calcula:

$$TL_d(\text{dB}) = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{R}{1 \text{ m}} \right)$$

### 2.3.10 Pérdida por Esparcimiento Cilíndrico–Cylindrical Spreading

Cuando  $R \geq H$  ( $H$  es la profundidad del agua), el sonido no puede propagarse como onda esférica en todas las direcciones, sino únicamente como una onda cilíndrica limitada por el fondo marino y la superficie del mar. En este caso,  $TL$  está dada por:

$$TL_d(\text{dB}) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{R}{1 \text{ m}} \right)$$

### 2.3.11 Pérdida por Propagación Combinada

En general, el sonido se propagará en forma esférica cerca de la fuente. En ciertos rangos  $H$ , la onda esférica llega al fondo marino, y de allí, el sonido se propaga en forma cilíndrica.

En un rango  $R$  mayor que la profundidad del agua  $H$ ,  $TL$  es:

$$TL_d(\text{dB}) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{H}{1 \text{ m}} \right) + 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{R}{1 \text{ m}} \right)$$

### 2.3.12 Atenuación

La atenuación es la disminución de la intensidad por unidad de distancia que viaja el sonido. Las pérdidas por atenuación son causadas tanto por absorción como por dispersión. La ecuación de la pérdida por transmisión debida a la atenuación es:

$$TL_a(\text{dB}) = \alpha \cdot R$$

El coeficiente de atenuación,  $\alpha$ , se expresa en dB/km y  $R$  en km. En general la atenuación es irrelevante a frecuencias por debajo de 10.000 Hz (Urick, 1983). En resumen, podría decirse que el factor dominante en todos los problemas de pérdida por transmisión en aguas profundas es la propagación esférica. Por lo tanto, es generalmente el único factor significativo para determinar la pérdida por transmisión.

### 2.3.13 Nivel Recibido de Presión Sonora Recibido (RL)

El Nivel de Presión Sonora recibido a una distancia dada de la fuente estará dado por, el nivel de la fuente (SL), menos las pérdidas por transmisión (TL).

$$RL(\text{dB}) = SL(\text{dB}) - TL(\text{dB})$$

## 2.4 Análisis de 1/3 de Octava de Banda

La distribución de potencia de un sonido con la frecuencia se describe mediante el espectro de frecuencias, que muestra las características a escala fina de la distribución de frecuencias del mismo. El espectro de frecuencia total o de banda ancha de un sonido puede dividirse en una serie de bandas de frecuencia adyacentes. Dividiendo el espectro en bandas de 1 Hz de ancho, denominadas bandas de paso, se obtiene la "densidad espectral de potencia" del sonido.

Esta división del espectro en bandas de paso de 1 Hz no representa, sin embargo, la forma en que los animales perciben el sonido. Dado que los animales perciben incrementos exponenciales de la frecuencia en lugar de incrementos lineales, el análisis de un espectro sonoro con bandas de paso que aumentan exponencialmente de tamaño da una representación más significativa de cómo un animal podría percibir el sonido.

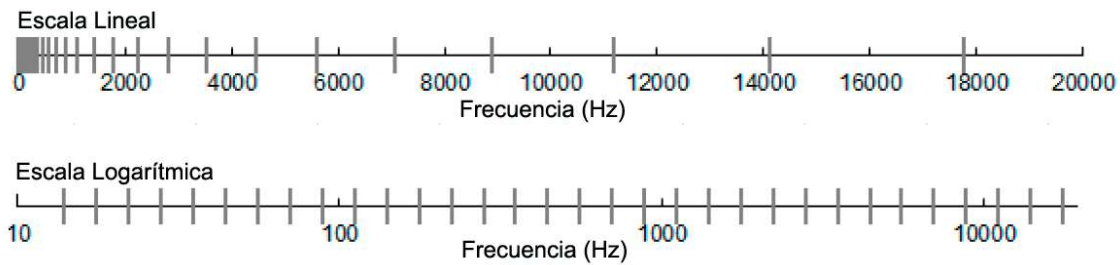
En acústica submarina, el espectro se suele dividir en bandas de 1/3 de octava, que tienen un ancho de un tercio de octava; cada octava representa una duplicación de la frecuencia del sonido. Así, la frecuencia central,  $f_c(i)$ , la frecuencia superior,  $f_{hi}(i)$ , e inferior,  $f_{lo}(i)$ , de cada i-esima banda de 1/3-octava se definen como:

$$f_c(i) = 10^{i/10}$$

$$f_{lo} = 10^{-\frac{1}{20}} f_c(i)$$

$$f_{hi} = 10^{\frac{1}{20}} f_c(i)$$

Las bandas de 1/3 de octava se hacen más anchas al aumentar la frecuencia y en una escala logarítmica las bandas aparecen igualmente espaciadas, como puede verse en la Figura 2-2.



Fuente: ERM, 2022

**Figura 2-2: Bandas de un tercio de octava mostradas en una escala de frecuencia lineal y en una escala logarítmica**

El nivel de presión sonora en la banda i de 1/3 de octava,  $L_b^{(i)}$ , se calcula a partir del espectro de potencia  $S(f)$  entre  $f_{lo}$  y  $f_{hi}$ :

$$L_b^{(i)} = 10 \log_{10} \left( \int_{f_{lo}}^{f_{hi}} S(f) df \right)$$

Al sumar el nivel de presión sonora de todas las bandas de 1/3 de octava se obtiene el nivel de presión sonora de banda ancha:

$$SPL \text{ de Banda Ancha} = 10 \log_{10} \sum_i 10^{L_b^{(i)}/10}$$

Siguiendo el estándar ISO 266-1975E adoptado por la comunidad acústica internacional, en el presente estudio se modelan las pérdidas por transmisión acústica en 1/3 de octava de banda.

### 3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO DEL RUIDO SUBMARINO

Al evaluar los efectos del ruido submarino sobre el ecosistema y los organismos que lo componen, hay que tener en cuenta entre otros factores, el nivel sonoro sobre el receptor, tanto en valor total (banda ancha) como su distribución en frecuencias, su duración y el ciclo de operación de la fuente sonora.

Los cetáceos son, en general de las especies más sensibles a los efectos del ruido artificial (Richarson et. al 1995), que se sabe les produce daños fisiológicos directos según se ha estudiado en diferentes especies y en relación a distintas fuentes de ruido (Finneran et al. 2002). Además, el ruido artificial produce cambios en el umbral de detección, enmascaramiento de señales acústicas y cambios comportamentales (Richarson et. al 1995; Finneran 2000; Mc. Cauley et. al, 2003; Nachtigall et al., 2018).

Aunque la mayoría de los estudios de impacto de la contaminación acústica en el medio marino se centran en los cetáceos por el elevado uso que éstos hacen de las emisiones sonoras, se ha demostrado que el ruido también afecta a las tortugas marinas y peces, pero de un modo distinto, debido a las características anatómicas y fisiológicas distintos estos animales.

En este apartado se resumen los criterios propuestos por diversos investigadores y organismos de prestigio internacional, para evaluar el impacto del sonido bajo el agua sobre los mamíferos marinos, tortugas marinas, peces, huevos y larvas. En general, los parámetros de evaluación más modernos están basados en una combinación de niveles de presión pico lineales (Peak level sin ponderar) y niveles de exposición al sonido acumulados ( $SEL_{CUM}$ ).

#### 3.1 Mamíferos Marinos

Los criterios adoptados para mamíferos marinos se basan en el trabajo de Southall et al. (2019) donde se utilizan los mismos umbrales y ponderaciones que se incluyen en la guía producida por NOAA en 2018. Según los mismos, el sonido emitido por fuentes artificiales puede inducir lesión auditiva temporal o permanente de dos maneras: los niveles máximos de presión acústica pueden causar daño al oído interno, y la energía acústica total acumulada a la cual el animal está expuesto ( $SEL_{CUM}$ ) puede inducir daño auditivo, si excede determinados umbrales.

La pérdida temporal de audición o lesión auditiva temporal (TTS) se presenta ante la exposición de los organismos a niveles altos o continuos de ruido, con una recuperación posterior de la audición en un tiempo variable. Igualmente se puede perder audición por exposición a niveles menores durante un tiempo mayor. La pérdida de audición, temporal o permanente depende de la intensidad y duración del sonido. Si las pérdidas temporales de audición son repetidas, el nivel de sonido que las produce constante, o se producen niveles puntuales excepcionalmente altos de ruido, la pérdida temporal de audición puede convertirse en permanente (PTS) parcial o total.

En Southall et al. (2019) se considera que la frecuencia del sonido juega un papel fundamental en el hecho de causar o no daño cuando se acumulan los niveles de sonido a los cuales está expuesto el mamífero, ya que es poco probable que el sonido fuera de su rango de audición lo pueda afectar, mientras que la energía del sonido dentro del rango sí podría ser dañina. Por esta razón, agruparon las especies con rangos de audición similares, en los siguientes grupos auditivos:

- Cetáceos de baja frecuencia (LF): Este grupo contiene todos los mysticetos, como la ballena franca austral (*Eubalaena australis*).
- Cetáceos de alta frecuencia (HF): Este grupo contiene la mayoría de las especies de delfínidos (ej: delfín pico de botella, delfín común y ballena piloto), zifios, cachalotes y orcas
- Cetáceos de muy alta frecuencia (VHF): Este grupo comprende las marsopas, la mayoría de las especies de delfines de río, cachalotes pigmeos o enanos, así como varios delfines oceánicos



- Pinípedos fócidos en agua (PW): Este grupo contiene todas las focas verdaderas, incluidas las focas comunes o de puerto, grises y de agua dulce; elefantes marinos y focas monjes y focas de Weddell
- Otros carnívoros marinos en agua (OW): Este grupo contiene todos los carnívoros marinos no fócidos, incluidas las focas otaridas (leones marinos y lobos marinos), morsas, nutrias marinas y osos polares.

En la Tabla 3-1 se resumen los diferentes criterios de evaluación utilizados en este estudio acústico, para los mamíferos marinos.

**Tabla 3-1: Criterios de evaluación para mamíferos marinos, según Southall et al., 2019.**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	SEL <sub>CUM</sub> (ponderado)	Nivel Pico	Autor
Mamíferos Marinos	PTS	LF	183	219	Southall et al., 2019.
		HF	185	230	
		VHF	155	202	
		PW	185	218	
		OW	203	232	
	TTS	LF	168	213	
		HF	170	224	
		VHF	140	196	
		PW	170	212	
		OW	188	226	

Notas: PTS: lesión auditiva permanente; TTS: lesión auditiva temporal; LF: cetáceos de baja frecuencia; HF: cetáceos de alta frecuencia y, VHF: cetáceos de muy alta frecuencia; PW: carnívoros fócidos en el agua; OW: otros carnívoros marinos en el agua.

Fuente: ERM 2021, adaptado de Southall et al., 2019

### 3.2 Peces, Huevos, Larvas y Tortugas Marinas

Para peces y tortugas marinas se establecen criterios que evalúan la mortalidad y posible lesión mortal, y la lesión recuperable (es decir, pérdida temporal de la audición). Estos también se establecen para peces en diferentes etapas de la vida (es decir, como adultos, larvas y huevos). Se muestran los criterios de lesión establecidos por la publicación de Popper et al., (2014) que señala que es más difícil aplicar criterios SEL<sub>CUM</sub> para peces, dadas las incertidumbres sobre el comportamiento de los mismos y muchas veces, el movimiento de la fuente. Las observaciones de cambios en el comportamiento con mediciones acústicas sistemáticas son escasos, y por lo tanto estos criterios son especulativos.

En la Tabla 3-2 se resumen los diferentes criterios de evaluación utilizados en este estudio acústico, para los peces, huevos, larvas y tortugas marinas.

**Tabla 3-2: Criterios de evaluación para peces, huevos, larvas y tortugas marinas, según Popper et al., 2014.**

Especie	Daño	SEL <sub>CUM</sub>	Nivel Pico	Autor
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	219	213	Popper <i>et al.</i> , 2014.
	Lesión recuperable	216	213	
Peces con vejiga natatoria (NIA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	210	207	
	Lesión recuperable	203	207	
Peces con vejiga natatoria (IA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	207	207	
	Lesión recuperable	203	207	
Peces: Huevos y larvas	Mortalidad y potencial lesión mortal	ND	207	
	Lesión recuperable	ND	ND	
Tortugas marinas	Mortalidad y potencial lesión mortal	210	ND	
	Lesión recuperable	ND	207 (PTS)	

NIA: No interviene en la audición; IA: Interviene en la audición. ND: No disponible.

Fuente: ERM 2022, adaptado de Popper et al., 2014.

## 4. MODELACIÓN ACÚSTICA

Los modelos de propagación acústica subacuática generalmente calculan el campo de presión generada por una fuente puntual omnidireccional, el cual convertido a decibeles equivale a la pérdida de intensidad sonora por transmisión. La ventaja de este enfoque es que el nivel de sonido recibido a una distancia determinada de la fuente puede calcularse simplemente restando la pérdida por transmisión del nivel de la fuente.

Debe observarse que estas cantidades se expresan en decibeles y son funciones de la posición, frecuencia y ángulo del haz acústico. De esta manera, la pérdida de transmisión acústica puede modelarse por separado de la fuente, ya que la pérdida por transmisión y el nivel de fuente se supone que son independientes.

Existen varios modelos para calcular la atenuación de las ondas acústicas cuyo rendimiento puede diferir significativamente en diferentes escenarios. En principio los parámetros a considerar para la selección del mejor método son la batimetría, las frecuencias de interés, las variaciones de los factores ambientales tales como el perfil de velocidad del sonido y la geomorfología. Cada escenario es una combinación de dichos parámetros y la selección de los mejores modelos puede hacerse a priori.

Para el presente estudio acústico, se seleccionó el modelo RAMGeo para frecuencias inferiores a 200 Hz y el BELLHOP para las superiores, a partir de la revisión previa de los trabajos disponibles en la literatura científica (Etter, 2012). La necesidad de aplicar dos métodos se debe al hecho de que cada uno es apropiado para un rango de frecuencias diferente.

El modelo RAMGeo basado en la ecuación parabólica, es adecuado para calcular la propagación del sonido en entornos marinos dependientes de la distancia y arbitrariamente complejos. Es decir, calcula propagación de ondas acústicas basada en la física propiamente dicha, pero considerando las interacciones para distintas capas de sedimentos y batimetría que varían en función de la distancia. Además, el modelo fue elegido porque es adecuado para cálculos de baja frecuencia.

Por otro lado, el modelo BELLHOP estima el campo acústico con gran eficiencia en entornos marinos, a través del seguimiento de haces acústicos, obteniendo resultados asombrosamente precisos. Tanto RAMGeo como BELLHOP han sido validados contra datos experimentales en diversos programas de mediciones de sonido subacuático (Porter, M. B. 2019).

Los parámetros que ingresan a estos modelos se relacionan principalmente con las propiedades acústicas del medio en el cual el sonido se propaga, tanto en agua como en los sedimentos del fondo marino. Los datos básicos requeridos por los mismos son, entre otros:

- Batimetría del área.
- Posición de la fuente acústica
- Propiedades geoacústicas de los sedimentos de fondo marino.
- Campos de velocidad del sonido a diferentes profundidades.
- Propiedades acústicas del agua.
- Características de la fuente sonora.

### 4.1 Escenarios Modelados

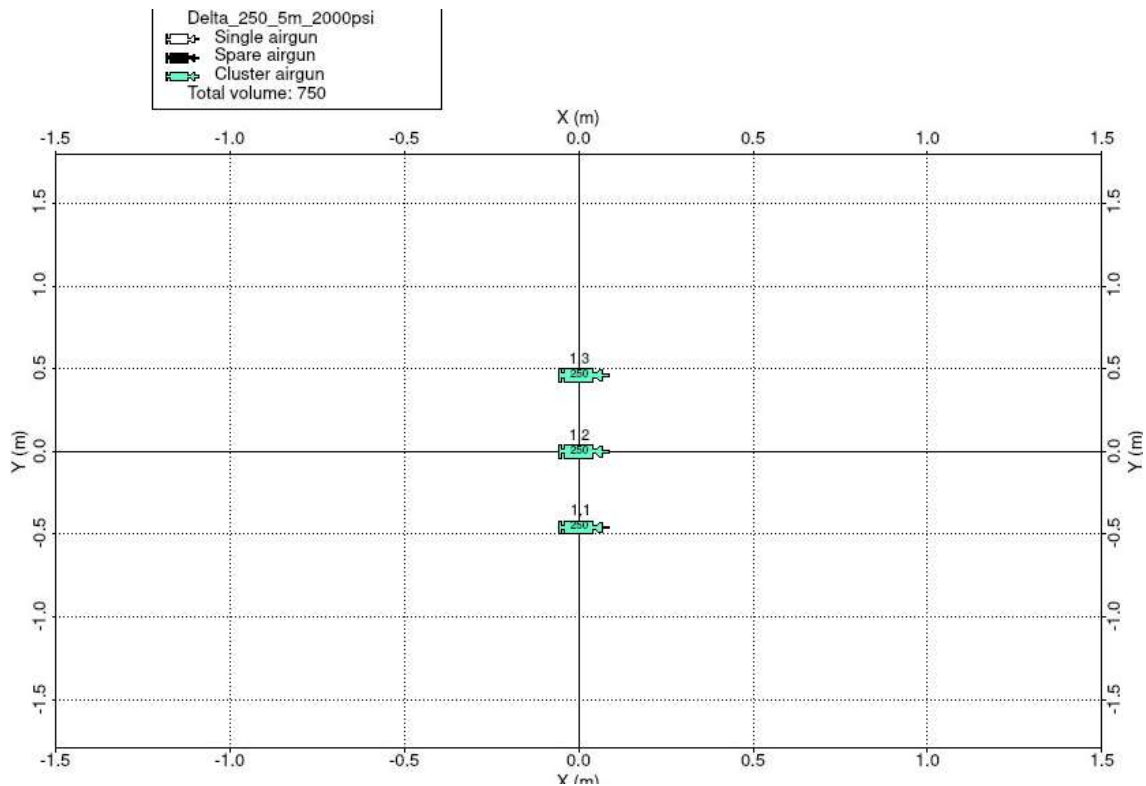
Para la ubicación de las distintas fuentes sonoras modeladas, se consideró la posición del pozo EQN.MC.A.x-1, cuyas coordenadas (WGS84) son:

- Latitud: 40 ° 13 '13.98 "S
- Longitud: 055 ° 22 '34.73 "O

Se modelaron los siguientes escenarios:

■ **VSP (Perfil sísmico Vertical)**

La configuración del arreglo se presenta a continuación.



**Figura 4-1: Configuración del arreglo del VSP**

■ **Buque de perforación (Drillship)**

Para la modelación del buque de perforación o drillship se consideró con 6 hélices iguales de este tipo (4 palas):

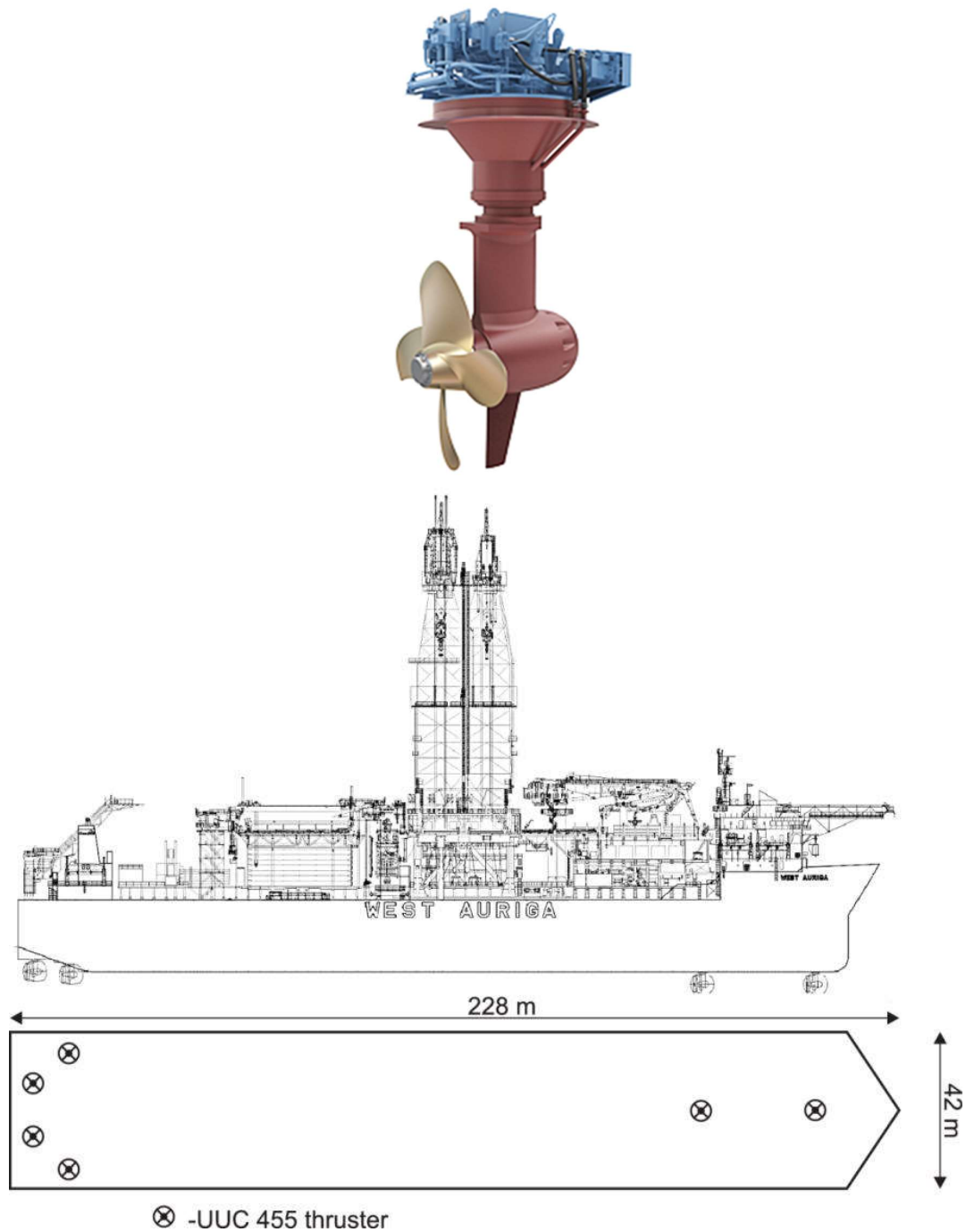


Figura 4-2: Modelo del Buque de perforación o drillship y las hélices consideradas

■ Buque de perforación (Drillship) más dos (2) embarcaciones de apoyo

Para las embarcaciones de apoyo se consideraron con 4 hélices (2 principales y 2 más chicas):

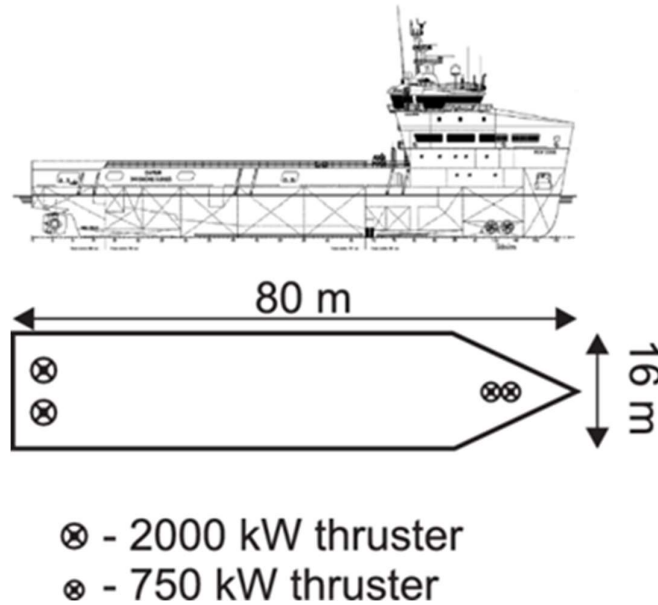


Figura 4-3: Modelo de embarcaciones de apoyo

#### ■ DP-AT

Para el DP-AT se consideró un transductor en el Drillship y cuatro transpondedores en el fondo.

Se tomó espectro continuo en las bandas de 19953 Hz, 25119 Hz y 31623 Hz (suma de las tres bandas de tercios de octava) y fuentes omnidireccionales, con 206 dB para transductor y 200 para cada transpondedor.

Las características de las fuentes sonoras empleadas en cada escenario modelado se corresponden con la Descripción del Proyecto. Sin embargo, una descripción detallada de las mismas se presentará en el Informe Final.

A partir del análisis de la información consultada se observó que pueden existir diversas configuraciones de sedimentos y espesores en la zona, razón por la cual, se decidió hacer un análisis de sensibilidad para conocer cómo afectan los distintos valores de las propiedades geoacústicas y espesores a las pérdidas de intensidad sonora por transmisión.

Para ello se plantearon 8 escenarios distintos en cuanto a tipo de sedimento, espesor de la capa de sedimentos y valores de las propiedades geoacústicas correspondientes. Para modelar los distintos escenarios se adoptó batimetría plana a la profundidad del pozo (1501 m), media anual de velocidad del sonido y fuente sonora a 5 m de profundidad.

Estos escenarios se presentan en la Tabla 4-1 a continuación,

Tabla 4-1: Escenarios distintos en cuanto a tipo de sedimento, espesor de la capa de sedimentos y valores de las propiedades geoacústicas correspondientes.

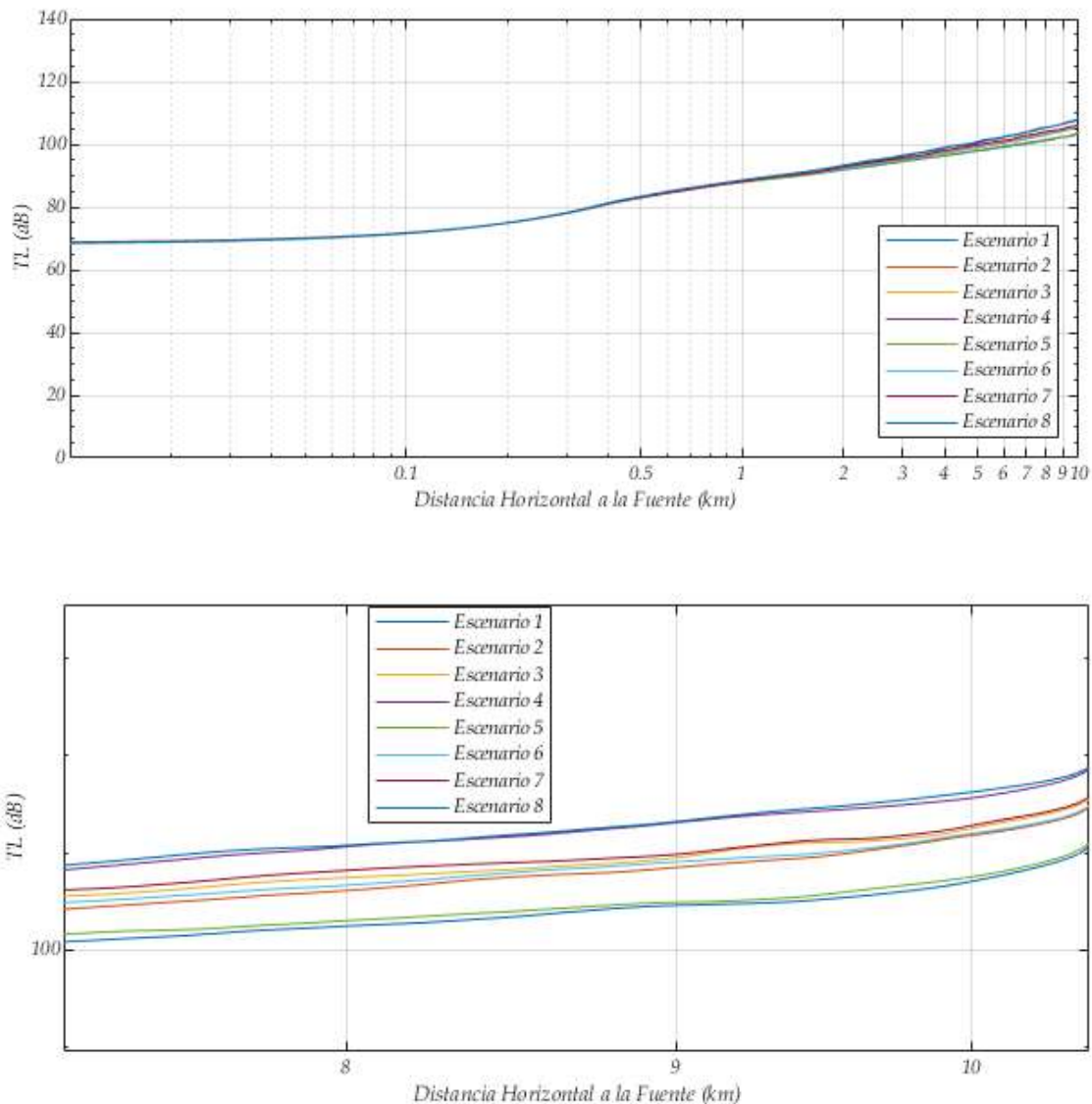
Numero	Sedimento	espesor(m)	Rho	Cp	Cs	Ap	As
1	Unidad A (Arcillas + limos)	1	1600	1537.5	80	0.6	1.25
	H10 (Arena)	4	1900	1650	188	0.8	2.5
	Unidad B (Arcillas + limos)	100	1600	1537.5	360	0.6	1.25



	Sedimentos consolidados: roca sedimentaria	1000	2400	3000	1500	0.1	0.2
	Basamento	Semi-infinito	2700	5250	2500	0.1	0.2
2	Unidad A	60	1600	1537.5	80	0.6	1.25
	H10	4	1900	1650		0.8	
	Unidad B	100	1600	1537.5		0.6	
	Sedimentos consolidados: roca sedimentaria	1000	2400	3000		0.1	
	Basamento	Semi-infinito	2700	5250		0.1	
3	Unidad A	1	1600	1537.5	80	0.6	1.25
	H10	4	1900	1650		0.8	
	Unidad B	300	1600	1537.5		0.6	
	Sedimentos consolidados: roca sedimentaria	1000	2400	3000		0.1	
	Basamento	Semi-infinito	2700	5250		0.1	
4	Unidad A	60	1600	1537.5	80	0.6	1.25
	H10	4	1900	1650		0.8	
	Unidad B	300	1600	1537.5		0.6	
	Sedimentos consolidados: roca sedimentaria	1000	2400	3000		0.1	
	Basamento	Semi-infinito	2700	5250		0.1	
5	Unidad A	1	1600	1537.5	80	0.6	1.25
	H10	4	1900	1650		0.8	
	Unidad B	100	1600	1537.5		0.6	
	Sedimentos consolidados: roca sedimentaria	5000	2400	3000		0.1	
	Basamento	Semi-infinito	2700	5250		0.1	
6	Unidad A	60	1600	1537.5	80	0.6	1.25
	H10	4	1900	1650		0.8	
	Unidad B	100	1600	1537.5		0.6	
	Sedimentos consolidados: roca sedimentaria	5000	2400	3000		0.1	
	Basamento	Semi-infinito	2700	5250		0.1	
7	Unidad A	1	1600	1537.5	80	0.6	1.25
	H10	4	1900	1650		0.8	
	Unidad B	300	1600	1537.5		0.6	
	Sedimentos consolidados: roca sedimentaria	5000	2400	3000		0.1	
	Basamento	Semi-infinito	2700	5250		0.1	
8	Unidad A	60	1600	1537.5	80	0.6	1.25
	H10	4	1900	1650		0.8	
	Unidad B	300	1600	1537.5		0.6	
	Sedimentos consolidados: roca sedimentaria	5000	2400	3000		0.1	
	Basamento	Semi-infinito	2700	5250		0.1	

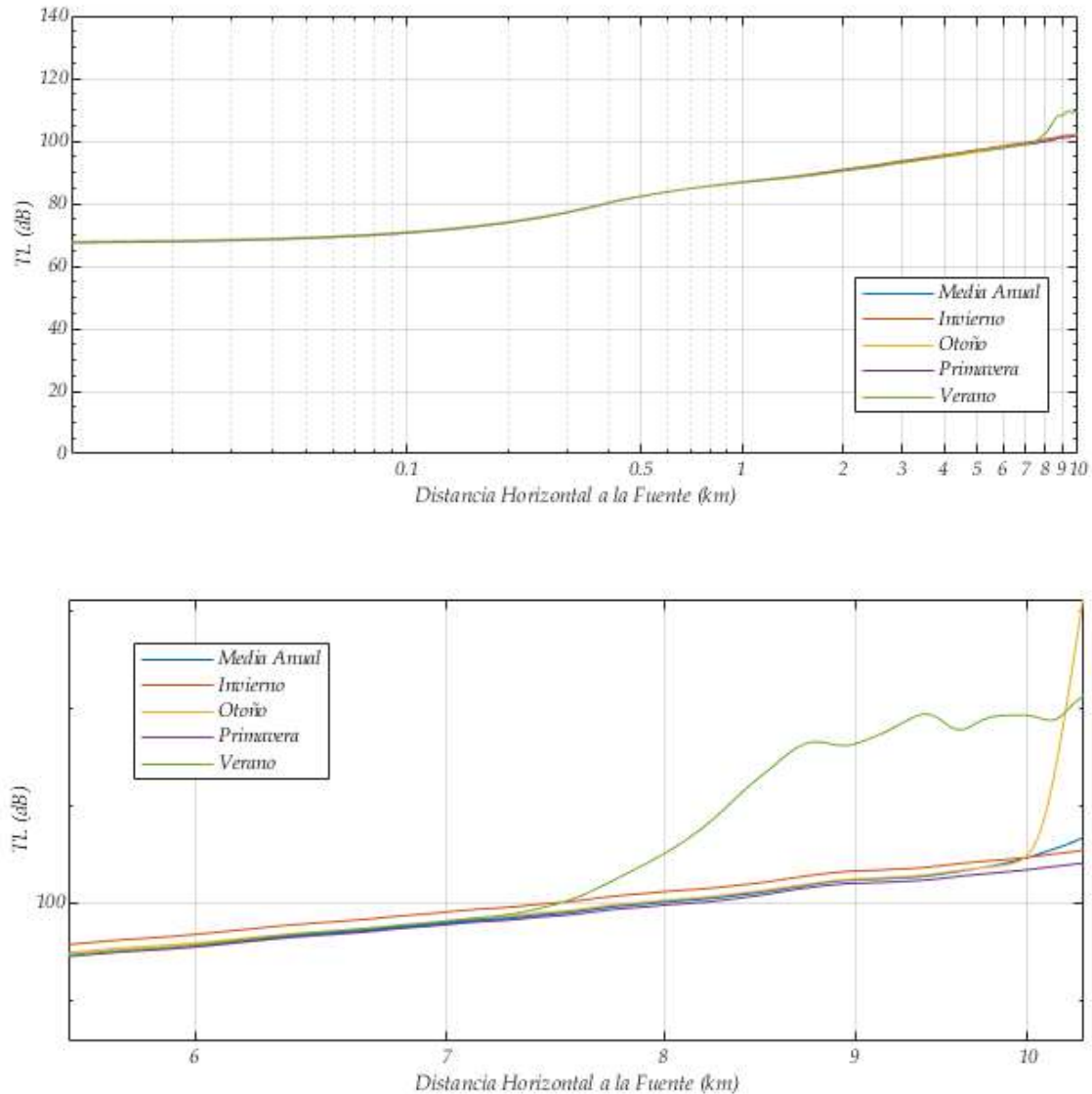
Fuente: ERM 2022

Como puede verse en las Figuras a continuación, las menores pérdidas por transmisión se corresponden con el Escenario 1.



**Figura 4-4: Pérdidas de intensidad sonora por Transmisión para los distintos Escenarios planteados**

También se decidió realizar corridas exploratorias para estudiar el comportamiento estacional de las pérdidas de intensidad sonora por transmisión en el área del proyecto. Para ello, se modelaron 5 escenarios utilizando campos de velocidad del sonido estacionales y el campo anual, batimetría plana a la profundidad del pozo y fuente sonora a 5 m de la superficie. Las diferencias estacionales resultaron poco significativas, sin embargo, la condición de primavera es la que presentó menores pérdidas por transmisión, razón por la cual se optó por considerar el campo medio de primavera para la modelación. La Figura a continuación muestra esta situación,



**Figura 4-5: Pérdidas de intensidad sonora por Transmisión para los distintos Escenarios planteados**

Las pérdidas por transmisión para los distintos escenarios planteados, se obtuvieron sumando las contribuciones de las frecuencias centrales estándar de 10 Hz, 12.5 Hz, 16 Hz, 20 Hz, 25 Hz, 31.5 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz, 1000 Hz, 19953 Hz, 25119 Hz y 31623 Hz.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 VSP

#### 5.1.1 Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación

Tabla 5-1: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Southall et al., 2019

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Distancia (m) SEL <sub>CUM</sub> (ponderado)	Distancia (m) Nivel Pico	Autor
Mamíferos Marinos	PTS	LF	5	9	Southall et al., 2019.
		HF	NA	3	
		VHF	NA	55	
		PW	NA	10	
		OW	NA	2	
	TTS	LF	26	17	
		HF	NA	6	
		VHF	NA	110	
		PW	3	19	
		OW	NA	5	

Notas: Distancias horizontales máximas a la fuente sonora, a las que se reciben los niveles sonoros indicados en los criterios correspondientes. El valor presentado corresponde al valor máximo en toda la columna de agua.

PTS: lesión auditiva permanente; TTS: lesión auditiva temporal; LF: cetáceos de baja frecuencia; HF: cetáceos de alta frecuencia y, VHF: cetáceos de muy alta frecuencia; PW: carnívoros fónicos en el agua; OW: otros carnívoros marinos en el agua. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

Tabla 5-2: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Popper et al., 2014

Especie	Daño	Distancia (m) SEL <sub>CUM</sub>	Distancia (m) Nivel Pico	Autor
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	17	Popper et al., 2014.
	Lesión recuperable	NA	17	
Peces con vejiga natatoria (NIA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	1	31	
	Lesión recuperable	5	31	
Peces con vejiga natatoria (IA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	3	31	
	Lesión recuperable	5	31	
Peces: Huevos y larvas	Mortalidad y potencial lesión mortal	ND	31	
	Lesión recuperable	ND	ND	
Tortugas marinas	Mortalidad y potencial lesión mortal	1	ND	
	Lesión recuperable	ND	31	

Notas: Distancias horizontales máximas a la fuente sísmica, a las que se reciben los niveles sonoros indicados en los criterios correspondientes. El valor presentado corresponde al valor máximo en toda la columna de agua. ND: No disponible. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

## 5.2 Buque de Perforación (Drillship)

### 5.2.1 Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación

Tabla 5-3: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Southall et al., 2019

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Distancia (m) SEL <sub>CUM</sub> (ponderado)	Distancia (m) Nivel Pico	Autor
Mamíferos Marinos	PTS	LF	NA	NA	Southall et al., 2019.
		HF	NA	NA	
		VHF	NA	1	
		PW	NA	NA	
		OW	NA	NA	
	TTS	LF	NA	NA	
		HF	NA	NA	
		VHF	NA	6	
		PW	NA	NA	
		OW	NA	NA	

Notas: Distancias horizontales máximas a la fuente sonora, a las que se reciben los niveles sonoros indicados en los criterios correspondientes. El valor presentado corresponde al valor máximo en toda la columna de agua.

PTS: lesión auditiva permanente; TTS: lesión auditiva temporal; LF: cetáceos de baja frecuencia; HF: cetáceos de alta frecuencia y, VHF: cetáceos de muy alta frecuencia; PW: carnívoros fónicos en el agua; OW: otros carnívoros marinos en el agua. NA: No alcanza

Fuente: ERM, 2022

Tabla 5-4: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Popper et al., 2014

Especie	Daño	Distancia (m) SEL <sub>CUM</sub>	Distancia (m) Nivel Pico	Autor
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	NA	Popper <i>et al.</i> , 2014.
	Lesión recuperable	NA	NA	
Peces con vejiga natatoria (NIA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	NA	
	Lesión recuperable	NA	NA	
Peces con vejiga natatoria (IA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	NA	
	Lesión recuperable	NA	NA	
Peces: Huevos y larvas	Mortalidad y potencial lesión mortal	ND	NA	
	Lesión recuperable	ND	ND	
Tortugas marinas	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	ND	
	Lesión recuperable	ND	NA	

Notas: Distancias horizontales máximas a la fuente, a las que se reciben los niveles sonoros indicados en los criterios correspondientes. El valor presentado corresponde al valor máximo en toda la columna de agua. ND: No disponible. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

## 5.3 Buque de perforación (Drillship) más dos (2) Embarcaciones de Apoyo

### 5.3.1 Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación

Tabla 5-5: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Southall et al., 2019

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Distancia (m) SEL <sub>CUM</sub> (ponderado)	Distancia (m) Nivel Pico	Autor
Mamíferos Marinos	PTS	LF	NA	NA	Southall et al., 2019.
		HF	NA	NA	
		VHF	NA	5	
		PW	NA	NA	
		OW	NA	NA	
	TTS	LF	NA	NA	
		HF	NA	NA	
		VHF	NA	9	
		PW	NA	NA	
		OW	NA	NA	

Notas: Distancias horizontales máximas a la fuente sonora, a las que se reciben los niveles sonoros indicados en los criterios correspondientes. El valor presentado corresponde al valor máximo en toda la columna de agua.

PTS: lesión auditiva permanente; TTS: lesión auditiva temporal; LF: cetáceos de baja frecuencia; HF: cetáceos de alta frecuencia y, VHF: cetáceos de muy alta frecuencia; PW: carnívoros fónicos en el agua; OW: otros carnívoros marinos en el agua. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

Tabla 5-6: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Popper et al., 2014

Especie	Daño	Distancia (m) SEL <sub>CUM</sub>	Distancia (m) Nivel Pico	Autor
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	NA	Popper <i>et al.</i> , 2014.
	Lesión recuperable	NA	NA	
Peces con vejiga natatoria (NIA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	2	
	Lesión recuperable	NA	2	
Peces con vejiga natatoria (IA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	2	
	Lesión recuperable	NA	2	
Peces: Huevos y larvas	Mortalidad y potencial lesión mortal	ND	2	
	Lesión recuperable	ND	ND	
Tortugas marinas	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	ND	
	Lesión recuperable	ND	2	

Notas: Distancias horizontales máximas a la fuente, a las que se reciben los niveles sonoros indicados en los criterios correspondientes. El valor presentado corresponde al valor máximo en toda la columna de agua. ND: No disponible. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022



## 5.4 DP-AT (1 Transductor en superficie + 4 Transpondedores en el fondo)

### 5.4.1 Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación

Tabla 5-7: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Southall et al., 2019

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Distancia (m) SEL <sub>CUM</sub> (ponderado)	Distancia (m) Nivel Pico	Autor
Mamíferos Marinos	PTS	LF	4	NA	Southall et al., 2019.
		HF	3	NA	
		VHF	323	7	
		PW	3	NA	
		OW	NA	NA	
	TTS	LF	30	2	
		HF	20	NA	
		VHF	1989	10	
		PW	23	2	
		OW	1	NA	

Notas: Distancias horizontales máximas a la fuente sonora, a las que se reciben los niveles sonoros indicados en los criterios correspondientes. El valor presentado corresponde al valor máximo en toda la columna de agua.

PTS: lesión auditiva permanente; TTS: lesión auditiva temporal; LF: cetáceos de baja frecuencia; HF: cetáceos de alta frecuencia y, VHF: cetáceos de muy alta frecuencia; PW: carnívoros fónicos en el agua; OW: otros carnívoros marinos en el agua. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

Tabla 5-8: Distancias a las Isopletras de los Criterios de Evaluación de Popper et al., 2014

Especie	Daño	Distancia (m) SEL <sub>CUM</sub>	Distancia (m) Nivel Pico	Autor
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	2	Popper <i>et al.</i> , 2014.
	Lesión recuperable	NA	2	
Peces con vejiga natatoria (NIA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	5	
	Lesión recuperable	NA	5	
Peces con vejiga natatoria (IA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	5	
	Lesión recuperable	NA	5	
Peces: Huevos y larvas	Mortalidad y potencial lesión mortal	ND	5	
	Lesión recuperable	ND	ND	
Tortugas marinas	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	ND	
	Lesión recuperable	ND	5	

Notas: Distancias horizontales máximas a la fuente, a las que se reciben los niveles sonoros indicados en los criterios correspondientes. El valor presentado corresponde al valor máximo en toda la columna de agua. ND: No disponible. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022



República Argentina - Poder Ejecutivo Nacional  
Las Malvinas son argentinas

**Hoja Adicional de Firmas**  
**Documentación personal**

**Número:**

**Referencia:** Documentación Complementaria

---

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 27 pagina/s.