



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

Anexo I – Modelación Acústica Submarina

Noviembre 2022

Proyecto No.: 0582679

Detalles del documento	
Título del documento	Estudio de Impacto Ambiental para la perforación del pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1 en CAN_100
Subtítulo del documento	Anexo VII C – Modelación Acústica Submarina
Proyecto No.	0582679
Fecha	1 Noviembre 2022
Versión	2.0
Autor	Juan Bautista Allegrino
Nombre del cliente	EQUINOR ARGENTINA B.V. Sucursal Argentina

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>ALCANCE .....</b>	<b>8</b>
<b>4.</b>	<b>ACÚSTICA SUBMARINA .....</b>	<b>9</b>
4.1	Terminología.....	9
4.1.1	Pulsos .....	9
4.1.2	Sonidos Intermitentes o Continuos (No Pulsaciones) .....	10
4.1.3	Intensidad de Sonido .....	10
4.1.4	Duración .....	10
4.1.5	Nivel de la Fuente (SL) .....	10
4.2	Métricas de Evaluación Acústica .....	10
4.2.1	Nivel de Presión Sonora (SPL) .....	10
4.2.2	Nivel de Presión Sonora Pico (Peak Level) .....	11
4.2.3	Nivel de Presión Sonora Pico a Pico (Peak to Peak).....	11
4.2.4	Nivel de Presión Sonora Raíz Cuadrática Media (SPL <sub>rms</sub> ).....	11
4.2.5	Nivel de Exposición al Sonido (SEL).....	11
4.2.6	Nivel de Exposición al Sonido Acumulado (SEL <sub>CUM</sub> ) .....	12
4.3	Pérdidas de Intensidad Sonora por Transmisión (TL) .....	13
4.3.1	Pérdida por Esparcimiento Esférico (Spherical Spreading) .....	14
4.3.2	Pérdida por Esparcimiento Cilíndrico (Cylindrical Spreading).....	14
4.3.3	Pérdida por Propagación Combinada .....	14
4.3.4	Atenuación.....	14
4.3.5	Nivel Recibido de Presión Sonora Recibido (RL).....	14
4.4	Generación de Sonido Submarino.....	15
4.4.1	Fuentes de Sonido de Baja Frecuencia .....	15
4.4.2	Fuentes de Sonido de Alta Frecuencia .....	16
4.4.3	Rangos de Nivel Sonoro Submarino.....	16
4.5	Análisis de 1/3 de Octava de Banda.....	16
4.6	Aproximación N x 2-D.....	19
4.7	Estimación del SPL <sub>pico</sub> (zero to peak) para fuentes sonoras continuas .....	19
<b>5.</b>	<b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO DEL RUIDO SUBMARINO .....</b>	<b>21</b>
5.1	Criterios Para Mamíferos Marinos .....	21
5.2	Criterios Para Peces, Huevos, Larvas y Tortugas Marinas .....	23
<b>6.</b>	<b>MODELACIÓN ACÚSTICA.....</b>	<b>25</b>
6.1	Modelos de Propagación del Sonido .....	25
6.1.1	Batimetría del Área .....	26
6.1.2	Posición de la Fuente Acústica .....	26
6.1.3	Propiedades Geoacústicas de los Sedimentos de Fondo Marino.....	27
6.1.4	Velocidad del Sonido .....	31
6.1.5	Propiedades Acústicas Del Agua.....	36
6.2	Características de las Fuentes Sonoras Modeladas.....	37
6.2.1	Arreglo de Cámaras de Aire para VSP .....	37
6.2.2	Propulsores de la MODU (Buque de Perforación) .....	44
6.2.3	Embarcaciones de Apoyo .....	46
6.2.4	Sistema de Posicionamiento DP-AT .....	48
6.3	Escenarios Modelados .....	49
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>

7.1	Arreglo de Cámaras de Aire para VSP .....	50
7.1.1	Distancias a las Isopleas de los Criterios de Evaluación .....	50
7.1.2	Áreas Sonorizadas.....	51
7.1.3	Mapas de Contorno de Nivel de Presión Sonora (SPL) .....	52
7.1.4	Validación de la Modelación Mediante las Fórmulas de Esparcimiento Geométrico ..	52
7.2	Propulsores de la MODU (Buque de Perforación) .....	54
7.2.1	Distancias a las Isopleas de los Criterios de Evaluación .....	54
7.2.2	Áreas Sonorizadas.....	55
7.2.3	Mapas de Contorno de Nivel de Presión Sonora (SPL) .....	56
7.2.4	Validación de la Modelación Mediante las Fórmulas de Esparcimiento Geométrico ..	56
7.3	Propulsores de la MODU + 2 Embarcaciones de Apoyo .....	57
7.3.1	Distancias a las Isopleas de los Criterios de Evaluación .....	57
7.3.2	Áreas Sonorizadas.....	58
7.3.3	Mapas de Contorno de Nivel de Presión Sonora (SPL) .....	59
7.3.4	Validación de la Modelación Mediante las Fórmulas de Esparcimiento Geométrico ..	59
7.4	Sistema de Posicionamiento DP-AT: 1 transductor acústico en la MODU y 4 transpondedores en el fondo .....	60
7.4.1	Distancias a las Isopleas de los Criterios de Evaluación .....	60
7.4.2	Áreas Sonorizadas.....	61
7.4.3	Mapas de Contorno de Nivel de Presión Sonora (SPL) .....	62
7.4.4	Validación de la Modelación Mediante las Fórmulas de Esparcimiento Geométrico ..	62
8.	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>64</b>
9.	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>

## Lista de Tablas

Tabla 4-1: Niveles sonoros subacuáticos indicativos, durante la perforación exploratoria .....	16
Tabla 4-2: Frecuencias centrales estándar en 1/3-octava de banda .....	18
Tabla 5-1: Criterios de evaluación para mamíferos marinos - Sonidos Pulsados .....	23
Tabla 5-2: Criterios de evaluación para mamíferos marinos - Sonidos No Pulsados .....	23
Tabla 5-3: Criterios de evaluación para peces, huevos y larvas – Sonidos Pulsados .....	24
Tabla 6-1: Escenarios planteados para el análisis de sensibilidad a los sedimentos de fondo .....	30
Tabla 6-2: Características del arreglo de cámaras de aire (fuente sísmica) .....	39
Tabla 7-1: Distancias mamíferos marinos, Southall y otros (2019), sonidos pulsados (Tabla 5-1) .....	50
Tabla 7-2: Distancias peces, huevos, larvas y tortugas marinas, Popper y otros (2014) (Tabla 5-3) ..	50
Tabla 7-3: Área (km <sup>2</sup> ) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Southall y otros (2019), para sonidos pulsados (Tabla 5-1) .....	51
Tabla 7-4: Área (km <sup>2</sup> ) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Popper y otros (2014) (Tabla 5-3) .....	51
Tabla 7-5: Distancias mamíferos marinos, Southall y otros (2019), sonidos no pulsados (Tabla 5-2) ..	54
Tabla 7-6: Distancias mamíferos marinos, Southall y otros (2019), sonidos pulsados (Tabla 5-1) .....	54
Tabla 7-7: Distancias peces, huevos, larvas y tortugas marinas, Popper y otros (2014) (Tabla 5-3) ..	55
Tabla 7-7: Área (km <sup>2</sup> ) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Southall y otros (2019), para sonidos no pulsados (Tabla 5-2) .....	55
Tabla 7-8: Área (km <sup>2</sup> ) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Popper y otros (2014) (Tabla 5-3) .....	56
Tabla 7-10: Distancias mamíferos marinos, Southall y otros (2019), sonidos no pulsados (Tabla 5-2) .....	57
Tabla 7-11: Distancias mamíferos marinos, Southall y otros (2019), sonidos pulsados (Tabla 5-1) ...	57
Tabla 7-12: Distancias peces, huevos, larvas y tortugas marinas, Popper y otros (2014) (Tabla 5-3) ..	58
Tabla 7-13: Área (km <sup>2</sup> ) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Southall y otros (2019), para sonidos no pulsados (Tabla 5-2) .....	58
Tabla 7-14: Área (km <sup>2</sup> ) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Popper y otros (2014) (Tabla 5-3) .....	59
Tabla 7-15: Distancias mamíferos marinos, Southall y otros (2019), sonidos pulsados (Tabla 5-1) ...	60
Tabla 7-16: Distancias peces, huevos, larvas y tortugas marinas, Popper y otros (2014) (Tabla 5-3) ..	60
Tabla 7-17: Área (km <sup>2</sup> ) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Southall y otros (2019) para sonidos pulsados (Tabla 5-1) .....	61
Tabla 7-18: Área (km <sup>2</sup> ) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Popper y otros (2014) (Tabla 5-3) .....	61

## Lista de Figuras

Figura 2-1: Bloque CAN_100 y pozo Argerich-1 (EQN.MC.A.x-1) .....	6
Figura 4-1: Onda sonora .....	9
Figura 4-2: Ejemplo de SEL discreto por pulso y SEL acumulado (SEL <sub>CUM</sub> ) para una velocidad de alejamiento 3 m/s .....	13
Figura 4-2: Bandas de un tercio de octava mostradas en una escala de frecuencia lineal y en una escala logarítmica .....	17
Figura 4-3: Espectro de Amplitud (azul) y Niveles de Presión Sonora Pico de 1/3 de Octava de Banda (negro). Las cruces negras corresponden a las frecuencias centrales estándar. ....	18
Figura 4-5: Aproximación N x 2-D .....	19
Figura 4-6: Nivel sonoro recibido en el plano vertical .....	19
Figura 5-1: Curvas de ponderación auditiva por frecuencia para distintos grupos de cetáceos marinos .....	22
Figura 6-1: Batimetría del área del Proyecto .....	26
Figura 6-2: Sedimentos superficiales de fondo .....	27
Figura 6-3: Testigo de fondo correspondiente al punto C1 de la Figura 6-2 .....	28

Figura 6-4: Imagen sísmica de alta resolución a través de la ubicación propuesta del pozo ilustrando la topografía del lecho marino y las capas sedimentarias más superficiales .....	29
Figura 6-5: Pérdidas por transmisión en función de la distancia horizontal a la fuente (eje x, en escala logarítmica) para los ocho escenarios que se presentan en la Tabla 6-1 .....	31
Figura 6-6: Zoom de la Figura 6-5 entre 7 km y 10 km a la fuente, aproximadamente .....	31
Figura 6-7: Campos medios estacionales y campo anual, de velocidad de propagación del sonido en superficie .....	32
Figura 6-8: Perfiles medios estacionales de velocidad del sonido en el área del Proyecto .....	33
Figura 6-9: Pérdidas por transmisión estacionales en función de la distancia horizontal a la fuente (eje x, en escala logarítmica) .....	34
Figura 6-10: Zoom de la Figura 6-9 entre 6 km y 10 km a la fuente, aproximadamente .....	35
Figura 6-11: Campos medios de velocidad de propagación del sonido para primavera a distintas profundidades .....	36
Figura 6-12: Cámara de aire montado sobre un dispositivo de remolque.....	38
Figura 6-13: Configuración del arreglo de cámaras de aire. ....	39
Figura 6-14: Firma del arreglo de cámaras de aire .....	40
Figura 6-15: Espectro de Amplitud (azul) y SPLpico de 1/3 de Octava de Banda (negro). Las cruces negras corresponden a las frecuencias centrales estándar. ....	40
Figura 6-16: Amplitud espectral de la fuente para distintos ángulos respecto de la vertical .....	41
Figura 6-17: Nivel de presión sonora recibido en profundidad .....	42
Figura 6-18: Nivel de presión sonora recibido por el animal, cuando la distancia horizontal a la fuente es mayor que la profundidad.....	43
Figura 6-19: Nivel de presión sonora recibido por el animal, cuando la distancia horizontal a la fuente 0 m, es decir cuando se encuentra justo debajo de la fuente .....	43
Figura 6-20: Nivel de presión sonora recibido por el animal, cuando la distancia horizontal a la fuente es menor que la profundidad, pero no se encuentra justo debajo de la fuente.....	44
Figura 6-21: buque de perforación Deep Ocean Clarion .....	44
Figura 6-22: Hélice de 4 palas con tobera .....	45
Figura 6-23: Dimensiones del Deep Ocean Clarion y posición de las hélices .....	45
Figura 6-24: SPLRMS combinado para las 6 hélices de la MODU, en frecuencias centrales de un tercio de octava de banda.....	46
Figura 6-25: Supply Damen 3300CD .....	46
Figura 6-26: Dimensiones del Damen 3300CD y posición de las hélices .....	47
Figura 6-27: SPLRMS combinado para las 4 hélices del Supply Damen 3300CD, en frecuencias centrales de un tercio de octava de banda .....	48
Figura 6-28: Sistema de posicionamiento con un transductor acústico en la MODU y cuatro transpondedores acústicos en el fondo marino .....	48
Figura 6-29: SPLpico para 1 transductor (color negro) y para 4 transpondedores (color rojo) en frecuencias centrales de un tercio de octava de banda .....	49
Figura 7-1: Mapa de contornos para considerando Southall y otros (2019), para sonidos pulsados (Tabla 5-1) y Popper y otros (2014) (Tabla 5-3) .....	52
Figura 7-2: Nivel Sonoro Pico en función de la distancia horizontal a la fuente.....	53
Figura 7-3: Nivel Sonoro Pico en función de la distancia horizontal a la fuente.....	56
Figura 7-4: Nivel Sonoro Pico en función de la distancia horizontal a la fuente.....	60
Figura 7-5: Mapa de contornos para considerando Southall y otros (2019), para sonidos pulsados (Tabla 5-1) y Popper y otros (2014) (Tabla 5-3) .....	62
Figura 7-6: Nivel Sonoro Pico en función de la distancia horizontal a la fuente.....	63



## Siglas y abreviaturas

AICA	Áreas importantes para la conservación de aves
Al	Aluminio
AVHRR SST	Radiómetro avanzado de temperatura superficial del mar de muy alta resolución
CAN_100	Cuenca Argentina Norte_100
CB	Corriente de Brasil
CBM	Confluencia Brasil Malvinas
CM	Corriente de Malvinas
cm	Centímetro
COPLA	Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental
CTD	Conductividad, temperatura y profundidad
DAC	Centro de ensamblaje de datos
EBSA	Áreas de relevancia biológica o ecológica
EMV	Ecosistemas marinos vulnerables
Equinor	EQUINOR ARGENTINA B.V. Sucursal Argentina
<i>et al.</i>	Et alii (y colaboradores, en latín)
EVI	Índices de valoración ecológica
Fe	Hierro
GFS	Sistema de pronóstico global
GSHHS	Base de datos global de línea costera de alta resolución, autoconsistente y jerárquica
hPa	Unidad de presión hectopascal
i.e.	Id est (es decir, en latín)
IBAT	Herramienta integrada de evaluación de la biodiversidad
IEA	Áreas ecológicamente importantes
IEO	Instituto Español de Oceanografía
INPRES	Instituto Nacional de Prevención Sísmica
IOC	Intergovernmental Oceanographic Commission
IUCN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
KBA	Áreas clave de biodiversidad
LC	Menor preocupación
LDEO	Observatorio de la Tierra Lamont Doherty
mm	Milímetros
N	Norte
NCEP	Centro Nacional de Predicción Ambiental
NGDC	Centro Nacional de Datos Geofísicos
nmi	Millas náuticas

NMWW	NOAA MULTIGRID WAVEWATCH-III
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
NODC	Centro Nacional de Datos Oceanográficos
NW	Noroeste
OBIS	Sistema de Información Biogeográfica Oceánica
OCL	Laboratorio de Clima Oceánico
PNUMA-WCMC	Centro de Monitoreo de la Conservación Mundial del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
S	Sur
SDR	Reflector de inmersión hacia el mar
SFNP	Sistema Frontal Patagónico Norte
SiFAP	Sistema Federal de Áreas Protegidas
SILAM	Sistema de Modelado Integrado de Composición Atmosférica
Sv	Sverdrup
SW	Suroeste
TFZ	Zona de fractura de transferencia
Ti	Titanio
Tp	Periodo pico espectral
TW	Tropical waters
VME	Ecosistema marino vulnerable
VU	Vulnerable
WMO	Organización Meteorológica Mundial
WOD18	Base de datos oceánicos mundiales 2018
Ws	Velocidad y dirección del viento
ZEE	Zona económica exclusiva



## 1. RESUMEN

### Antecedentes del Proyecto

EQUINOR ARGENTINA B.V. tiene previsto perforar el pozo exploratorio EQN.MC.Ax-1 en el Bloque CAN\_100, a unos 300 km de la costa de la provincia de Buenos Aires, y a 1.535 m de profundidad aproximadamente (Figura 2-1).

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, por sus siglas en inglés). En total, se estiman aproximadamente 11 días de perforación activa para completar el pozo, cubriendo un periodo total de 60 días desde el inicio de la perforación.

El sonido emitido por los propulsores de la MODU para mantener la posición durante la perforación, el arreglo de cámaras de aire para los VSP, el uso de transmisores acústicos del sistema de posicionamiento dinámico, DP-AT (Dynamic Positioning Acoustic Transponders), y el sonido emitido por las embarcaciones de apoyo, se identificaron como potenciales impactos ambientales inevitables de la actividad.

ERM Argentina, como parte del estudio de impacto ambiental, realizó este estudio de modelación acústica, con el propósito de caracterizar adecuadamente el campo acústico producido como consecuencia de las operaciones asociadas a la perforación, de modo de evaluar con precisión los eventuales impactos producidos sobre la fauna marina y proponer las medidas de mitigación correctas, en caso de ser necesario.

### Metodología

Las predicciones de las pérdidas de intensidad sonora por transmisión obtenidas como parte del estudio de modelación acústica realizado se basan en los resultados de los modelos RAM y BELLHOP. Estos modelos estiman con gran eficiencia el campo de presión sonora en el océano. A partir de la revisión previa de los trabajos disponibles en la literatura científica, se seleccionó el modelo RAM para frecuencias inferiores a 200 Hz y el BELLHOP para las superiores. Estos modelos, que han sido validados contra datos experimentales en diversos programas de mediciones de sonido subacuático en distintas partes del mundo, utilizan como datos básicos de entrada:

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

Se efectuó un análisis de sensibilidad para conocer cómo afectan los distintos valores de las propiedades geoacústicas y espesores de los sedimentos de fondo a las pérdidas de intensidad sonora por transmisión.

Se realizaron corridas exploratorias para estudiar la sensibilidad de las pérdidas por transmisión frente a las variaciones estacionales de la velocidad de propagación del sonido. A partir de los resultados de estas corridas se decidió utilizar para la modelación, el campo medio de velocidad del sonido de primavera, por ser el que menos pérdidas presentó, aplicando un criterio conservador.

Se modelaron cuatro escenarios ubicando las fuentes sonoras en la posición del pozo EQN.MC.Ax-1:

- Arreglo de cámaras de aire para VSP
- Propulsores de la MODU (Buque de Perforación)
- Propulsores de la MODU + 2 Embarcaciones de Apoyo

- Sistema de Posicionamiento DP-AT: 1 transductor acústico en la MODU y 4 transpondedores en el fondo

Para cada escenario planteado, se modelaron las pérdidas por transmisión acústica en 1/3 de octava de banda, siguiendo el estándar ISO 266-1975E adoptado por la comunidad acústica internacional. Para cubrir el rango de frecuencias de las fuentes sonoras de interés, donde se produce la mayor parte de la energía acústica, se modelaron las frecuencias entre 10 y 1000 Hz para el arreglo de cámaras de aire del VSP, para las hélices de la MODU y embarcaciones de apoyo y entre 19.000 y 34.000 Hz para el DP-AT.

En la modelación del arreglo de cámaras de aire para VSP, dado que el modelo RAM no utiliza a la direccionalidad de la fuente como parámetro de entrada, para calcular el nivel de la fuente para frecuencias  $\leq 200$  Hz se consideraron dos situaciones. La primera de ellas cuando la distancia horizontal del animal marino a la fuente es mayor que la profundidad del lugar, y la segunda cuando es menor.

Para el primer caso, se promediaron los niveles de amplitud sonora de la fuente para los ángulos entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$  con respecto a la vertical, como una forma de cuantificar en forma conservativa la disminución de la energía acústica de la fuente en la horizontal. Como resultado de ello, el nivel de amplitud sonora de la fuente resultó reducido en 7 dB para el ancho de banda 10-200 Hz.

Para el segundo caso, cuando la distancia horizontal a la fuente es menor que la profundidad del lugar, se corrigió la fuente. Justo debajo de la fuente, ángulo de  $0^\circ$ , distancias horizontales 0 m, no se consideró atenuación. Para ángulos con respecto a la vertical entre  $0^\circ$  y  $45^\circ$  se interpoló la intensidad de la fuente entre el valor correspondiente a  $0^\circ$  y el promedio obtenido para los ángulos entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$ .

Para la modelación de las pérdidas por transmisión para frecuencias mayores a 200 Hz (frecuencias en las que se utilizó BELLHOP), se usaron los niveles de amplitud sonora asociados a la directividad de la fuente.

En ningún escenario modelado se tuvo en cuenta la rugosidad debido a la influencia del viento en la superficie marina, siendo esta una suposición conservadora.

Para la posición de la fuente acústica se modelaron 36 radiales cada  $10^\circ$  con la batimetría correspondiente a cada radial, siguiendo la aproximación N x 2-D.

Se utilizaron criterios de evaluación para mamíferos marinos basados en los estudios de Southall y otros (2019), para sonidos pulsados y no pulsados, y los criterios de evaluación para peces, tortugas huevos y larvas basados en los estudios de Popper y otros (2014).

Se determinaron valores de Nivel de Exposición al Sonido Acumulados durante 24 hs ( $SEL_{cum}$ ) y se determinaron las distancias de separación inicial mínima entre la fuente sonora y el animal marino, de modo de no provocar lesiones a este último.

Se estimaron las distancias desde la fuente sísmica a las isopletras de estos valores umbrales.

Se estimaron las áreas que reciben niveles de presión sonora mayores a los indicados en los Criterios de Evaluación de Southall y otros (2019) y Popper y otros (2014).

Se realizaron mapas de contorno de nivel de presión sonora para los Criterios de Evaluación de Southall et al., (2019) y Popper et al., (2014), siempre que las distancias a las isopletras de los valores guía superaron los 20 m.

Se validaron los resultados de la modelación con las fórmulas del esparcimiento esférico, cilíndrico y combinado, obteniendo en todos los casos resultados satisfactorios.

## Resultados

Los principales resultados de este estudio para cada escenario modelado, son los siguientes:

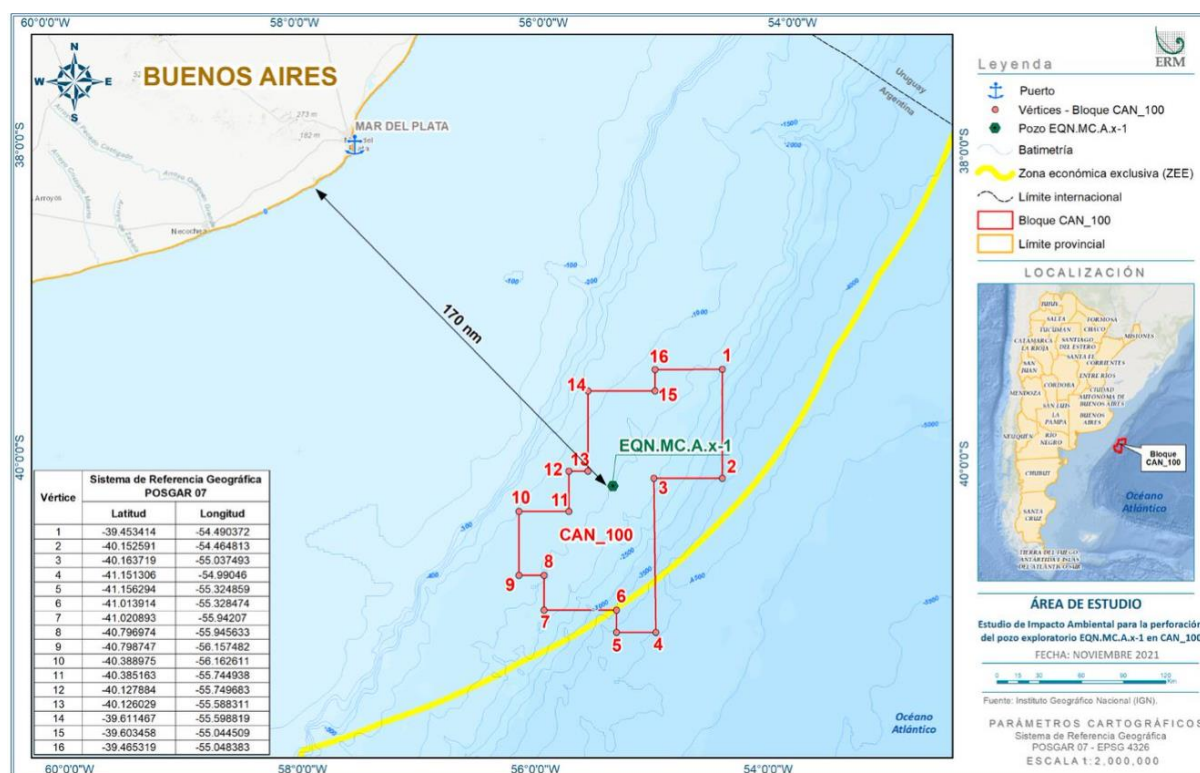
- Arreglo de cámaras de aire para VSP

- ✓ Las distancias de seguridad máximas para los mamíferos marinos respecto de las lesiones auditivas permanentes resultaron a lo sumo, de 55 m, con un área máxima sonORIZADA de 0,001 km<sup>2</sup>, dependiendo del grupo auditivo. (Criterios de evaluación de Southall et al., 2019, para sonidos pulsados).
- ✓ Las distancias de seguridad para los mamíferos marinos respecto de las lesiones auditivas transitorias resultaron a lo sumo, de 110 m, con un área máxima sonORIZADA de 0,04 km<sup>2</sup>, dependiendo del grupo auditivo. (Criterios de evaluación de Southall y otros (2019), para sonidos pulsados).
- ✓ Las distancias de seguridad para peces, tortugas huevos y larvas resultaron a lo sumo, de 31 m, con un área máxima sonORIZADA de 0,003 km<sup>2</sup>, dependiendo de la especie considerada. (Criterios de evaluación basados en los estudios de Popper y otros, 2014).
- Propulsores de la MODU (Buque de Perforación)
  - ✓ En el caso de los mamíferos marinos, no se alcanzan los niveles guía propuestos en Southall y otros, 2019, para sonidos no pulsados.
  - ✓ En el caso de peces, tortugas huevos y larvas tampoco se alcanzan los niveles guía propuestos en Popper y otros, 2014.
- Propulsores de la MODU + 2 Embarcaciones de Apoyo
  - ✓ En el caso de los mamíferos marinos, no se alcanzan los niveles guía propuestos en Southall y otros, 2019, para sonidos no pulsados.
  - ✓ Las distancias de seguridad para peces, tortugas huevos y larvas resultaron a lo sumo, de 2 m, con un área máxima sonORIZADA de 0,00001 km<sup>2</sup>, dependiendo de la especie considerada. (Criterios de evaluación basados en los estudios de Popper y otros, 2014).
- Sistema de Posicionamiento DP-AT: 1 transductor acústico en la MODU y 4 transpondedores en el fondo
  - ✓ Las distancias de seguridad máximas para los mamíferos marinos respecto de las lesiones auditivas permanentes resultaron a lo sumo, de 323 m, con un área máxima sonORIZADA de 0,3 km<sup>2</sup>, dependiendo del grupo auditivo. (Criterios de evaluación de Southall y otros, 2019, para sonidos pulsados).
  - ✓ Las distancias de seguridad para los mamíferos marinos respecto de las lesiones auditivas transitorias resultaron a lo sumo, de 1.989 m, con un área máxima sonORIZADA de 10,7 km<sup>2</sup>, dependiendo del grupo auditivo. (Criterios de evaluación de Southall y otros, 2019, para sonidos pulsados).
  - ✓ Las distancias de seguridad para peces, tortugas huevos y larvas resultaron a lo sumo, de 5 m, con un área máxima sonORIZADA de 0,00008 km<sup>2</sup>, dependiendo de la especie considerada. (Criterios de evaluación basados en los estudios de Popper y otros, 2014).
  - ✓ En este caso la señal sonora sufre una importante atenuación a partir de los 2 km de distancia a la fuente, como consecuencia de las altas frecuencias de la misma.

## 2. INTRODUCCIÓN

EQUINOR ARGENTINA B.V. tiene previsto perforar el pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1 (Argerich-1) en el Bloque CAN\_100, ubicado 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 2-1). Las coordenadas geográficas del pozo de exploración Argerich-1 (WGS84) son:

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



Fuente: ERM, 2022

**Figura 2-1: Bloque CAN\_100 y pozo Argerich-1 (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 para mantener la posición durante la perforación, el arreglo de cámaras de aire para los VSP, el uso de transmisores acústicos del sistema de posicionamiento dinámico, DP-AT (Dynamic Positioning Acoustic Transponders), y el sonido emitido por las embarcaciones de apoyo, se identificaron como potenciales impactos ambientales inevitables de la actividad.

En respuesta a este hecho y para la adecuada protección de los organismos marinos, especialmente los mamíferos, se utilizan criterios de protección prácticos durante las operaciones. Éstos se basan, entre otras medidas, en el establecimiento de distancias de seguridad entre los mamíferos marinos y la zona de operaciones.

El propósito de este estudio, es caracterizar adecuadamente el campo acústico producido como consecuencia de las operaciones asociadas a la perforación, de modo de evaluar con precisión los eventuales impactos producidos sobre la fauna marina y proponer las medidas de mitigación correctas, en caso de ser necesario.

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.

La propagación del sonido en el océano es un fenómeno complejo y en general, se requiere un modelo numérico que utilice las características específicas del área en estudio para estimar las pérdidas por transmisión y establecer con criterio conservativo distancias mínimas de protección para la fauna marina. El campo sonoro generado por las distintas fuentes sonoras, depende de la salinidad, de la temperatura, de la batimetría y del tipo de sedimentos de fondo entre otras variables de importancia. En vista del rango de diferentes profundidades en el área del Proyecto, la transmisión del sonido dependerá de la posición de la fuente, y particularmente de la interacción del campo sonoro con el fondo oceánico.

El perfil vertical de velocidad del sonido presenta por lo general variaciones estacionales que afectan y modifican su propagación. Las características geoacústicas de los sedimentos de fondo, que incluyen velocidad de compresión, velocidad de corte, densidad y atenuación, gobiernan el grado con que el sonido se refleja y se absorbe en el fondo del mar. Los procesos físicos que se producen por la interacción de las ondas sonoras con los sedimentos de fondo están parametrizados por una importante cantidad de valores que se encuentran asociados a características geoacústicas de los mismos. Algunos de estos parámetros han sido menos estudiados que otros, pero todos en general pueden encontrarse en la literatura especializada.

Existen varios métodos numéricos (modelos) para resolver el problema de la propagación del sonido en el océano. En la modelación realizada en el presente estudio, se han utilizado dos modelos distintos en función de la frecuencia de aplicación. El modelo RAM para frecuencias inferiores a 200 Hz y BELLHOP para las frecuencias mayores.

En este informe se presentan las modelaciones de propagación del sonido submarino para las actividades de perforación (operación de MODU incluyendo DP-AT), obtención de los VSP y operación de las embarcaciones de apoyo asociadas al programa de perforación Argerich-1.

El informe se ha estructurado como se indica a continuación.

- En la Sección 3 se describen los alcances del presente estudio.
- En Sección 4 se presenta la terminología y las métricas de evaluación acústica.
- En la Sección 5 se presentan los criterios de evaluación de impacto del ruido submarino que se utilizan en el presente estudio.
- En la Sección 6 se desarrolla la modelación acústica propiamente dicha, con la descripción detallada de los distintos aspectos considerados en la misma.
- En la Sección 7 se presentan los resultados en forma gráfica y tabular.
- La Sección 8 incluye las conclusiones
- La Sección 9 contiene las referencias bibliográficas.

### 3. ALCANCE

Los objetivos básicos de este estudio acústico son:

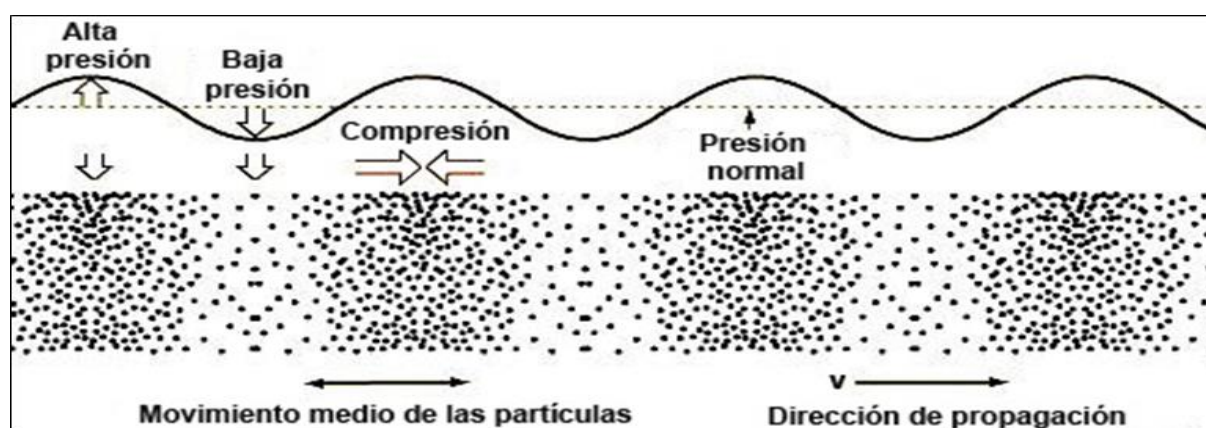
- Predecir la propagación del sonido emitido por las hélices del MODU, el sistema DP-AT, las operaciones del VSP, y las embarcaciones de apoyo para ayudar a la evaluación de los impactos ambientales asociados a la perforación exploratoria del pozo Argerich-1.
- Estimar las distancias desde la fuente sísmica a las isopletras de valores umbrales considerados para la protección de la fauna marina.
- Estimar las áreas sonorizadas definidas por las isopletras asociadas a los valores umbrales considerados para la protección de la fauna marina.



## 4. 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 4-1 muestra cómo las variaciones de presión se propagan en un medio elástico con una velocidad  $v$ .



Fuente: ERM, 2022

Figura 4-1: 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,  $1.500 \text{ m.s}^{-1}$ , mucho mayor que en el aire donde es aproximadamente  $330 \text{ m.s}^{-1}$ . 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.

### 4.1 Terminología

La terminología acústica básica utilizada en este estudio se presenta en numerosas fuentes publicadas (p. ej., ANSI, 1986, ANSI, 1994; Richardson y otros, 1995). Pese a ello, a continuación se presenta una breve descripción de los términos clave utilizados en el presente informe.

#### 4.1.1 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 las cámaras de aire comprimido y golpes de hincado de pilotes.

### 4.1.2 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.

### 4.1.3 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).

### 4.1.4 Duración

La duración, como el término lo indica, es la extensión de un sonido, medido por lo general, en segundos. Algunos autores (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.

### 4.1.5 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, cámaras 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 comportara como una fuente puntual.

## 4.2 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.

### 4.2.1 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  $p(t)$  es la presión sonora,  $P$  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.

### 4.2.2 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:

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

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.

### 4.2.3 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.

### 4.2.4 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.

$$SPL_{rms} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt / p_0^2 \right) \quad \text{dB re } 1\mu\text{Pa}$$

donde  $p(t)$  es la presión sonora,  $p_0$  es la presión sonora de referencia, y  $T$  es la duración del sonido.

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

En los estudios sobre el sonido impulsivo,  $T$  suele definirse como la duración 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,  $T_{90}$ , se denomina comúnmente el 90% de  $SPL_{rms}$  (dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ):

$$SPL_{rms}(90\%) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{T_{90}} \int_0^{T_{90}} p^2(t) dt / p_0^2 \right) \quad \text{dB re } 1\mu\text{Pa}$$

El  $SPL_{rms}$  es por lo general ~10 dB menor que el  $SPL_{pico}$ , y ~16 dB menor que el  $SPL_{pico\ a\ pico}$ .

### 4.2.5 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  $\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ .

Para expresar la Exposición al Sonido mediante la escala logarítmica de decibeles, se la compara con un nivel de energía acústica de referencia de  $1\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ . Se define entonces el Nivel de Exposición al Sonido, mediante la fórmula:

$$SEL = 10 \cdot \log_{10} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \quad \text{dB re } 1\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$$

El Nivel de Exposición al Sonido ( $SEL$ ), representa el total de energía contenida en un pulso. Se expresa en dB re  $1\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ .

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:

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

En Mc. Cauley y otros (2000), utilizando un método basado en señales digitalizadas, encontraron que en promedio el  $SPL_{rms}$  es aproximadamente 13 dB mayor que el  $SEL$ . Tomando como referencia este estudio se asume esta misma relación, para la presente modelación acústica.

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  $SEL$ .

#### 4.2.6 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.

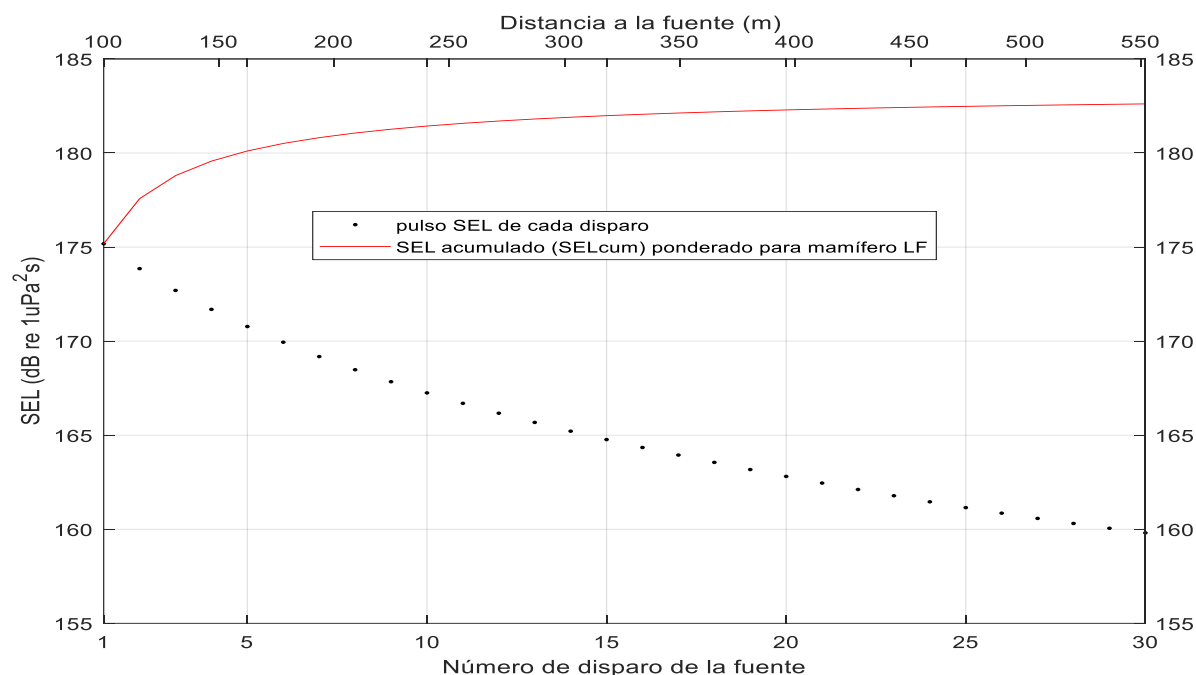
##### 4.2.6.1 Metodología Empleada Para el Cálculo del Nivel de Exposición al Sonido Acumulado

El modelo de exposición utilizado en el presente informe está sustentado en la metodología descripta en RPS, (2017), y se basa en la suposición simplista de que el mamífero marino (u otra especie) se aleja a velocidad constante de la fuente sonora, durante un período de 24 h.

Para los cálculos se ha considerado una velocidad de nado del animal de 3 km/h (0,83 m/s). Para el caso de las tortugas marinas se consideró una velocidad de 1,4 km/h (0,4 m/s). Estos valores son representativos de las velocidades más bajas para los animales marinos considerados y por lo tanto, representan una suposición conservadora ya que muchos de ellos pueden nadar a velocidades bastante mayores. Sin embargo, el hecho de asumir velocidades tan bajas, deja espacio para el caso de que el animal no se aleje permanentemente de la fuente, debido a cambios en su dirección de nado.

Para la aplicación de este método se calcula el SEL a distintas distancias de la fuente, usando las ponderaciones auditivas correspondientes a cada especie, tomando en cuenta el número de pulsos a los que está expuesto el animal en un período de tiempo dado, por ejemplo 24 h.

Para ello se emplean los valores de SEL máximos en la columna a cada distancia de la fuente para un pulso sonoro, conjuntamente con el número máximo de pulsos que se espera reciba el animal en un período de 24 h. El SEL acumulado ( $SEL_{CUM}$ ) se calcula entonces sumando logarítmicamente los sucesivos SEL a los que estuvo expuesto el animal al alejarse. Al suponer que el receptor se aleja de la fuente constantemente, cada pulso sonoro al que es sometido presenta valores de SEL discretos de magnitud decreciente (Figura 4-2).



Fuente: ERM, 2022.

**Figura 4-2: Ejemplo de SEL discreto por pulso y SEL acumulado ( $SEL_{CUM}$ ) para una velocidad de alejamiento 3 m/s**

Se puede observar que a medida que el animal se aleja de la fuente, el nivel de exposición al sonido se reduce progresivamente. Este método se utiliza para estimar cuál debería ser la distancia de inicio mínima necesaria para que el animal no esté expuesto a una energía acústica suficiente elevada como para sufrir lesiones.

Los SEL acumulados se calculan considerando los SEL por pulso para la fuente impulsiva y los SEL por segundo para las fuentes sonoras continuas (embarcaciones). El tiempo de integración acumulado fue de 24 h.

### 4.3 Pérdidas de Intensidad Sonora 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:

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

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.

#### 4.3.1 Pérdida por Esparcimiento Esférico (Spherical Spreading)

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

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

#### 4.3.2 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:

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

#### 4.3.3 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:

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

#### 4.3.4 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:

$$TL_a(dB) = \alpha \cdot R$$

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.

#### 4.3.5 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).

$$RL(dB) = SL(dB) - TL(dB)$$



## 4.4 Generación de Sonido Submarino

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 ej., Payne y Webb, 1971, Fletcher y Busnel, 1978, Richardson y otros, 1995, Nowacek y otros, 2007, Southall y otros, 2007, Weilgart, 2007, Tyack, 2008).

Cuando se evalúan los impactos potenciales del sonido antropogénico en la vida marina, los sonidos se dividen comúnmente en dos categorías principales: sonidos pulsados (con pulsos divididos a su vez en pulsos simples y múltiples) y sonidos no pulsados (Southall y otros 2007).

Los sonidos pulsados incluyen el pilotaje por impacto, los pulsos de los cámaras de aire y algunos tipos de sonar, mientras que los sonidos no pulsados, incluyen el sonido de propulsión de los buques y otros tipos de sonar.

### 4.4.1 Fuentes de Sonido de Baja Frecuencia

Durante la perforación del pozo exploratorio Argerich-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.

#### 4.4.1.1 Sonido de las Embarcaciones

El sonido subacuático que irradian los buques se produce principalmente por la cavitación de las hélices y los propulsores, con una fracción menor de sonido transmitido a través del casco, producida por los motores, engranajes y otros sistemas mecánicos.

Los niveles de sonido tienden a ser más altos cuando se utilizan los propulsores para posicionar el buque y cuando éste transita a altas velocidades. La firma sonora de un buque depende del tamaño del buque, de la potencia, del sistema de propulsión y de las características de diseño del sistema en cuestión (por ejemplo, la forma y el tamaño de las palas).

Un buque produce energía acústica de banda ancha con la mayor parte de la energía emitida por debajo de los 1000 Hz. El sonido de la maquinaria de a bordo, especialmente el sonido por debajo de los 200 Hz, domina el espectro sonoro antes de que comience la cavitación, normalmente en torno a los 8-12 nudos en muchos buques comerciales (Spence y otros, 2007).

Si el sistema de propulsión de un buque está sometido a una fuerte carga (aceleración, posicionamiento dinámico) el sonido producido por el proceso de cavitación en las hélices dominará otras fuentes de sonido del buque (maquinaria, vibración del casco, etc.) (Leggat y otros, 1981).

La potencia acústica de las hélices es proporcional al número de palas, al diámetro de la hélice y a la velocidad de la punta de la hélice. Basándose en un análisis de datos acústicos, Frazer (1986) proporcionó la siguiente fórmula para los niveles sonoros de la hélice de un buque:

$$SL = \begin{cases} 10 \log \left[ \frac{D^6 (60n)^6 N}{4} \right] - 6 & f < 100 \text{ Hz} \\ 10 \log \left[ \frac{D^6 (60n)^6 N}{4} \right] + 34 - 20 \log f & f \geq 100 \text{ Hz} \end{cases}$$

donde,  $SL$  es el nivel sonoro de la fuente en función de la frecuencia,  $D$  es el diámetro de la hélice,  $n$  velocidad de giro de la hélice en revoluciones por segundo,  $N$  es el número de palas y  $f$  la frecuencia (frecuencias centrales, en un tercio de octava de banda).

Si el buque está equipado con múltiples propulsores, el nivel de fuente combinado para un grupo de propulsores que operan juntos puede estimarse utilizando la fórmula:

$$SL_{Total} = 10 \log \sum_i 10^{SL_i/10}$$

donde,  $SL_i$  es el nivel espectral de las fuentes individuales.

Si el buque está equipado con el mismo tipo de hélices, el nivel de fuente combinado resulta:

$$SL_{Total} = 10 \log N + SL$$

donde,  $N$  es el número de hélices del mismo tipo.

#### 4.4.2 Fuentes de Sonido de Alta Frecuencia

El sistema de posicionamiento dinámico del MODU, utiliza señales acústicas de alta frecuencia durante toda la operación (energía principal superior a 20 kHz). 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 transeptores en el fondo del mar. Los dispositivos generadores de sonido se denominan en este informe, transductores acústicos de posicionamiento dinámico (DP-AT).

#### 4.4.3 Rangos de Nivel Sonoro Submarino

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 4-1: Niveles sonoros subacuáticos indicativos, durante la perforación exploratoria

Fuente	Nivel Sonoro (re 1 $\mu$ Pa at 1m $SPL_{rms}$ )
VSP	>200 dB (hacia abajo, mayor energía <1 kHz)
MODU (Propulsores)	190–195 dB (omnidireccional, mayor energía <1 kHz)
Embarcaciones de apoyo	108–182 dB (omnidireccional, mayor energía <1 kHz)
DP-AT	>200 dB (omnidireccional, mayor energía en la banda de 21 a 31 kHz band)

Fuente: Equinor, 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 Argerich-1. Por lo tanto, estas fuentes de sonido constituyen el foco principal de este estudio de modelación acústica.

### 4.5 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.

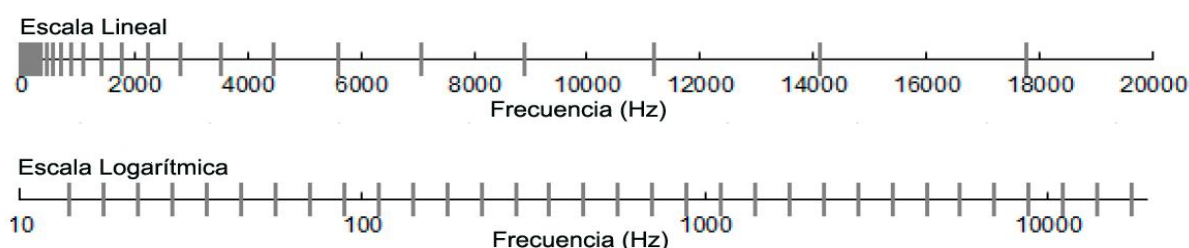
En acústica submarina, el espectro se suele dividir en bandas de 1/3 de octava, que tienen un ancho de un tercio de octava; cada octava representa una duplicación de la frecuencia del sonido. Así, la frecuencia central,  $f_c(i)$ , la frecuencia superior,  $f_{hi}(i)$ , e inferior,  $f_{lo}(i)$ , de 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 4-2.



Fuente: ERM, 2022

**Figura 4-3: Bandas de un tercio de octava mostradas en una escala de frecuencia lineal y en una escala logarítmica**

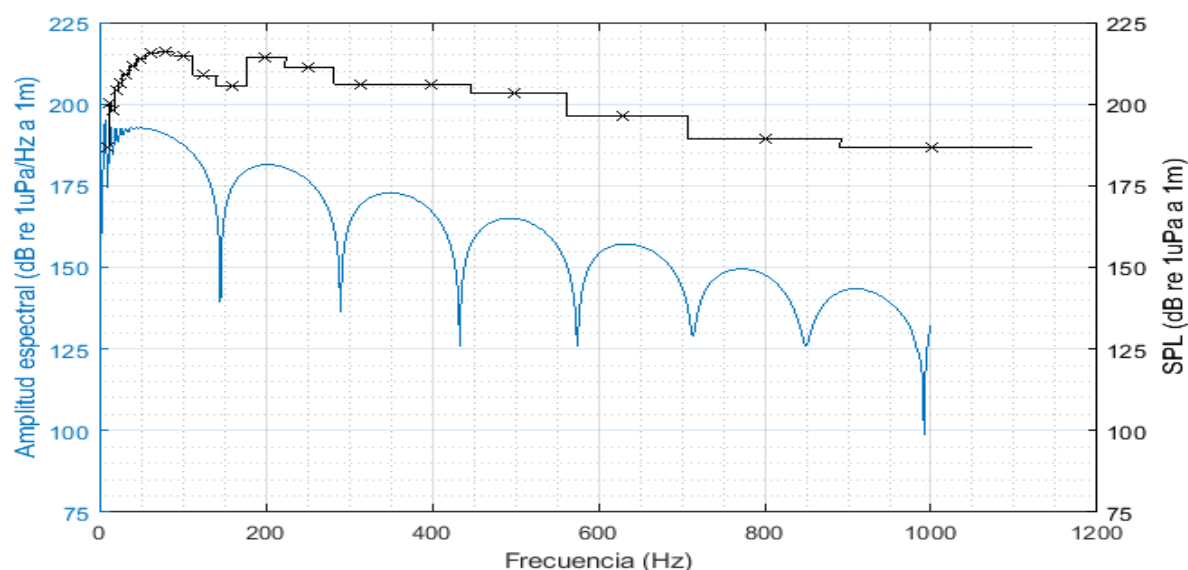
El nivel de presión sonora en la banda i de 1/3 de octava,  $L_b^{(i)}$ , se calcula a partir del espectro de potencia  $S(f)$  entre  $f_{lo}$  y  $f_{hi}$ :

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

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

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

La Figura 4-3 muestra un ejemplo de cómo se comparan los niveles de presión sonora de la banda de 1/3 de octava con la amplitud espectral de una señal sonora. Dado que las bandas de 1/3 de octava son más anchas con frecuencia, el SEL de la banda de 1/3 de octava (o, de forma equivalente, el  $SPL_{rms}$ ) es mayor que el espectro de potencia, especialmente en las frecuencias más altas.



Fuente: ERM, 2022.

**Figura 4-4: Espectro de Amplitud (azul) y Niveles de Presión Sonora Pico de 1/3 de Octava de Banda (negro). Las cruces negras corresponden a las frecuencias centrales estándar.**

La modelación acústica de las bandas de 1/3 de octava requiere menos tiempo de cálculo que las bandas de 1 Hz y sigue resolviendo la dependencia de la frecuencia de la fuente sonora y el entorno de propagación.

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. Las frecuencias centrales empleadas en la modelación se muestran en color rojo en la Tabla 4-2.

**Tabla 4-2: Frecuencias centrales estándar en 1/3-octava de banda**

Frecuencias centrales estándar en 1/3-octava de banda (Hz)				
1,3	12,6	125,9	1.258,9	12.589,3
1,6	15,8	158,5	1.584,9	15.848,9
2	20	199,5	1.995,3	19.952,6
2,5	25,1	251,2	2.511,9	25.118,9
3,2	31,6	316,2	3.162,3	31.622,8
4	39,8	398,1	3.981,1	39.810,7
5	50,1	501,2	5.011,9	50.118,7
6,3	63,1	631	6.309,6	63.095,7
7,9	79,4	794,3	7.943,3	79.432,8
10	100	1.000	10.000	100.000

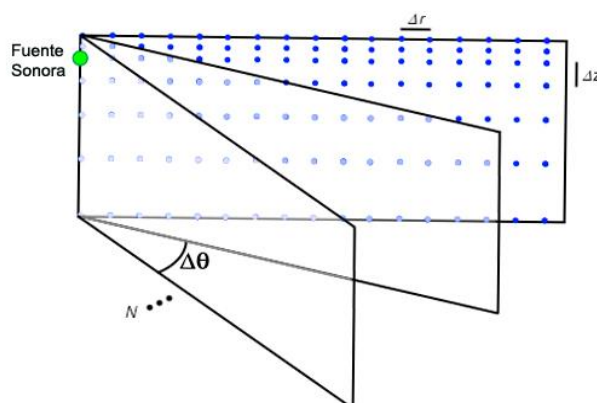
Las frecuencias en color rojo corresponden a los valores empleados en la modelación.

Fuente: ERM, 2022.

Las frecuencias entre 10 y 1000 Hz se emplean para modelar las pérdidas por transmisión correspondientes al VSP, a los propulsores del MODU y a las embarcaciones de apoyo, mientras que las frecuencias de 19952,6 Hz, 25118,9 Hz y 31622,8 Hz se emplean para la modelación de las pérdidas por transmisión del DP-AT.

## 4.6 Aproximación N x 2-D

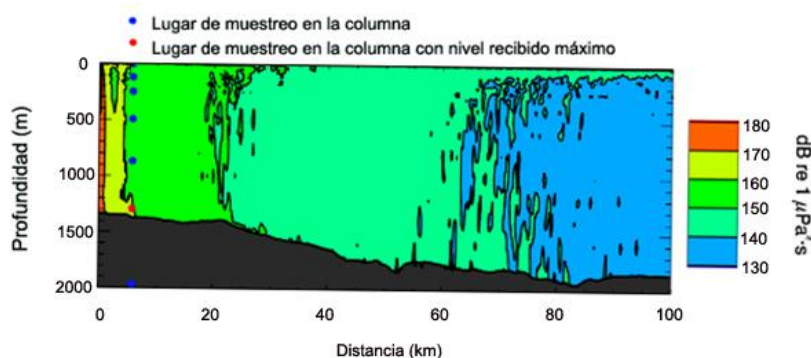
En el presente estudio acústico, se calculan los campos acústicos en tres dimensiones modelando la pérdida de transmisión dentro de planos verticales bidimensionales (2-D) alineados a lo largo de radiales que cubren una franja de 360° desde la fuente, enfoque comúnmente conocido como Nx2-D.



Fuente: ERM, 2022. Adaptado de Zeddies y otros, 2015.

**Figura 4-5: Aproximación N x 2-D**

Estos planos verticales radiales están separados por un paso angular de 10°, lo que da como resultado 36 planos (Figura 4-5). Para determinar las distancias a las isopletras de los niveles guía se toma el valor máximo recibido en toda la columna de agua (Figura 4-6).



Fuente: ERM, 2022. Adaptado de Zeddies y otros, 2015.

**Figura 4-6: Nivel sonoro recibido en el plano vertical**

## 4.7 Estimación del $SPL_{pico}$ (zero to peak) para fuentes sonoras continuas

Para fuentes de ruido continuo ideales con una señal tonal sinusoidal, el  $SPL_{pico}$  es 1,46 dB mayor que el  $SPL_{rms}$ . Sin embargo, para fuentes sonoras continuas de banda ancha, la relación puede ser diferente. La presencia de picos en la serie temporal de presión de una fuente acústica continua es un fenómeno aleatorio y no puede modelarse matemáticamente.

El enfoque más sólido sería estimar la diferencia entre la métrica  $SPL_{pico}$  y  $SPL_{rms}$  de la señal a partir de datos empíricos. El análisis de los datos acústicos registrados por JASCO<sup>1</sup> en los buques muestra

<sup>1</sup> <https://www.jasco.com/>

que, en promedio, la diferencia entre los valores  $SPL_{rms}$  y  $SPL_{pico}$  para una señal de una fuente sonora continua es de aproximadamente 10 dB, según se indicó en el punto 4.2.4.

En consecuencia, el campo  $SPL_{pico}$  para una fuente sonora continua se estimó a partir del campo  $SPL_{rms}$  utilizando la fórmula:

$$SPL_{pico} = SPL_{rms} + 10$$



## 5. 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 y otros 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 y otros 2002). Además, el ruido artificial produce cambios en el umbral de detección, enmascaramiento de señales acústicas y cambios comportamentales (Richarson y otros 1995; Mc. Cauley y otros 2003; Nachtigall y otros, 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 distintas 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<sub>CUM</sub>).

### 5.1 Criterios Para Mamíferos Marinos

Los criterios adoptados en este estudio para mamíferos marinos, se basan en el trabajo de Southall y otros (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<sub>CUM</sub>) 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.

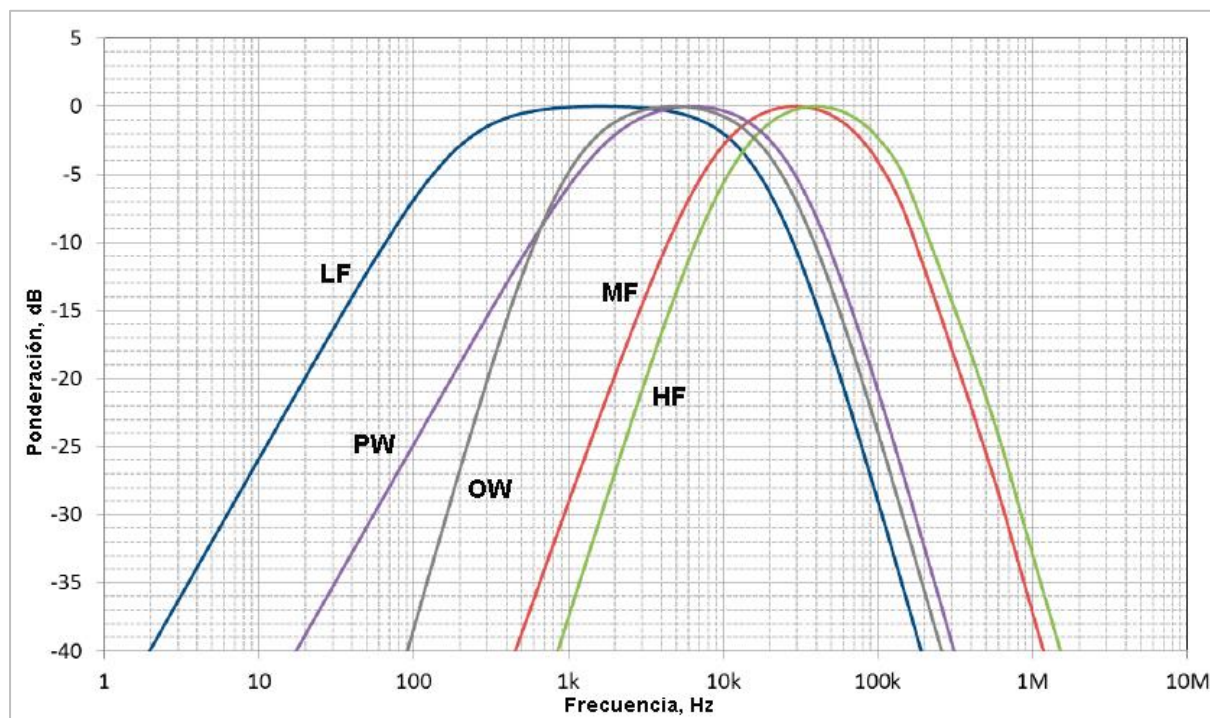
Si las pérdidas temporales de audición son repetidas, el nivel de sonido que las produce constante, o se producen niveles puntuales excepcionalmente altos de ruido, la pérdida temporal de audición puede convertirse en permanente (PTS) parcial o total.

En Southall y otros, (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 misticetos, 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

- Pinnípedos 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 los otarios (leones marinos y lobos marinos), morsas, nutrias marinas y osos polares.

Para cada uno de estos grupos se consideran determinadas ponderaciones auditivas, algunas de las cuales se muestran en la Figura 5-1.



Notas: LF: cetáceos de baja frecuencia; MF: cetáceos de media frecuencia y, HF: cetáceos de alta frecuencia; PW: Pinípedos fócidos; OW: Carnívoros marinos no fócidos.

Fuente: ERM 2022. Adaptado de NOAA<sup>2</sup>, 2015.

**Figura 5-1: Curvas de ponderación auditiva por frecuencia para distintos grupos de cetáceos marinos.**

En la Tabla 5-1 y en la Tabla 5-2, se resumen los diferentes criterios de evaluación utilizados en este estudio acústico para mamíferos marinos sometidos a Sonidos Pulsados y a Sonidos No Pulsados respectivamente.

De la observación de estas tablas, surge inmediatamente, que los criterios correspondientes al SEL<sub>CUM</sub> para PTS son 15 dB más grandes que para TTS en los distintos grupos auditivos para los sonidos pulsados y 20 dB más grandes, para los sonidos no pulsados.

A su vez, los criterios correspondientes al SEL<sub>CUM</sub> para sonidos no pulsados, son entre 11 y 18 dB más grandes que para los sonidos pulsados, dependiendo del grupo auditivo, y según se trate de PTS o TTS. Este hecho, hace que las distancias de seguridad a las fuentes que generan sonidos pulsados

<sup>2</sup> <https://www.noaa.gov/>

sean más grandes que a las fuentes que generan sonidos no pulsados, si se considera el SEL<sub>CUM</sub> como criterio de evaluación.

**Tabla 5-1: Criterios de evaluación para mamíferos marinos - Sonidos Pulsados**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	SEL <sub>CUM</sub> (ponderado)	Nivel Pico	Autor
Mamíferos Marinos	PTS	LF	183	219	Southall y otros, 2019.
		HF	185	230	
		VHF	155	202	
		PCW	185	218	
		OCW	203	232	
	TTS	LF	168	213	
		HF	170	224	
		VHF	140	196	
		PCW	170	212	
		OCW	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 2022. Adaptado de Southall y otros, 2019

**Tabla 5-2: Criterios de evaluación para mamíferos marinos - Sonidos No Pulsados**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	SEL <sub>CUM</sub> (ponderado)	Autor
Mamíferos Marinos	PTS	LF	199	Southall y otros, 2019.
		HF	198	
		VHF	173	
		PCW	201	
		OCW	219	
	TTS	LF	179	
		HF	178	
		VHF	153	
		PCW	181	
		OCW	199	

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 2022. Adaptado de Southall y otros, 2019

## 5.2 Criterios Para 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).

En la Tabla 5-3, se muestran los criterios de lesión establecidos por la publicación de Popper y otros, (2014) para levantamientos sísmicos (sonidos pulsados), que señala que es más difícil aplicar criterios  $SEL_{CUM}$  para peces, dadas las incertidumbres sobre el comportamiento de los mismos y el movimiento del buque sísmico.

**Tabla 5-3: Criterios de evaluación para peces, huevos y larvas – Sonidos Pulsados**

Especie	Daño	$SEL_{CUM}$	Nivel Pico	Autor
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	219	213	Popper y otros, 2014.
	Lesión recuperable	216	213	
Peces con vejiga natatoria (No Interviene en la Audición)	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)	

Fuente: ERM 2020. Adaptado de Popper y otros, 2014. ND: No disponible

Considerando que al igual que para los mamíferos marinos, las distancias de seguridad a las fuentes que generan sonidos pulsados son más grandes que a las fuentes que generan sonidos no pulsados, se utilizaron los valores de la Tabla 5-3, también para las fuentes que generan sonidos no pulsados, aplicando un criterio conservador.

Para usar los valores guía de la Tabla 5-3 en los casos de sonido continuo (no pulsado) éste fue convertido de  $SPL_{rms}$  a  $SPL_{pico}$  (escenarios Buque de Perforación y Buque de Perforación + 2 embarcaciones de apoyo) utilizando lo expuesto en el punto 4.7.

## 6. MODELACIÓN ACÚSTICA

### 6.1 Modelos de Propagación del Sonido

Los modelos de propagación acústica submarina 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 según se indicó en el punto 4.3.5.

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 RAM 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 RAM 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. El método de la ecuación parabólica ha sido ampliamente evaluado y es ampliamente utilizado en la comunidad de acústica submarina (Collins y otros 1996).

Las predicciones realizadas con el modelo RAM se han validado con datos experimentales en varios programas de medición acústica subacuática realizados por JASCO (Hannay y Racca 2005, Aerts y otros 2008, Funk y otros 2008, Ireland y otros 2009, O'Neill y otros 2010, Warner y otros 2010). La comparación con los datos experimentales muestra que la pérdida de transmisión estimada por RAM tiene una precisión de 3 dB.

Por otro lado, el modelo BELLHOP que es ampliamente utilizado (Porter y Liu, 1994), estima el campo acústico con gran eficiencia en entornos marinos, a través del seguimiento de haces acústicos, obteniendo resultados asombrosamente precisos. El modelo BELLHOP ha sido validado contra datos experimentales en diversos programas de mediciones de sonido subacuático (Porter, M. B. 2011).

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.
- Profundidad de la fuente acústica
- Propiedades geoacústicas de los sedimentos de fondo marino.
- Campos de velocidad del sonido a diferentes profundidades.
- Propiedades acústicas del agua.

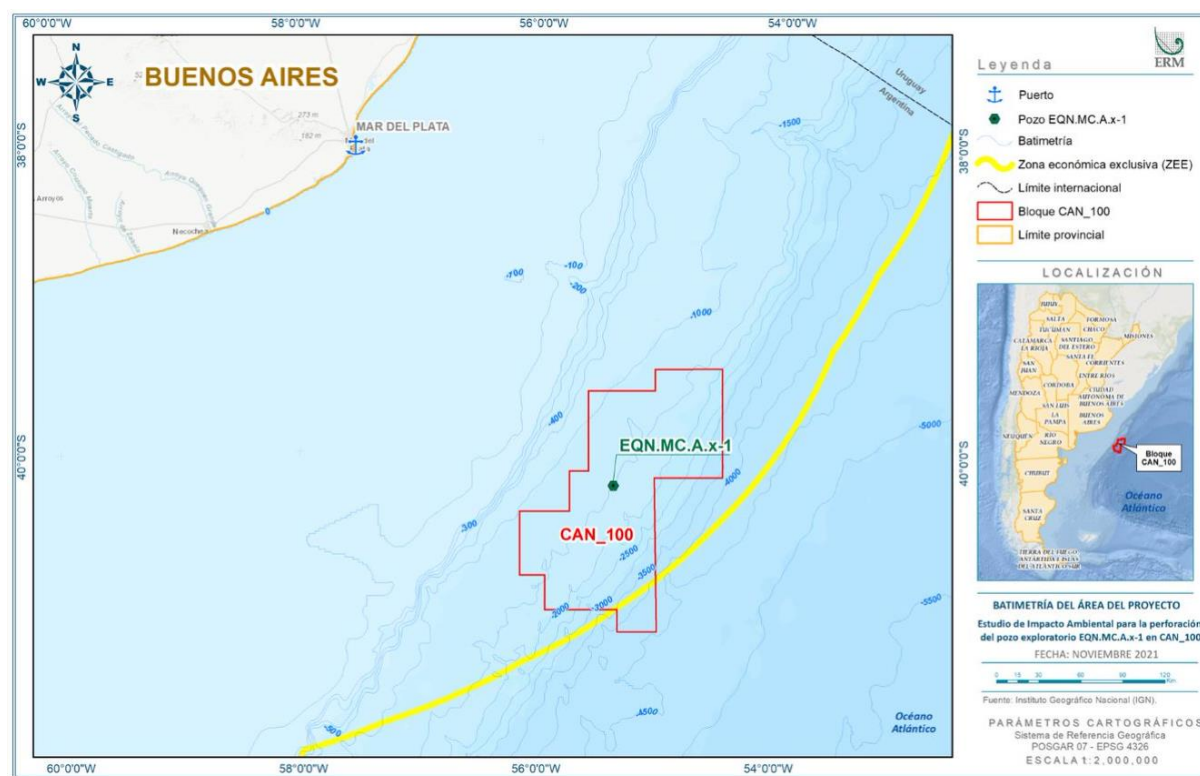
A continuación se describen los distintos parámetros empleados como entrada a los modelos RAM y BELLHOP.



### 6.1.1 Batimetría del Área

Los modelos de propagación acústica submarina para largas distancias consideran las variaciones horizontales en la batimetría. Para ello, es preciso contar con una fuente confiable de información que permita obtener los resultados con precisión suficiente.

La batimetría del área en estudio se obtuvo de la base de GEBCO (General Bathymetric Chart of the Ocean). Las grillas batimétricas de GEBCO<sup>3</sup> provienen de modelos globales disponibles para descargar a través Web Map Services, y tienen una resolución de hasta 15 segundos de arco, en su versión más reciente. Para el caso particular de este estudio se utilizó una grilla de 1 minuto de arco, cuya resolución cumple ampliamente con los requerimientos del presente estudio.



Fuente: ERM 2021, a partir de datos GEBCO con 1 minuto de arco de resolución.

**Figura 6-1: Batimetría del área del Proyecto**

Las profundidades del área oscilan entre 1.000 m y 4.500 m en las zonas más profundas. En el interior del bloque, en la parte central, predominan las profundidades entre 1.000 m y 2.000 m. En la parte occidental del bloque, las isobatas siguen la dirección general de la línea de costa, con un gradiente de profundidad moderado y profundidades que oscilan entre 1.000 m y 1.500 m, mientras que en la parte oriental se dan las mayores profundidades, con valores cercanos a los 4.500 m.

### 6.1.2 Posición de la Fuente Acústica

Las posiciones de las distintas fuentes acústicas consideradas coincidieron con la del pozo de exploración Argerich-1, cuyas coordenadas geográficas (WGS84) son (Figura 6-1):

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

<sup>3</sup> <https://www.gebco.net/>

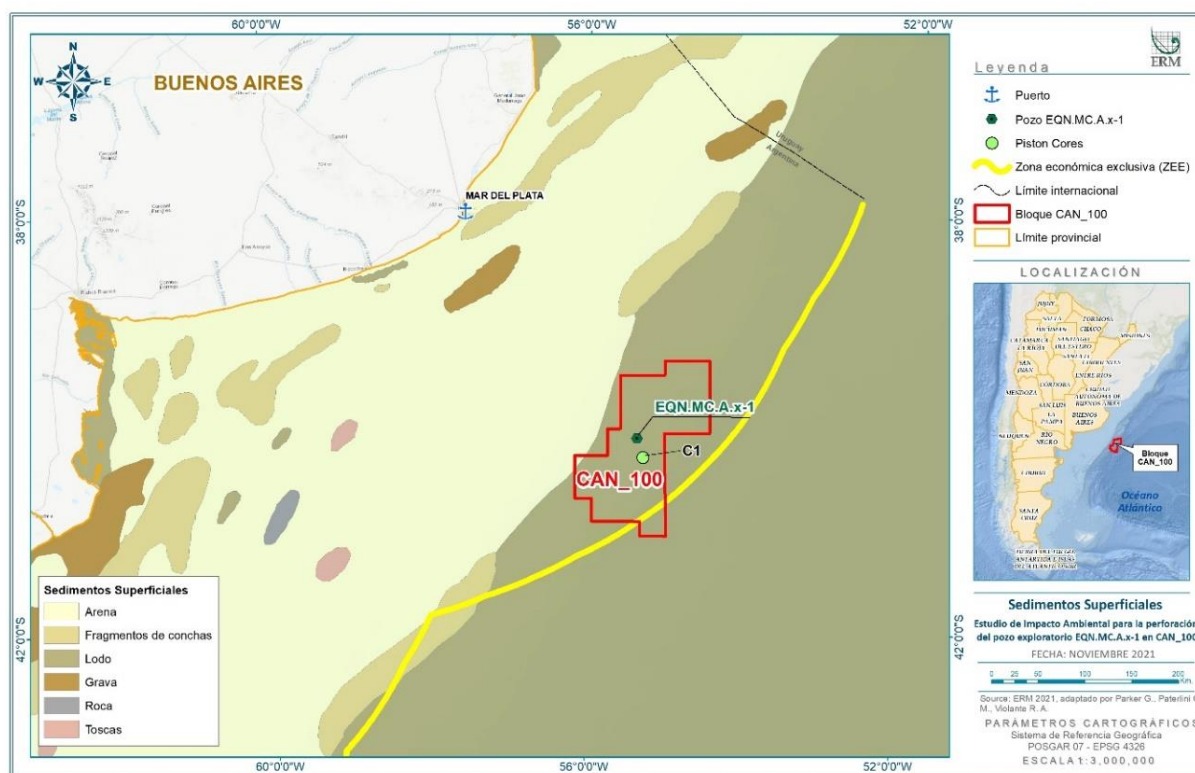
### 6.1.3 Propiedades Geoacústicas de los Sedimentos de Fondo Marino

Las propiedades geoacústicas de los sedimentos marinos en el área se resumen en cinco parámetros que sirven de entrada al modelo:

- Velocidad del sonido compresional, cp.
- Velocidad del sonido de corte o transversal, cs.
- Densidad,  $\rho$ .
- Coeficiente de atenuación compresional, ap.
- Coeficiente de atenuación de corte o transversal, as.

Los dos últimos parámetros dominan el campo acústico, en términos de pérdidas por transmisión.

La cubierta sedimentaria superficial de la zona se compone esencialmente de lodos y arenas en menor proporción. Le siguen en proporción fragmentos de conchas y gravas, aproximadamente 25% en total con cantidades equivalentes (Figura 6-2).



Fuente: ERM 2021. Adaptado de Parker y otros 1999.

**Figura 6-2: Sedimentos superficiales de fondo**

En el punto C1, indicado en verde en la Figura 6-2, se tomó un testigo de fondo durante el Crucero Oceanográfico Robert Conrad 15.

Se presentan a continuación las principales características de las descripciones megascópicas de este testigo realizadas por científicos del Observatorio Terrestre Lamont Doherty (LDEO<sup>4</sup>), así como fotografías del fondo marino distribuidas por el Centro Nacional de Datos Geofísicos de la

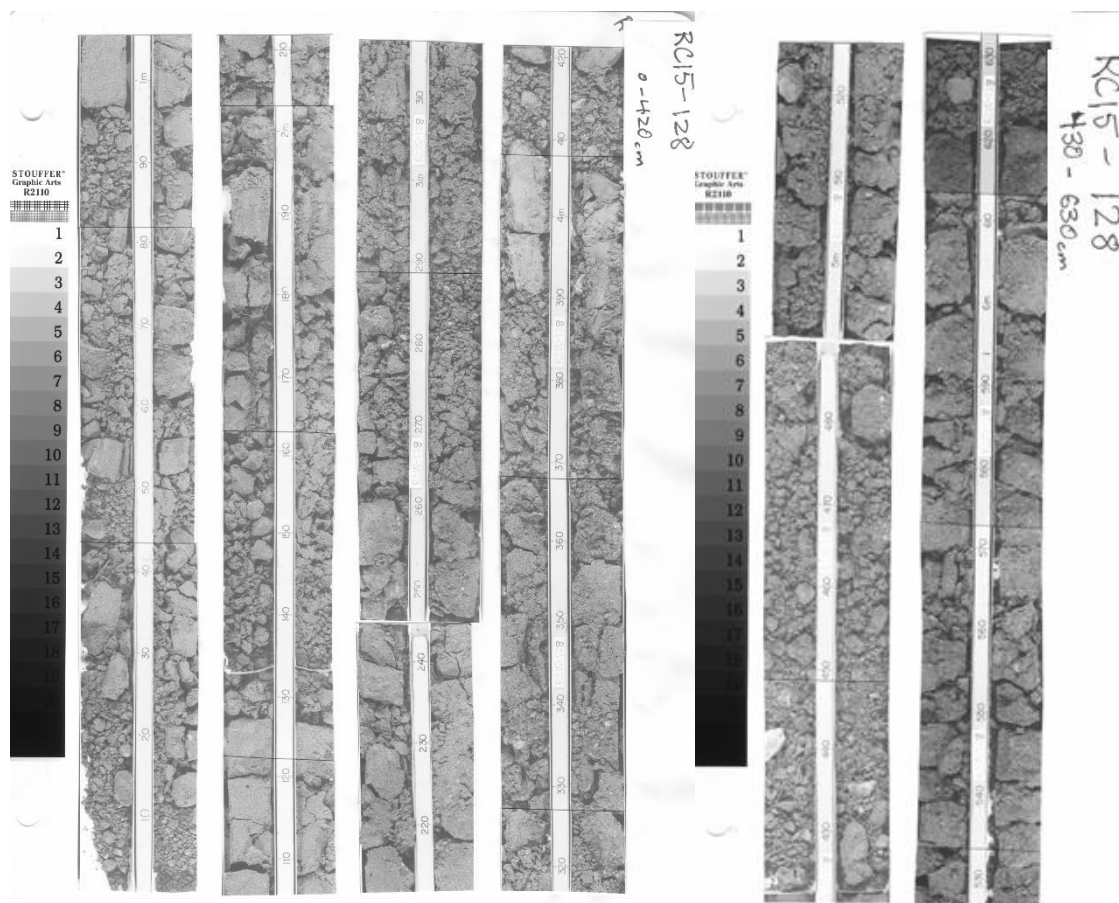
<sup>4</sup> <https://lamont.columbia.edu/>



Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de Estados Unidos (NOAA).

• **Punto verde: Testigo de fondo de 632 cm tomada a una profundidad de 2.041 m**

0 cm hasta 632 cm: Arena, gris oliva (5 Y 3/2), húmeda y sin consolidar. Contenido de carbonato nulo. Fracción gruesa de aproximadamente 99% que consiste principalmente en abundante cuarzo redondeado y subredondeado, fragmento de roca ígnea, minerales oscuros comunes, olivino, piroxeno y anfíbol, foraminíferos planctónicos insignificantes, fragmentos de conchas y glauconita. Numerosos gránulos, grava y guijarros de roca sedimentaria esparcidos por todas partes. Ver Figura 6-3.



Fuente: NGDC<sup>5</sup>, NOAA, 2022

**Figura 6-3: Testigo de fondo correspondiente al punto C1 de la Figura 6-2**

### 6.1.3.1 Caracterización Geotécnica del Fondo

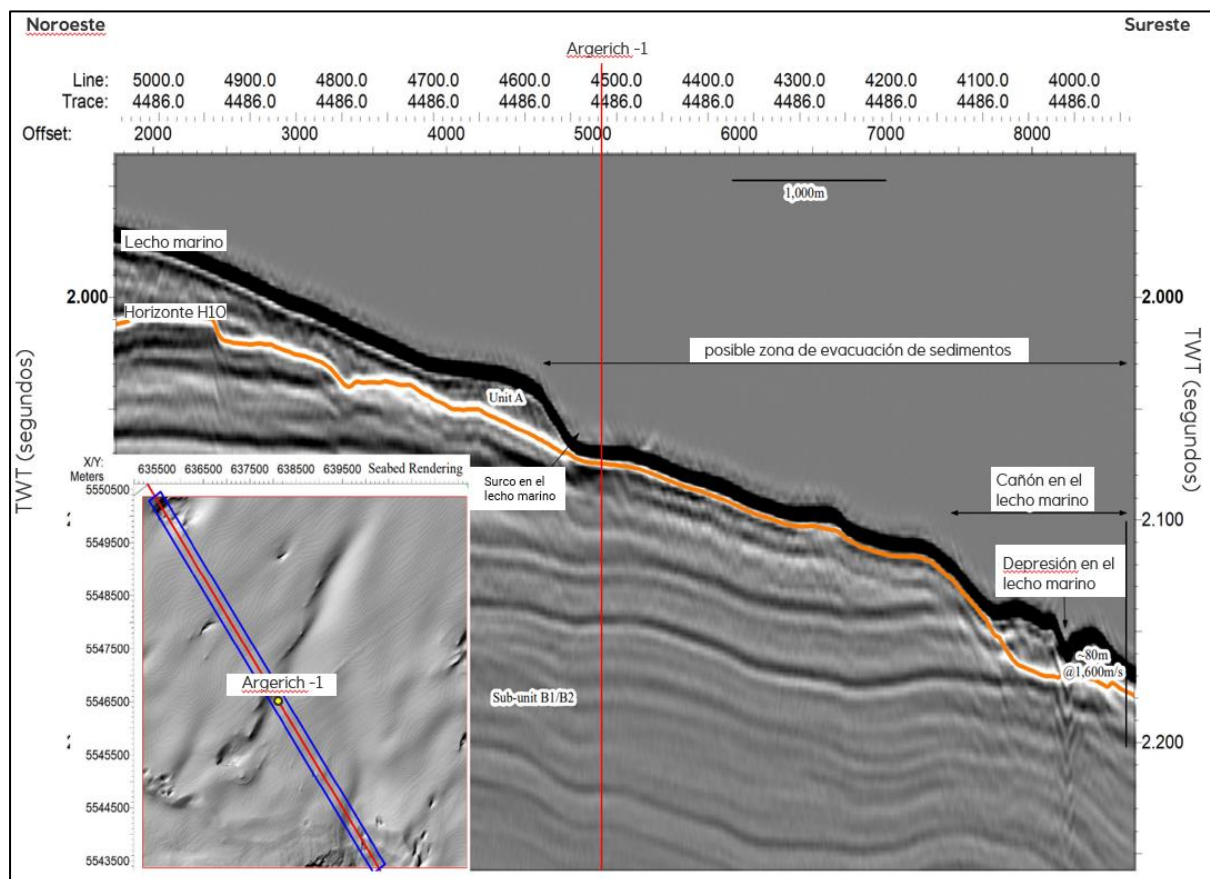
Los suelos más superficiales (Unit A Figura 6-4) se caracterizan generalmente por una reflectividad ligeramente caótica, con amplitudes sísmicas bajas a intermedias. Se interpretan como arcillas, limos y arenas finas. En la zona de estudio este intervalo es delgado, con espesores que van desde menos de un metro hasta 60m en la zona de estudio alrededor del pozo.

La base de Unit A (Horizon H10 Figura 6-4), se reconoce como un claro reflector sísmico y es interpretado como una capa de arena. En el pozo se estima que dicha capa tenga también unos 4m de espesor. La unidad subyacente (Unit B Figura 6-4) muestra una reflectividad uniforme y es interpretada como una capa de arcillas y limos con finas intercalaciones arenosas. El espesor de esta

<sup>5</sup> <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/contributing-partners/noaa-national-geophysical-data-center.html>

unidad varía entre unos pocos cientos a varios cientos de metros y ocasionalmente se puede subdividir en varias unidades, todas ellas caracterizadas por limos y arcillas.

A través de correlaciones sísmicas, se estima que Unit A sea de edad Cuaternaria, mientras que la Unit B es de edad Terciaria, con sedimentos posiblemente más compactados.



Fuente: EQUINOR, 2022

**Figura 6-4: Imagen sísmica de alta resolución a través de la ubicación propuesta del pozo ilustrando la topografía del lecho marino y las capas sedimentarias más superficiales**

### 6.1.3.2 Análisis de Sensibilidad a los Sedimentos de Fondo

A partir del análisis de la información disponible sobre la constitución de los sedimentos de fondo, se observó que podrían 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 ocho escenarios distintos en cuanto a tipo de sedimento, espesor de la capa de sedimentos y valores de las propiedades geoacústicas correspondientes y se modelaron las pérdidas por transmisión a partir de ellos, sumando las contribuciones de todas las frecuencias centrales estándar empleadas en el análisis de 1/3 de octava de banda entre 10 Hz y 1000 Hz y entre 19.000 Hz y 34.000 Hz.

Para modelar los distintos escenarios se adoptó batimetría plana a la profundidad del pozo EQN.MC.Ax-1 (1535 m), media anual de velocidad del sonido y fuente sonora a 12 m de profundidad. Los ocho escenarios modelados se presentan en la Tabla 6-1.

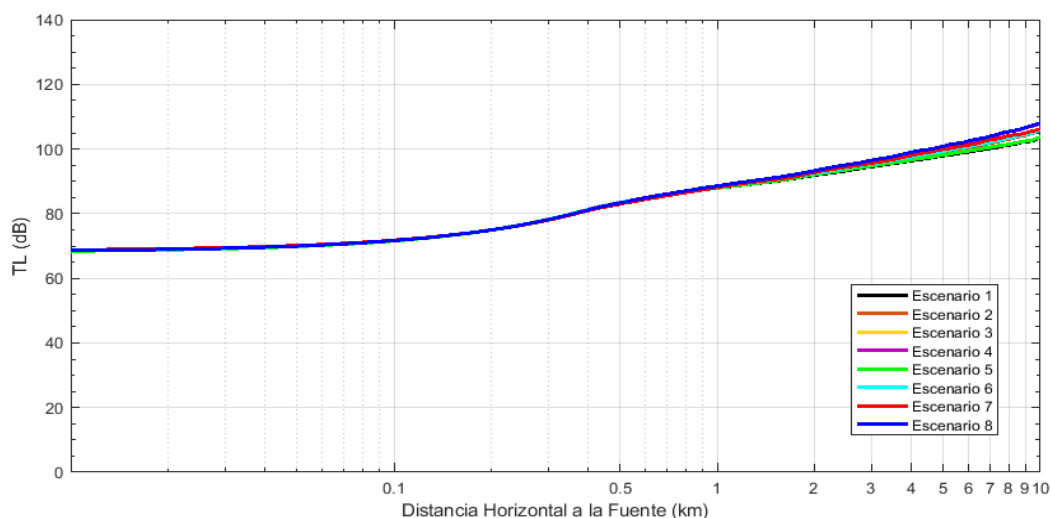
**Tabla 6-1: Escenarios planteados para el análisis de sensibilidad a los sedimentos de fondo**

Escenario	Sedimento	Espesor (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (m/s)	$c_s$ (m/s)	$\alpha_p$ (dB/ $\lambda$ )	$\alpha_s$ (dB/ $\lambda$ )
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
	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	
	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	
	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	
	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	
	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	
	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	
	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	
	Roca sedimentaria	5000	2400	3000		0.1	
	Basamento	Semi-infinito	2700	5250		0.1	

Notas:  $c_p$ : velocidad del sonido compresional;  $c_s$ : velocidad del sonido de corte o transversal;  $\rho$ : densidad;  $\alpha_p$ : coeficiente de atenuación compresional;  $\alpha_s$ : coeficiente de atenuación de corte o transversal.

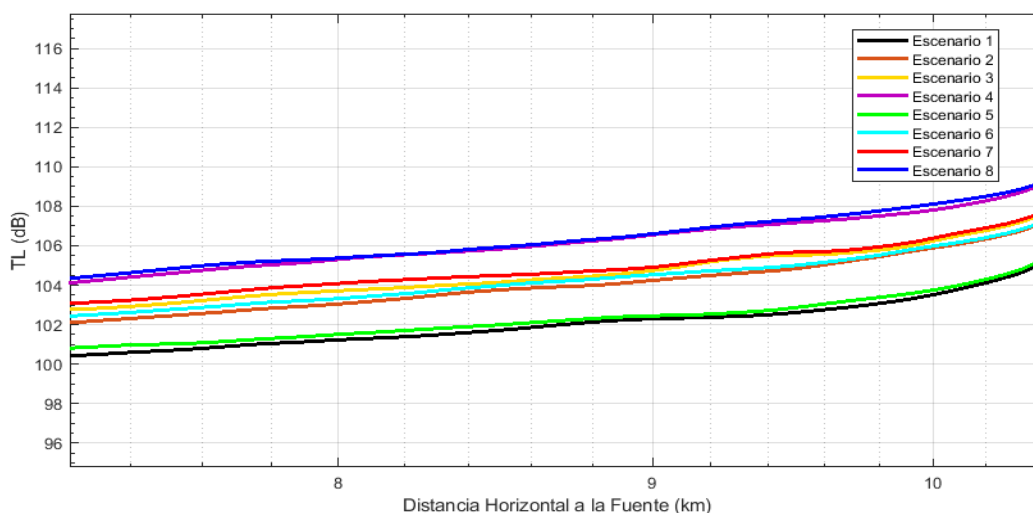
Fuente: ERM 2022, con valores de Ewing & Lonardi (1971), Jensen y otros, 2011 y, Jackson y Richardson (2007)

Las pérdidas por transmisión resultantes para cada escenario se presentan en los gráficos de la Figura 6-5 y de la Figura 6-6 (zoom).



Fuente: ERM, 2022.

**Figura 6-5: Pérdidas por transmisión en función de la distancia horizontal a la fuente (eje x, en escala logarítmica) para los ocho escenarios que se presentan en la Tabla 6-1**



Fuente: ERM, 2022.

**Figura 6-6: Zoom de la Figura 6-5 entre 7 km y 10 km a la fuente, aproximadamente**

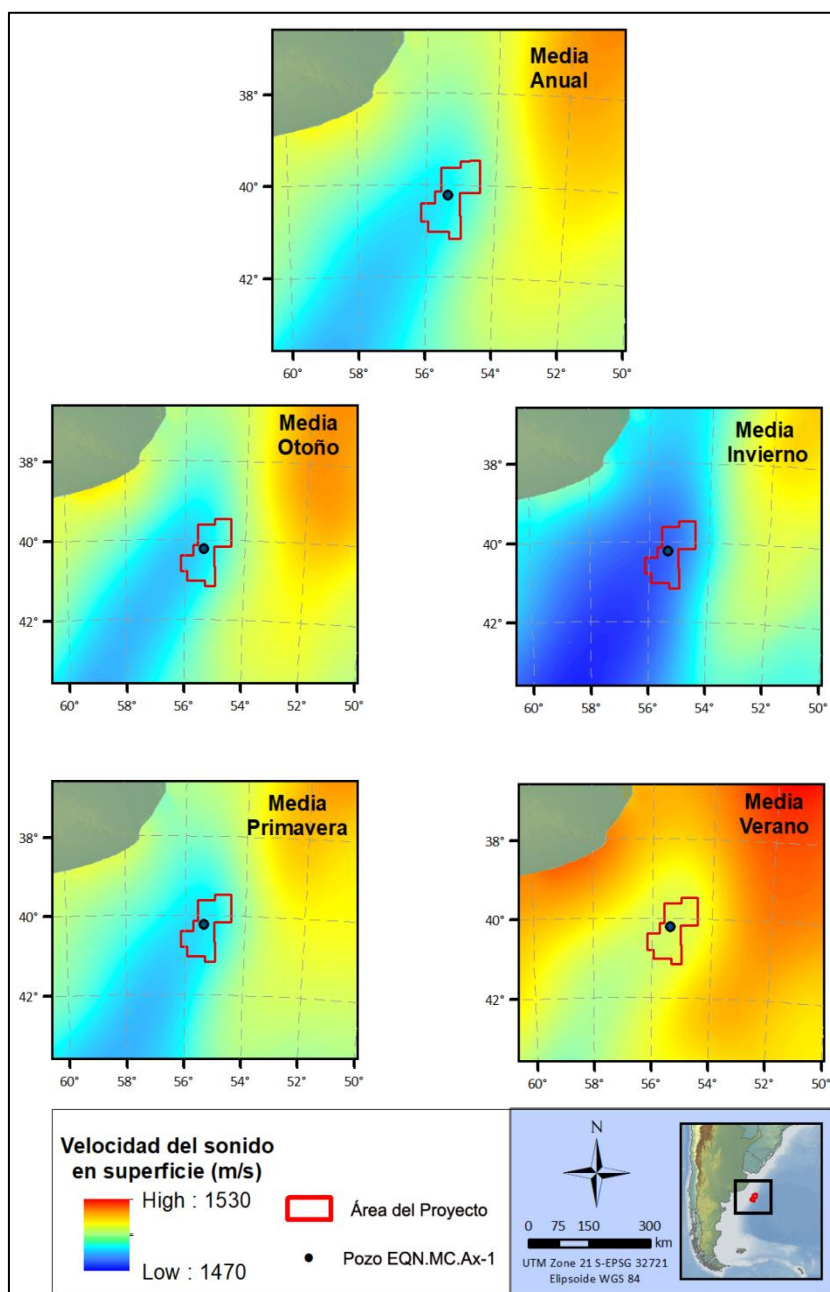
En las figuras anteriores puede observarse que la configuración de sedimentos correspondientes al Escenario 1 es la que presenta menos pérdidas por transmisión y por lo tanto, siguiendo un criterio conservativo, se adoptó para la modelación acústica en el presente estudio.

#### 6.1.4 Velocidad del Sonido

La velocidad de propagación del sonido en el mar ( $c$ ) es función de la temperatura, de la salinidad y de la presión, variando típicamente entre 1400 m/s y 1600 m/s. En el océano abierto, la variación vertical de la velocidad del sonido está influenciada principalmente por la distribución de temperatura y presión y, en menor medida, por la salinidad.

A partir de datos de temperatura, salinidad y presión para el área en estudio, utilizando el estándar TEOS-10<sup>6</sup> (Thermodynamic Equation Of Seawater-2010), se determinaron campos medios estacionales y el campo anual, de velocidad de propagación del sonido a distintas profundidades. En la Figura 6-7, se muestran estos campos en superficie.

Puede observarse que la velocidad del sonido en el área presenta máximos estacionales en verano y mínimos en invierno, mientras que el campo medio anual no difiere mucho de los de otoño y primavera.



Fuente: ERM, 2022.

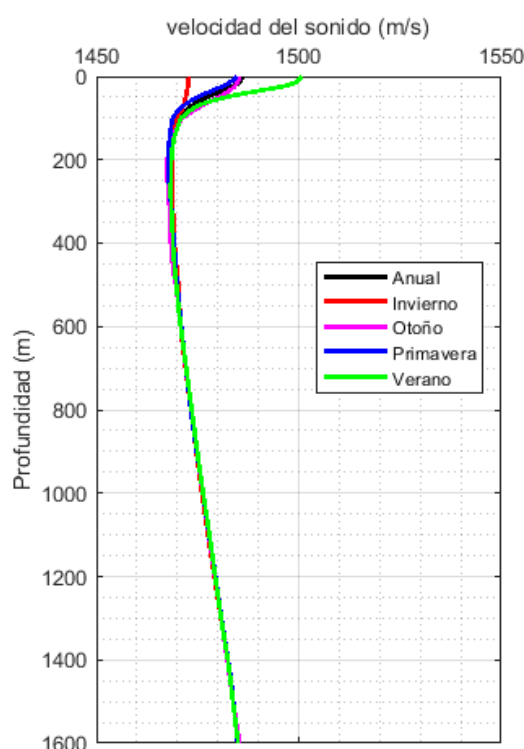
**Figura 6-7: Campos medios estacionales y campo anual, de velocidad de propagación del sonido en superficie**

<sup>6</sup> <http://www.teos-10.org/>



Los datos de temperatura y salinidad utilizados en este estudio para el cálculo de la velocidad del sonido corresponden a la base de datos del Atlas Mundial de los Océanos 2018 (WOA 2018, por sus siglas en inglés), cuya resolución espacial es de 0,25°. El Atlas mundial de los océanos es una colección de perfiles medios de temperatura, salinidad, oxígeno, fosfato, silicato y nitrato, analizados objetivamente y con control de calidad, generados a partir de la Base de Datos Mundial de los Océanos (WOD18).

WOD18<sup>7</sup> es una base de datos oceánicos preparada por el Ocean Climate Laboratory (OCL) en el Centro Nacional de Datos Oceanográficos (NODC<sup>8</sup>) en Silver Spring, Maryland, USA, que incluye mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y otras variables oceanográficas, con control de calidad realizado científicamente. Contempla todas las estaciones argentinas de CEADO (Centro Argentino de Datos Oceanográficos), además de otras estaciones internacionales. La figura 6-8 muestra perfiles estacionales y anuales medios de velocidad del sonido en el área del Proyecto. La velocidad del sonido muestra su dependencia de la temperatura en los primeros 50 m desde la superficie. En esta zona se presentan las principales diferencias estacionales.



Fuente: ERM, 2022.

**Figura 6-8: Perfiles medios estacionales de velocidad del sonido en el área del Proyecto**

En superficie se observan diferencias cercanas a 25 m/s entre los perfiles de verano (máximos) e invierno (mínimos). Estas diferencias disminuyen notablemente hacia los 100 m de profundidad. Los cuatro puntos presentan valores máximos de velocidad del sonido en superficie y, en los puntos más profundos, en el fondo también. A partir de los 100 m de profundidad, aproximadamente, comienza a hacerse más importante el efecto de la presión que el de la temperatura, y las diferencias estacionales se hacen insignificantes en la velocidad del sonido.

En profundidades en las que el perfil de velocidad del sonido presenta un mínimo local alejado de la superficie el sonido puede propagarse horizontalmente a distancias de miles de kilómetros. Esta zona

<sup>7</sup> <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database>

<sup>8</sup> [https://hmong.es/wiki/National\\_Oceanographic\\_Data\\_Center](https://hmong.es/wiki/National_Oceanographic_Data_Center)

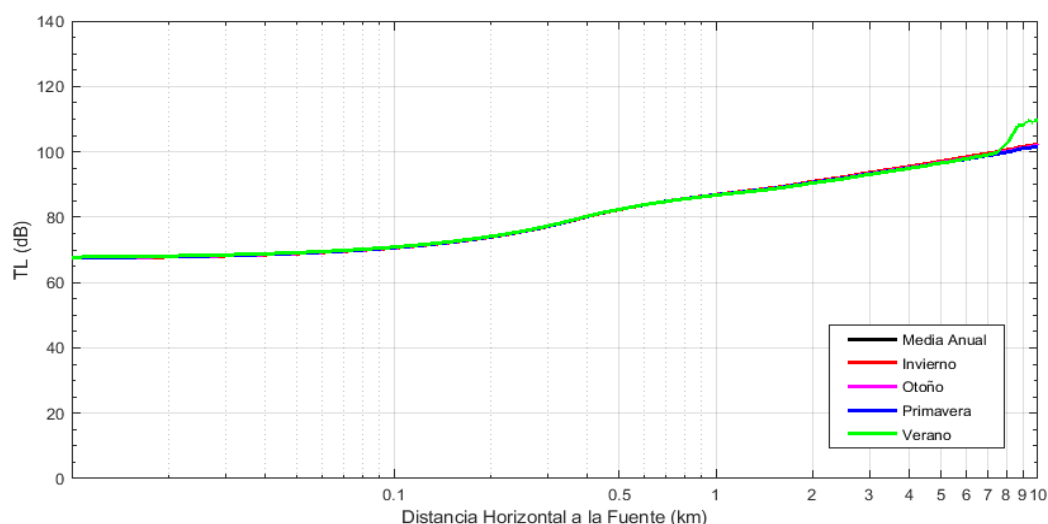
de la columna de agua se la conoce como canal sonoro o canal SOFAR (Sound Fixing And Ranging) y es consecuencia de que la propagación acústica se curva hacia regiones donde la velocidad del sonido es más baja.

#### 6.1.4.1 Análisis de Sensibilidad para la Variación Estacional de la Velocidad del Sonido

Pese a que luego de los 100 m de profundidad no se observaron cambios estacionales importantes en la velocidad del sonido, 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 medios estacionales de velocidad del sonido y el campo medio anual, batimetría plana a la profundidad del pozo EQN.MC.Ax-1 (1.535 m), fuente sonora a 12 m debajo de la superficie y configuración de los sedimentos según el Escenario 1 de la Tabla 6-1 (Figura 6-9 y Figura 6-10).

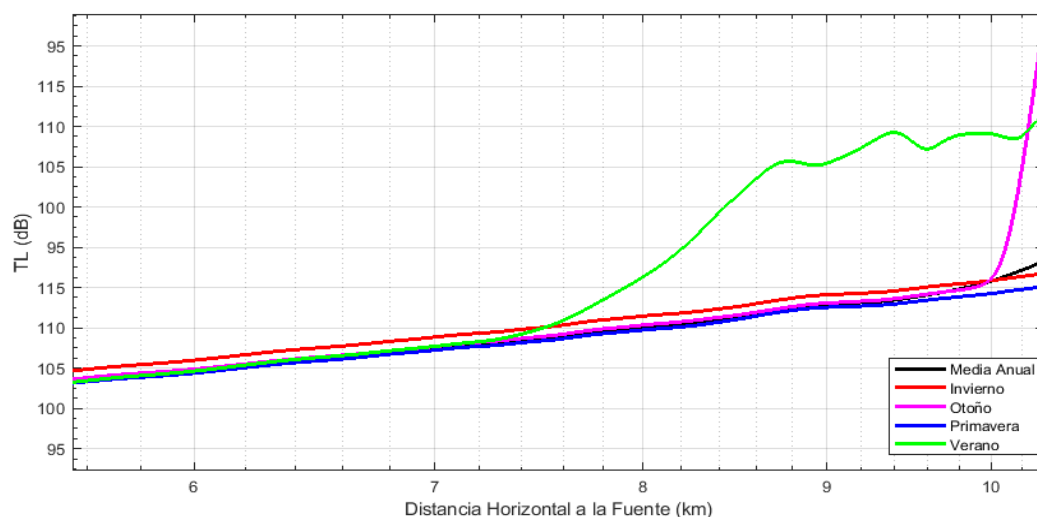
Las pérdidas por transmisión estacionales se calcularon sumando las contribuciones de todas las frecuencias centrales estándar empleadas en el análisis de 1/3 de octava de banda 10 Hz y 1000 Hz y entre 19.000 Hz y 34.000 Hz, de modo de cubrir el rango de frecuencias donde se produce la mayor parte de la energía acústica para las distintas fuentes sonoras empleadas.



Fuente: ERM, 2022.

**Figura 6-9: Pérdidas por transmisión estacionales en función de la distancia horizontal a la fuente (eje x, en escala logarítmica)**



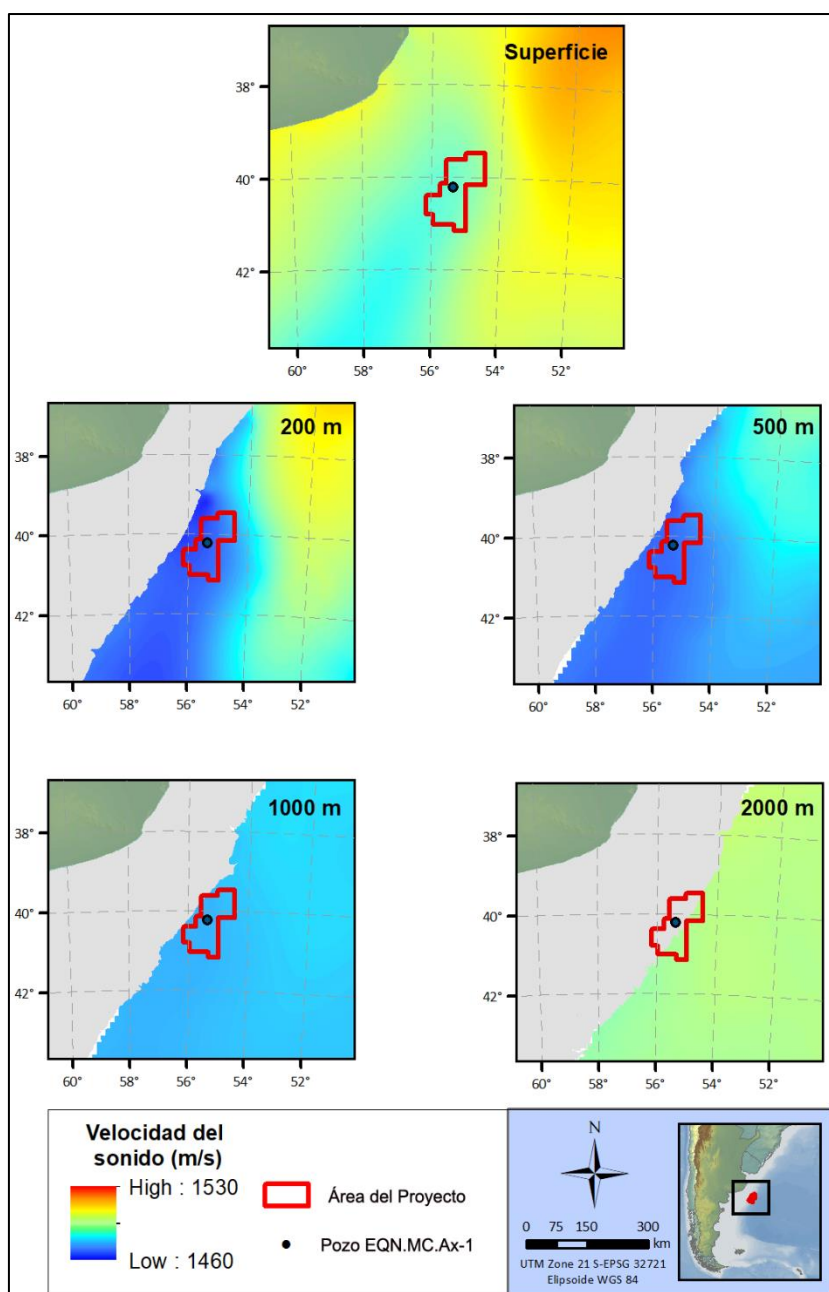


Fuente: ERM, 2022.

**Figura 6-10: Zoom de la Figura 6-9 entre 6 km y 10 km a la fuente, aproximadamente**

Puede observarse en la Figura 6-9 y en la Figura 6-10, que las diferencias estacionales son poco significativas, sin embargo, la condición de primavera es la que presentó menores TL razón por la cual se optó por considerar el campo medio de primavera para la modelación, siguiendo un criterio conservador.

La Figura 6-11 muestra los campos medios de velocidad del sonido para primavera, a distintas profundidades. Estos campos se utilizaron como dato de entrada para la modelación acústica en el presente estudio.



Fuente: ERM, 2022.

**Figura 6-11: Campos medios de velocidad de propagación del sonido para primavera a distintas profundidades**

### 6.1.5 Propiedades Acústicas Del Agua

La propagación acústica en el agua de mar no se puede considerar como una distribución geométrica idealizada debido a varios factores, como el perfil de velocidad, la reflexión en sus contornos y la conversión de la energía acústica involucrada en el proceso de absorción.

#### 6.1.5.1 Superficie Del Mar

En el presente estudio, no se tiene en cuenta la rugosidad debido a la influencia del viento. La superficie marina se modela como una capa lisa y plana. Dado que la condición de contorno plano es la situación más desfavorable, no se ha considerado ninguna rugosidad en la capa de agua.

### 6.1.5.2 Atenuación del Sonido en el Agua

Como se señaló previamente, las pérdidas por atenuación son causadas tanto por dispersión como por absorción.

La dispersión en el agua, es irrelevante a frecuencias por debajo de 10.000 Hz (Urlick, 1983), de modo que no se considerará en el presente estudio acústico, aplicando un criterio conservativo.

La absorción del sonido en el agua del mar se produce debido a la viscosidad y a la relajación iónica de las sales disueltas en el agua. Ambos procesos contribuyen a la pérdida de energía de la señal acústica. La ecuación de la pérdida por transmisión debida a la absorción en este caso estará dada por (Ainslie y otros, 1998; François, y otros, 1982).

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

donde el coeficiente de atenuación  $\alpha$ , se expresa en dB/km y R en km.

Para determinar  $\alpha$  se utilizó la siguiente fórmula:

$$\alpha = 0.106 \frac{f_1 f^2}{f_1^2 + f^2} e^{\frac{pH-8}{0.56}} + 0.52 \left(1 + \frac{T}{43}\right) \frac{S}{35} \frac{f_2 f^2}{f_2^2 + f^2} e^{\frac{-z}{6}} + 4.9 \times 10^{-4} f^2 e^{-\left(\frac{T}{27} + \frac{z}{17}\right)}$$

con

$$f_1 = 0.78 \left(\frac{S}{35}\right)^{\frac{1}{2}} e^{\frac{T}{26}} \quad y \quad f_2 = 42 e^{\frac{T}{17}} \quad f[\text{kHz}]$$

donde, T es la temperatura del agua de mar en °C, S la salinidad en g/kg.

Los valores de T, S y pH se obtuvieron de WOD18.

## 6.2 Características de las Fuentes Sonoras Modeladas

Como se indicó previamente, el sonido emitido por los propulsores de la MODU para mantener la posición durante la perforación, el sonido producido por el arreglo de cámaras de aire durante 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. A continuación se describen las principales características de estas fuentes sonoras.

### 6.2.1 Arreglo de Cámaras de Aire para VSP

La elaboración de perfiles sísmicos verticales suele realizarse durante un corto periodo de tiempo al finalizar la perforación del pozo exploratorio como parte del plan de evaluación del mismo. La fuente sísmica a utilizar consiste de un arreglo de tres cámaras de aire con un volumen total máximo de 750 in<sup>3</sup>.

Los cámaras de aire son dispositivos neumáticos subacuáticos que expulsan una burbuja de aire a gran presión, al agua. Una vez en el agua, la presión se libera y la burbuja colapsa sobre sí misma oscilando varias veces. La señal acústica así producida consiste en una secuencia de pulsos positivos y negativos que son proporcionales a la tasa de cambio de volumen de las burbujas de aire. Un solo cañón de aire produce una señal acústica que no es direccional y, por lo tanto, no es adecuada para penetrar en el fondo del mar. La Figura 6-12 muestra un modelo de cañón de aire montado en el dispositivo de remolque en color amarillo.



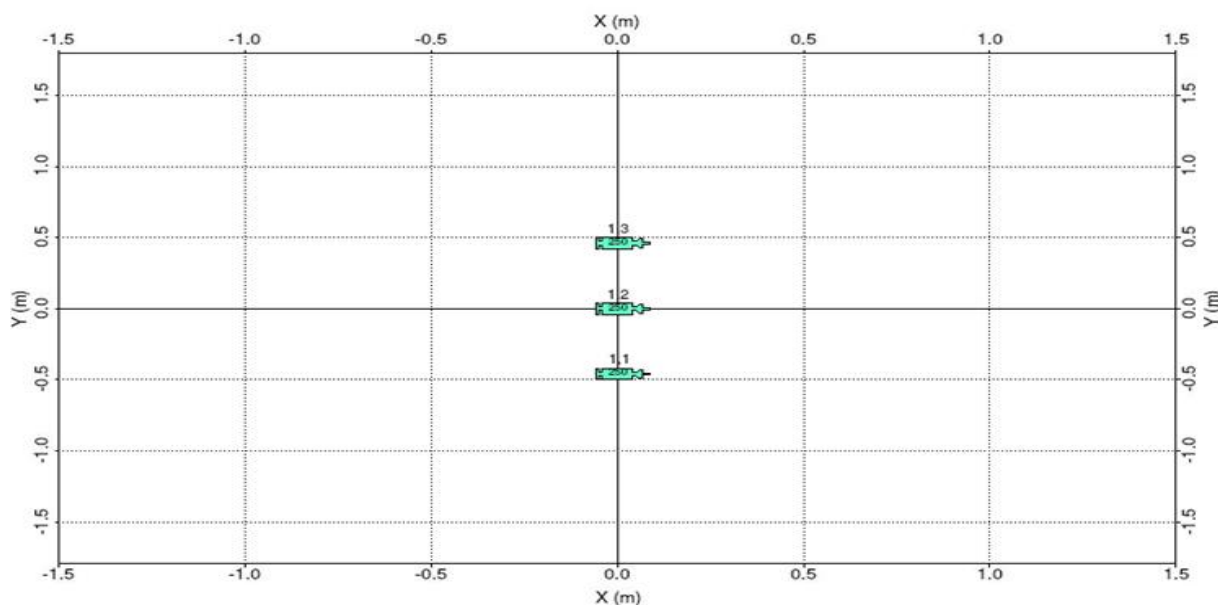
*Fuente: Trimoreau, 2011*

**Figura 6-12: Cámara de aire montado sobre un dispositivo de remolque.**

Para lograr el grado correcto de direccionalidad, es necesario agrupar una serie de varias cámaras de aire, a menudo de 10 a 30 o más, y escalonar los tiempos en que cada cañón se descarga. De esta forma se produce una señal acústica muy direccional y muy intensa que tiene el potencial de penetrar la geología submarina a una profundidad de varios kilómetros.

La mayor parte de la energía producida por la matriz está en la banda de frecuencia por debajo de 200 Hz con un pico amplio alrededor de 20-120 Hz pero con energía significativa hasta 1000 Hz (Breitzke y otros, 2008).

Durante las operaciones, se aplicará un procedimiento de arranque suave, de acuerdo con las directrices para minimizar el riesgo de lesiones y perturbaciones en los mamíferos marinos de los estudios sísmicos, de acuerdo al Comité Conjunto de Conservación de la Naturaleza (JNNCC, 2010). Esta medida consiste en un aumento lento de la potencia desde un arranque de baja energía hasta la máxima potencia, durante al menos 20 minutos, para dar tiempo a que los mamíferos marinos abandonen los alrededores. La Figura 6-13 muestra la configuración del arreglo de cámaras de aire a utilizar.



Fuente: Equinor, 2022

**Figura 6-13: Configuración del arreglo de cámaras de aire.**

Durante las operaciones de VSP, la fuente sísmica realizará un disparo cada 188 s aproximadamente, totalizando un total de 460 disparos en 24 horas. Las principales características del arreglo de cámaras de aire se presentan en la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2: Características del arreglo de cámaras de aire (fuente sísmica)**

Características de la Fuente Sísmica	Valor
Cantidad de cámaras activos	3
Cantidad de arreglos	1
Cantidad de subarreglos	1
Volumen del arreglo (in <sup>3</sup> )	750
Presión de operación de cada cañón (psi)	2.000
Profundidad de la fuente	5 m
Amplitud pico a pico (bar-m)	13,5
Cero a pico (dB re 1uPa @ 1 m)	234,85

Fuente: Equinor, 2022

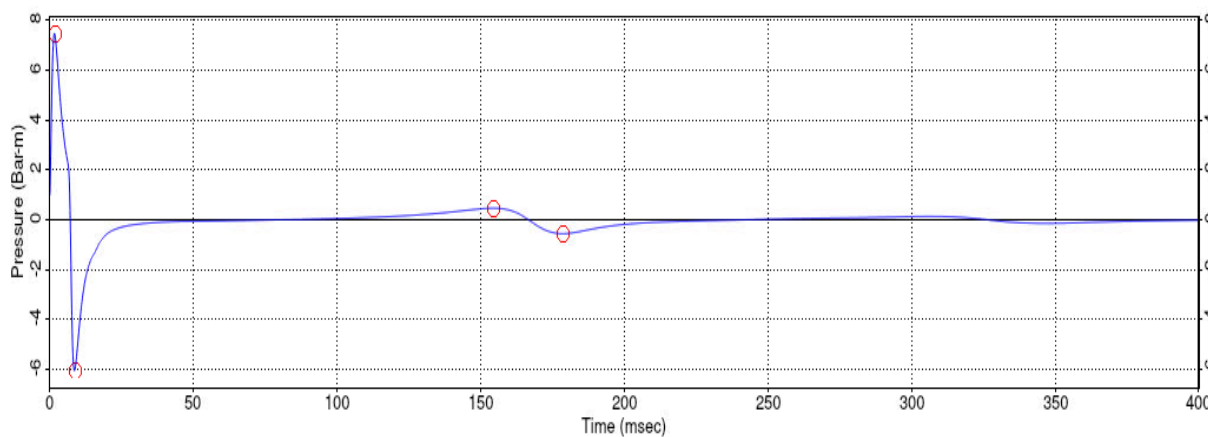
### 6.2.1.1 Firma Del Arreglo

Es común calcular la salida de una fuente sísmica en particular, en términos de presión versus tiempo, lo que se llama firma de presión o firma del arreglo.

Para determinar la energía pico a pico de un arreglo de cámaras de aire, su firma se mide a una distancia de la fuente conocida como el campo lejano. Este es un punto donde las señales producidas por los cámaras individuales presentan interferencia constructiva, por lo general unos 250 m – 300 m debajo de ellos. Esta firma del campo lejano es luego utilizada para definir un nivel nominal puntual, a 1 m del centro del arreglo, multiplicando la firma por la distancia radial de este punto al hidrófono. Este nivel nominal puntual es un nivel de presión sonora teórico. Debido a la interferencia parcial destructiva

entre las señales de las cámaras individuales, el nivel real en este punto tiende a ser 10 veces (20 dB) menor que el nivel nominal (Landrø y Amundsen, 2010).

La Figura 6-14 muestra la firma del arreglo donde puede verse que la mayor parte de la energía emitida se produce cerca de la fuente.

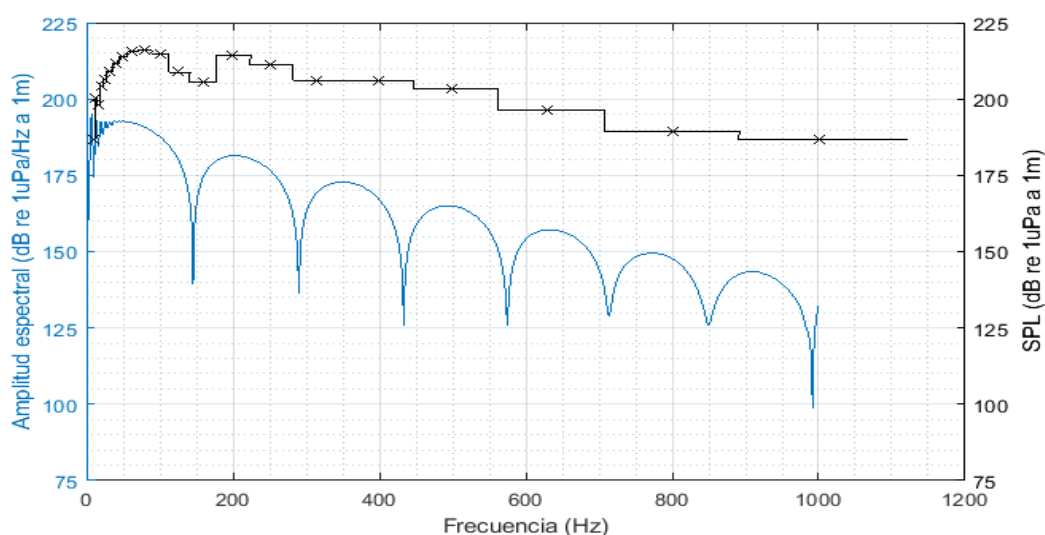


Fuente: Equinor, 2022

**Figura 6-14: Firma del arreglo de cámaras de aire**

### 6.2.1.2 Espectro de Amplitud y Niveles de Presión Sonora Pico de 1/3 de Octava de Banda

La Figura 6-15 muestra el espectro de amplitud del arreglo de cámaras de aire a utilizar en el VSP, y los niveles de presión sonora pico de 1/3 de octava de banda empleados en la modelación acústica correspondiente.



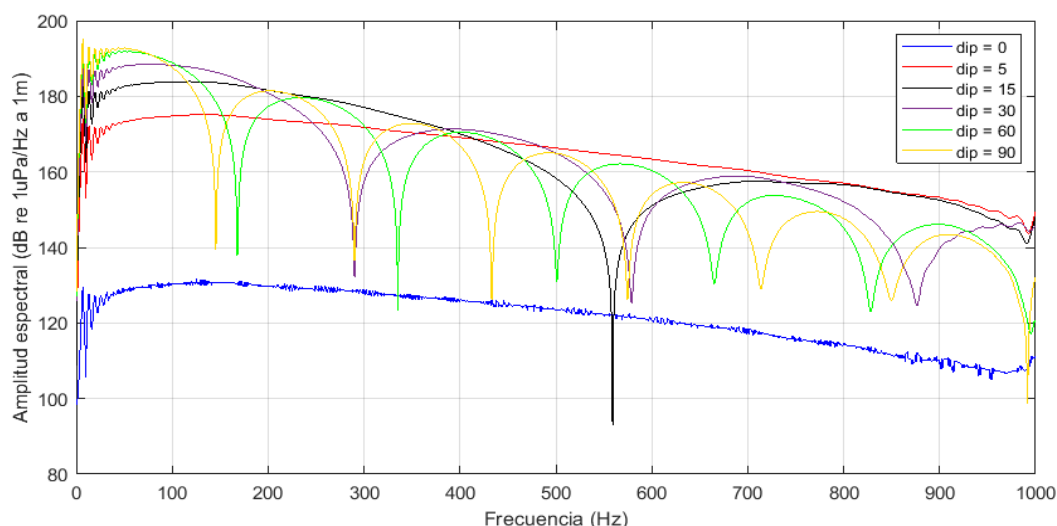
Fuente: ERM 2022. Elaboración propia con datos de Equinor, 2022

**Figura 6-15: Espectro de Amplitud (azul) y  $SPL_{pico}$  de 1/3 de Octava de Banda (negro). Las cruces negras corresponden a las frecuencias centrales estándar.**

El nivel de la fuente de banda ancha resultante para el VSP fue de 234,85 dB re 1 uPa @ 1 m ( $SPL_{pico}$ ) en dirección vertical.

### 6.2.1.3 Directividad de la Fuente Sísmica

La energía producida por las fuentes de cámaras de aire comprimido es mayormente dirigida en dirección vertical hacia abajo. Sin embargo, parte de esa energía se transmite en forma horizontal y éste resulta ser precisamente el fenómeno de mayor interés cuando se estudian los impactos sobre la biota. La Figuras 6-16 muestra la amplitud espectral de la fuente para distintos ángulos de apartamiento con respecto a la vertical (ángulos de inmersión, dip).



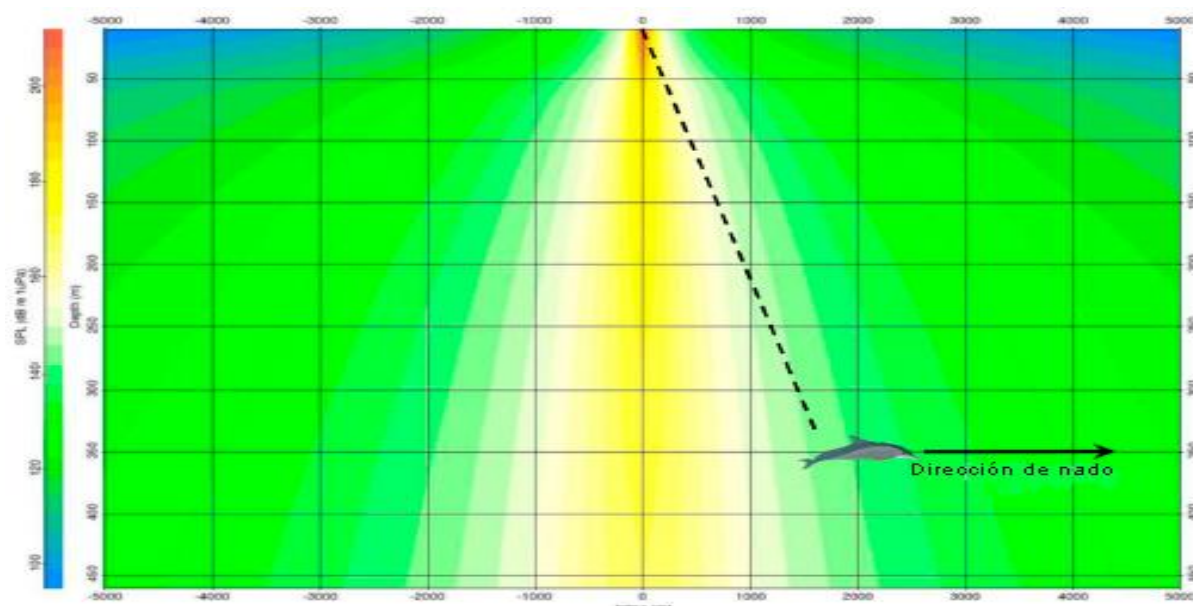
Fuente: Equinor, 2022

**Figura 6-16: Amplitud espectral de la fuente para distintos ángulos respecto de la vertical**

Según Caldwell y Dragozet (2000), los niveles de amplitud sonora emitidos en forma horizontal serán alrededor de 20 dB menores que aquellos emitidos en forma vertical.

La directividad de la fuente afecta en forma directa el nivel de presión sonora recibido por un animal. El diagrama de SPL de la Figura 6-17 muestra claramente como un animal nadando en agua más profunda estaría sujeto a niveles de exposición al sonido más altos que uno en agua poco profunda para la misma distancia horizontal a la fuente sísmica.





Fuente: ERM, 2022

**Figura 6-17: Nivel de presión sonora recibido en profundidad**

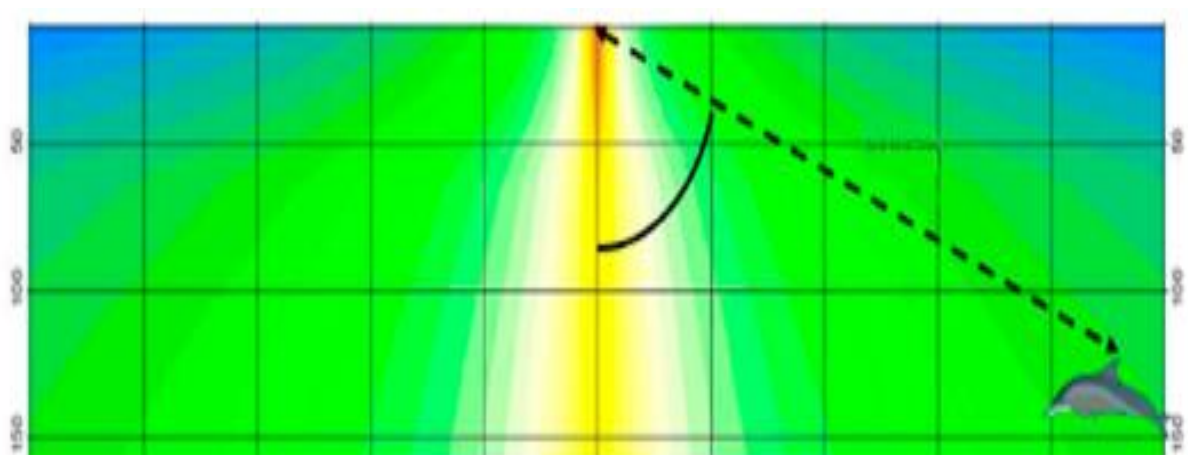
Como se indicó en el punto 4.3.5 el Nivel de Presión Sonora recibido a una distancia dada de la fuente está dado por, el nivel de la fuente (SL), menos las pérdidas por transmisión (TL).

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

En el presente estudio se utilizó el modelo RAM para modelar las pérdidas por transmisión para frecuencias  $\leq 200$  Hz. Dado que este modelo no utiliza a la direccionalidad de la fuente como parámetro de entrada, para calcular el nivel de la fuente para este rango de frecuencias se consideraron dos situaciones. La primera de ellas cuando la distancia a la fuente es mayor que la profundidad del lugar (Figura 6-18).

En este caso se promediaron los niveles de amplitud sonora de la fuente para los ángulos entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$  con respecto a la vertical, como una forma de cuantificar en forma conservativa la disminución de la energía acústica de la fuente en la horizontal. Como resultado de ello, el nivel de amplitud sonora de la fuente resultó reducido en 7 dB para el ancho de banda 10-200 Hz, valor considerablemente más bajo que el propuesto por Caldwell y Dragozet (2000).

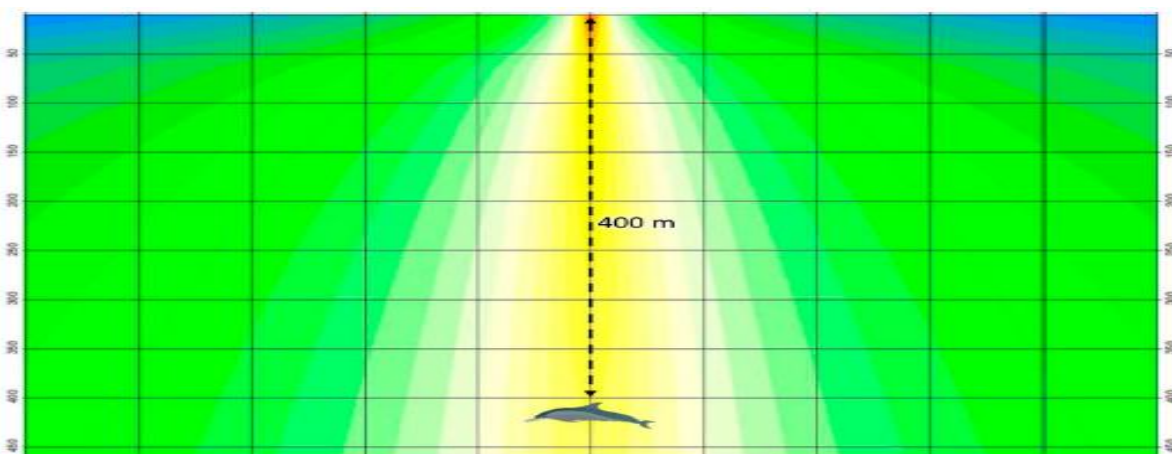
El valor 7 dB se obtuvo restando al nivel sonoro de la fuente en la vertical (entre 10 y 200 Hz), el nivel sonoro obtenido promediando los niveles de amplitud sonora correspondientes a los ángulos entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$  con respecto a la vertical, para cada frecuencia central de 1/3 de octava de banda, e integrado en el intervalo 10-200 Hz.



Fuente: ERM, 2022

**Figura 6-18: Nivel de presión sonora recibido por el animal, cuando la distancia horizontal a la fuente es mayor que la profundidad**

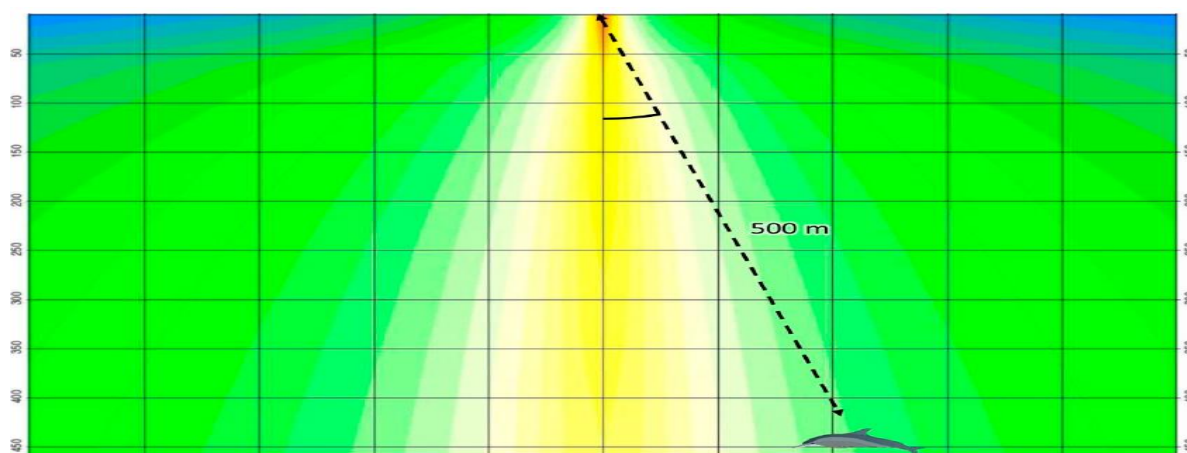
El segundo caso, cuando la distancia horizontal a la fuente es menor que la profundidad del lugar, se corrigió la fuente. Justo debajo de la fuente, ángulo de  $0^\circ$ , distancias horizontales 0 m, no se consideró atenuación (Figura 6-19).



Fuente: ERM, 2022

**Figura 6-19: Nivel de presión sonora recibido por el animal, cuando la distancia horizontal a la fuente 0 m, es decir cuando se encuentra justo debajo de la fuente**

Por último, para ángulos con respecto a la vertical entre  $0^\circ$  y  $45^\circ$  se interpoló la intensidad de la fuente entre el valor correspondiente a  $0^\circ$  y el promedio obtenido para los ángulos entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$  (Figura 6-20).



Fuente: ERM, 2022

**Figura 6-20: Nivel de presión sonora recibido por el animal, cuando la distancia horizontal a la fuente es menor que la profundidad, pero no se encuentra justo debajo de la fuente**

Para frecuencias mayores a 200 Hz (frecuencias en las que se utilizó el modelo BELLHOP), y dado que la energía asociada a cada ángulo con respecto a la vertical es un parámetro de entrada del modelo BELLHOP, se usaron los niveles de amplitud sonora asociados a la directividad de la fuente.

### 6.2.2 Propulsores de la MODU (Buque de Perforación)

Las estimaciones del nivel sonoro y del espectro de amplitud de los propulsores de la MODU se obtuvieron a partir de las características del buque de perforación Deep Ocean Clarion, de Pride International, Inc. (Figura 6-21).

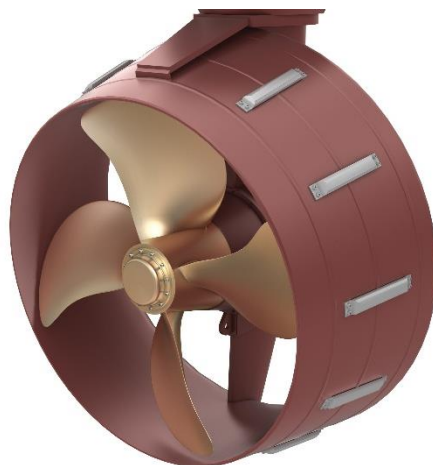


Fuente: EQUINOR, 2022

**Figura 6-21: buque de perforación Deep Ocean Clarion**

El Deep Ocean Clarion está equipado con seis propulsores Rolls-Royce UUC 455. Estos propulsores tienen hélices de 4 palas y paso fijo, en una tobera (Figura 6-22). Los parámetros de los propulsores UUC 455 son (Det Norske Veritas, 2010.):

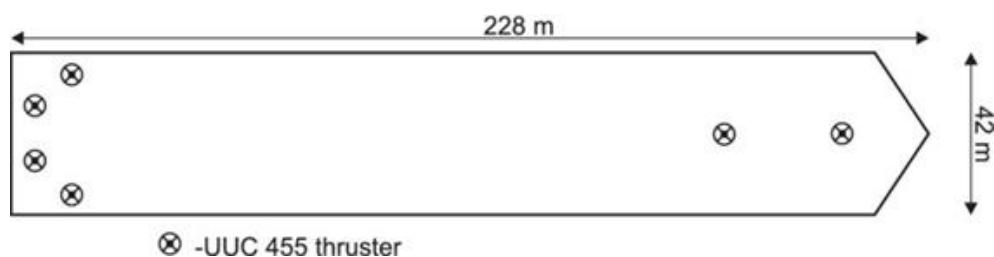
- Diámetro de la hélice de 4,1 m
- Velocidad nominal de la hélice de 157 rpm
- 5500 kW de potencia máxima continua



Fuente: DEYUAN MARINE<sup>9</sup>, 2022

**Figura 6-22: Hélice de 4 palas con tobera**

Para la modelación, se supuso que los seis propulsores funcionaban a su velocidad nominal (es decir, el mayor número sostenible de revoluciones por minuto), siendo omnidireccionales. La posición vertical de los propulsores se consideró 12 m por debajo de la superficie del mar (calado del buque durante las operaciones de perforación). La Figura 6-23 muestra la ubicación de los propulsores.



Fuente: Marine Traffic<sup>10</sup>, 2022

**Figura 6-23: Dimensiones del Deep Ocean Clarion y posición de las hélices**

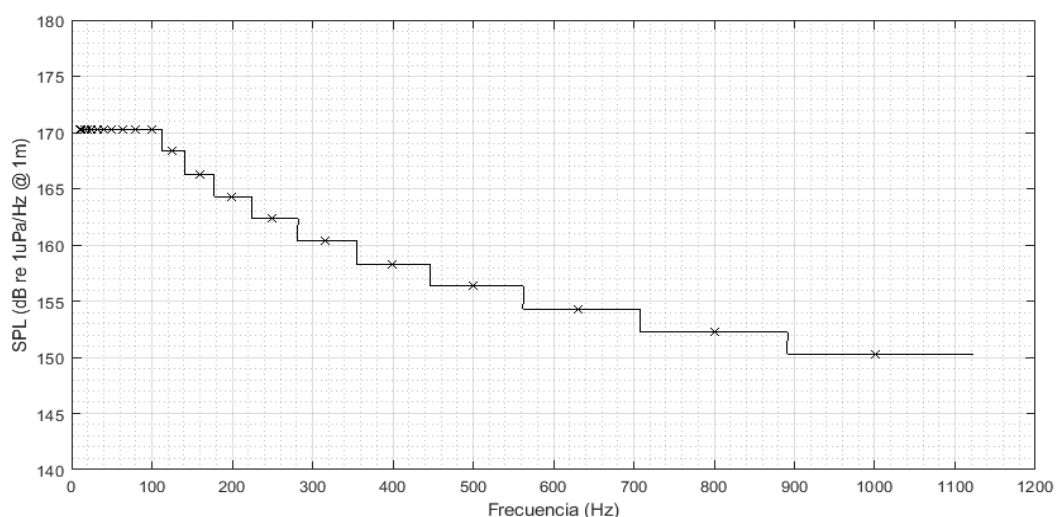
### 6.2.2.1 Niveles de Presión Sonora RMS de 1/3 de Octava de Banda

La Figura 6-24 muestra el Nivel Sonoro RMS ( $SPL_{RMS}$ ) de 1/3 de octava de banda, combinado para las 6 hélices de la MODU, utilizando las características de los propulsores indicadas previamente. Las cruces corresponden a las frecuencias centrales en 1/3 de octava de banda.

<sup>9</sup> <https://www.deyuanmarine.com/Engine-Driven-Underwater-Mountable-Azimuthing-Thruster-for-Large-Vessels-pd028874.html>

<sup>10</sup> <https://www.marinetraffic.com>





Fuente: ERM, 2022.

**Figura 6-24:  $SPL_{RMS}$  combinado para las 6 hélices de la MODU, en frecuencias centrales de un tercio de octava de banda**

### 6.2.3 Embarcaciones de Apoyo

Las estimaciones de los niveles sonoros de las fuentes acústicas y del espectro sonoro de las embarcaciones de apoyo se basaron en las características del supply Damen 3300CD (Figura 6-25). El Damen 3300CD está equipado con dos propulsores azimutales y dos hélices de proa.



Fuente: EQUINOR, 2022

**Figura 6-25: Supply Damen 3300CD**

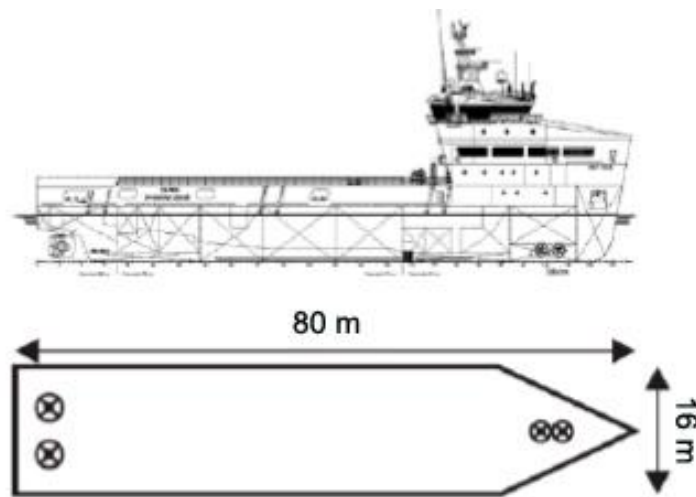
La posición vertical de los propulsores está a 5 m por debajo de la superficie del mar. Este tipo de propulsor y su configuración son típicos para este tipo de buque. Los parámetros de los propulsores principales son:

- Diámetro de la hélice de 2,3 m
- 250 rpm de velocidad nominal de la hélice
- 2000 kW de potencia máxima continua

Los parámetros para las hélices de proa son:

- Diámetro de la hélice de 1,7 m
- 290 rpm de velocidad nominal de la hélice
- 750 kW de potencia máxima continua

Para la modelización, se ha supuesto que los cuatro propulsores funcionan a la velocidad nominal, siendo omnidireccionales. La Figura 6-26 muestra la ubicación de las hélices de los propulsores.

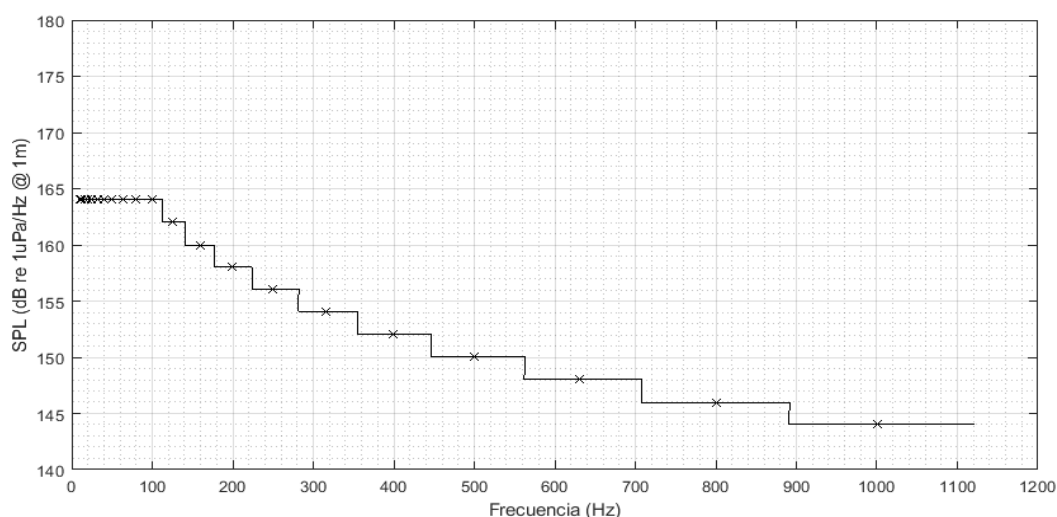


Fuente: EQUINOR, 2022

**Figura 6-26: Dimensiones del Damen 3300CD y posición de las hélices**

#### 6.2.3.1 Niveles de Presión Sonora RMS de 1/3 de Octava de Banda

La Figura 6-27 muestra el Nivel Sonoro RMS ( $SPL_{RMS}$ ) de 1/3 de octava de banda, combinado para las 4 hélices de la embarcación de apoyo, utilizando las características de los propulsores indicadas previamente. Las cruces corresponden a las frecuencias centrales en 1/3 de octava de banda.

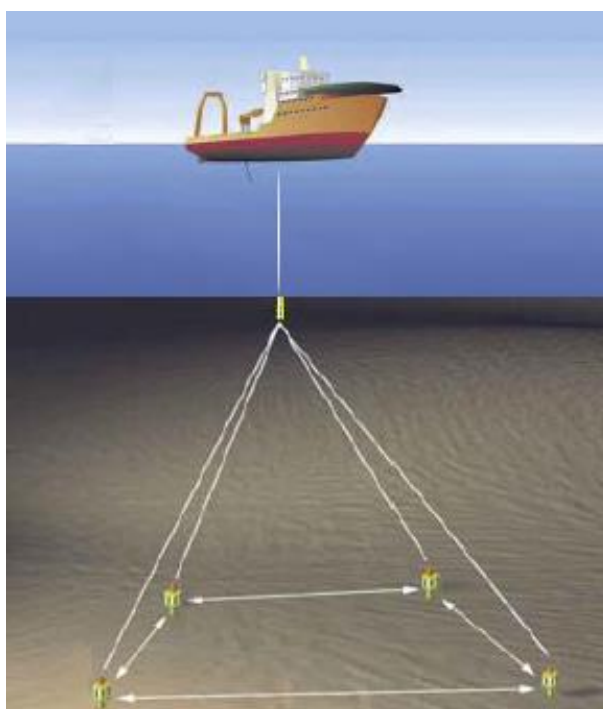


Fuente: ERM, 2022.

**Figura 6-27:  $SPL_{RMS}$  combinado para las 4 hélices del Supply Damen 3300CD, en frecuencias centrales de un tercio de octava de banda**

## 6.2.4 Sistema de Posicionamiento DP-AT

La MODU se mantiene en posición con la ayuda de un sistema de posicionamiento compuesto por un transductor acústico y varios transpondedores en el fondo del mar.



Fuente: ERM, 2022

**Figura 6-28: Sistema de posicionamiento con un transductor acústico en la MODU y cuatro transpondedores acústicos en el fondo marino**



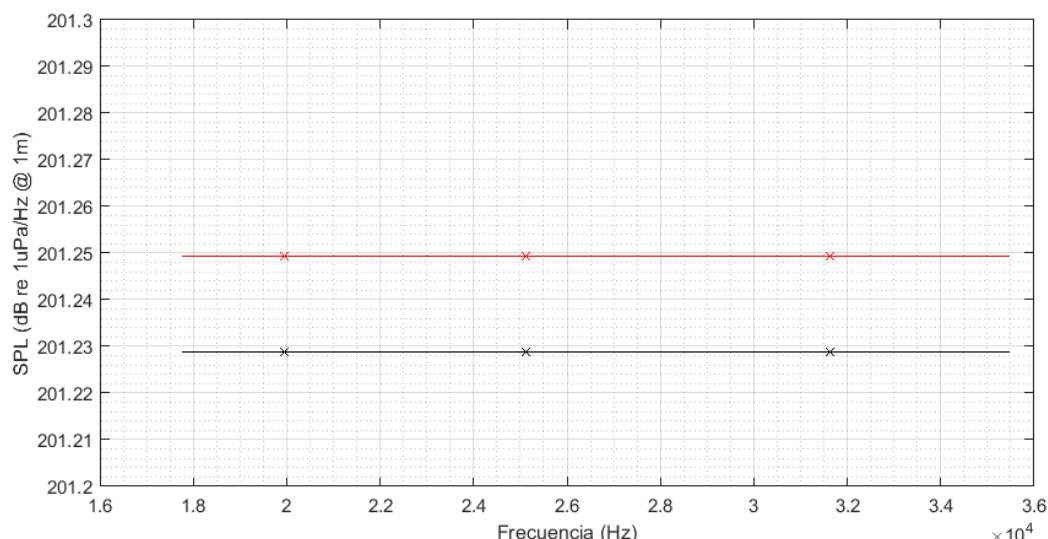
El sistema exacto que se utilizará aún no se conoce dado que será un equipo asociado a la MODU que se utilizará para la perforación exploratoria, por lo que se ha utilizado para este estudio de modelación acústica la información de un sistema típico: el sistema HiPAP (High Precision Acoustic Positioning) de Kongsberg Maritime. El mismo consta de un transductor acústico en la MODU y cuatro transpondedores acústicos en el fondo marino. (Figura 6-28)

El transductor acústico emite una serie de pulsos cortos de alta frecuencia, que son recibidos por los transpondedores y se devuelven pulsos similares al transductor. La posición del MODU se calcula a partir de las propiedades de las señales de retorno. El impulso del transductor del MODU (la señal más fuerte) y el de los transductores se tienen en cuenta en la modelación de la propagación del sonido.

El transductor crea sonido mayormente en el rango de frecuencias de 19 kHz a 34 kHz, con un  $SPL_{pico}$  de 206 dB re 1uPa @ 1 m. La longitud del pulso es de 30 ms y se repite cada cinco segundos. Los transpondedores de respuesta en el fondo marino devolverán con  $SPL_{pico}$  196 dB re 1uPa @ 1 m.

#### 6.2.4.1 Niveles de Presión Sonora Pico de 1/3 de Octava de Banda

La Figura 6-29 muestra el Nivel Sonoro Pico ( $SPL_{pico}$ ) para el transductor (color negro) y para los transpondedores (color rojo) en frecuencias centrales de un tercio de octava de banda entre 19 kHz y 34 kHz. Las cruces corresponden a las frecuencias centrales de 19.952,6 Hz, 25.118,9 Hz y 31.622,8 Hz.



Fuente: ERM, 2022.

**Figura 6-29:  $SPL_{pico}$  para 1 transductor (color negro) y para 4 transpondedores (color rojo) en frecuencias centrales de un tercio de octava de banda**

### 6.3 Escenarios Modelados

En el sitio del pozo EQN.MC.Ax-1, se modelaron los siguientes escenarios:

- Arreglo de cámaras de aire para VSP
- Propulsores de la MODU (Buque de Perforación)
- Propulsores de la MODU + 2 Embarcaciones de Apoyo
- Sistema de Posicionamiento DP-AT: 1 transductor acústico en la MODU y 4 transpondedores en el fondo

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Arreglo de Cámaras de Aire para VSP

#### 7.1.1 Distancias a las Isoletas de los Criterios de Evaluación

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, según se explicó en punto 4.6.

**Tabla 7-1: Distancias mamíferos marinos, Southall y otros (2019), sonidos pulsados (Tabla 5-1)**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Distancia SEL <sub>CUM</sub> (m)	Distancia Nivel Pico (m)
Mamíferos Marinos	PTS	LF	5	9
		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

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. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

**Tabla 7-2: Distancias peces, huevos, larvas y tortugas marinas, Popper y otros (2014) (Tabla 5-3)**

Especie	Daño	Distancia SEL <sub>CUM</sub> (m)	Distancia Nivel Pico (m)
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	17
	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: ND: Criterio No disponible. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

## 7.1.2 Áreas Sonorizadas

**Tabla 7-3: Área (km<sup>2</sup>) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Southall y otros (2019), para sonidos pulsados (Tabla 5-1)**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Área SEL <sub>CUM</sub> (km <sup>2</sup> )	Área Peak (km <sup>2</sup> )
Mamíferos Marinos	PTS	LF	0,00008	0,0003
		HF	NA	0,00003
		VHF	NA	0,001
		PW	NA	0,0003
		OW	NA	0,00001
	TTS	LF	0,002	0,0009
		HF	NA	0,0001
		VHF	NA	0,04
		PW	0,00003	0,001
		OW	NA	0,00008

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. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

**Tabla 7-4: Área (km<sup>2</sup>) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Popper y otros (2014) (Tabla 5-3)**

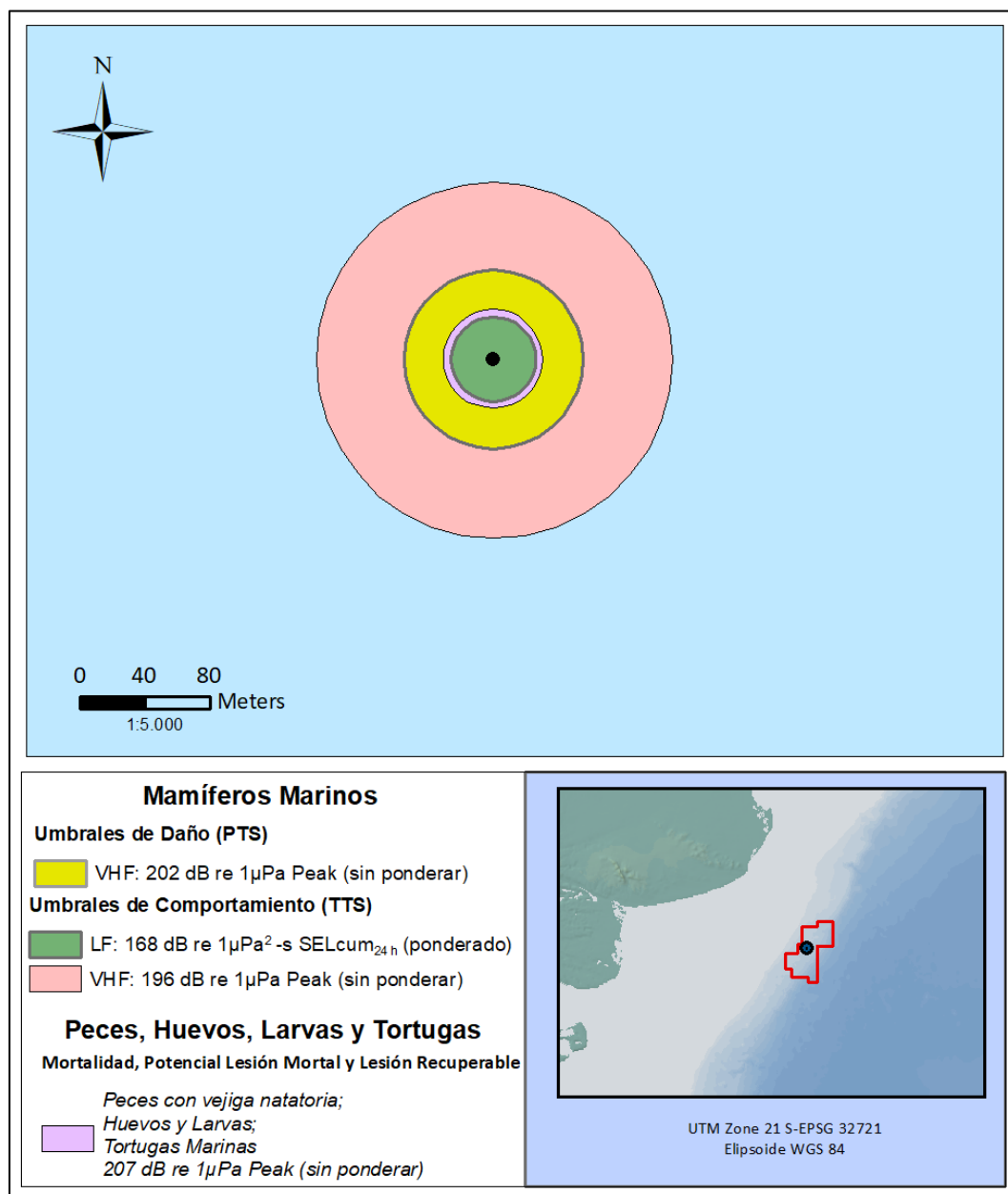
Especie	Daño	Área SEL <sub>CUM</sub> (km <sup>2</sup> )	Área Peak (km <sup>2</sup> )
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	0,0009
	Lesión recuperable	NA	0,0009
Peces con vejiga natatoria (NIA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	0,000003	0,003
	Lesión recuperable	0,00008	0,003
Peces con vejiga natatoria (IA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	0,00003	0,003
	Lesión recuperable	0,00008	0,003
Peces: Huevos y larvas	Mortalidad y potencial lesión mortal	ND	0,003
	Lesión recuperable	ND	ND
Tortugas marinas	Mortalidad y potencial lesión mortal	0,000003	ND
	Lesión recuperable	ND	0,003

Notas: ND: Criterio No disponible. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

### 7.1.3 Mapas de Contorno de Nivel de Presión Sonora (SPL)

La Figura 7-1 muestra las distancias horizontales máximas a las isopletras de los criterios de evaluación Southall y otros (2019), para sonidos pulsados (Tabla 5-1) y Popper y otros (2014) (Tabla 5-3). Sólo se presentan las Isopletras cuya distancia horizontal a la fuente es mayor que 20 m.



Fuente: ERM, 2022

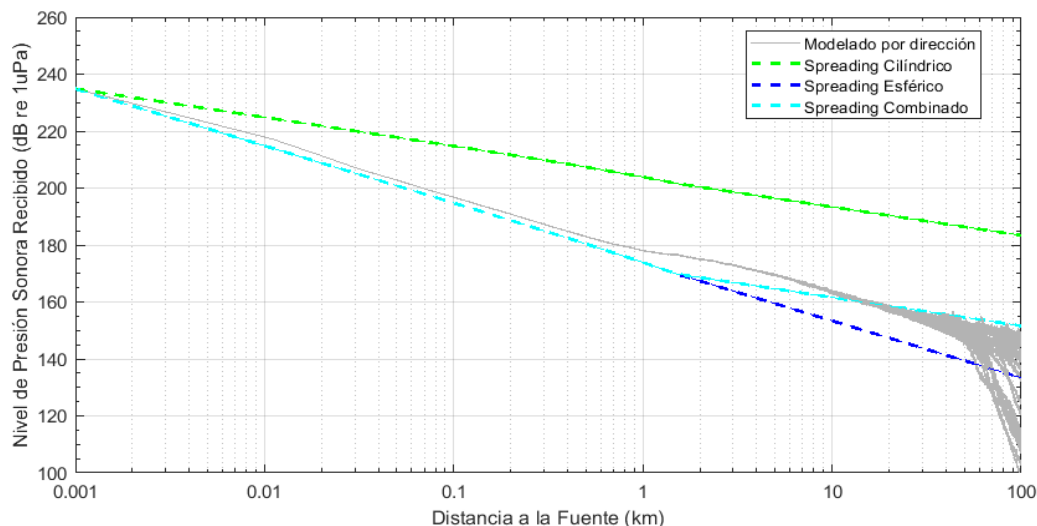
**Figura 7-1: Mapa de contornos para considerando Southall y otros (2019), para sonidos pulsados (Tabla 5-1) y Popper y otros (2014) (Tabla 5-3)**

### 7.1.4 Validación de la Modelación Mediante las Fórmulas de Esparcimiento Geométrico

La Figura 7-2 muestra los Niveles de Presión Sonora Pico recibidos en función de la distancia horizontal a la fuente, calculados a partir de la pérdidas por transmisión obtenidas como resultado de la

modelación (gris), aplicando la fórmula de esparcimiento esférico (azul), cilíndrico (verde) y combinado (celeste). Puede verse que los valores obtenidos a partir de la modelación se encuentran entre los límites esperados (esférico y cilíndrico) en la mayoría de las radiales.

En las direcciones de algunas radiales a largo de las cuales los haces acústicos propagan hacia zonas someras de la plataforma continental, puede verse que los niveles de presión sonora recibidos son bastante menores que los predichos por las fórmulas de esparcimiento geométrico. Esto se debe fundamentalmente al efecto de la batimetría que no está contemplado en dichas fórmulas.



Nota: Eje x en escala logarítmica

Fuente: ERM, 2022.

**Figura 7-2: Nivel Sonoro Pico en función de la distancia horizontal a la fuente**

## 7.2 Propulsores de la MODU (Buque de Perforación)

### 7.2.1 Distancias a las Isoletas de los Criterios de Evaluación

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, según se explicó en punto 4.6.

**Tabla 7-5: Distancias mamíferos marinos, Southall y otros (2019), sonidos no pulsados (Tabla 5-2)**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Distancia SEL <sub>CUM</sub> (m)
Mamíferos Marinos	PTS	LF	NA
		HF	NA
		VHF	NA
		PW	NA
		OW	NA
	TTS	LF	NA
		HF	NA
		VHF	NA
		PW	NA
		OW	NA

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. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

Si se considerasen, aplicando un criterio más conservador (ver Punto 5.1), los criterios Southall y otros, 2019, para sonidos pulsados (Tabla 5-1), convirtiendo de  $SPL_{rms}$  a  $SPL_{pico}$  las distancias a las 54soletas de los valores guía serían las indicadas en la Tabla 7-6.

**Tabla 7-6: Distancias mamíferos marinos, Southall y otros (2019), sonidos pulsados (Tabla 5-1)**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Distancia SEL <sub>CUM</sub> (m)	Distancia Nivel Pico (m)
Mamíferos Marinos	PTS	LF	NA	NA
		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

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. NA: No alcanza;

Fuente: ERM, 2022



**Tabla 7-7: Distancias peces, huevos, larvas y tortugas marinas, Popper y otros (2014) (Tabla 5-3)**

Especie	Daño	Distancia SEL <sub>CUM</sub> (m)	Distancia Nivel Pico (m)
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	NA
	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: ND: Criterio No Disponible; NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

Para usar los valores guía de la Tabla 5-3 en los casos de sonido continuo (no pulsado) éste fue convertido de  $SPL_{rms}$  a  $SPL_{pico}$  utilizando lo expuesto en el punto 4.7

## 7.2.2 Áreas Sonorizadas

**Tabla 7-8: Área (km<sup>2</sup>) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Southall y otros (2019), para sonidos no pulsados (Tabla 5-2)**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Área SEL <sub>CUM</sub> (km <sup>2</sup> )
Mamíferos Marinos	PTS	LF	0
		HF	0
		VHF	0
		PW	0
		OW	0
	TTS	LF	0
		HF	0
		VHF	0
		PW	0
		OW	0

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, 2022

**Tabla 7-9: Área (km<sup>2</sup>) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Popper y otros (2014) (Tabla 5-3)**

Especie	Daño	Área SEL <sub>CUM</sub> (km <sup>2</sup> )	Área Peak (km <sup>2</sup> )
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	0	0
	Lesión recuperable	0	0
Peces con vejiga natatoria (NIA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	0	0
	Lesión recuperable	0	0
Peces con vejiga natatoria (IA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	0	0
	Lesión recuperable	0	0
Peces: Huevos y larvas	Mortalidad y potencial lesión mortal	ND	0
	Lesión recuperable	ND	ND
Tortugas marinas	Mortalidad y potencial lesión mortal	0	ND
	Lesión recuperable	ND	0

Notas: ND: Criterio No disponible.

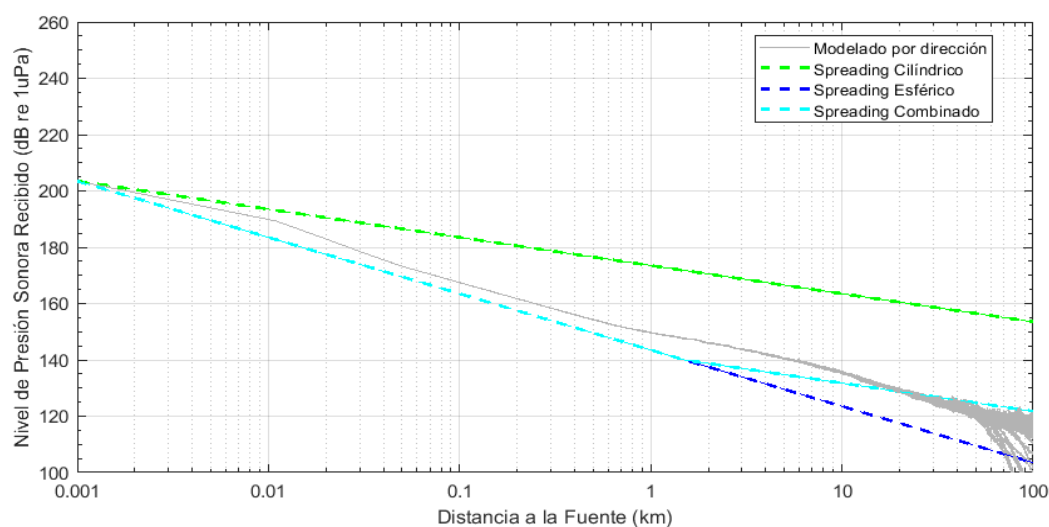
Fuente: ERM, 2022

### 7.2.3 Mapas de Contorno de Nivel de Presión Sonora (SPL)

Dado que no se alcanzan los niveles guía dados por los criterios empleados, no se confeccionó el mapa de contorno correspondiente.

### 7.2.4 Validación de la Modelación Mediante las Fórmulas de Esparcimiento Geométrico

Puede verse en la Figura 7-3 que los valores obtenidos a partir de la modelación se encuentran entre los límites esperados (esférico y cilíndrico) en la mayoría de las radiales.



Nota: Eje x en escala logarítmica

Fuente: ERM, 2022.

**Figura 7-3: Nivel Sonoro Pico en función de la distancia horizontal a la fuente**

## 7.3 Propulsores de la MODU + 2 Embarcaciones de Apoyo

### 7.3.1 Distancias a las Isoletas de los Criterios de Evaluación

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, según se explicó en punto 4.6.

**Tabla 7-10: Distancias mamíferos marinos, Southall y otros (2019), sonidos no pulsados (Tabla 5-2)**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Distancia SEL <sub>CUM</sub> (m)
Mamíferos Marinos	PTS	LF	NA
		HF	NA
		VHF	NA
		PW	NA
		OW	NA
	TTS	LF	0
		HF	NA
		VHF	NA
		PW	NA
		OW	NA

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. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

Al igual que en el caso de los propulsores del MODU, si se considerasen, aplicando un criterio más conservador (ver Punto 5.1), los criterios Southall y otros, 2019, para sonidos pulsados (Tabla 5-1), convirtiendo de  $SPL_{rms}$  a  $SPL_{pico}$  las distancias a las 57 sopletas de los valores guía serían las indicadas en la Tabla 7-11.

**Tabla 7-11: Distancias mamíferos marinos, Southall y otros (2019), sonidos pulsados (Tabla 5-1)**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Distancia SEL <sub>CUM</sub> (m)	Distancia Nivel Pico (m)
Mamíferos Marinos	PTS	LF	NA	NA
		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

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. NA: No alcanza;

Fuente: ERM, 2022

**Tabla 7-12: Distancias peces, huevos, larvas y tortugas marinas, Popper y otros (2014) (Tabla 5-3)**

Especie	Daño	Distancia SEL <sub>CUM</sub> (m)	Distancia Nivel Pico (m)
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	NA
	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: ND: Criterio No Disponible; NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

Como antes, para usar los valores guía de la Tabla 5-3 en los casos de sonido continuo (no pulsado) éste fue convertido de  $SPL_{rms}$  a  $SPL_{pico}$  utilizando lo expuesto en el punto 4.7

### 7.3.2 Áreas Sonorizadas

**Tabla 7-13: Área (km<sup>2</sup>) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Southall y otros (2019), para sonidos no pulsados (Tabla 5-2)**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Área SEL <sub>CUM</sub> (km <sup>2</sup> )
Mamíferos Marinos	PTS	LF	0
		HF	0
		VHF	0
		PW	0
		OW	0
	TTS	LF	0
		HF	0
		VHF	0
		PW	0
		OW	0

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, 2022

**Tabla 7-14: Área (km<sup>2</sup>) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Popper y otros (2014) (Tabla 5-3)**

Especie	Daño	Área SEL <sub>CUM</sub> (km <sup>2</sup> )	Área Peak (km <sup>2</sup> )
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	0	0
	Lesión recuperable	0	0
Peces con vejiga natatoria (NIA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	0	0,00001
	Lesión recuperable	0	0,00001
Peces con vejiga natatoria (IA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	0	0,00001
	Lesión recuperable	0	0,00001
Peces: Huevos y larvas	Mortalidad y potencial lesión mortal	ND	0,00001
	Lesión recuperable	ND	ND
Tortugas marinas	Mortalidad y potencial lesión mortal	0	ND
	Lesión recuperable	ND	0,00001

Notas: ND: Criterio No disponible.

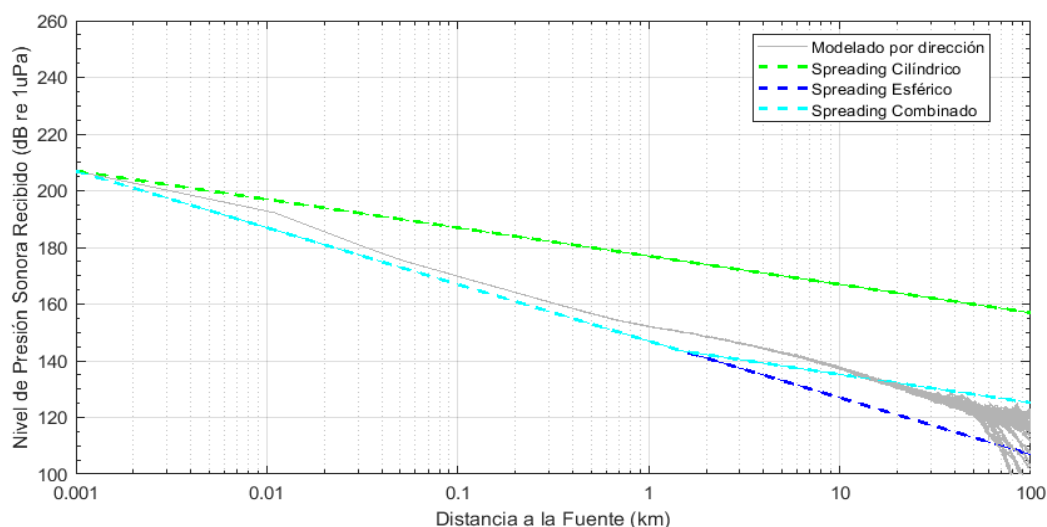
Fuente: ERM, 2022

### 7.3.3 Mapas de Contorno de Nivel de Presión Sonora (SPL)

Dado que no se alcanzan los niveles guía dados por los criterios empleados en distancias superiores a 20 m, no se confeccionó el mapa de contorno correspondiente.

### 7.3.4 Validación de la Modelación Mediante las Fórmulas de Esparcimiento Geométrico

Puede verse en la Figura 7-4 que los valores obtenidos a partir de la modelación se encuentran entre los límites esperados (esférico y cilíndrico) en la mayoría de las radiales, al igual que los escenarios previos.



Nota: Eje x en escala logarítmica

Fuente: ERM, 2022.

**Figura 7-4: Nivel Sonoro Pico en función de la distancia horizontal a la fuente**

## 7.4 Sistema de Posicionamiento DP-AT: 1 transductor acústico en la MODU y 4 transpondedores en el fondo

### 7.4.1 Distancias a las Isoletas de los Criterios de Evaluación

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, según se explicó en punto 4.6.

**Tabla 7-15: Distancias mamíferos marinos, Southall y otros (2019), sonidos pulsados (Tabla 5-1)**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Distancia SEL <sub>CUM</sub> (m)	Distancia Nivel Pico (m)
Mamíferos Marinos	PTS	LF	4	NA
		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

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. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

**Tabla 7-16: Distancias peces, huevos, larvas y tortugas marinas, Popper y otros (2014) (Tabla 5-3)**

Especie	Daño	Distancia SEL <sub>CUM</sub> (m)	Distancia Nivel Pico (m)
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	2
	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: ND: Criterio No disponible. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

## 7.4.2 Áreas Sonorizadas

**Tabla 7-17: Área (km<sup>2</sup>) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Southall y otros (2019) para sonidos pulsados (Tabla 5-1)**

Especie	Daño	Grupo Auditivo	Área SEL <sub>CUM</sub> (km <sup>2</sup> )	Área Peak (km <sup>2</sup> )
Mamíferos Marinos	PTS	LF	0,00005	NA
		HF	0,00003	NA
		VHF	0,3	0,0002
		PW	0,00005	NA
		OW	NA	NA
	TTS	LF	0,003	0,00001
		HF	0,001	NA
		VHF	10,7	0,0003
		PW	0,002	0,00001
		OW	0,000003	NA

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. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

**Tabla 7-18: Área (km<sup>2</sup>) que recibe niveles de presión sonora mayores a los indicados en Popper y otros (2014) (Tabla 5-3)**

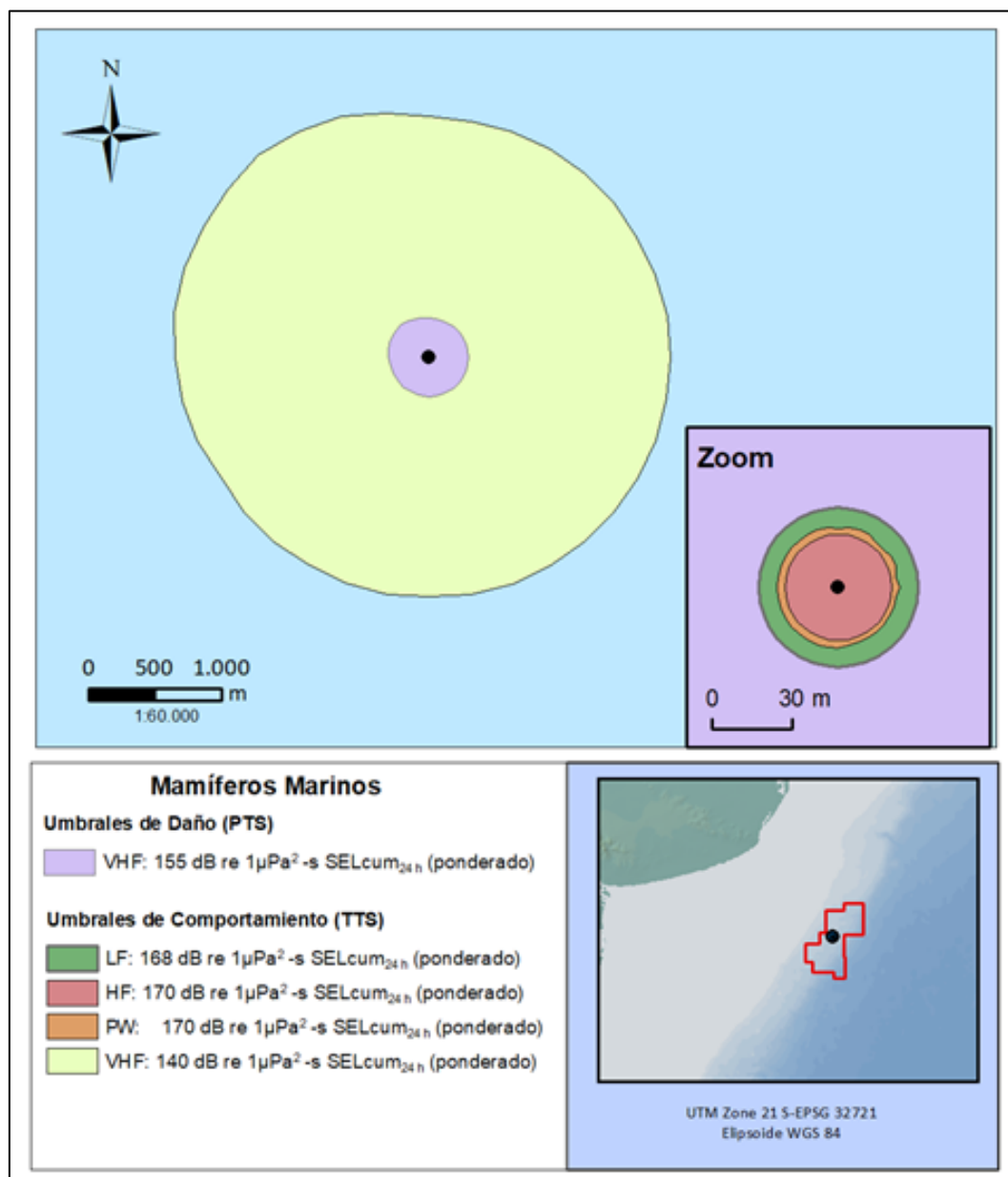
Especie	Daño	Área SEL <sub>CUM</sub> (km <sup>2</sup> )	Área Peak (km <sup>2</sup> )
Peces sin vejiga natatoria	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	0,00001
	Lesión recuperable	NA	0,00001
Peces con vejiga natatoria (NIA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	0,00008
	Lesión recuperable	NA	0,00008
Peces con vejiga natatoria (IA)	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	0,00008
	Lesión recuperable	NA	0,00008
Peces: Huevos y larvas	Mortalidad y potencial lesión mortal	ND	0,00008
	Lesión recuperable	ND	ND
Tortugas marinas	Mortalidad y potencial lesión mortal	NA	ND
	Lesión recuperable	ND	0,00008

Notas: ND: Criterio No disponible. NA: No alcanza.

Fuente: ERM, 2022

### 7.4.3 Mapas de Contorno de Nivel de Presión Sonora (SPL)

La Figura 7-5 muestra las distancias horizontales máximas a las 62 sopletas de los criterios de evaluación Southall y otros (2019), para sonidos pulsados (Tabla 5-1) y Popper y otros, (2014) (Tabla 5-3). Sólo se presentan las isopletas cuya distancia horizontal a la fuente es mayor que 20 m.



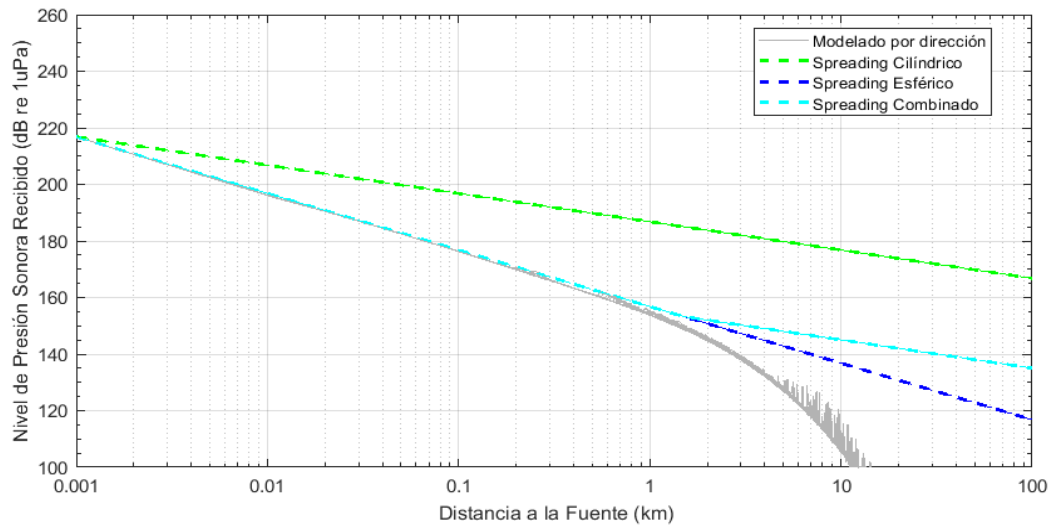
Fuente: ERM, 2022.

**Figura 7-5: Mapa de contornos para considerando Southall y otros (2019), para sonidos pulsados (Tabla 5-1) y Popper y otros (2014) (Tabla 5-3)**

### 7.4.4 Validación de la Modelación Mediante las Fórmulas de Esparcimiento Geométrico

Puede verse en la Figura 7-6 la importante atenuación que sufre la señal acústica luego de los 2 km de distancia a la fuente, como consecuencia de las altas frecuencias de la misma. Pese a este hecho,

hasta una distancia de 1 km de la fuente se comporta dentro de los valores predichos por las fórmulas del esparcimiento geométrico.



Nota: Eje x en escala logarítmica

Fuente: ERM, 2022.

**Figura 7-6: Nivel Sonoro Pico en función de la distancia horizontal a la fuente**

## 8. CONCLUSIONES

La modelación acústica presentada, se llevó a cabo con el propósito de caracterizar adecuadamente el campo acústico producido como consecuencia de las operaciones asociadas a la perforación del pozo EQN.MC.Ax-1, de modo de evaluar con precisión los eventuales impactos producidos sobre la fauna marina y proponer las medidas de mitigación correctas, en caso de ser necesario.

Los resultados muestran para el caso de las fuentes sonoras que generan sonidos pulsados, es decir arreglo de cámaras de aire para VSP y Sistema DP-AT, un rango de distancias máximas a las que se prevé que se superen los distintos niveles de efectos biológicos, definidos por los criterios utilizados.

Estas distancias con:

- Arreglo de cámaras de aire para VSP
  - ✓ Para los mamíferos marinos respecto de las lesiones auditivas permanentes, hasta 55 m de la fuente, con un área máxima sonorizada de 0,001 km<sup>2</sup>, dependiendo del grupo auditivo. (Criterios de evaluación de Southall y otros, 2019, para sonidos pulsados).
  - ✓ Para los mamíferos marinos respecto de las lesiones auditivas transitorias, hasta 110 m de la fuente, con un área máxima sonorizada de 0,04 km<sup>2</sup>, dependiendo del grupo auditivo. (Criterios de evaluación de Southall y otros, 2019, para sonidos pulsados).
  - ✓ Para peces, tortugas huevos y larvas, hasta 31 m de la fuente, con un área máxima sonorizada de 0,003 km<sup>2</sup>, dependiendo de la especie considerada. (Criterios de evaluación basados en los estudios de Popper y otros, 2014).
- Sistema de Posicionamiento DP-AT: 1 transductor acústico en la MODU y 4 transpondedores en el fondo
  - ✓ Para los mamíferos marinos respecto de las lesiones auditivas permanentes, hasta 323 m de la fuente, con un área máxima sonorizada de 0,3 km<sup>2</sup>, dependiendo del grupo auditivo. (Criterios de evaluación de Southall y otros, 2019, para sonidos pulsados).
  - ✓ Para los mamíferos marinos respecto de las lesiones auditivas transitorias, hasta 1.989 m de la fuente, con un área máxima sonorizada de 10,7 km<sup>2</sup>, dependiendo del grupo auditivo. (Criterios de evaluación de Southall y otros, 2019, para sonidos pulsados).
  - ✓ Para peces, tortugas huevos y larvas, hasta 5 m de la fuente, con un área máxima sonorizada de 0,00008 km<sup>2</sup>, dependiendo de la especie considerada. (Criterios de evaluación basados en los estudios de Popper y otros, 2014).

Para el caso de los sonidos no pulsados, los resultados obtenidos para el escenario Propulsores de la MODU + 2 Embarcaciones de Apoyo, muestran que hasta una distancia máxima de 2 m de la fuente se superan los niveles basados en los estudios de Popper y otros, 2014, dependiendo de la especie considerada. El área de afectación obtenida en este caso fue de tan solo 0,00001 km<sup>2</sup>.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerts, L., M. Blees, S. Blackwell, C. Greene, K. Kim, D. Hannay, and M. Austin. 2008. Marine mammal monitoring and mitigation during BP Liberty OBC seismic survey in Foggy Island Bay, Beaufort Sea, July-August 2008: 90-day report. Document Number LGL Report P1011-1. Report by LGL Alaska Research Associates Inc., LGL Ltd., Greeneridge Sciences Inc. and JASCO Applied Sciences for BP Exploration Alaska. 199 pp.  
[http://www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/permits/bp\\_liberty\\_monitoring.pdf](http://www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/permits/bp_liberty_monitoring.pdf).
- Ainslie, M. A., & McCollm, J. G. (1998). A simplified formula for viscous and chemical absorption in sea water. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103(3), 1671-1672.
- ANSI S12.7-1986. R2006. American National Standard Methods for Measurements of Impulse Noise. American National Standards Institute, New York.
- ANSI S1.1-1994. R2004. American National Standard Acoustical Terminology. American National Standards Institute, New York.
- Breitzke, M., Boebel O., El Naggar S., Jokat W., Werner B., (2008), "Broad-band calibration of marine seismic sources used by R/V Polarstern for academic research in polar regions", *Geophys. J. Int.* (2008) 174, 505–524.
- Caldwell, J., Dragozet, W., 2000. A brief overview of seismic air-gun arrays.
- Collins, M.D., R.J. Cederberg, D.B. King, and S. Chin-Bing. 1996. Comparison of algorithms for solving parabolic wave equations. *Journal of the Acoustical Society of America* 100(1): 178-182.
- Det Norske Veritas. 2010. Type Approval Certificate: Certificate No. M-11399. Høvik, Norway. 3 p.
- Etter, Paul C., 2012 Advanced Applications for Underwater Acoustic Modeling. Hindawi Publishing Corporation Advances in Acoustics and Vibration Volume 2012, Article ID 214839, 28 pages doi:10.1155/2012/214839.
- Ewing, M. and Lonardi, A. G., 1971, "Sediment Transport and Distribution in the Argentine Basin. 5. Sedimentary Structure of the Argentine Margin, Basin, and Related Provinces", in *Physics and Chemistry of the Earth*, AHREMS, L.; PRESS, F.; RUNCORN, S. and UREY, H. (Eds.), pp. 123-251.
- Finneran, J. J., Dear, R., Carder, S.H., Ridgway, D.A., Schlundt, C.E., 2002. Temporary shift in masked hearing thresholds in odontocetes after exposure to single underwater impulses from a seismic watergun. *J. Acoust. Soc. Amer.* 111: 2929-2940.
- Fletcher, J.L. and R.G. Busnel. 1978. Effects of noise on wildlife. Academic Press, New York.
- François, R. E., & Garrison, G. R. (1982). Sound absorption based on ocean measurements: Part I: Pure water and magnesium sulphate contributions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72(3), 896-907.
- Frazer, A.J., 1986. The Prediction and Minimisation of Propeller Induced Waterborne Noise, British Maritime Technology Limited, Hydromechanics Division, And Computational Hydromechanics Department.
- Funk, D., D. Hannay, D. Ireland, R. Rodrigues, and W. Koski (eds.). 2008. Marine mammal monitoring and mitigation during open water seismic exploration by Shell Offshore Inc. in the Chukchi and Beaufort Seas, July – November 2007: 90-day report. LGL Report P969-1. Prepared by LGL Alaska Research Associates Inc., LGL Ltd., and JASCO Research Ltd. for Shell Offshore Inc., National Marine Fisheries Service (US), and US Fish and Wildlife Service. 218 pp.
- Greene, C.R., Jr., 1997. Physical Acoustic Measurements. In Richardson W. J. (Ed.), Northstar marine mammal monitoring program, 1996 (LGL Report 2121-2, Section 3). LGL Ltd. report for BP Exploration (alaska) Inc., Anchorage, AK, and National Marine Fisheries Service, Silver Spring, MD. 245 pp.

- Hannay, D. and R. Racca. 2005. Acoustic Model Validation. Document Number 0000-S-90-04-T-7006-00-E, Revision 02. Technical report for Sakhalin Energy Investment Company Ltd. by JASCO Research Ltd. 34 pp.
- Ireland, D.S., R. Rodrigues, D. Funk, W. Koski, and D. Hannay. 2009. Marine mammal monitoring and mitigation during open water seismic exploration by Shell Offshore Inc. in the Chukchi and Beaufort Seas, July – October 2008: 90-Day Report. Document Number LGL Report P1049-1. 277 pp.
- Landrø, M. and Amundsen, L., 2010. Marine Seismic Sources, Part 1. GeoExpro Issue 1, Volume 7.
- Leggat, L.J., H.M. Merklinger, and J.L. Kennedy. 1981. LNG Carrier underwater noise study for Baffin Bay. DREA Report-81/3, 32 p.
- Mc Cauley, R.D., J. Fewtrell, A.J. Duncan, C. Jenner, M.N. Jenner, J.D. Penrose, R.I.T. Prince, A. Adhitya, J. Murdoch, and K. McCabe. 2000. Marine seismic surveys: Analysis of airgun signals; and effects of air gun exposure on humpback whales, sea turtles, fishes and squid. Rep. from Centre for Marine Science and Technology, Curtin Univ., Perth, W.A., for Austral. Petrol. Prod. Assoc., Sydney, N.S.W.
- Mc. Cauley, R.D., Popper, A.N.; Fewtrell, J; Smith, M.E., 2003. Anthropogenic Sound: Effects on the Behavior and Physiology of Fishes. Marine Technology Society Journal, Volume 37, Number 4, Winter 2003, pp. 35-40(6).
- Nachtigall, P. E., Supin, A. Ya., Pacini, A. F., & Kastelein, 17(1-3), 77-80. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.11111749-4877.12286>. R. A. (2018). Four odontocete species change hearing levels when warned of impending loud sound. Integrative Zoology, 13(2), 160-165. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12286>.
- Nowacek, D.P., L.H. Thorne, D.W. Johnston, and P.L. Tyack. 2007. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. Mammal Review 37(2): 81-115.
- Parker, G.; Paterlini, C. M.; Violante, R. A.; Costa, I. P.; Marcolini, S. y Cavallotto, J. L., 1999, "Descripción geológica de la terraza rioplatense (plataforma interior del noreste bonaerense)", en Boletín del Servicio Geológico y Minero Argentino, Vol. 273, Servicio Geológico y Minero Argentino, pp. 1-86.
- O'Neill, C., D. Leary, and A. McCrodan. 2010. Sound Source Verification. (Chapter 3) In Blees, M.K., K.G. Hartin, D.S. Ireland, and D. Hannay (eds.). Marine mammal monitoring and mitigation during open water seismic exploration by Statoil USA E&P Inc. in the Chukchi Sea, August-October 2010: 90-day report. LGL Report P1119. Prepared by LGL Alaska Research Associates Inc., LGL Ltd., and JASCO Applied Sciences Ltd. For Statoil USA E&P Inc., National Marine Fisheries Service (US), and US Fish and Wildlife Service. pp 1-34.
- Parker, G.; Paterlini, M. C. and Violante, R. A., 1997, "El fondo marino", in El Mar Argentino y sus recursos pesqueros, Tomo 1. Antecedentes históricos de las exploraciones en el mar y las características ambientales, BOSCHI, E. (Ed.), Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, pp. 65-87.
- Payne, R. and D. Webb. 1971. Orientation by means of long range acoustic signaling in baleen whales. Annals of the New York Academy of Sciences 188: 110-142.
- Popper, A.N., Hawkins, A.D., Fay, R.R., Mann, D., Bartol, S., Carlson, T., Coombs, S., Ellison, W.T., Gentry, R., Halvorsen, M.B., Løkkeborg, S., Rogers, P., Southall, B.L., Zeddies, D., Tavolga, W.N. (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. Springer and ASA Press, Cham, Switzerland.
- Porter, Michael B., Liu, Yong-Chun. Finite Element Ray Tracing, 1994.



- Porter, Michael B. "The Bellhop manual and user's guide: Preliminary Draft." Heat, Light and sound Reserch. Tech Rep (2011).
- Richardson, W.J., C.R. Greene, Jr., C.I. Malme, and D.H. Thomson. 1995. Marine Mammals and Noise. Academic Press, San Diego, California. 576.
- Southall, B.L., A.E. Bowles, W.T. Ellison, J.J. Finneran, R.L. Gentry, C.R. Greene, Jr., D. Kastak, D.R. Ketten, J.H. Miller, y otros 2007. Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations. *Aquatic Mammals* 33(4): 411-521.
- Spence, J., R. Fischer, M. Bahtiarian, L. Boroditsky, N. Jones, and R. Dempsey. 2007. Review of Existing and Future Potential Treatments for Reducing Underwater Sound from Oil and Gas Industry Activities. NCE REPORT 07-001. Report prepared by Noise Control Engineering, Inc., for Joint Industry Programme on E&P Sound and Marine Life.
- Southall, B.L., Finneran, J. J., Reichmth, 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(5), 569-572. DOI: 10.1578/AM.45.5.2019.569.
- Trimoreau, B., 2011. Air-gun signal post-processing and sound transmission modelling in shallow water. Division of Applied Acoustics Vibroacoustics Group CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
- Tyack, P.L. 2008. Implications for marine mammals of large-scale changes in the marine acoustic environment. *Journal of Mammology* 89(3): 549-558.
- Urick, Robert J., 1983. Principles of Underwater Sound, Third Edition. McGraw-Hill Book Company, p. 111.
- Violante, R. A. y Parker, G., 2000, "El Holoceno en las Regiones Costeras y Marinas del Noreste de la Provincia de Buenos Aires", en Revista de la Asociación Geológica Argentina, Vol. 55, Asociación Geológica Argentina, pp. 337-351.
- Warner, G., C. Erbe, and D. Hannay. 2010. Underwater Sound Measurements. (Chapter 3) In Reiser, C.M., D.W. Funk, R. Rodrigues, and D. Hannay (eds.). Marine Mammal Monitoring and Mitigation during Open Water Shallow Hazards and Site Clearance Surveys by Shell Offshore Inc. in the Alaskan Chukchi Sea, July-October 2009: 90-Day Report. LGL Report P1112-1. Report by LGL Alaska Research Associates Inc. and JASCO Applied Sciences for Shell Offshore Inc., National Marine Fisheries Service (US), and US Fish and Wildlife Service. pp 1-54.
- Weilgart, L.S. 2007. The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Canadian Journal of Zoology* 85: 1091-1116.
- Zeddies, D. G., Zykov, M., Yurk, H., Deveau, T., Bailey, L., Gaboury, I., ... & Carr, S. (2015). Acoustic propagation and marine mammal exposure modeling of geological and geophysical sources in the Gulf of Mexico: 2016–2025 annual acoustic exposure estimates for marine mammals. In Technical Report by JASCO Applied Sciences for Bureau of Ocean Energy Management (BOEM). Dartmouth, Nova Scotia, Canada.
- [NOAA] National Oceanic and Atmospheric Administration. 2015. Draft Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing: Underwater Acoustic Threshold Levels for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. In: National Oceanic and Atmospheric Administration and U.S. Department of Commerce. Revised version for Second Public Comment Period. 180 pp.
- <http://www.nmfs.noaa.gov/pr/acoustics/draft%20acoustic%20guidance%20July%202015.pdf>.

Marine Traffic

<https://www.marinetraffic.com>



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 73 pagina/s.