equinor

Estudio de Impacto Ambiental para la perforación del pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1 en CAN_100

Anexo VII – C Informe de modelado de sonido submarino
Programa de perforaciones exploratorias Stromlo-1

Junio 2022

Proyecto No.: 0582679

RE-2022-71416446-APN-DTD#JGM

Plan ambiental
Apéndice 6-1
Informe de modelado de sonido submarino

Programa de perforaciones exploratorias Stromlo-1

Equinor Australia B.V.
Level 15
123 St Georges Terrace
PERTH WA 6000 Australia

Ver. 1, abril 2019

Tabla de contenido Página

1.0 Abreviaturas, unidades y acrónimos 1
2.0 Descripción general 2
2.1 Objetivo 2
3.0 Aportes y requisitos de diseño 3
3.1 Generación de sonido submarino 3
3.1.1 Fuentes de sonido de baja frecuencia 3
3.1.2 Fuentes de sonido de alta frecuencia 3
3.1.3 Rangos de nivel de sonido submarino 3
3.2 Métricas de sonido submarino 3
3.3 Modelado de propagación del sonido 4
3.3.1 Datos de entrada 4
3.4 Software de modelado 11
4.0 Simulación de sonido para la MODU 13
4.1 Nivel de presión sonora de propulsores de la MODU 13
4.1.1 Simulación de área amplia 13
4.1.2 Nivel de presión sonora de los DP-AT de la MODU 18
4.1.3 Niveles de presión sonora de los DP-AT de la MODU 19
5.0 Simulación de sonido para VSP 20
5.1 Nivel de presión sonora del VSP 20
5.2 Nivel de exposición sonora del VSP 22
5.2.1 Simulación de área amplia 23
5.2.2 Simulación de área estrecha 24
6.0 Rangos de impacto pronosticados para la fauna marina 27
6.1 Operaciones de la MODU 27
6.2 Operaciones de VSP 28
7.0 Resumen 32
8.0 Referencias 33

Tablas

Tabla 1 Niveles indicativos de sonido submarino durante la perforación 3
Tabla 2 Niveles de exposición sonora para la fuente de sonido del VSP 22
Tabla 3 Mamíferos marinos: niveles de sonido recibidos de las operaciones de propulsores de la MODU en comparación con los umbrales 27
Tabla 4 Peces, huevos/larvas de peces y tortugas: niveles de sonido recibidos de las operaciones de propulsores de la MODU en comparación con los umbrales .. 27
Tabla 5 Mamíferos marinos: niveles de sonido recibidos de las operaciones de los DP-AT de la MODU (fuente impulsiva) en comparación con los umbrales 28
Tabla 6 Peces, huevos/larvas de peces y tortugas: niveles de sonido recibidos de las operaciones de los DP-AT de la MODU en comparación con los umbrales..... 28
Tabla 7 Mamíferos marinos: niveles de sonido recibidos de las operaciones del VSP en comparación con los umbrales 30
Tabla 8 Peces, huevos/larvas de peces y tortugas: niveles de sonido recibidos de las operaciones del VSP en comparación con los umbrales 31
Tabla 9 Invertebrados: niveles de sonido recibidos de las operaciones del VSP en comparación con los umbrales 31

Figuras

Figura 1 Ubicación del pozo de exploración Stromlo-1 en la Gran Bahía Australiana..... 5
Figura 2 MODU típica, West Sirius de Seadrill Limited 6
Figura 3 Contenido espectral de la señal de la fuente del propulsor de la MODU, niveles de dB expresados en dB re 1 µPa m para bandas de frecuencia de 1/3 de octava 7
Figura 4 Visualización de series de tiempo de salida de fuente del VSP idealizado intensificado hasta un SPL de 238 dB re 1 µPa..... 8
Figura 5 Contenido espectral de la señal de la fuente del VSP, niveles de dB expresados en dB re 1 µPa m para bandas de frecuencia de 1/3 de octava 8
Figura 6 Perfil de velocidad del sonido utilizado en el modelado 9
Figura 7 Vista tridimensional desde arriba (A) y desde el oeste (B) de la batimetría utilizada en el modelado, con el punto celeste que indica la posición de la MODU 10
Figura 8 Perfil de profundidad sobre el área estrecha, con un punto celeste que indica la posición de la fuente de sonido de la MODU/VSP, la orientación del transecto se muestra en el inserto 11
Figura 9 Visualización gráfica de la cuadrícula (líneas rojas) utilizada para el modelado de la propagación del sonido y las posiciones de los cálculos discretos de la propagación del sonido (puntos de color verde claro) 12
Figura 10 Niveles de SPL de los propulsores de la MODU en pico de dB re 1 µPa para todos los cortes en la simulación de área amplia..... 13
Figura 11 SPL máximo en dB re 1 µPa para fuente de sonido de la MODU en la simulación de área estrecha (valores más altos proyectados a la superficie) .. 14

Figura 12 SPL máximo en dB re 1 µPa para fuente de sonido de la MODU en la simulación de área estrecha, con una sección transversal de aguas profundas a aguas poco profundas que se muestran en el inserto 15

Figura 13 Niveles de SPL máximo en dB re 1 µPa para la fuente de sonido de la MODU para todos los cortes en la simulación de área estrecha 15

Figura 14 Sección transversal de SEL no ponderado para la MODU 16

Figura 15 Valores de SEL para la MODU con distancia desde la fuente de sonido (línea azul continua) 16

Figura 16 SELcum 24 h para los propulsores de la MODU con distancia de la fuente de sonido 17

Figura 17 SELcum 24 h para la MODU en dB re 1 µPa^2 s no ponderado (A), ponderado para cetáceos de baja frecuencia (B), cetáceos de frecuencia media (C), cetáceos de alta frecuencia (D), pinnípedos focidos (E) y pinnípedos otáridos (F) 17

Figura 18 SPL de los DP-AT a distancias de la posición de la MODU 18

Figura 19 SELcum 24h de los DP-AT a distancias de la posición de la MODU 19

Figura 20 SPL máximo en dB re 1 µPa para fuente de sonido de VSP en la simulación de área estrecha 20

Figura 21 SPL en dB re 1 µPa para fuente de sonido de VSP en la simulación de área estrecha, con una sección transversal de aguas profundas a aguas poco profundas que se muestran en el inserto 21

Figura 22 Niveles de SPL máximo en dB re 1 µPa para todos los cortes en la simulación de área estrecha. La falta de dispersión en los datos se debe a una batimetría relativamente uniforme en el dominio del modelo de área estrecha. 22

Figura 23 SELcum 1 del VSP en relación con la distancia desde la fuente, donde el SEL máximo de todas las profundidades se proyecta sobre la superficie del mar ... 23

Figura 24 SELcum 1 de la fuente de sonido del VSP en la sección transversal de aguas profundas a aguas poco profundas (con la orientación mostrada en el inserto; la dirección era aproximadamente perpendicular a la pendiente del lecho marino) 24

Figura 25 SELcum 1 del VSP en relación con la distancia desde la fuente como valor máximo para cada profundidad 24

Figura 26 SELcum 24 h en la simulación de área estrecha 25

Figura 27 Sección transversal de SELcum 24 h en la simulación de área estrecha, sección transversal de aguas profundas a aguas poco profundas (con la orientación mostrada en el inserto; la dirección era aproximadamente perpendicular a la pendiente del lecho marino) 25

Figura 28 SELcum 24 h del VSP en la simulación de área estrecha 26

Figura 29 Isopleta del umbral de gestión de mamíferos marinos (SEL de 160 dB) que muestra una propagación casi igual en todas las direcciones en las aguas profundas de la ubicación del pozo Stromlo-1 29

Apéndices

APÉNDICE 1 Prueba comparativa de dBSea

1.0 Abreviaturas, unidades y acrónimos

Abreviatura / acrónimo	Descripción
dB	decibeles
DP-AT	Transmisores acústicos con sistema de posicionamiento dinámico
pulg^3	Pulgadas cúbicas
MODU	Unidad móvil de perforación en alta mar (plataforma de perforación)
ms	milisegundos
PTS	Cambio de umbral permanente
SEL	Nivel de exposición sonora
SELcum1	Nivel de exposición sonora acumulativo en un pulso
SELcum5	Nivel de exposición sonora acumulativo en cinco pulsos
SELcum24h	Nivel de exposición sonora acumulativo durante 24 horas
SPL	Nivel de presión sonora
SPLpeak	Nivel de presión sonora máximo
SPLrms	Raíz cuadrática media de nivel de presión sonora
TTS	Cambio de umbral temporal
VSP	Perfil sísmico vertical
µPa	Micropascales (unidad de presión)

2.0 Descripción general

Equinor Australia B.V. (Equinor) planea realizar perforaciones de exploración en alta mar en la Gran Bahía Australiana (GAB) de la Commonwealth, dentro del área de arrendamiento de exploración EPP 39. El pozo de exploración Stromlo-1 se perforará utilizando una unidad móvil de perforación en alta mar (MODU) posicionada dinámicamente y, una vez finalizado, la evaluación del pozo se realizará mediante el perfil sísmico vertical (VSP). El sonido emitido por los propulsores del MODU mientras se mantiene la estación durante la perforación, VSP y el uso de transmisores acústicos con sistema de posicionamiento dinámico (DP-AT) se identificó como un impacto ambiental inevitable de la actividad. Era necesario cuantificar los niveles de sonido submarinos que se emitían de manera que pudieran evaluarse adecuadamente los impactos ambientales en los receptores sensibles al sonido. Se realizó un modelado para cuantificar los niveles de sonido submarino recibidos a varias distancias del sonido. Este informe presenta modelos de propagación de sonido submarina para perforación (operación de la MODU que incluye los DP-AT) y actividades de VSP asociadas con el programa de perforación Stromlo-1.

2.1 Objetivo

El modelado de sonido submarino tiene como objetivo predecir la propagación del sonido emitido por la MODU y los DP-AT durante la perforación y causado por las operaciones de VSP, para ayudar con la evaluación de los impactos ambientales asociados con la perforación.

3.0 Aportes y requisitos de diseño

3.1 Generación de sonido submarino

3.1.1 Fuentes de sonido de baja frecuencia

A lo largo de la perforación del pozo de exploración Stromlo-1, las hélices propulsoras de la MODU y las embarcaciones de apoyo y los transpondedores del fondo marino utilizados para mantener la posición de la MODU generarán continuamente sonido de baja frecuencia (energía principal por debajo de 1 kHz). La operación mecánica de la columna de perforación y otra maquinaria en la MODU y las embarcaciones de apoyo también generarán sonido submarino. El VSP creará niveles altos de sonido impulsivo durante los periodos cortos de prueba al final de la perforación. Los helicópteros generarán ruido aéreo y submarino periódicamente durante todo el programa.

3.1.2 Fuentes de sonido de alta frecuencia

El sistema de posicionamiento dinámico de la MODU utiliza señales acústicas a altas frecuencias (energía principal por encima de 20 kHz); durante toda la operación. Esto es similar al sonido emitido habitualmente por las ecosondas de los barcos comerciales, pero de mayor energía debido al agua más profunda en la que opera. La energía se emite desde un transductor montado en un barco y desde los transceptores en el fondo del mar. En este informe, el equipo generador de sonido se denomina transductores acústicos con posicionamiento dinámico (DP-AT).

3.1.3 Rangos de nivel de sonido submarino

El sonido (medido en la fuente) de estas actividades generalmente se encuentra en los rangos que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Niveles indicativos de sonido submarino durante la perforación

Fuente	Nivel de sonido (re 1 µPa a 1 m SPLrms)
Propulsores de la MODU	190-195 dB (omnidireccional, energía principal < 1 kHz)
Perforación	157-162 dB (omnidireccional, energía principal < 1 kHz)
Embarcaciones de apoyo	108-182 dB (omnidireccional, energía principal < 1 kHz)
VSP	> 200 dB (hacia abajo, energía principal < 1 kHz)
DP-AT	> 200 dB (hacia abajo, solo energía en la banda de 21 a 31 kHz)

El sonido generado por los propulsores de la MODU, los DP-AT y el VSP serán las fuentes de sonido dominantes durante la perforación de Stromlo-1. Por lo tanto, estas fuentes de sonido fueron el foco del modelado de sonido. El sonido generado por helicópteros y transpondedores es de menor en magnitud y duración en comparación con las fuentes dominantes identificadas y no modeladas.

3.2 Métricas de sonido submarino

Dadas las múltiples métricas que se usan comúnmente para expresar los niveles de sonido y evaluar los impactos potenciales en la fauna marina, es importante asegurarse de que cualquier comparación entre los valores específicos de los niveles de sonido se haga utilizando las mismas métricas (por ejemplo, SPL o SEL). También se debe tener cuidado al comparar los niveles de sonido en decibelios (dB) en el aire con los niveles de sonido bajo el

agua.

La escala de decibelios es una escala logarítmica que expresa el cociente entre dos valores de una cantidad física. Se utiliza para medir la amplitud o el "volumen" de un sonido. Como la escala de dB es un cociente, se indica en relación con algún nivel de referencia, que debe incluirse con los valores de dB para que sean significativos. El nivel de presión de referencia en acústica submarina es un micropascal (µPa), mientras que el nivel de presión de referencia utilizado en el aire es de 20 µPa, que se seleccionó para coincidir con la sensibilidad auditiva humana. El resultado es que las ondas sonoras con las mismas intensidades en el agua y en el aire tienen valores de dB que difieren, los dB en el agua no se pueden comparar fácilmente con los dB en el aire.

Como resultado de estas diferencias en los estándares de referencia, los niveles de sonido en el aire no son iguales a los niveles bajo el agua. Para comparar los niveles de sonido en el agua con los niveles de sonido en el aire, es necesario restar 62 dB del nivel de sonido en el agua para tener en cuenta la diferencia en los niveles de referencia y las características de absorción de los dos medios.

El sonido submarino se mide típicamente en términos de presión instantánea (SPL), en dB re 1 µPa (Richardson et al. 2005). El SPL para un sonido impulsivo se expresa típicamente en términos de SPL pico, SPL pico a pico o SPLrms (raíz cuadrática media), que es una presión promedio durante un periodo. Esta medida se asocia comúnmente con los sonidos continuos, pero también se usa para caracterizar los sonidos de pulso donde la duración del tiempo está relacionada con la duración del pulso o un porcentaje de energía de la señal del pulso.

El nivel de la fuente es una medida de las propiedades del sonido a una distancia nominal de 1 m de la fuente y se indica en dB re 1 µPa a 1 m.

SPLrms se ha utilizado históricamente para evaluar los impactos potenciales a la vida marina, pero en su lugar, se utilizan cada vez más SEL y SPLpeak. SEL tiene en cuenta la duración de una exposición al sonido y permite la comparación entre el sonido de diferentes señales sonoras (y por lo tanto, fuentes de sonido) con diferentes características.

SEL es una métrica que se utiliza para describir la cantidad de energía acústica que puede recibir un receptor (como un animal marino) de un evento. SEL es el nivel en dB de la presión sonora al cuadrado, integrada en el tiempo, normalizada a un periodo de un segundo, y se expresa como dB re 1 μPa^2 s.

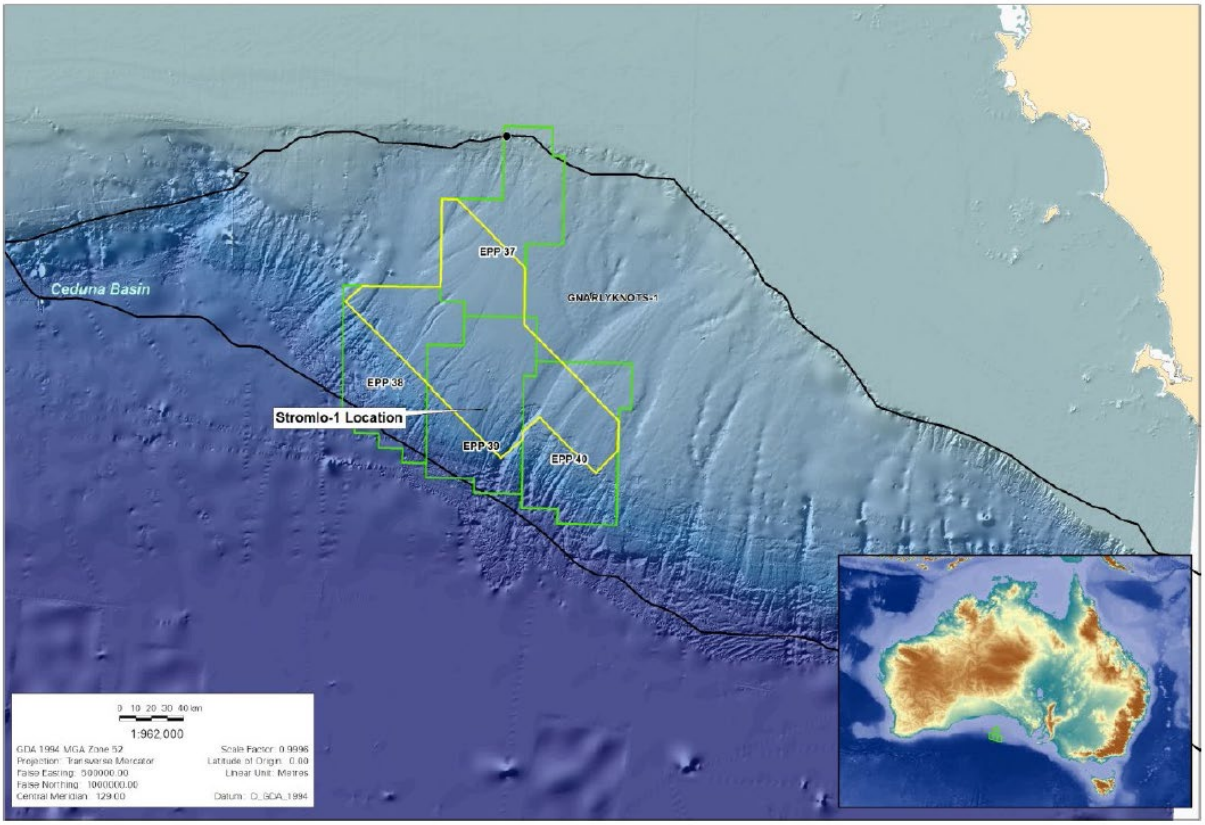
3.3 Modelado de propagación del sonido

Con el conocimiento de la intensidad del sonido en la fuente y las propiedades específicas del agua y el lecho marino, se puede modelar la propagación del sonido. Se utilizó un paquete de modelado comercial dBSea (dBSea v2.1.2 build 281, Marshall Day Acoustics). Los parámetros específicos utilizados en el modelado se describen en las siguientes secciones.

3.3.1 Datos de entrada

3.3.1.1 Posición del sitio de perforación

La posición del sitio de perforación (Figura 1) en la Gran Bahía Australiana es la longitud 130.662106° E y la latitud 34.925354° S (zona UTM 53 este 651815; norte 6132427).



Leyenda: *Location = Ubicación; Zone = Zona; Projection = Proyección ; Transverse Mercator = Mercator transversal; False Easting = Falso este; False Northing = Norte falso; Central Meridian = Meridiano central; Scale Factor = Factor de escala; Latitude of origin = Latitud de origen; Linear Unit = Unidad lineal;* Metres = Metros

Figura 1 Ubicación del pozo de exploración Stromlo-1 en la Gran Bahía Australiana

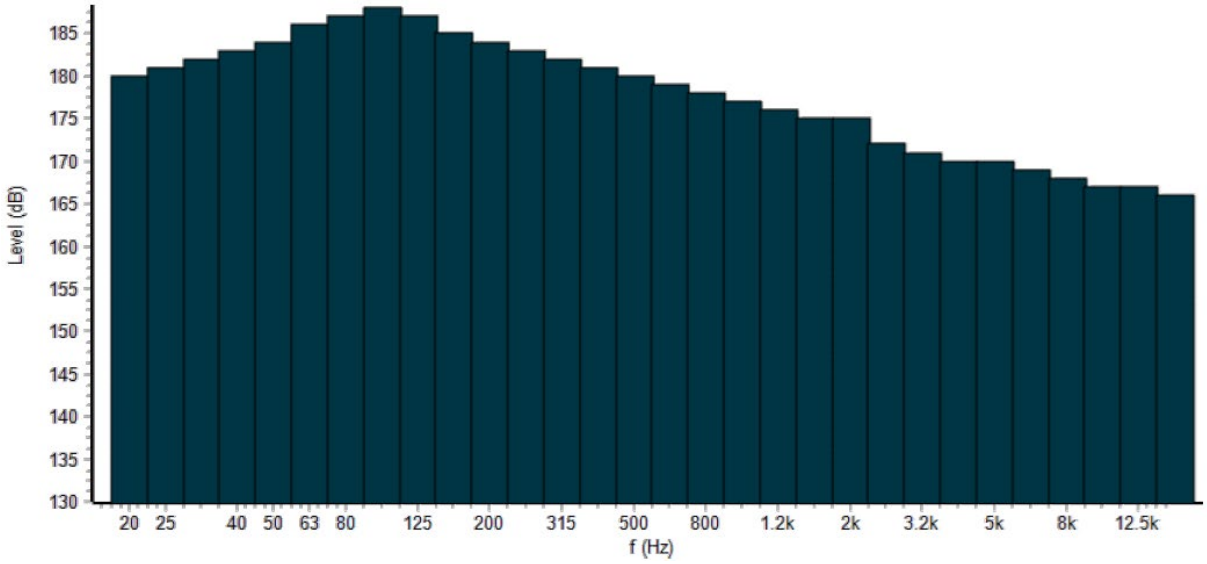
3.3.1.2 Intensidad de la fuente de la MODU

No se ha tomado ninguna decisión sobre el tipo de MODU que se utilizará, lo que significa que el sonido emitido solo puede asumirse con base en los datos disponibles para unidades de perforación similares. Hay buenos datos disponibles para un barco de perforación semisumergible con el nombre West Sirius de Seadrill Limited (Figura 2), que fue objeto de un modelado de sonido realizado por JASCO (Zykov 2016). Los datos modelados de la fuente de sonido para la MODU de West Sirius se utilizaron como datos de entrada para el modelado de propagación de sonido Stromlo-1, como una MODU típica. Esto se encuentra en el extremo superior del rango de tamaños de la MODU (y emisiones sonoras) que se pueden utilizar.

Figura 2 MODU típica, West Sirius de Seadrill Limited

West Sirius de Seadrill está equipada con ocho propulsores Rolls Royce UUC 355, que tienen una hélice de paso fijo en una boquilla PV. Los propulsores UUC 355 tienen un diámetro de hélice de 3,5 m, una velocidad de hélice nominal de 177 rpm y una entrada de potencia continua máxima de 3800 kW. Cada uno de ellos opera a potencia variable según sea necesario para mantener la MODU en la estación.

Para el modelado, se asumió que los ocho propulsores funcionan constantemente a máxima velocidad, lo que estima de manera conservadora la salida sonora máxima de la MODU. La posición vertical de los propulsores fue de 18 m por debajo de la superficie del mar. La información del espectro de origen se utilizó como datos de entrada en el software de propagación del sonido, utilizando los datos del informe JASCO. El nivel de presión sonora total se expresa como 196,7 dB re 1 µPa a 1 m SPLrms.



Leyenda: *Level* = *Nivel*

Figura 3 Contenido espectral de la señal de la fuente del propulsor de la MODU, niveles de dB expresados en dB re 1 µPa m para bandas de frecuencia de 1/3 de octava

El nivel de sonido (en dB) (Figura 3) contribuye a la energía sonora total propagada en la columna de agua de manera logarítmica, de manera que niveles más de 20 dB por debajo del nivel máximo, contribuyen menos de 5% a la energía total del fuente de sonido. Esto significa que < 5% de la energía está en las frecuencias por encima de 1 kHz.

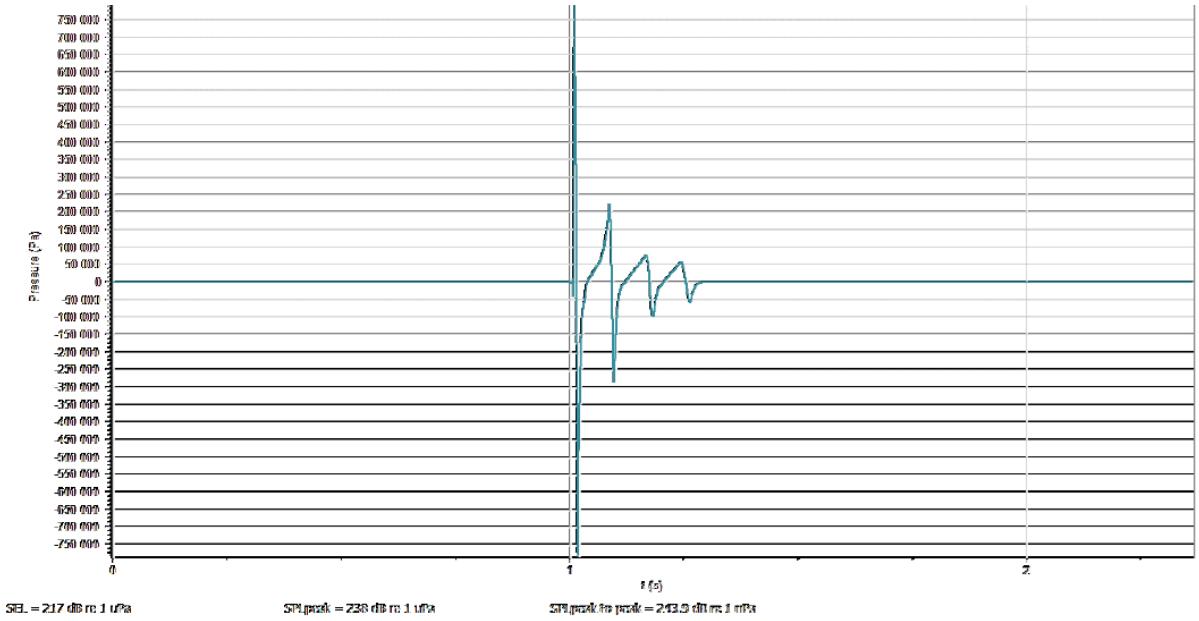
3.3.1.3 Intensidad de la fuente de los transpondedores acústicos con posicionamiento dinámico

La MODU se mantiene en posición con la ayuda de un transductor acústico y transpondedores en el fondo del mar. El sistema exacto que se utilizará aún no se conoce porque será un equipo asociado con la MODU seleccionada. En consecuencia, hemos utilizado información de un sistema típico; el sistema Kongsberg Maritime HiPAP. El sistema consta de un transductor acústico en la MODU y varios transpondedores acústicos en el fondo del mar. El transductor acústico emite una serie de pulsos cortos de alta frecuencia, que son recibidos por los transpondedores, y pulsos similares son devueltos al transductor. La posición de la MODU se calcula a partir de las propiedades de las señales de retorno. El pulso del transductor basado en la MODU (la señal más fuerte) y de los transductores se consideran en el modelo de propagación del sonido. El transductor crea sonido en el rango de frecuencia de 21 kHz a 31 kHz, a un nivel de fuente de 206 dB re 1 µPa. La longitud del pulso es de 30 ms y se repite cada cinco segundos. Los transpondedores de respuesta en el fondo del mar enviarán de vuelta el SPL de 200 dB re 1 µPa.

3.3.1.4 Intensidad de la fuente del VSP

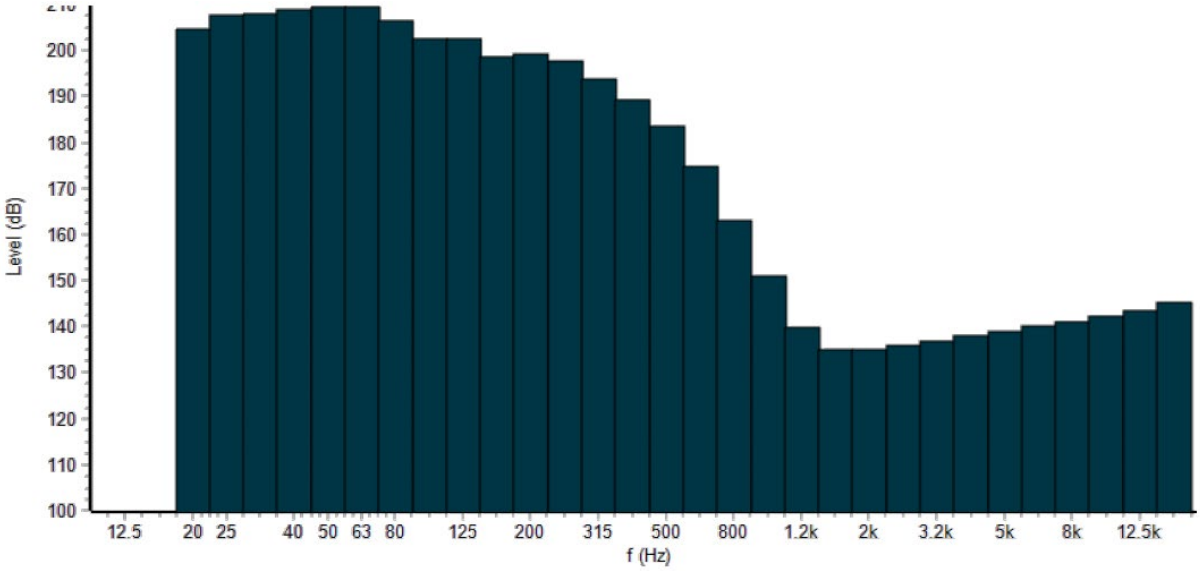
Es probable que se utilice una matriz de 3 × 150 pulg^3 durante el VSP, pero como medida conservadora, se utilizó el volumen de fuente estimado de una matriz de 3 × 250 pulg^3, que genera una presión sonora de aproximadamente 238 dB re 1 µPa a 1 m de cero a SPL máxima. Para obtener valores espectrales para esto, se utilizó un archivo de sonido de una señal acústica idealizada (Figura 4) para obtener valores espectrales (Figura 5), sumando el SPL respectivo (característica incorporada en dBSea). La supuesta profundidad de la fuente

acústica fue 8 m por debajo de la superficie del mar.



Leyenda: Pressure = Presión; SPL peak = SPL máximo

Figura 4 Visualización de series de tiempo de salida de fuente del VSP idealizado intensificado hasta un SPL de 238 dB re 1 µPa



Leyenda: *Level = Nivel*

Figura 5 Contenido espectral de la señal de la fuente del VSP, niveles de dB expresados en dB re 1 µPa m para bandas de frecuencia de 1/3 de octava

El nivel de sonido (en dB) (Figura 5) contribuye a la energía sonora total propagada en la columna de agua de manera logarítmica, de manera que niveles más de 20 dB por debajo del nivel máximo, contribuyen menos de 5% a la energía total de la fuente de sonido. Esto significa que < 5% de la energía está en las frecuencias por encima de 1 kHz.

3.3.1.5 Perfil de velocidad del sonido

En este modelo se utilizó un perfil de velocidad del sonido para la prospección sísmica Ceduna 3D descrito por Maggi y Duncan (2011) ya que su área de estudio estaba cerca (oeste) de la ubicación de Stromlo-1, por lo que se pueden suponer condiciones de agua similares. Utilizando el perfil de sonido presentado por Maggi y Duncan (2011), los valores de la plataforma continental para los 150 m superiores se combinaron con los valores de las profundidades oceánicas desde 150 m hasta el fondo del mar (Figura 6).

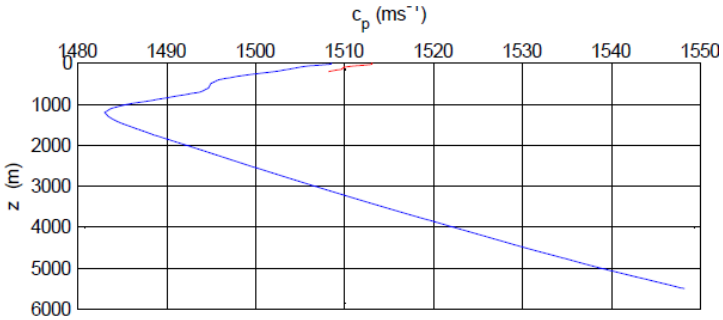


Figura 6 Perfil de velocidad del sonido utilizado en el modelado

3.3.1.6 Propiedades del lecho marino

El informe de modelado para la prospección sísmica Ceduna 3D proporciona las propiedades del lecho marino para el área e investigó la influencia de diferentes materiales sedimentarios (Maggi y Duncan 2011). Para el entorno de aguas profundas, los sedimentos de “limo-arena” se consideraron representativos del área (Maggi y Duncan 2011) y esta suposición se ha aplicado al modelo Stromlo-1. Las propiedades de limo-arena dadas por Maggi y Duncan (2011) y utilizadas aquí son una velocidad del sonido de 1.612,5 m/s, una densidad de 1800 kg/m^3 y una atenuación de 0,9 dB/longitud de onda en toda el área de modelado.

3.3.1.7 Batimetría

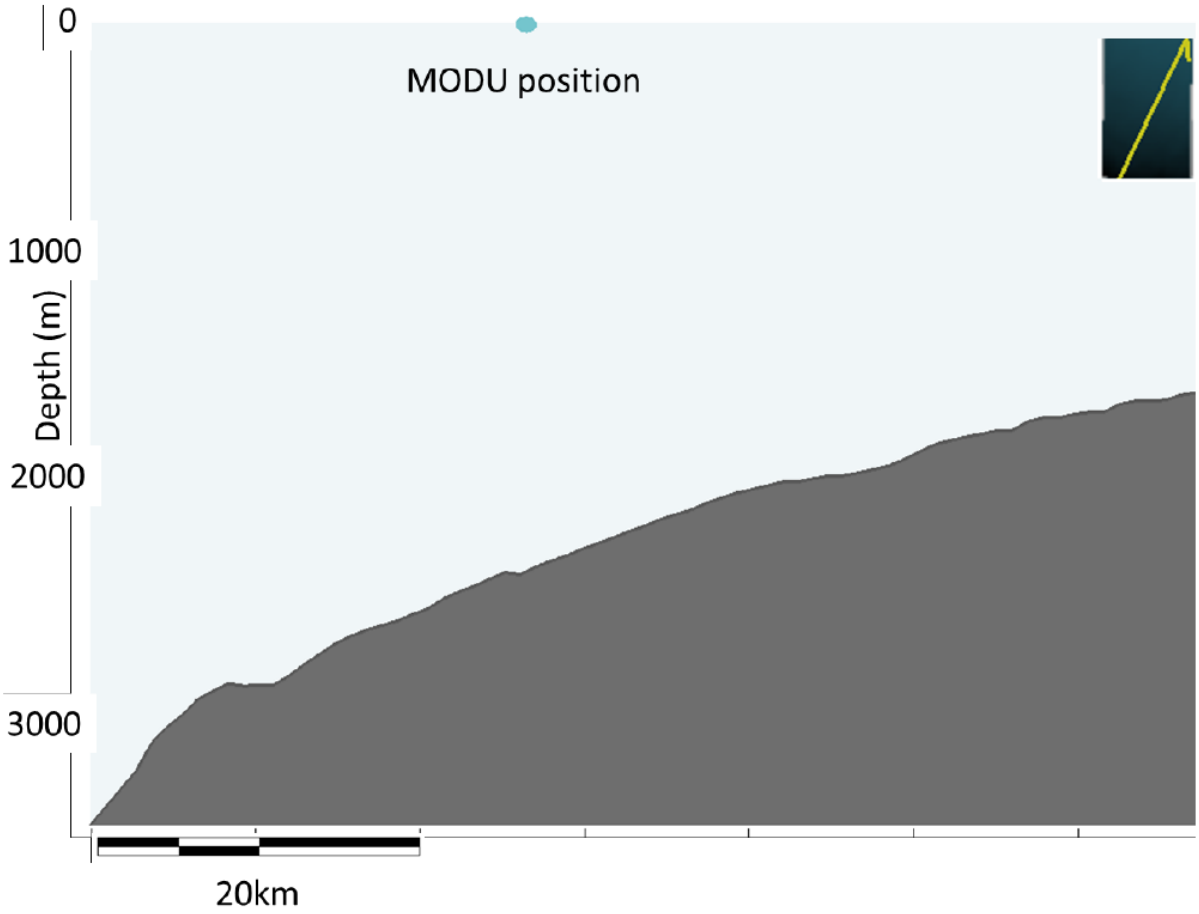
Se utilizaron datos batimétricos de la base de datos GEBCO2014 con una resolución de 30”, correspondiente a unos 500 a 700 m en la región de la GAB. Para una vista de área amplia, se utilizó un área de 446 km (este-oeste) por 552 km (sur-norte) sobre la fuente (Figura 7). Para una vista de área estrecha, se utilizó un área de 30 km (este-oeste) y 64 km (norte-sur) dentro de esta área. Cabe notar que, en la vista de área amplia, el sitio de perforación parece estar en una talud pronunciada (Figura 7 B) mientras que la vista estrecha muestra que el lecho marino es relativamente plano en las cercanías del pozo Stromlo-1 (Figura 8).

A) 3D view from above

B) 3D view from west

Leyenda: *3D view from above = Vista 3D desde arriba; 3D view from west = Vista 3D desde el oeste*

Figura 7 Vista tridimensional desde arriba (A) y desde el oeste (B) de la batimetría utilizada en el modelado, con el punto celeste que indica la posición de la MODU



Leyenda: *MODU position = Posición de la MODU; Depth = Profundidad.*

Figura 8 Perfil de profundidad sobre el área estrecha, con un punto celeste que indica la posición de la fuente de sonido de la MODU/VSP, la orientación del transecto se muestra en el inserto

3.4 Software de modelado

Se seleccionó el modelo dBSea V.2.1 como software de simulación de propagación del sonido. Se utilizó una banda de frecuencia de 12,5 Hz a 16 kHz para simular los propulsores de la MODU. El modelado de la propagación del sonido para los niveles de presión sonora se realizó utilizando un solucionador de ecuaciones de ondas parabólicas para frecuencias de 12,5 Hz a 250 Hz y un solucionador de modo normal para frecuencias más altas. Ambos solucionadores utilizan batimetría, suelo marino y propiedades del agua en sus cálculos dependientes del rango.

Los valores del SEL para la MODU se simularon durante un periodo de evaluación de 24 horas. La propagación del sonido se simuló con el mismo solucionador dividido que se usó para el cálculo del SPL descrito anteriormente.

Para modelar la señal de alta frecuencia de los DP-AT de la MODU, se utilizó la teoría del trazado de rayos en la banda de frecuencia de 16 kHz a 32 kHz. La directividad de la señal se introdujo mediante la intensidad de la señal completa (206 dB) en la dirección casi vertical (15 grados desde la vertical) y -7 dB para todas las demás direcciones hasta la horizontal y sin sonido hacia arriba. Se asumió que los DP-AT estaban activos todo el tiempo emitiendo un

pulso sonoro de 30 ms cada cinco segundos.

Para el VSP, se usó un solucionador dividido como se describió anteriormente para calcular los niveles de SPL en función de la entrada espectral de la fuente acústica (conjunto de pistolas de aire pequeñas).

Para la simulación del SEL y el cálculo de los valores acumulativos del SEL, se utilizó un solucionador de trazado de rayos basado en la serie de tiempo. Debido a la alta demanda de potencia de cálculo, esta simulación se realizó con una banda de frecuencia reducida de 12,5 Hz a 5 kHz, que abarca casi toda la energía sonora.

Para ambas simulaciones, tanto en la vista de área amplia como en la vista de área estrecha, se utilizó una cuadrícula con 100 puntos en la dirección *X* e *Y*, y 50 puntos en la dirección *Z* (Figura 9). Los valores de la cuadrícula se extrapolaron entre los 100 puntos. La propagación del sonido se simuló a lo largo de 100 cortes radiales con 100 puntos de rango cada uno para los cálculos.

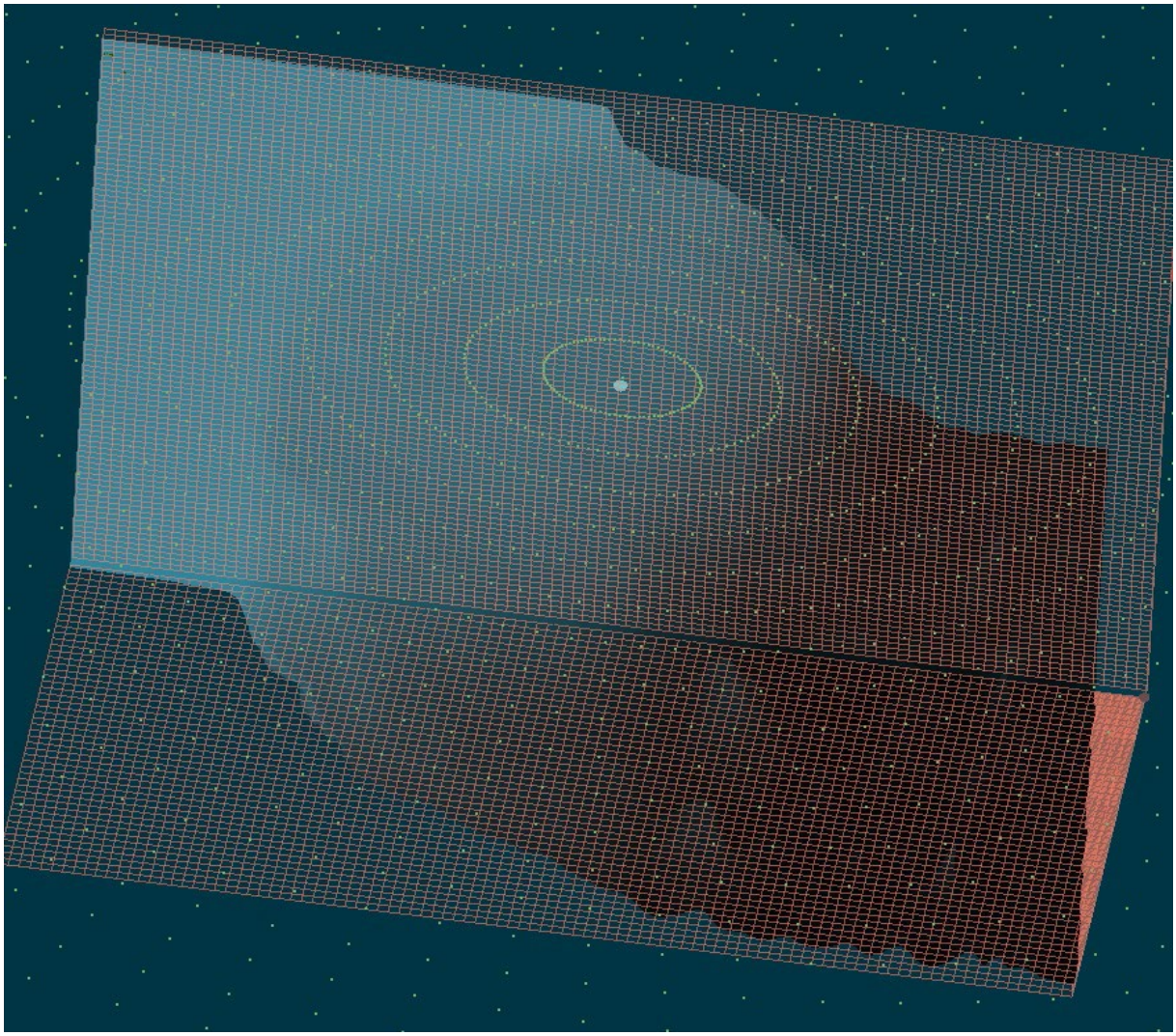


Figura 9 Visualización gráfica de la cuadrícula (líneas rojas) utilizada para el modelado de la propagación del sonido y las posiciones de los cálculos discretos de la propagación del sonido (puntos de color verde claro)

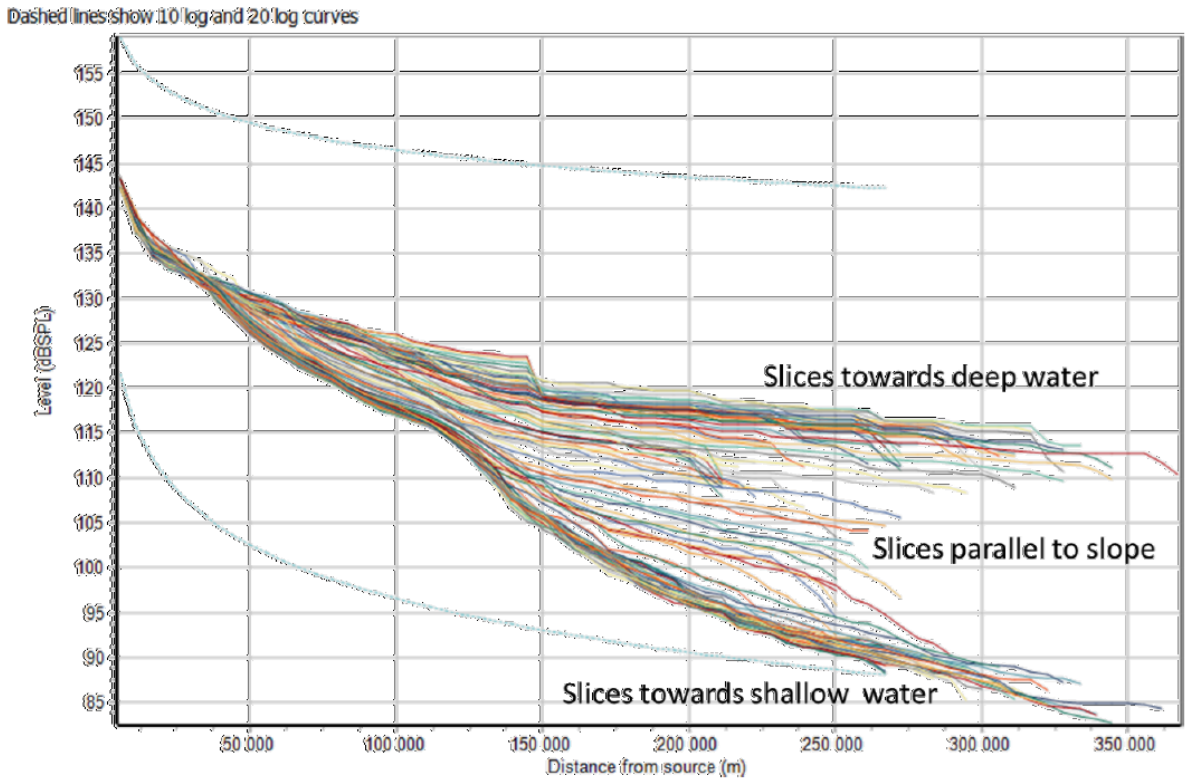
4.0 Simulación de sonido para la MODU

4.1 Nivel de presión sonora de propulsores de la MODU

Todas las simulaciones se realizaron tanto en una cobertura de área amplia como en una cobertura de área estrecha.

4.1.1 Simulación de área amplia

Las simulaciones de área amplia se utilizaron para evaluar los valores de presión sonora lejos de la fuente. La Figura 10 muestra los "cortes" de nivel de sonido 2D, que representan los niveles de sonido a lo largo de los transectos que van desde la fuente de sonido hacia el exterior hacia aguas profundas, hacia la costa y paralelas al talud. Los valores críticos de los niveles de presión sonora (SPL) no se exceden a mayores distancias de la fuente de la MODU. Los valores más altos más cercanos a la fuente (por ejemplo, el nivel de la fuente a 1 m) no se pueden modelar con precisión y no se muestran en la figura. La dispersión de valores en los diferentes cortes se debe a la variación en la batimetría en el dominio del modelo de área amplia.



Leyenda: *Dashed lines show 10log and 20log curves = Las líneas discontinuas muestran curvas 10log y 20log; Level = Nivel; Distance from source = Distancia de la fuente, Slices towards deep water = Cortes hacia aguas profundas; Slices parallel to slope = Cortes paralelos a talud; Slices towards shallow water = Cortes hacia aguas poco profundas*

Figura 10 Niveles de SPL de los propulsores de la MODU en pico de dB re 1 µPa para todos los cortes en la simulación de área amplia

4.1.1.1 Simulación de área estrecha

Las simulaciones de área estrecha se utilizaron para evaluar los valores de presión sonora cerca de la fuente. La Figura 11 muestra el nivel de sonido 2D alrededor de la posición de la MODU donde el nivel de sonido más alto, incluso si está a mayor profundidad, se proyecta a la superficie. La Figura 12 muestra un perfil vertical de los niveles de presión sonora que se propagan a través de la columna de agua desde la MODU en la superficie del mar. Cabe notar que el área con niveles de presión sonora relativamente altos (rojo-naranja) es más pequeña en la superficie que en las capas más profundas.

La Figura 13 muestra la extensión máxima de los niveles de presión sonora en todas las direcciones alrededor de la fuente de sonido, utilizando el valor más alto en el plano vertical. La falta de dispersión en los datos a distancia se debe a una batimetría relativamente uniforme en el dominio del modelo de área estrecha.

El uso de los resultados de la Figura 13 para evaluar los rangos del umbral de efecto es conservador porque la mayoría de la fauna marina sensible (cetáceos y peces en particular) pasa la mayor parte de su tiempo en los 200 m superiores de la columna de agua. A una profundidad de agua de 0 a 200 m, la variedad de efectos de sonido bajo el agua es significativamente menor. El área de ensonificación por encima de los umbrales de efectos es aproximadamente 25% del área a 1000 m de profundidad. Sin embargo, hemos proyectado los rangos máximos hacia arriba en la zona biótica.

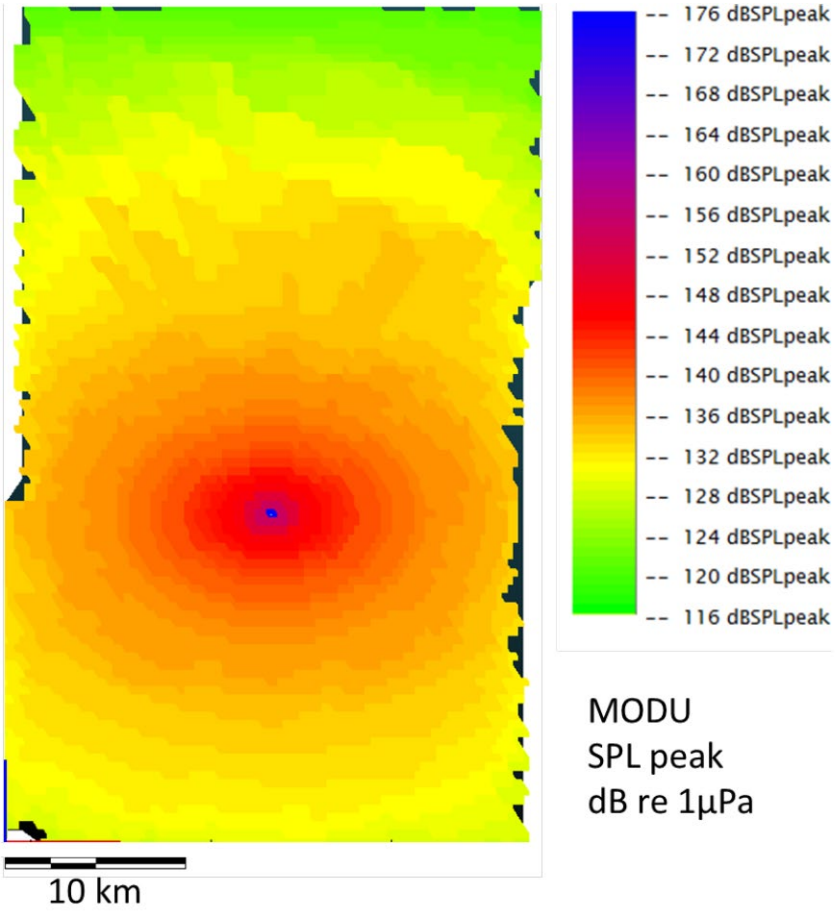
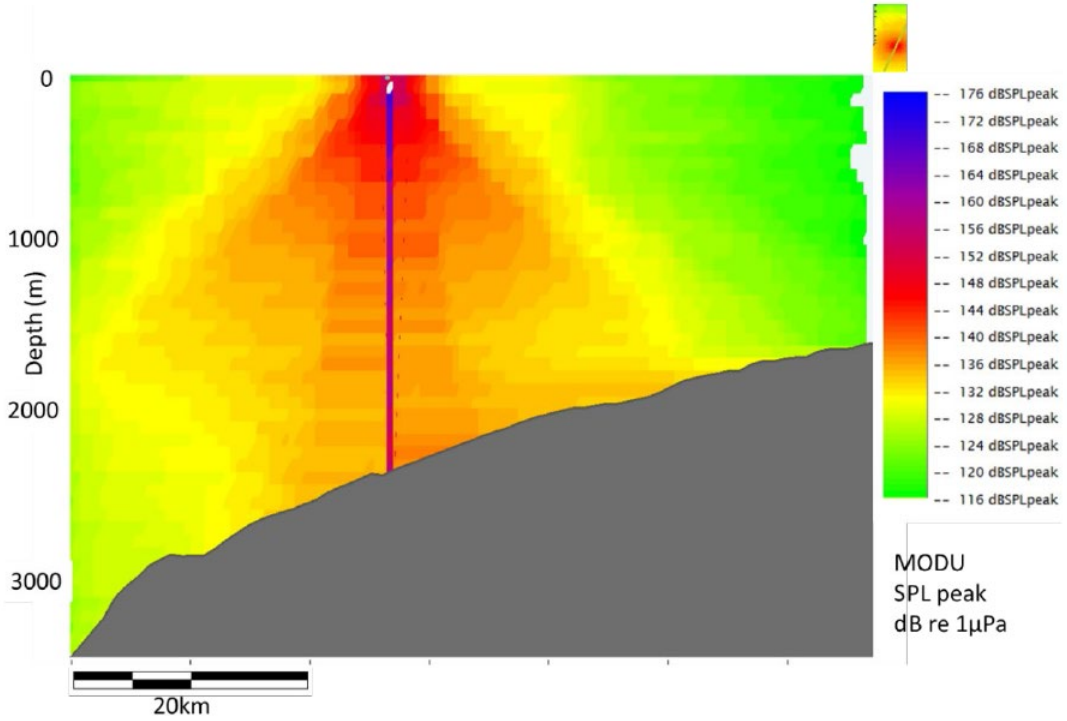
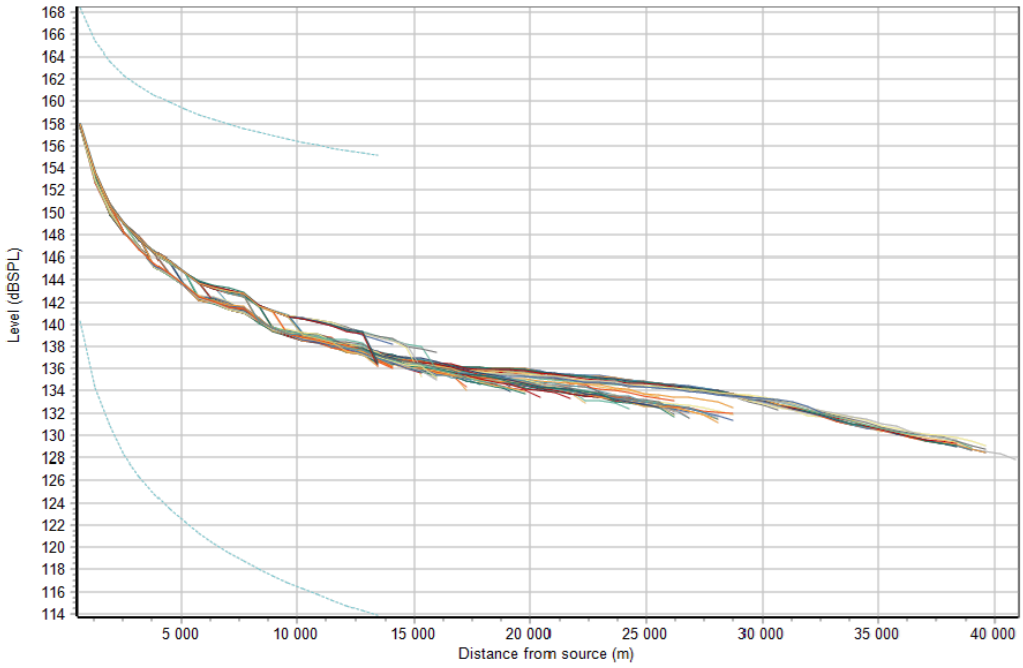


Figura 11 SPL máximo en dB re 1 µPa para fuente de sonido de la MODU en la simulación de área estrecha (valores más altos proyectados a la superficie)



Leyenda: *Depth = Profundidad; SPL peak = SPL máximo*

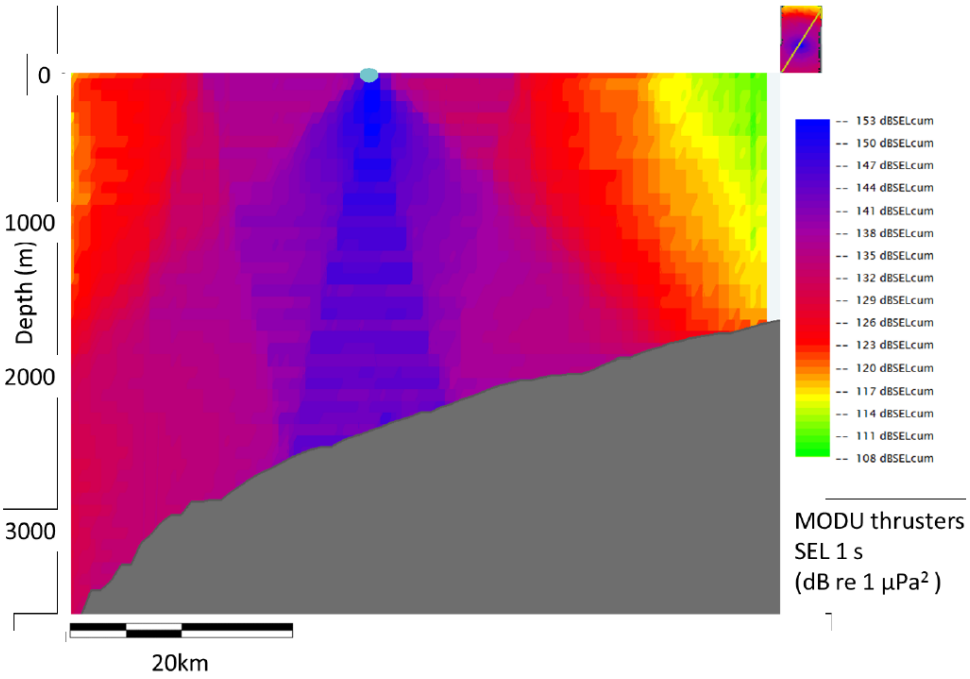
Figura 12 SPL máximo en dB re 1 µPa para fuente de sonido de la MODU en la simulación de área estrecha, con una sección transversal de aguas profundas a aguas poco profundas que se muestran en el inserto



Leyenda: *Level = Nivel; Distance from source= Distancia de la fuente.*

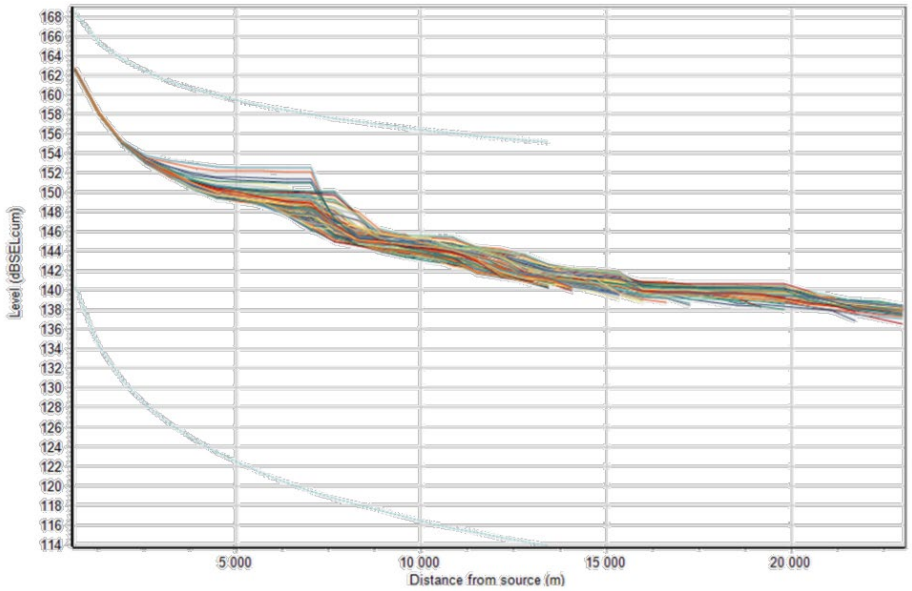
Figura 13 Niveles de SPL máximo en dB re 1 µPa para la fuente de sonido de la MODU para todos los cortes en la simulación de área estrecha

El nivel de exposición sonora (SEL) en la fuente para la MODU es 196,4 dB re 1µPa^2 s a 1 m y el valor de SELcum 24h es 245,8 dB re 1µPa^2 s a 1 m. Estos son valores teóricos que no se alcanzarán ya que es imposible estar a 1 m de todos los componentes de la fuente a la vez (los propulsores están separados por más de 2 m). Sin embargo, es necesario realizar un cálculo para el modelado de propagación. La Figura 14 muestra el nivel de exposición sonora a lo largo de la distancia y la profundidad en una sección transversal. La Figura 15 muestra el SEL (1 s) y la Figura 16 el SELcum 24h en las distintas direcciones desde la fuente.



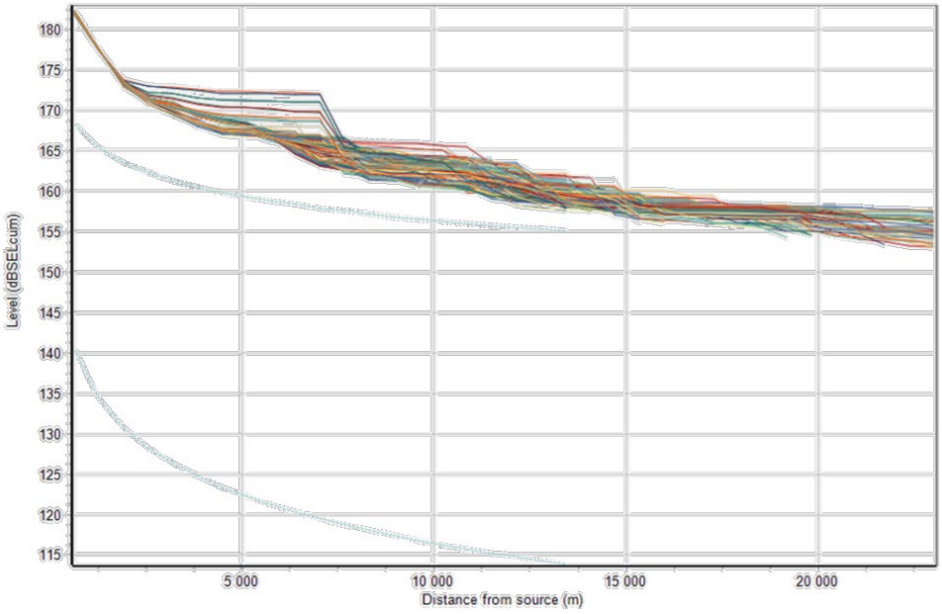
Leyenda: *Depth = Profundidad; thrusters= propulsores.*

Figura 14 Sección transversal de SEL no ponderado para la MODU



Leyenda: *Level = Nivel; Distance from source= Distancia de la fuente.*

Figura 15 Valores de SEL para la MODU con distancia desde la fuente de sonido (línea azul continua)



Leyenda: *Level = Nivel; Distance from source= Distancia de la fuente.*

Figura 16 SELcum 24 h para los propulsores de la MODU con distancia de la fuente de sonido

Se calculó SELcum 24h como valores ponderados y no ponderados (Figura 17). La ponderación tiene en cuenta las capacidades auditivas de diferentes grupos de animales. La Figura 17A muestra el SEL no ponderado en 24 h, mientras que las Figuras 17B a 17F muestran el SEL ponderado para diferentes grupos de animales. La Figura 17D, por ejemplo, muestra que los cetáceos de alta frecuencia no escuchan muy bien el ruido de baja frecuencia proveniente de los propulsores de la MODU, lo cual está indicado por los colores más claros.

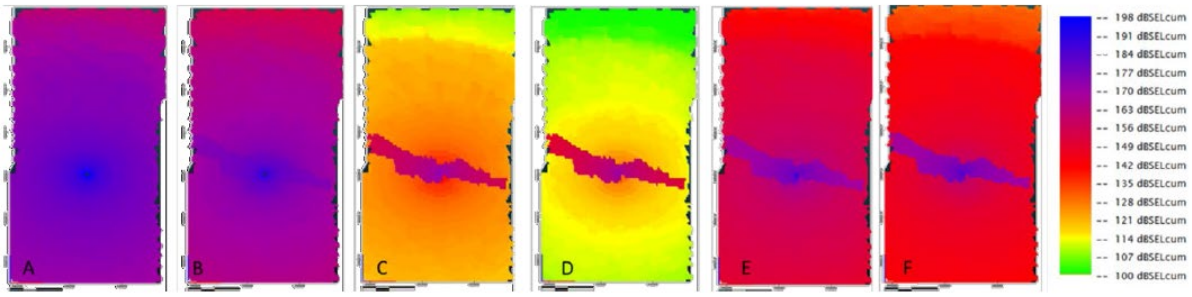
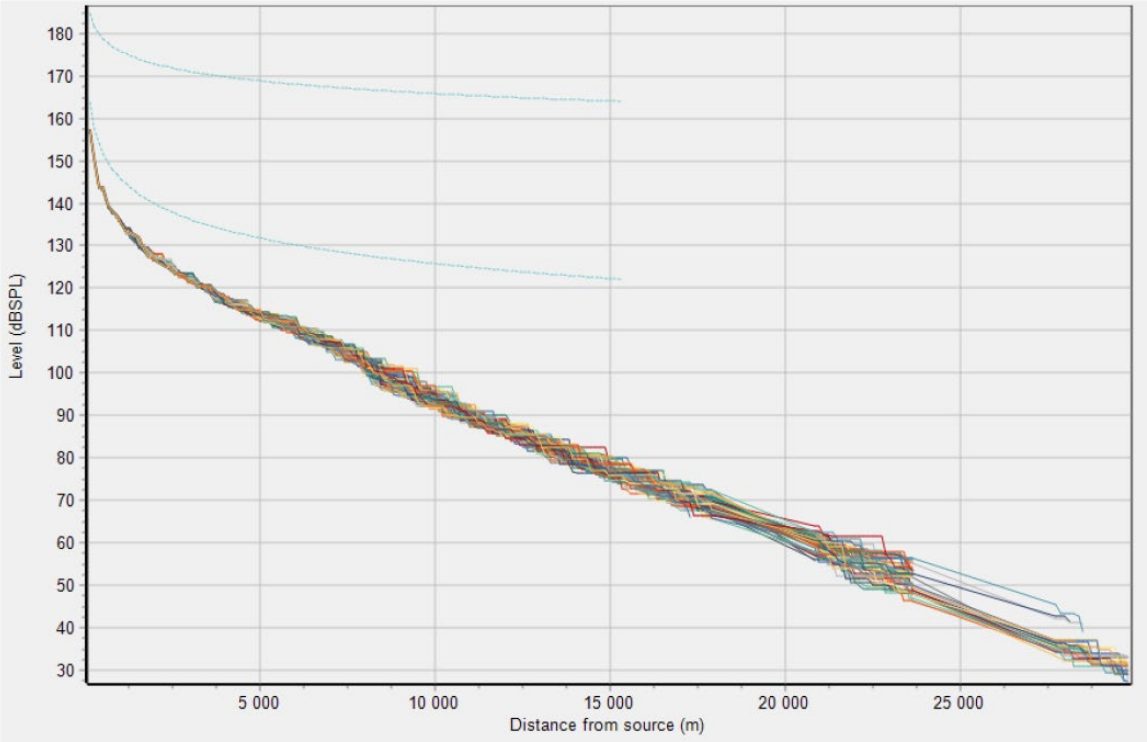


Figura 17 SELcum 24 h para la MODU en dB re 1 µPa^2 s no ponderado (A), ponderado para cetáceos de baja frecuencia (B), cetáceos de frecuencia media (C), cetáceos de alta frecuencia (D), pinnípedos focidos (E) y pinnípedos otáridos (F)

4.1.2 Nivel de presión sonora de los DP-AT de la MODU

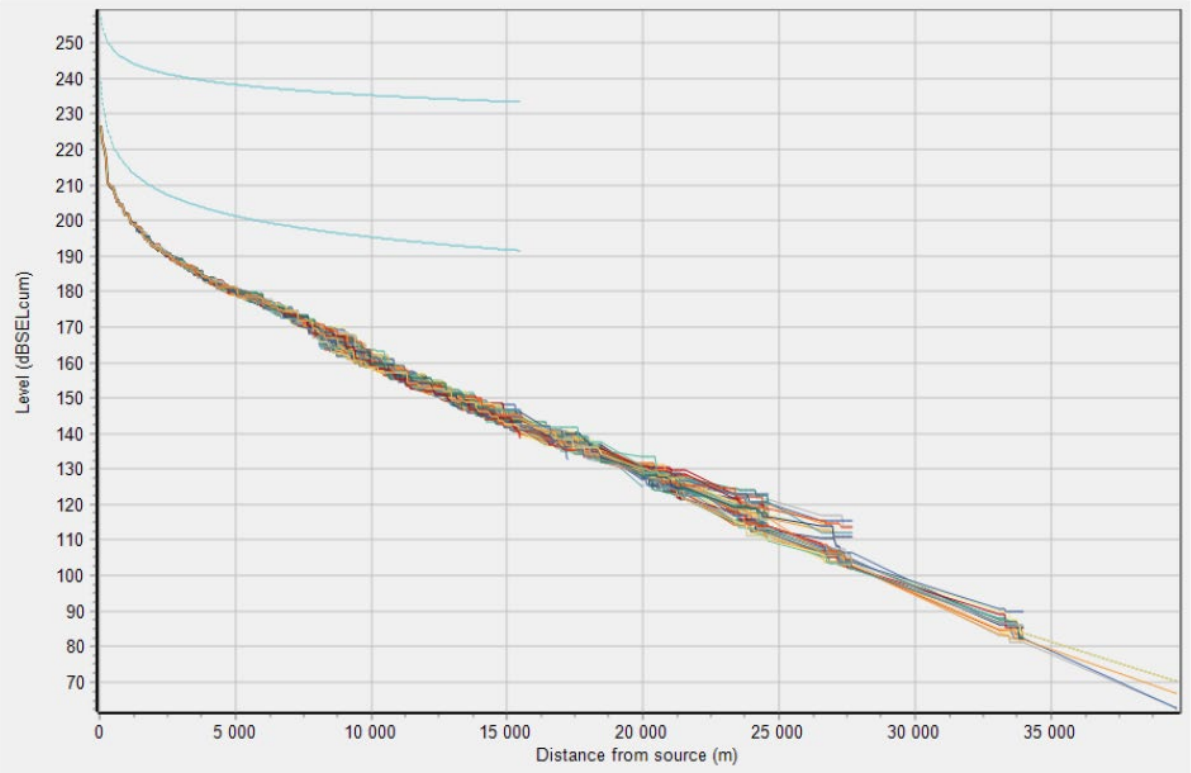


Leyenda: *Level = Nivel; Distance from source= Distancia de la fuente.*

Figura 18 SPL de los DP-AT a distancias de la posición de la MODU

Los niveles de presión sonora de los DP-AT, a pesar de un valor de dB más alto en la fuente, se atenúan rápidamente debido a la mayor absorción del sonido de alta frecuencia (Figura 18). La propagación es relativamente uniforme en todas las direcciones, con poca influencia de la batimetría en estas distancias.

4.1.3 Niveles de presión sonora de los DP-AT de la MODU



Leyenda: *Level = Nivel; Distance from source= Distancia de la fuente.*

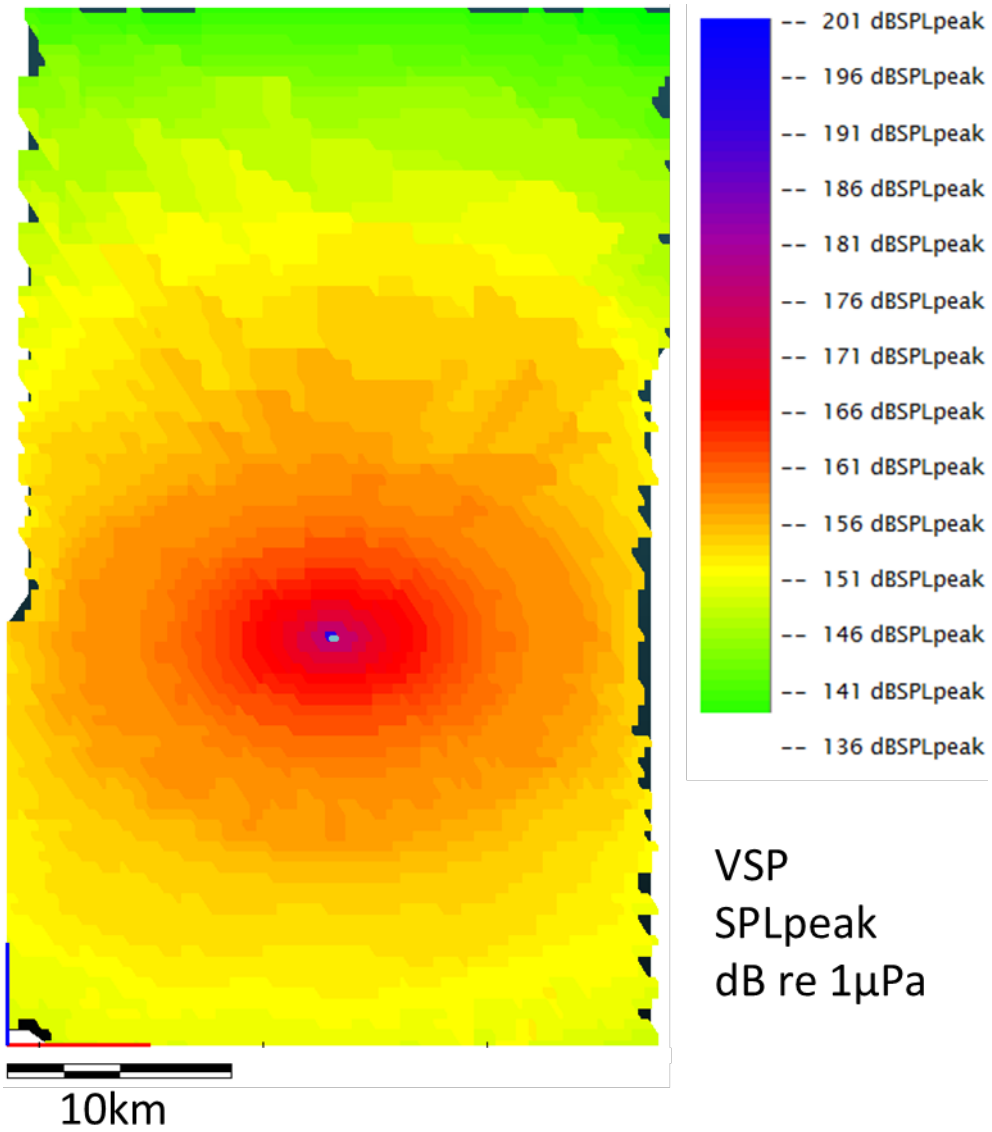
Figura 19 SELcum 24h de los DP-AT a distancias de la posición de la MODU

Los valores del SEL de los DP-AT de la MODU muestran una propagación uniforme comparable en todas las direcciones desde la fuente de la MODU (Figura 19).

5.0 Simulación de sonido para VSP

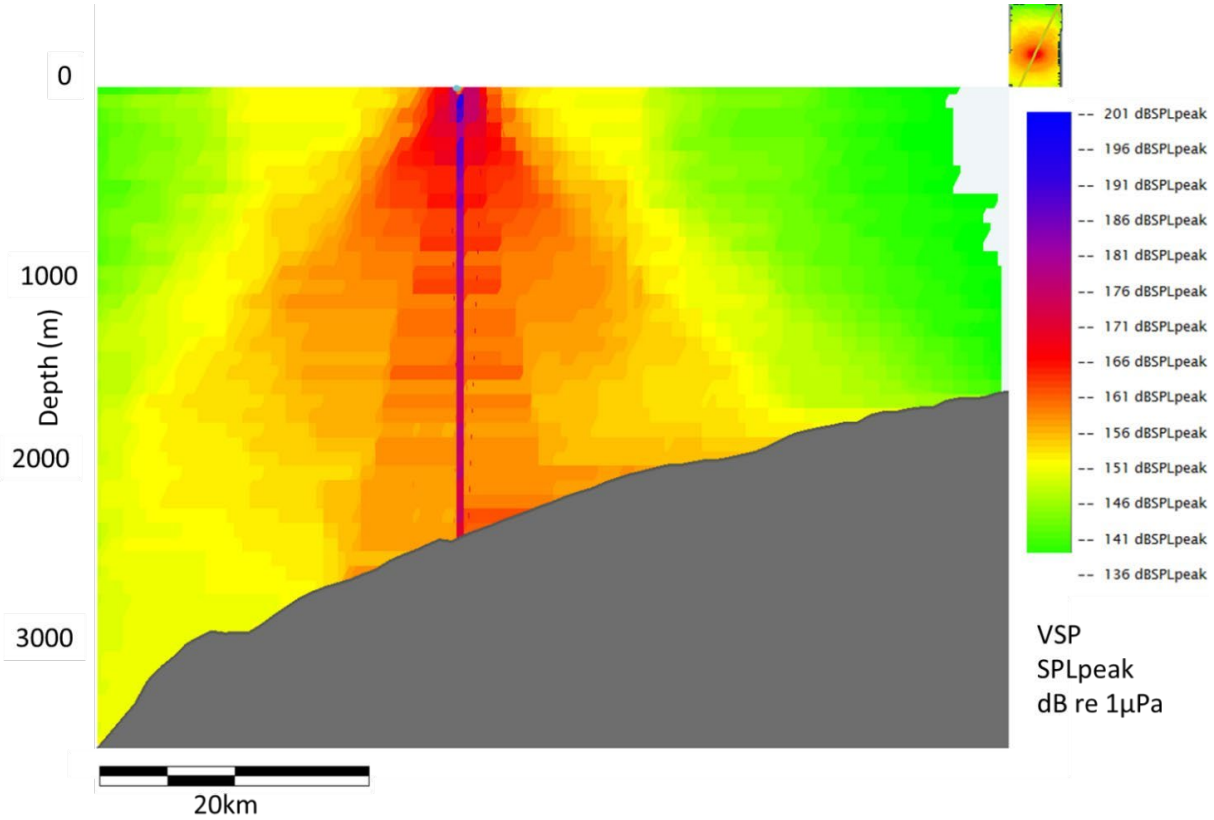
5.1 Nivel de presión sonora del VSP

La propagación de los niveles de presión sonora del VSP sobre el área estrecha simulada se muestra en las Figuras 20-22.



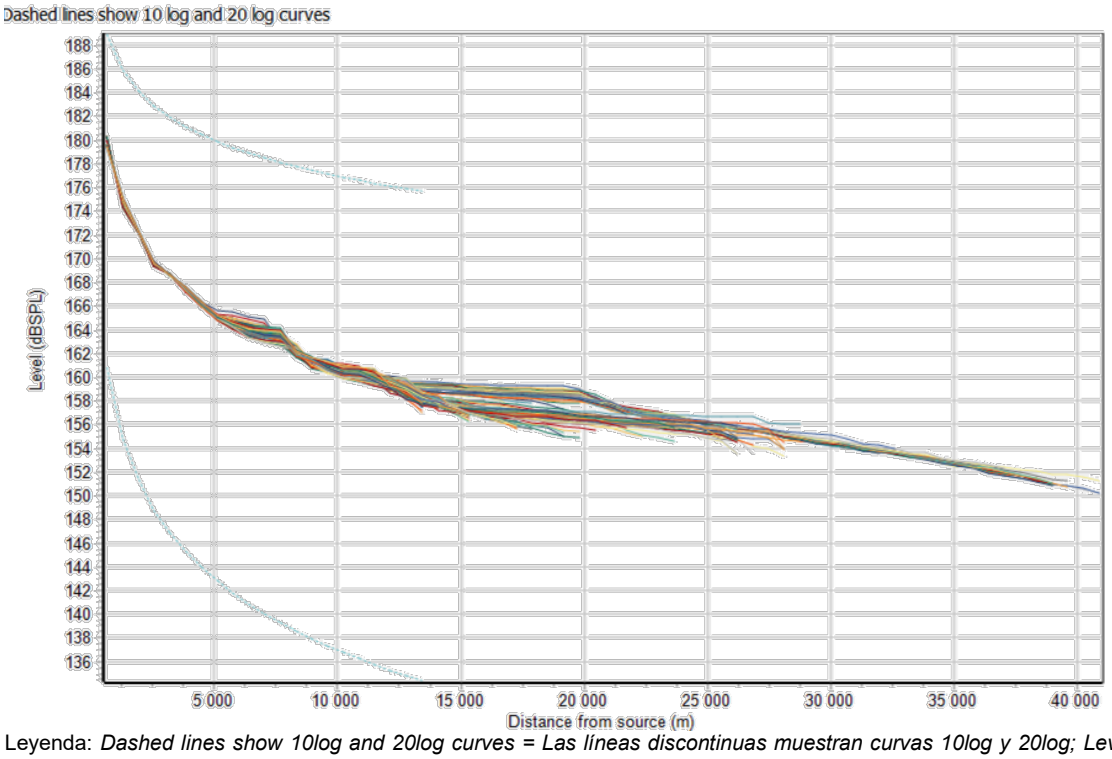
Leyenda: *SPLpeak = SPL máximo.*

Figura 20 SPL máximo en dB re 1 µPa para fuente de sonido de VSP en la simulación de área estrecha



Leyenda: *Depth = Profundidad; SPLpeak = SPL máximo.*

Figura 21 SPL en dB re 1 µPa para fuente de sonido de VSP en la simulación de área estrecha, con una sección transversal de aguas profundas a aguas poco profundas que se muestran en el inserto



Leyenda: *Dashed lines show 10log and 20log curves = Las líneas discontinuas muestran curvas 10log y 20log; Level = Nivel; Distance from source = Distancia de la fuente.*

Figura 22 Niveles de SPL máximo en dB re 1 µPa para todos los cortes en la simulación de área estrecha. La falta de dispersión en los datos se debe a una batimetría relativamente uniforme en el dominio del modelo de área estrecha.

5.2 Nivel de exposición sonora del VSP

Los valores de SEL varían según el tiempo de integración utilizado para calcular el SEL. Como estándar, se utilizó un tiempo de integración de un segundo para SELcum 1 s y un tiempo de integración de 24 horas para SELcum 24 h. Sin embargo, existen otras recomendaciones para tiempos de integración adecuados, como las de Popper et al. (2005) quienes sugieren calcular el SEL en cinco disparos. El número de disparos utilizados en el VSP puede variar, pero la fuente sísmica no será continua durante un periodo de 24 horas. El VSP planeado para Stromlo-1 probablemente involucrará 450 disparos durante un periodo de cuatro a ocho horas y disparos de prueba ocasionales (aproximadamente 10 en total). Utilizamos la integración de más de 460 disparos para el cálculo de SELcum 24h en relación con los criterios de exposición.

Para comparar los valores de SELcum, se calculó SELcum para el número de disparos (Tabla 3).

Tabla 2 Niveles de exposición sonora para la fuente de sonido del VSP

	SELcum 1 (disparo único)	SELcum 5 (5 disparos)	SELcum 24 h (460 disparos durante 24 horas)
dB re 1 µPa^2 s	217	224	238

5.2.1 Simulación de área amplia

Los valores de SEL modelados de la simulación de área amplia se muestran en proyección horizontal en la Figura 23 y en sección transversal en la Figura 24.

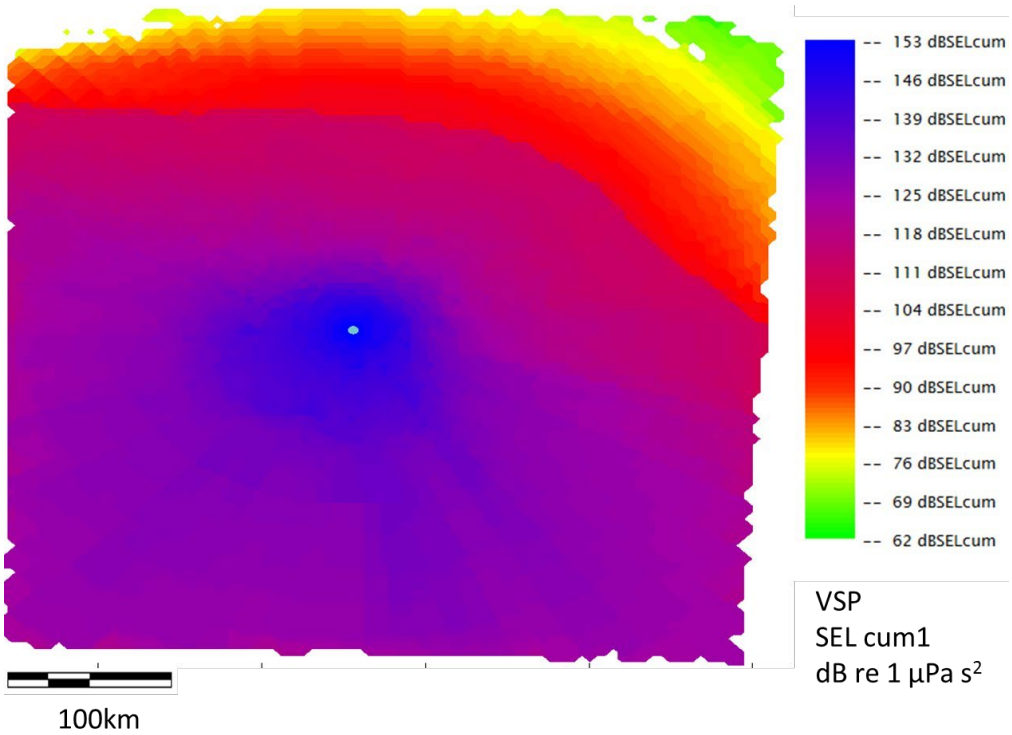
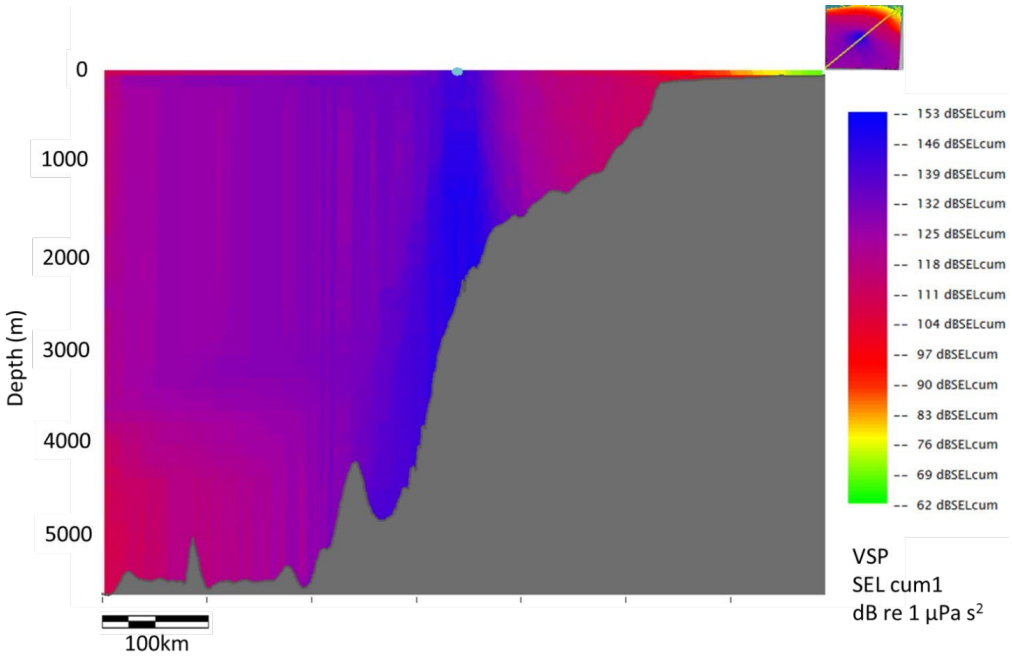
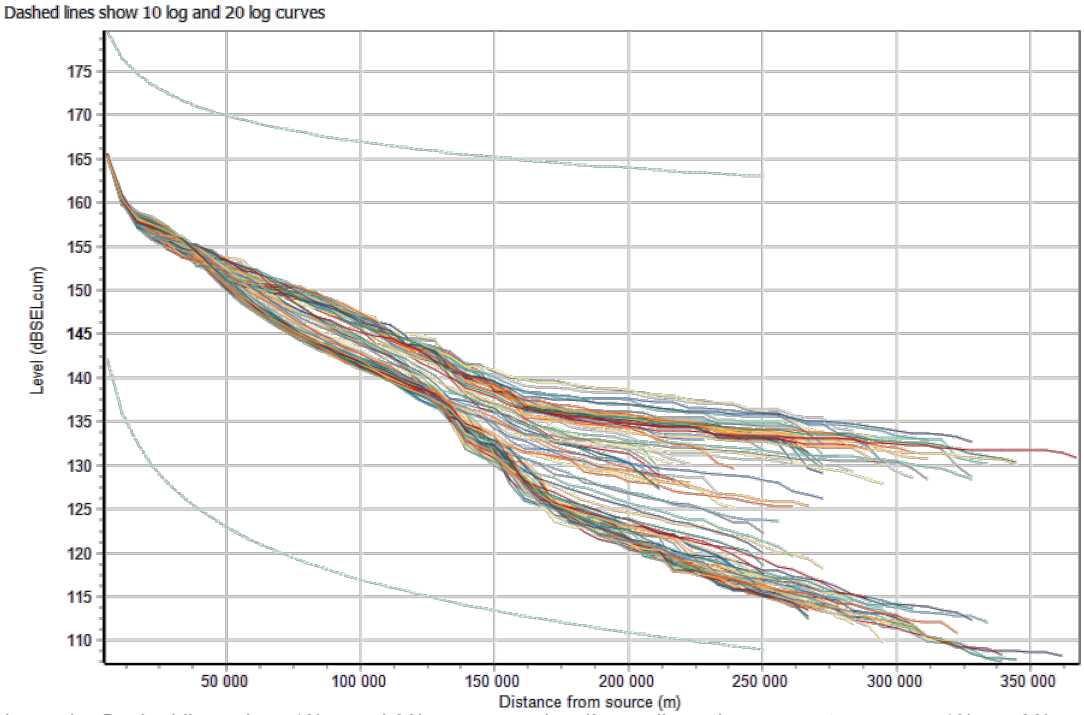


Figura 23 SELcum 1 del VSP en relación con la distancia desde la fuente, donde el SEL máximo de todas las profundidades se proyecta sobre la superficie del mar



Leyenda: *Depth = Profundidad*

Figura 24 SELcum 1 de la fuente de sonido del VSP en la sección transversal de aguas profundas a aguas poco profundas (con la orientación mostrada en el inserto; la dirección era aproximadamente perpendicular a la pendiente del lecho marino)



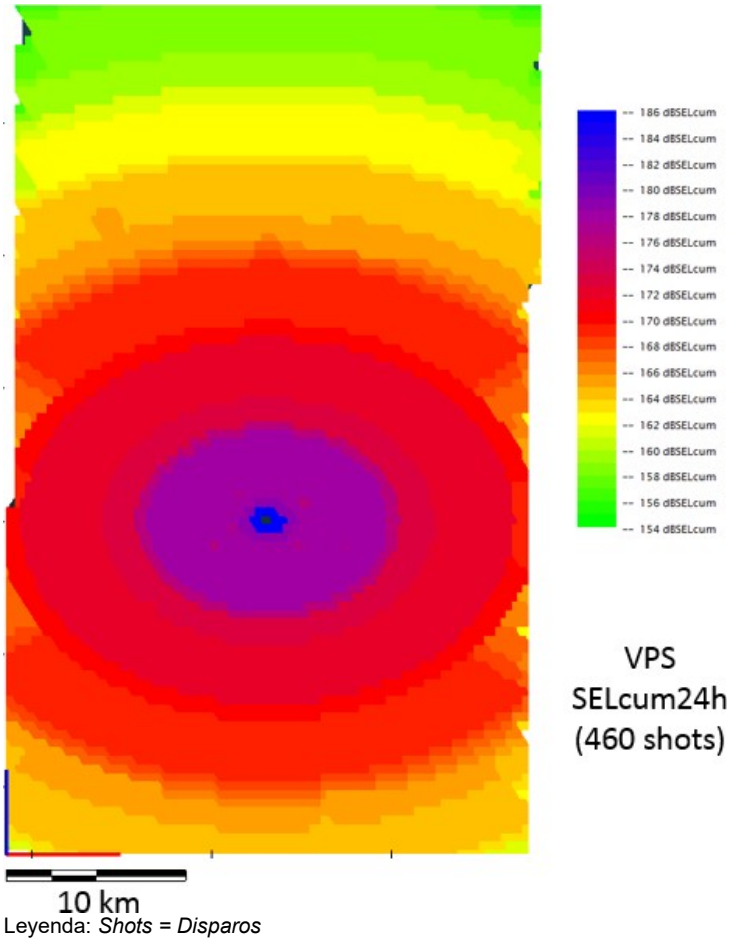
Leyenda: *Dashed lines show 10log and 20log curves = Las líneas discontinuas muestran curvas 10log y 20log; Level = Nivel; Distance from source = Distancia de la fuente.*

Figura 25 SELcum 1 del VSP en relación con la distancia desde la fuente como valor máximo para cada profundidad

La dispersión de datos a distancias en la Figura 25 se debe a la batimetría donde los valores más altos están hacia aguas profundas y los valores más bajos hacia la costa. El gráfico no es preciso cerca de la fuente debido a la resolución elegida para los cálculos del modelo y los efectos de campo cercano cerca de la matriz.

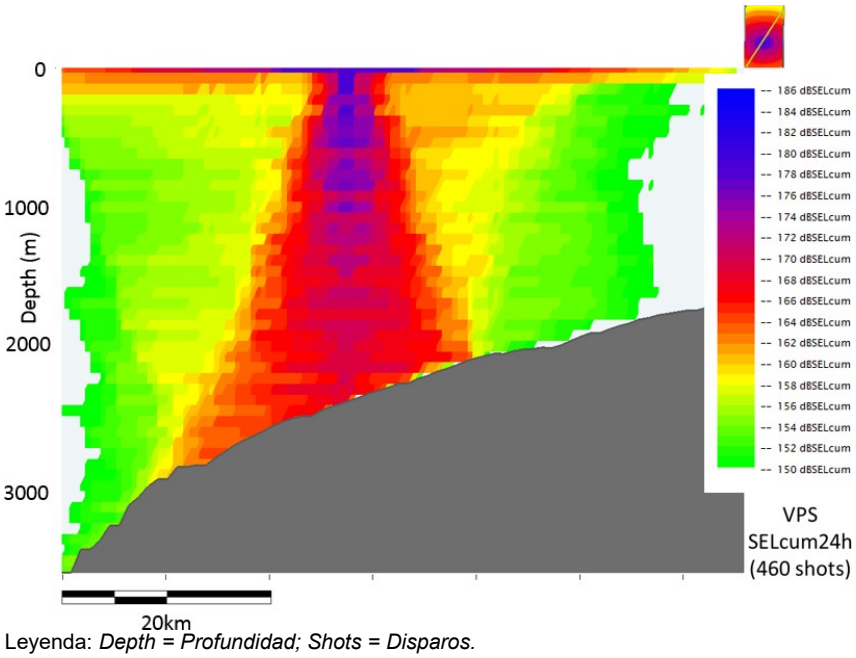
5.2.2 Simulación de área estrecha

La Figura 26, la Figura 27 y la Figura 28 muestran los niveles de exposición sonora modelados acumulados durante 24 horas (SELcum 24 h) a partir de las simulaciones de área estrecha. No hay grandes diferencias en las diferentes direcciones (Figura 26). La ligera dispersión de los datos con la distancia de la fuente del VSP en la Figura 28 se debe a cambios en la batimetría, con una mayor energía que se propaga hacia aguas profundas lejos de la costa.



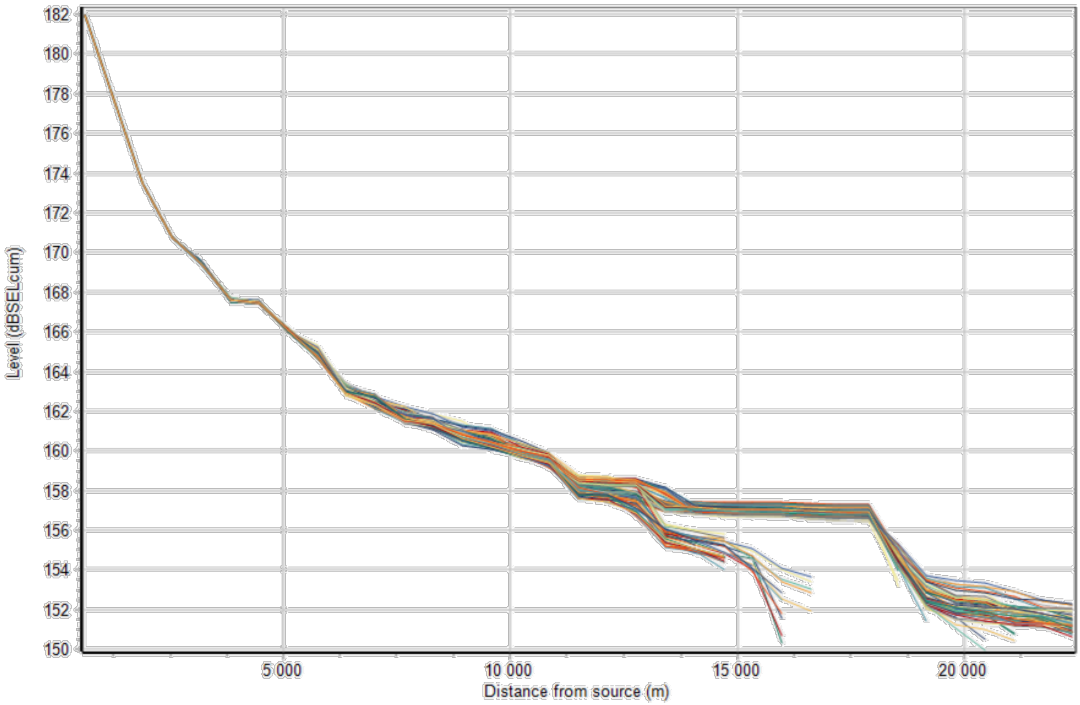
Leyenda: *Shots = Disparos*

Figura 26 SELcum 24 h en la simulación de área estrecha



Leyenda: *Depth = Profundidad; Shots = Disparos.*

Figura 27 Sección transversal de SELcum 24 h en la simulación de área estrecha, sección transversal de aguas profundas a aguas poco profundas (con la orientación mostrada en el inserto; la dirección era aproximadamente perpendicular a la pendiente del lecho marino)



Leyenda: *Level = Nivel; Distance from source= Distancia de la fuente.*

Figura 28 SELcum 24 h del VSP en la simulación de área estrecha

6.0 Rangos de impacto pronosticados para la fauna marina

De acuerdo con las directrices de NMFS (2018), se utilizaron los criterios de umbral de SPL en simulaciones de SPL no ponderado y los criterios de SEL en datos de simulación de SELcum ponderado. Una reciente publicación científica revisada por pares de Southall et al. (2019) ha confirmado los valores umbral en NMFS (2018). Para los peces, se utilizaron los criterios SELcum con la integración SEL para cinco disparos (indicados como SELcum5). Los valores de los criterios respectivos se muestran en la Tabla 3 y la Tabla 4. Es posible que se hayan excedido los criterios de umbral a unos pocos metros de la fuente en los casos en que la intensidad de la fuente en los valores de SPL o SEL supera el valor de umbral respectivo, pero no se resolvieron con la configuración actual de la resolución horizontal del modelo.

6.1 Operaciones de la MODU

Para la aparición de reacciones de comportamiento, también se analizan los valores de SPL superiores a 140 dB re 1 µPa (Southall 2007). Para los DP-AT de la MODU, este rango era de aproximadamente 600 m. Para el propulsor de la MODU, este bajo nivel tuvo que ser examinado con simulaciones de área amplia. El SPL de 140 dB re 1 µPa alcanzaría un máximo de 17 km (a 90 grados = este) con un promedio de 9 km en todas las direcciones.

Tabla 3 Mamíferos marinos: niveles de sonido recibidos de las operaciones de propulsores de la MODU en comparación con los umbrales

Grupo de audición	NMFS (2018) – (SELcum 24h)			
	Cambio de umbral permanente (PTS - Lesión)		Cambio de umbral temporal (TTS)	
	SELcum 24h ponderado	Distancias (km)	SELcum 24h ponderado	Distancias (km)
Cetáceos de baja frecuencia	199	1,6 (máx, 1,9)	179	20 (máx, 25)
Cetáceos de frecuencia media	198	NE	178	4,072 (máx, 9,8)
Cetáceos de alta frecuencia	173	0,2 (máx, 0,3)	153	0,9 (máx, 1,9)
Pinnípedos fócidos en agua (elefante marino)	201	0,5 (máx, 0,9)	181	1,9 (máx, 2,2)
Pinnípedos otáridos en agua (lobos marinos, leones marinos)	219	NE	199	NE

NE = sin excedencia, umbral no alcanzado

Tabla 4 Peces, huevos/larvas de peces y tortugas: niveles de sonido recibidos de las operaciones de propulsores de la MODU en comparación con los umbrales

Tipo de animal	Popper et al. 2014			
	Lesión recuperable	Distancias (km)	TTS	Distancias (km)
Peces: Vejiga natatoria involucrada en la audición (principalmente detección de presión)	170 dB SPLrms	0,6 (media) 1,0 (máx,)	158 dB SPLrms	1,0 (media) 1,9 (máx,)

La Tabla 5 muestra las distancias respectivas o los umbrales de PTS y TTS para el sonido impulsivo. Las distancias a los respectivos umbrales para SEL son las que tienen la mayor

distancia desde la fuente. Por lo tanto, solo mostramos los valores de los umbrales de SEL y no los valores de SPLpeak (pico de SPL).

Tabla 5 Mamíferos marinos: niveles de sonido recibidos de las operaciones de los DP-AT de la MODU (fuente impulsiva) en comparación con los umbrales

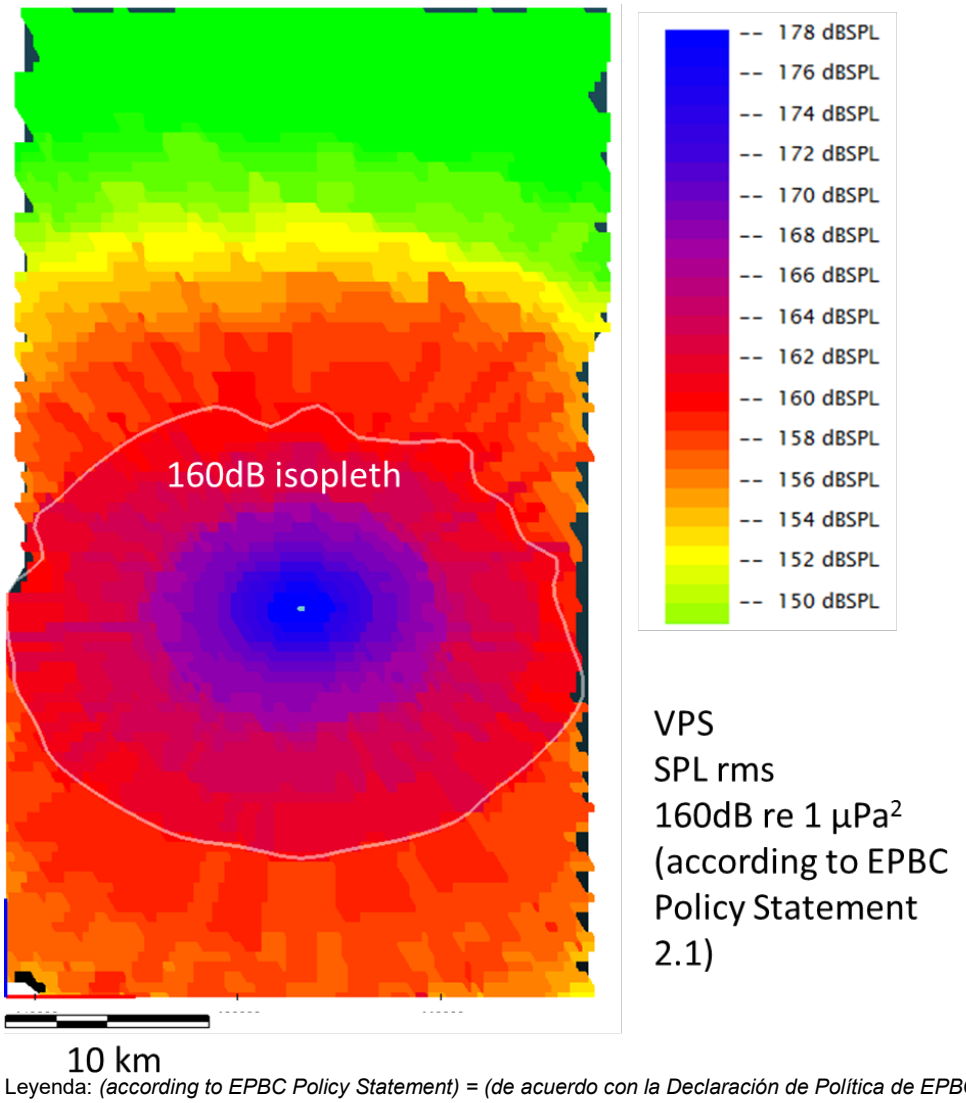
Grupo de audición	NMFS (2018) – (SELcum 24h)			
	Cambio de umbral permanente (PTS - Lesión)		Cambio de umbral temporal (TTS)	
	SEL24h ponderado (acumulativo)	Distancias (km)	SEL24h ponderado (acumulativo)	Distancias (km)
Cetáceos de baja frecuencia	183	3,5 (máx, 3,6)	168	6,5 (máx, 6,7)
Cetáceos de frecuencia media	185	4,7 (máx, 4,9)	170	7,9 (máx, 8,1)
Cetáceos de alta frecuencia	155	11,3 (máx, 11,6)	140	14,8 (máx, 15,2)
Pinnípedos fócidos en agua (elefante marino)	185	4,0 (máx, 4,1)	170	7,0 (máx, 7,2)
Pinnípedos otáridos en agua (lobos marinos, leones marinos)	203	1,3 (máx, 1,4)	188	3,3 (máx, 3,4)

Tabla 6 Peces, huevos/larvas de peces y tortugas: niveles de sonido recibidos de las operaciones de los DP-AT de la MODU en comparación con los umbrales

Tipo de animal	Popper et al. 2014			
	Mortalidad / posible lesión mortal / lesión recuperable SPLpeak dB re 1 µPa	Distancias (km)	TTS SELcum 24 h dB re 1µPa s^2	Distancias (km)
Peces: Sin vejiga natatoria (detección de movimiento de partículas) Peces: Vejiga natatoria que no interviene en la audición (detección de movimiento de partículas) Peces: Vejiga natatoria involucrada en la audición (principalmente detección de presión) Tortugas Huevos y larvas de peces	207 a 213	< 0,075	186	4,6

6.2 Operaciones de VSP

Los resultados del modelado también fueron examinados para el nivel de umbral de SEL de 160 dB (no ponderado) de la directriz de la Declaración de Política 2.1 de EPBC y mostraron que el nivel de sonido del VSP que podría causar TTS caería por debajo de este umbral en el radio de 9 km de la fuente (Figura 29).



Leyenda: *(according to EPBC Policy Statement) = (de acuerdo con la Declaración de Política de EPBC); isopleth = isopleta*

Figura 29 Isopleta del umbral de gestión de mamíferos marinos (SEL de 160 dB) que muestra una propagación casi igual en todas las direcciones en las aguas profundas de la ubicación del pozo Stromlo-1

Tabla 7 Mamíferos marinos: niveles de sonido recibidos de las operaciones del VSP en comparación con los umbrales

Grupo de audición	NMFS (2013)	NMFS (2018): criterios de métrica dual (PK y SEL24h)							
	Comportamiento	Lesión (PTS)				TTS			
	160 SPLrms (dB re 1 µPa)	SEL24h ponderado (acumulativo)	Distancias (km)	PK (dB re 1 µPa)	Distancias (km)	SEL24h ponderado (acumulativo)	Distancias (km)	PK (dB re 1 µPa)	Distancias (km)
Cetáceos de baja frecuencia	14 km (media) 16 km (máx.)	183	NE	219	NE	168	3,3 (media) 3,5 (máx,)	213	NE
Cetáceos de frecuencia media		185	NE	230	NE	170	NE	224	NE
Cetáceos de alta frecuencia		155	NE	202	0,2 (media) 0,3 (máx,)	140	1,4 (media) 1,6 (máx,)	196	0,58 (media) 1,0 (máx,)
Pinnípedos fócidos en agua (elefante marino)		185	NE	218	NE	170	1,4 (media) 2,2 (máx,)	212	NE
Pinnípedos otáridos en agua (lobos marinos, leones marinos)		203	NE	232	NE	188	NE	226	NE

NE = sin excedencia, umbral no alcanzado

Tabla 8 Peces, huevos/larvas de peces y tortugas: niveles de sonido recibidos de las operaciones del VSP en comparación con los umbrales

Tipo de animal	Popper et al. (2014)			
	Mortalidad / posible lesión mortal / lesión recuperable (PK dB re 1 µPa)	Distancias (km)	TTS SEL24h (acumulativo)	Distancias (km)
Peces: Sin vejiga natatoria (detección de movimiento de partículas)	213	NE	186	NE
Peces: Vejiga natatoria que no interviene en la audición (detección de movimiento de partículas)	207	NE		
Peces: Vejiga natatoria involucrada en la audición (principalmente detección de presión)				
Tortugas	207	NE	Sin directriz relevante	
Huevos y larvas de peces	210	NE		

NE = sin excedencia, umbral no alcanzado

Tabla 9 Invertebrados: niveles de sonido recibidos de las operaciones del VSP en comparación con los umbrales

Tipo de animal	Day et al. 2016	Distancias (km)
Invertebrados (vieiras/bivalvos)	191 dB SPLpk-pk (pico a pico)	0,8 (media) 1,5 (máx,)
Invertebrados (langosta/crustáceos)	209 dB Lpk-pk (pico a pico)	NE

NE = sin excedencia, umbral no alcanzado

7.0 Resumen

El modelado de la propagación del sonido submarino a partir de las fuentes de sonido más fuertes asociadas con la actividad de perforación (propulsores VSP y MODU) mostró un rango de distancias máximas en las que se predice que se excederán los diversos niveles de efectos biológicos. El mayor de ellos fue la distancia máxima sobre la cual se superó la directriz NMFS (2018) para efectos del TTS en cetáceos de baja frecuencia a un máximo de 25 km de la MODU, debido a la emisión continua de sonido durante 24 horas (Tabla 3). Las distancias de propagación del sonido del sistema de posicionamiento acústico en la MODU (DP-AT) fueron mucho menores; potencialmente afectando a los cetáceos de alta frecuencia hasta ~15 km de la MODU.

Reconociendo que existe incertidumbre en la sensibilidad de la fauna marina, se recomienda una zona de amortiguamiento conservadora y el alcance máximo de los efectos del ruido submarino sobre la fauna marina debe establecerse a 40 km de la ubicación del pozo.

8.0 Referencias

Day, R.D., McCauley, R.D., Fitzgibbon, Q.P., Hartmann. K. and Semmens, J.M. (2016). Assessing the Impact of Marine Seismic Surveys on Southeast Australian Scallop and Lobster Fisheries. FRDC Project No 2012/008. Impacts of Marine Seismic Surveys on Scallop and Lobster Fisheries. Fisheries Research & Development Corporation, University of Tasmania, Hobart. 159 pp.

Department of Environment, Water, Heritage and the Arts (DEWHA) (2008). EPBC Act Policy Statement 2.1 – Interaction between offshore seismic exploration and whales.

Maggi A.L. & Duncan A.J. (2011). Sound Exposure Level Modelling for the Ceduna 3D Seismic Survey. Prepared for BP-Petroleum (Alpha) by Centre for Marine Science and Technology, Curtin University, Perth, Western Australia. Report C2011-18, May 2011.

McCauley, R.D., Fewtrell, J., Duncan, A.J., Jenner, C., Jenner, M.-N., Penrose, J.D., Prince, R.I.T., Adihyta, A. and Murdoch J. (2000). Marine seismic surveys: A study of environmental implications. Australian Petroleum Production Exploration Association (APPEA) Journal 40: 692-708.

McCauley, R.D., Day, R.D., Swadling, K.M., Fitzgibbon, Q.P., Watson, R.A. and Semmens, J.M. (2017). Widely used marine seismic survey air gun operations negatively impact zooplankton. 1: 0195. http://dx.doi.org/10.1038/s41559-017-0195.

National Marine Fisheries Service (NMFS). (2013). Marine Mammals: Interim Sound Threshold Guidance (webpage). National Marine Fisheries Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce. http://www.westcoast.fisheries.noaa.gov/protected_species/marine_mammals/threshold_guidance.html.

National Marine Fisheries Service (NMFS). (2018). Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing: Underwater Acoustic Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Department of Commerce, NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-55. 178 pp.

Popper, A.N., Hawkins, A.D., Fay, R.R., Mann, D.A., Bartol, S., Carlson, T.J., Coombs, S., Ellison, W.T., Gentry, R.L., Halvorsen M.B., Løkkeborg, S., Rogers, P.H., Southall, B.L., Zeddies, D.G., Tavolga, W.N. (2014). ASA S3/SC1.4 TR-2014, Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI. Acoustical Society of America, ASA Press.

Southall, B. L., Ann E. Bowles, William T. Ellison, James J. Finneran, Roger L. Gentry, Charles R. Greene Jr., David Kastak, Darlene R. Ketten, James H. Miller, Paul E. Nachtigall, W. John Richardson, Jeanette A. Thomas, and Peter L. Tyack (2007): Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Aquatic Mammals, Volume 33, Number 4, 2007

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

Zykov, M.M. 2016. Modelling Underwater Sound Associated with Scotian Basin Exploration Drilling Project: Acoustic Modelling Report. JASCO Document 01112, Version 2.0. Technical report by JASCO Applied Sciences for Stantec Consulting Ltd.

APÉNDICE 1

Prueba comparativa de dBSea

Pruebas comparativas de dBSea

Examinar los solucionadores de dBSea en múltiples comparaciones con dilemas de referencia conocidos.

En este documento presentamos soluciones a una serie de dilemas de cálculo de la propagación del sonido submarino bien definidos para la comparación de los algoritmos de dBSea con el método de código abierto basado en el mismo enfoque de modelado.

Muchos de los ejemplos se vincularán a archivos "UWA". Estos son archivos de escenarios de dBSea que se pueden visualizar en dBSea BASIC (disponibles gratuitamente en: http://www.dbsea.co.uk/media/30273/dBSea-Basic-220.zip).

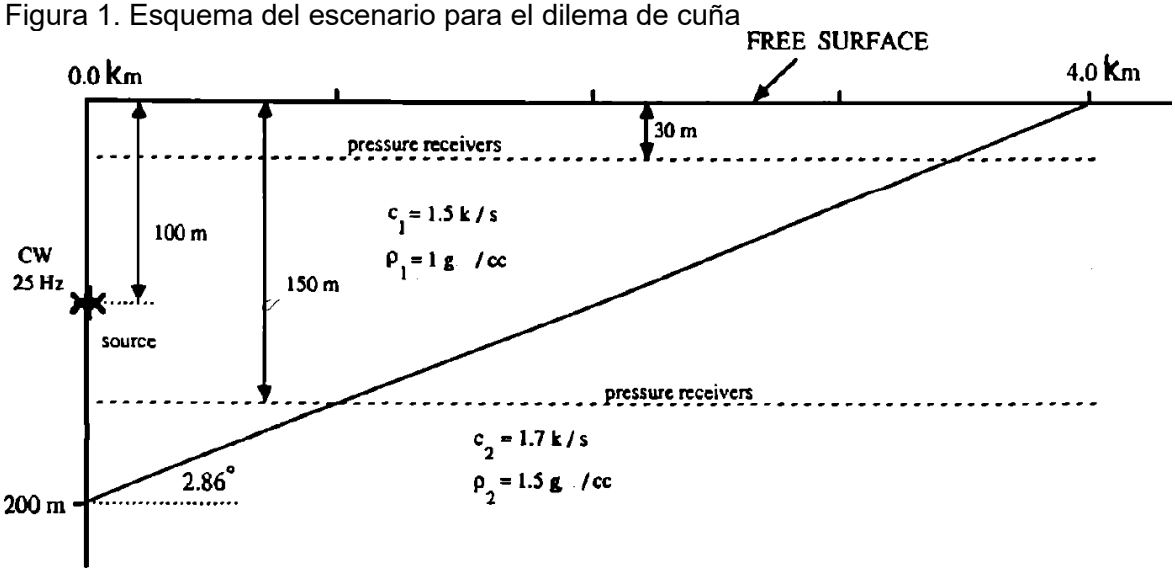
Cabe notar que, si bien los métodos de trazado de rayos se han incluido en este documento en aras de la exhaustividad, generalmente no son adecuados para dilemas de baja frecuencia (longitud de onda > 1-3% de profundidad).

1 CUÑA DE PENDIENTE ASCENDENTE

1.1 VALOR DE REFERENCIA ASA

Los dilemas del valor de referencia ASA (Jensen y Ferla, 1989) representan una base clásica para la comparación de modelos de propagación.
El archivo UWA para este escenario está disponible en:
https://drive.google.com/open?id=0B7cNj3oy6fp0TFg0ZXhrMTZucEU

Figura 1. Esquema del escenario para el dilema de cuña



Leyenda: *FREE SURFACE = SUPERFICIE LIBRE; pressure receivers = receptores de presión; source = fuente.*

Los siguientes resultados se basan en una comparación de los solucionadores de dBSea con los solucionadores de la caja de herramientas de AcTUP (**AcTUP tool-box**[1]), que cubre los tres métodos más populares para calcular el campo de sonido, es decir:

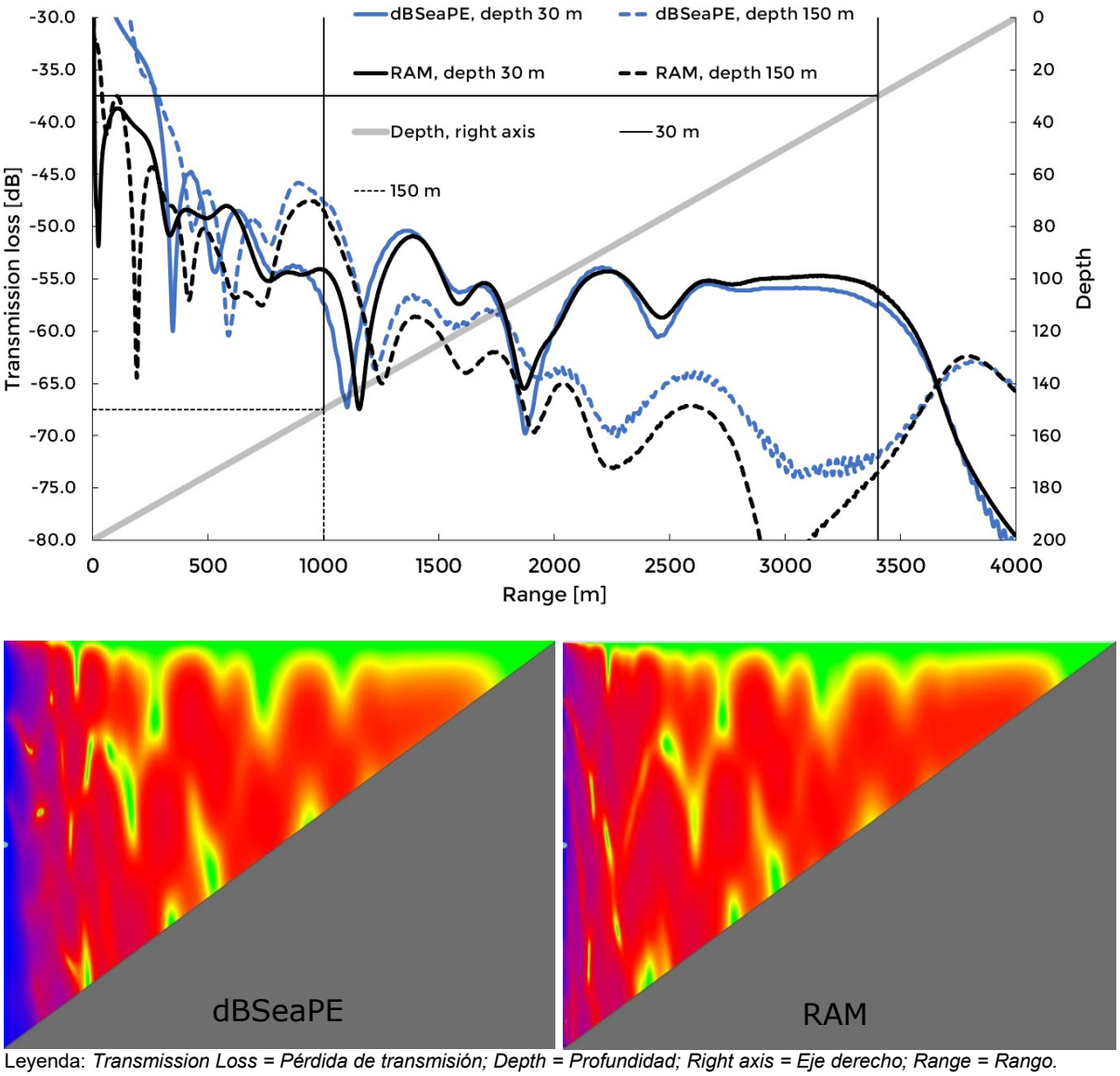
[1] http://cmst.curtin.edu.au/products/underwater/

- Método de ecuación parabólica - dBSeaPE y RAM
- Método de modos normales - dBSeaModes y Kraken
- Método de trazado de rayos - dBSeaRay y Bellhop

Cabe notar que el escenario está modelado para 25 Hz. A esta frecuencia, no esperamos que los dos métodos de trazado de rayos funcionen bien.

1.1.1 Método de ecuación parabólica

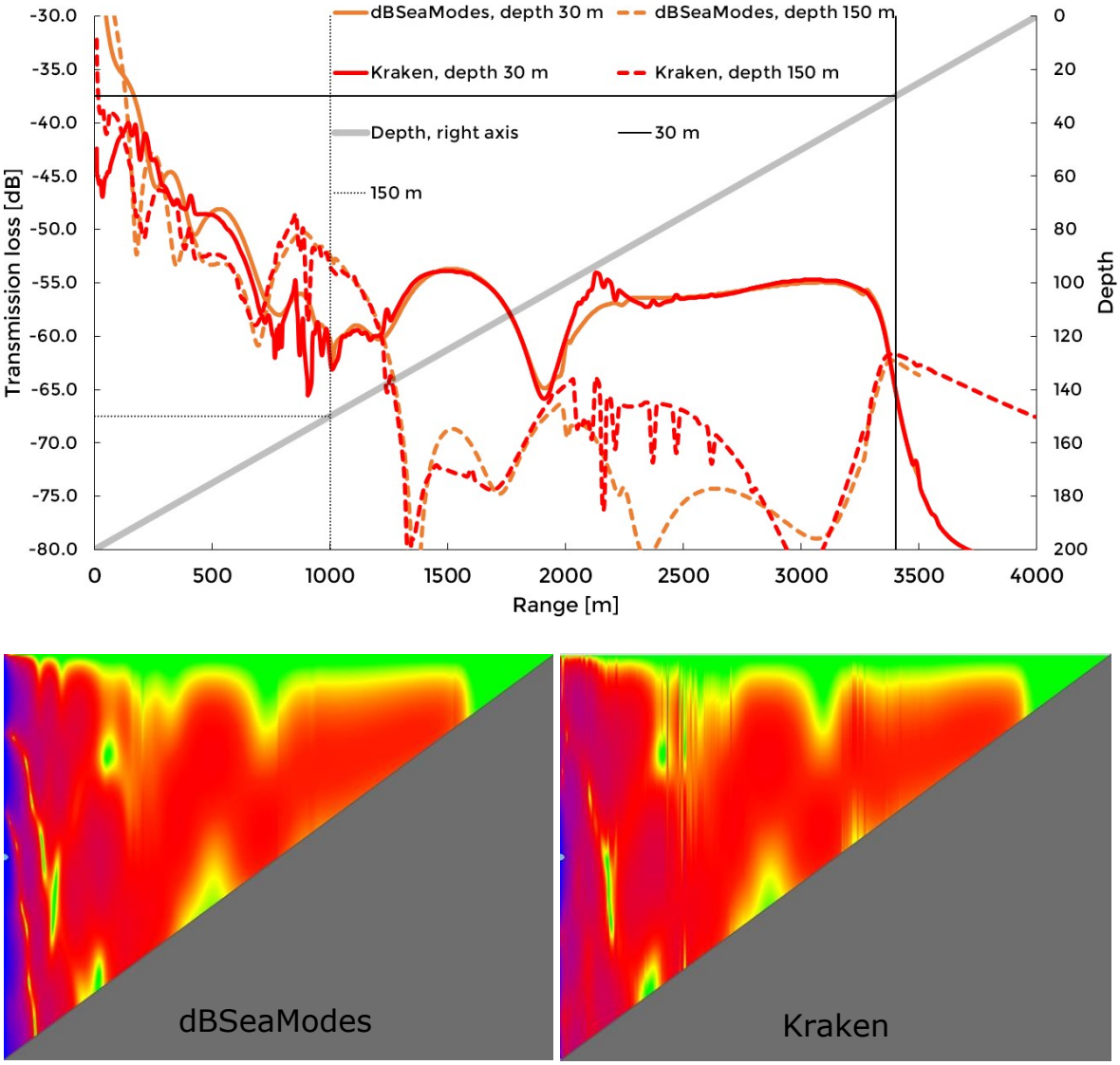
Figura 2. Pérdidas de transmisión para dBSeaPE y RAM. Las profundidades de 30 m y 150 m se muestran en la tabla, mientras que los transectos completos en color se presentan a continuación.



Leyenda: *Transmission Loss = Pérdida de transmisión; Depth = Profundidad; Right axis = Eje derecho; Range = Rango.*

1.1.2 Método de modos normales

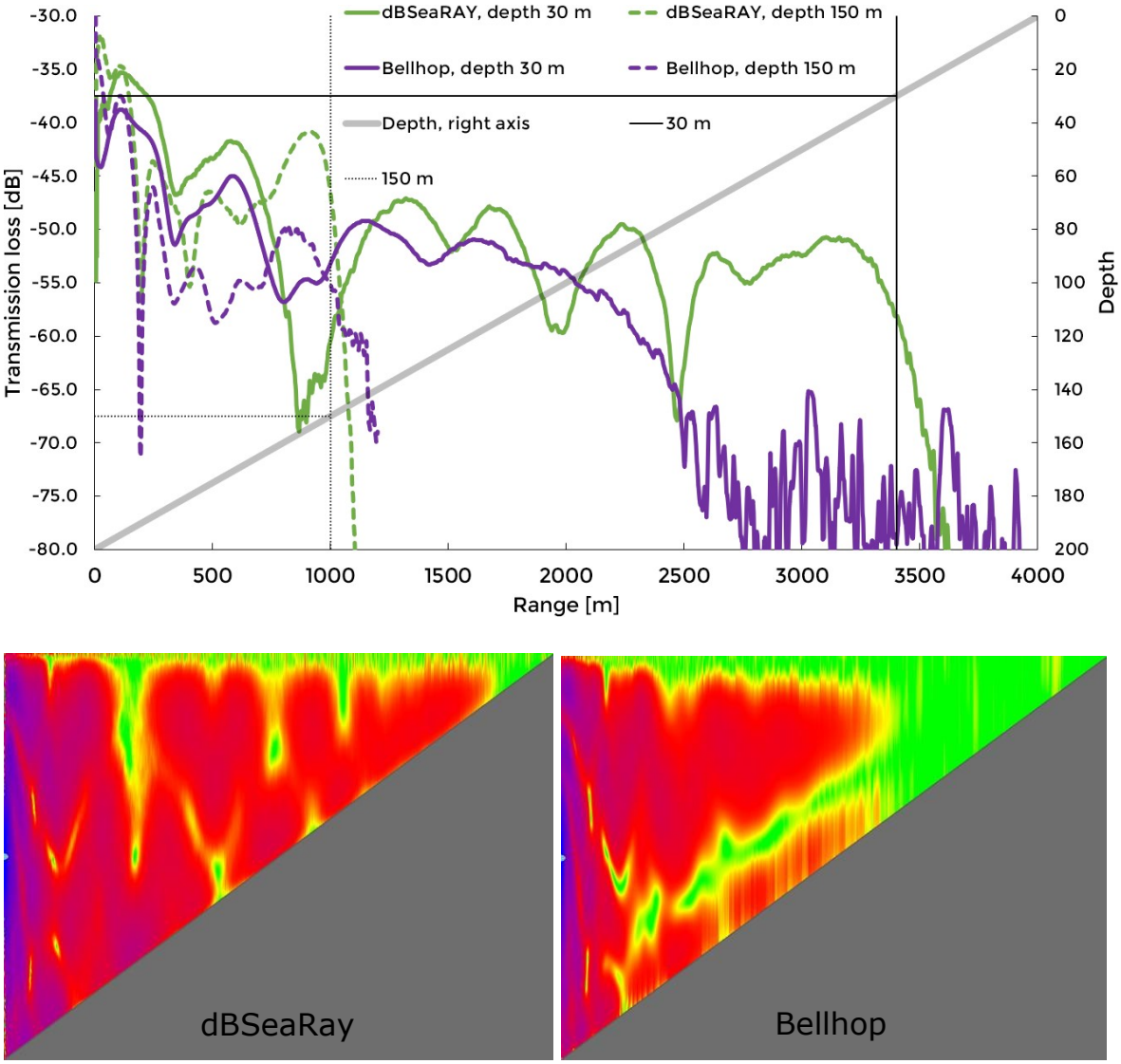
Figura 3. Pérdidas de transmisión para dBSeaModes y Kraken. Las profundidades de 30 m y 150 m se muestran en la tabla, mientras que los transectos completos en color se presentan a continuación.



Leyenda: *Transmission Loss = Pérdida de transmisión; Depth = Profundidad; Right axis = Eje derecho; Range = Rango.*

1.1.3 Método de trazado de rayos

Figura 4. Pérdidas de transmisión para dBSeaRay y Bellhop. Las profundidades de 30 m y 150 m se muestran en la tabla, mientras que los transectos completos en color (-20 dB a -70 dB) se presentan a continuación.



Leyenda: *Transmission Loss = Pérdida de transmisión; Depth = Profundidad; Right axis = Eje derecho; Range = Rango.*

Cabe notar que ninguno de los métodos de trazado de rayos penetra en el sedimento, por lo que la profundidad del receptor a 150 m termina poco después de un rango de 1000 m. Observe que dBSeaRay reproduce bien los resultados tanto del método de ecuación parabólica como del método de modos normales, a pesar de no ser adecuado para la frecuencia elegida (25 Hz).

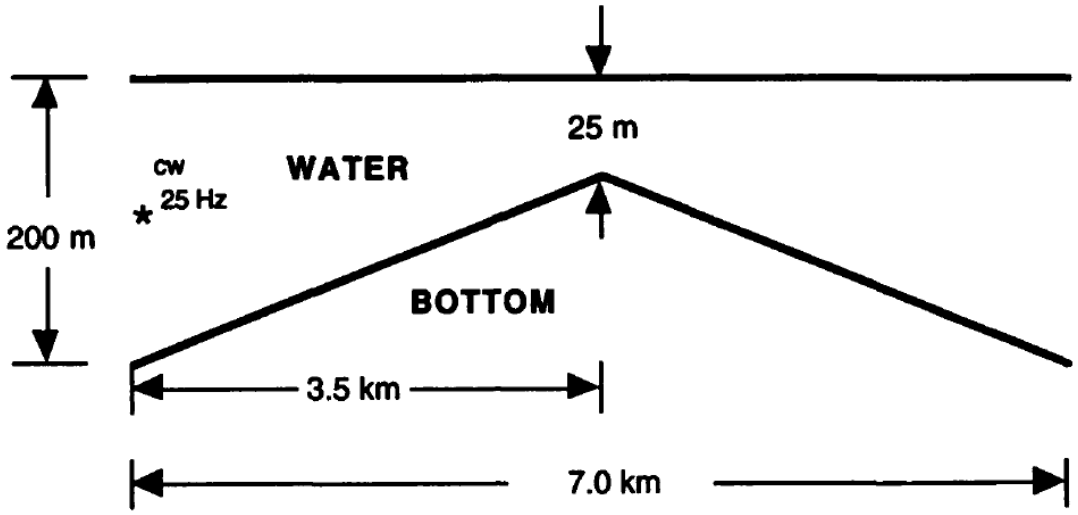
2 DILEMA DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA ASCENDENTE-DESCENDENTE

2.1 TALLER DE ECUACIONES PARABÓLICAS II 1993 – CASO II

En (Chin-Bing, et al., 1993) se formuló un dilema de pendiente ascendente-descendente formulado para probar la conservación de energía en entornos fuertemente dependientes del rango (Chin-Bing, et al., 1993).

El archivo UWA para este escenario está disponible en:
https://drive.google.com/open?id=0B7cNj3oy6fp0Wi1SdGJGWmhDSHc

Figura 5. Esquema del dilema de pendiente ascendente-descendente.



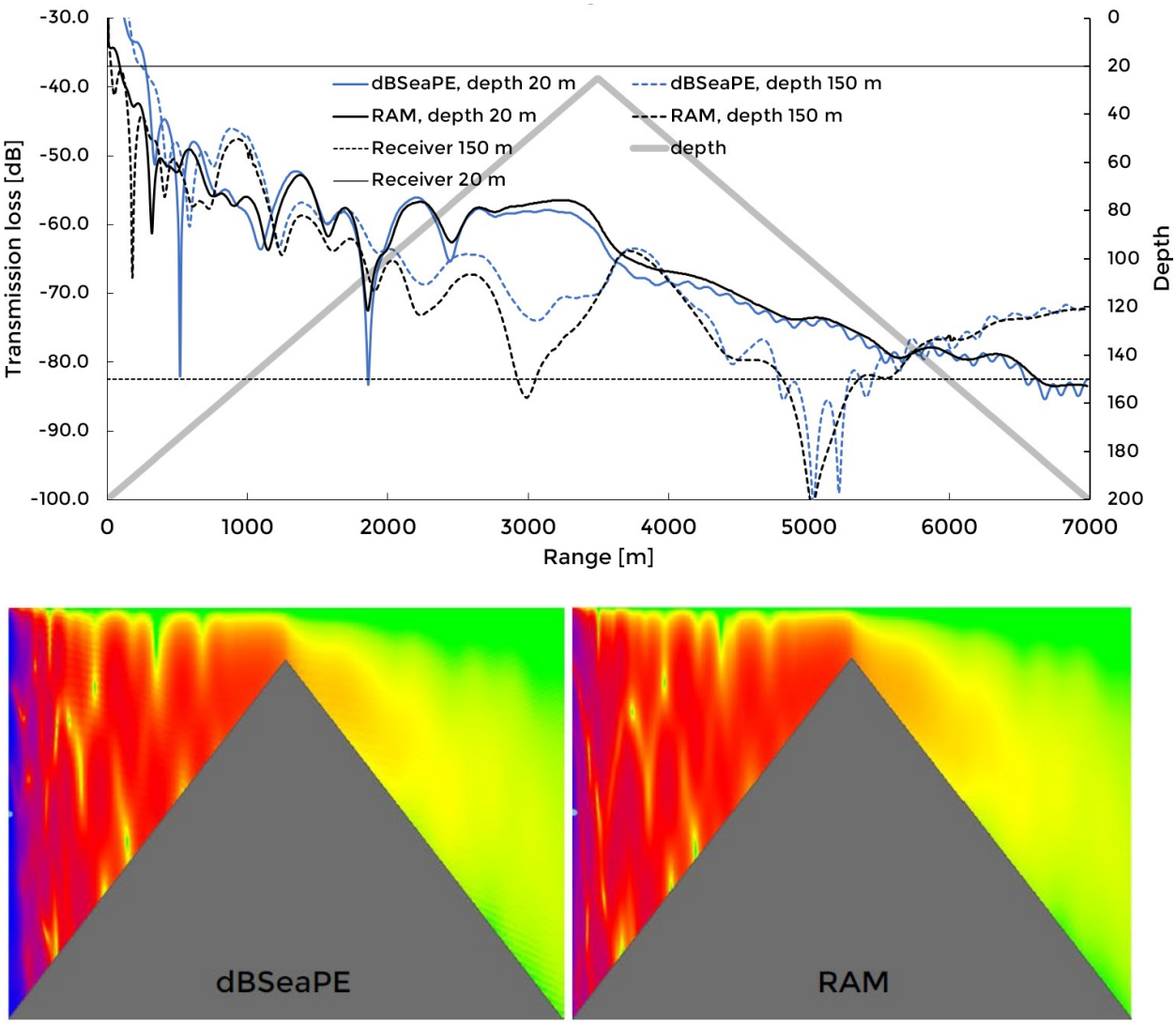
Parámetros ambientales para el caso de prueba 2

Leyenda: *WATER = AGUA; BOTTOM = FONDO.*

En el agua, la velocidad del sonido es de 1500 m/s, la densidad es de 1 g/cm^3 y no hay atenuación. En el fondo del líquido, la velocidad del sonido es de 1700 m/s, la densidad es de 1,5 g/cm^3 y hay una atenuación de 0,5 dB/λ. La frecuencia es de 25 Hz, la profundidad del punto fijo (profundidad de la fuente) es de 100 m y las profundidades del punto móvil (profundidades del receptor) son de 20 m y 150 m.

2.1.1 Método de ecuación parabólica

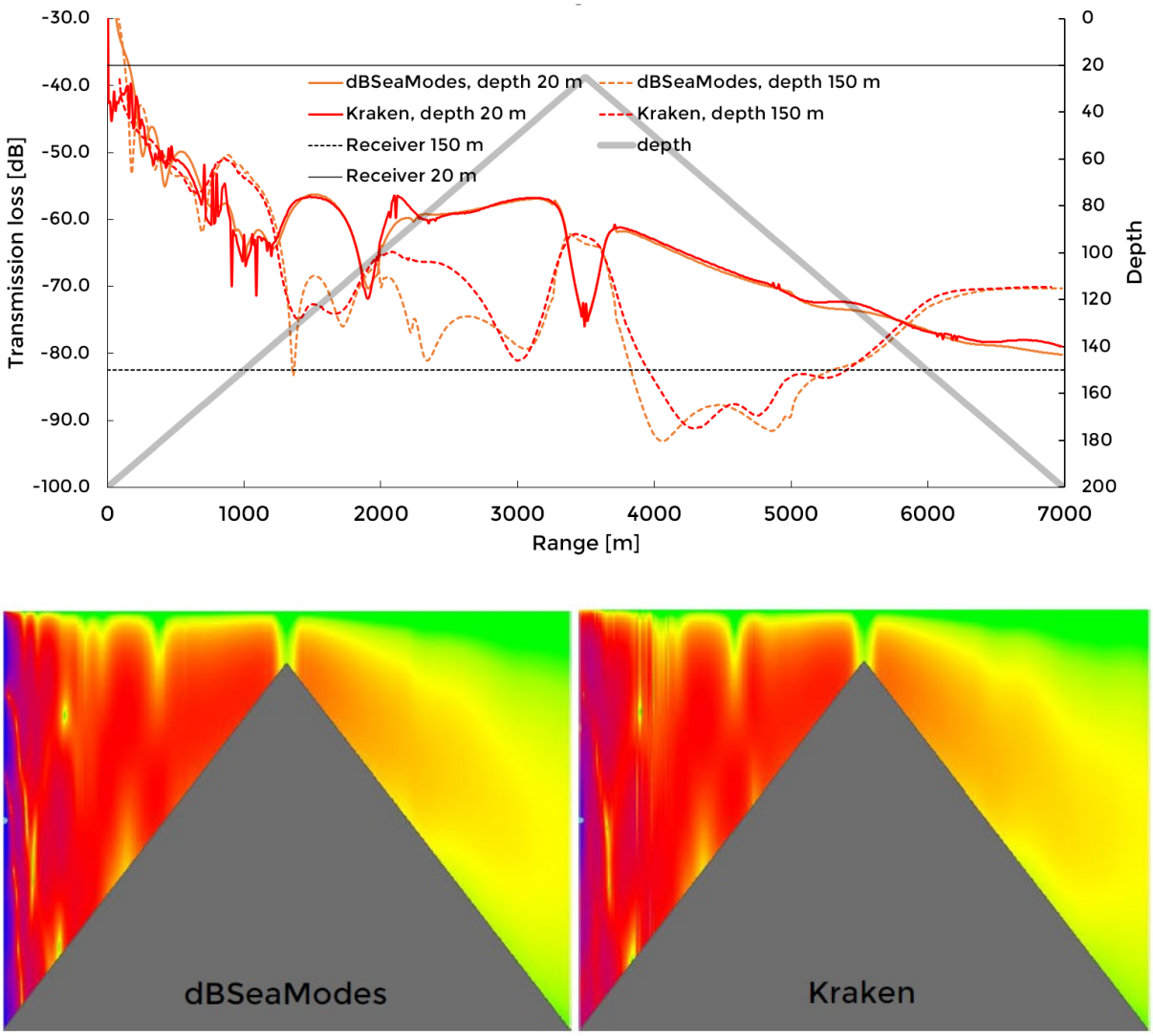
Figura 6. Pérdidas de transmisión para dBSeaPE y RAM. Las profundidades de 20 m y 150 m se muestran en la tabla, mientras que los transectos completos en color se presentan a continuación.



Leyenda: *Transmission Loss = Pérdida de transmisión; Depth = Profundidad; Receiver = Receptor; Range = Rango.*

2.1.2 Método de modos normales

Figura 7. Pérdidas de transmisión para dBSeaModes y Kraken. Las profundidades de 20 m y 150 m se muestran en la tabla, mientras que los transectos completos en color se presentan a continuación.



Leyenda: *Transmission Loss = Pérdida de transmisión; Depth = Profundidad; Receiver = Receptor; Range = Rango.*

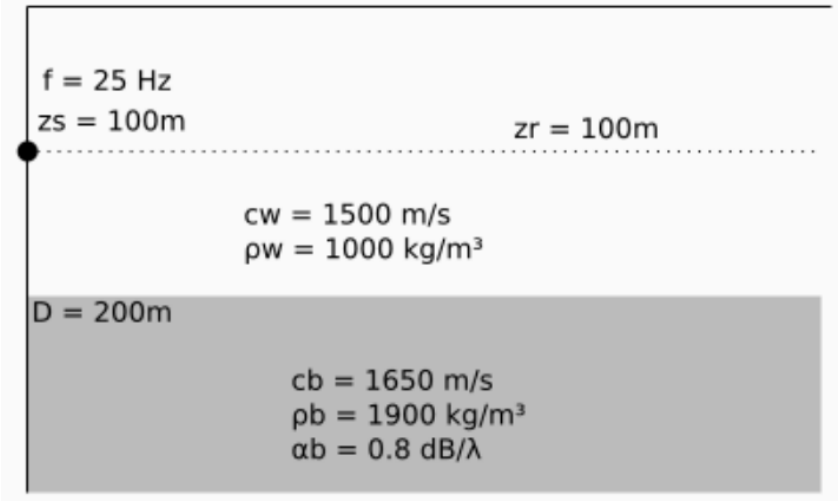
3 GUÍA DE ONDA DE FONDO PLANO

3.1 DILEMA DE PEKERIS

El dilema de Pekeris es una guía de onda horizontalmente plana, diseñada para probar la propagación en un entorno con un sedimento moderadamente absorbente.

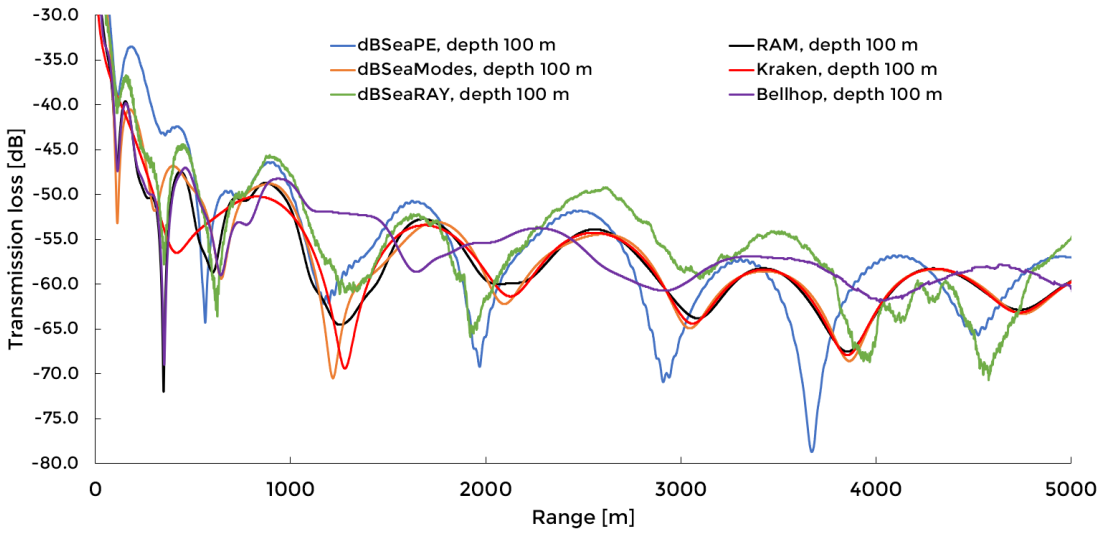
Enlace:
https://drive.google.com/open?id=0B7cNj3oy6fp0WmJ1eW1jNjNzQTA

Dilema de Pekeris



3.1.1 Resumen de todos los métodos

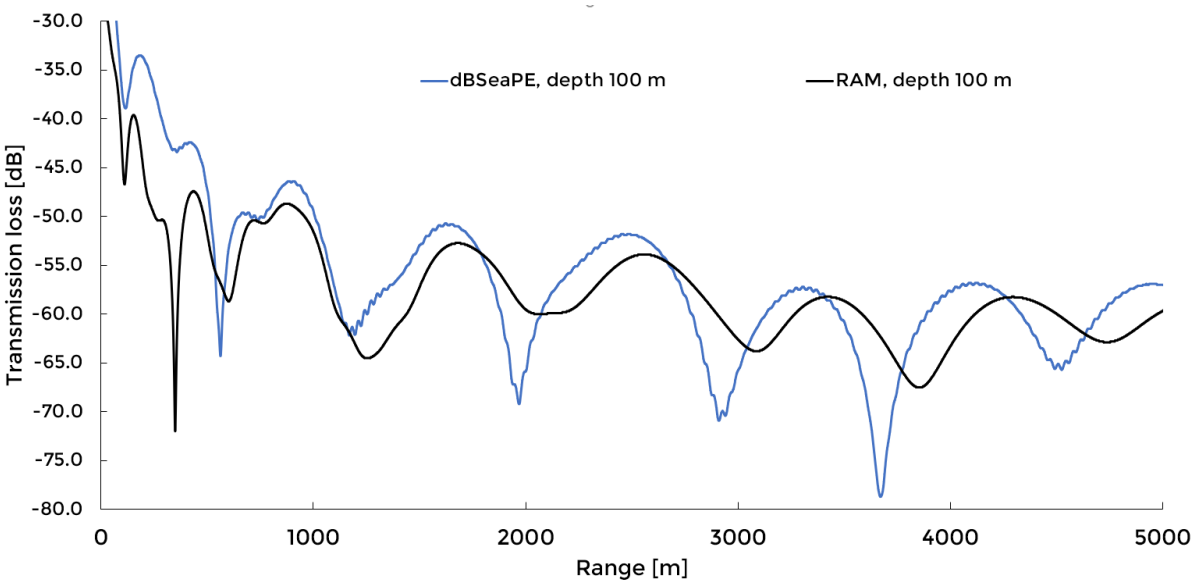
Figura 8. Pérdidas de transmisión para los tres métodos en la guía de onda plana.

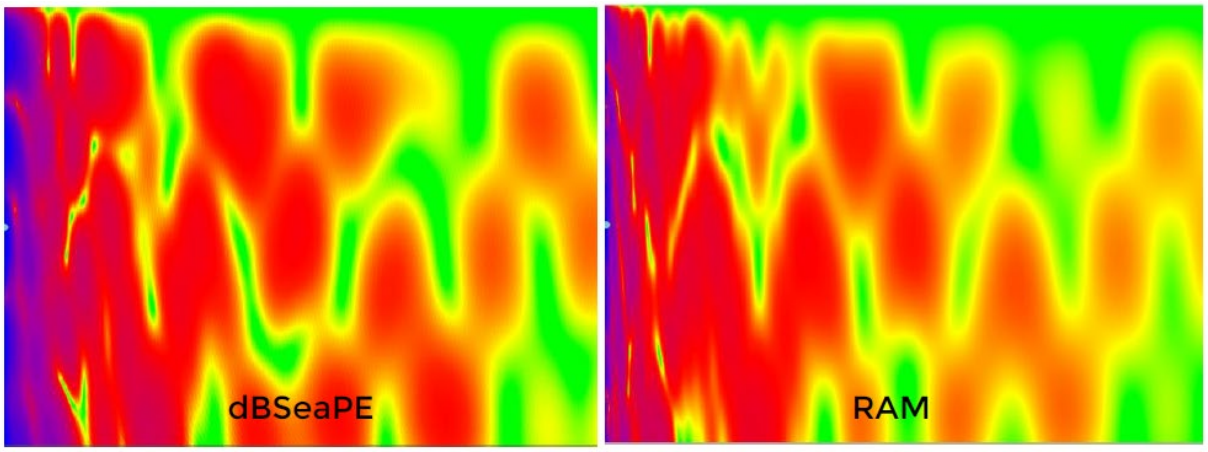


Leyenda: *Transmission Loss = Pérdida de transmisión; Depth = Profundidad; Range = Rango.*

3.1.2 Método de ecuación parabólica

Figura 9. Pérdidas de transmisión para dBSeaPE y RAM. La profundidad de 100 m se muestra en la tabla, mientras que los transectos completos en color se presentan a continuación.

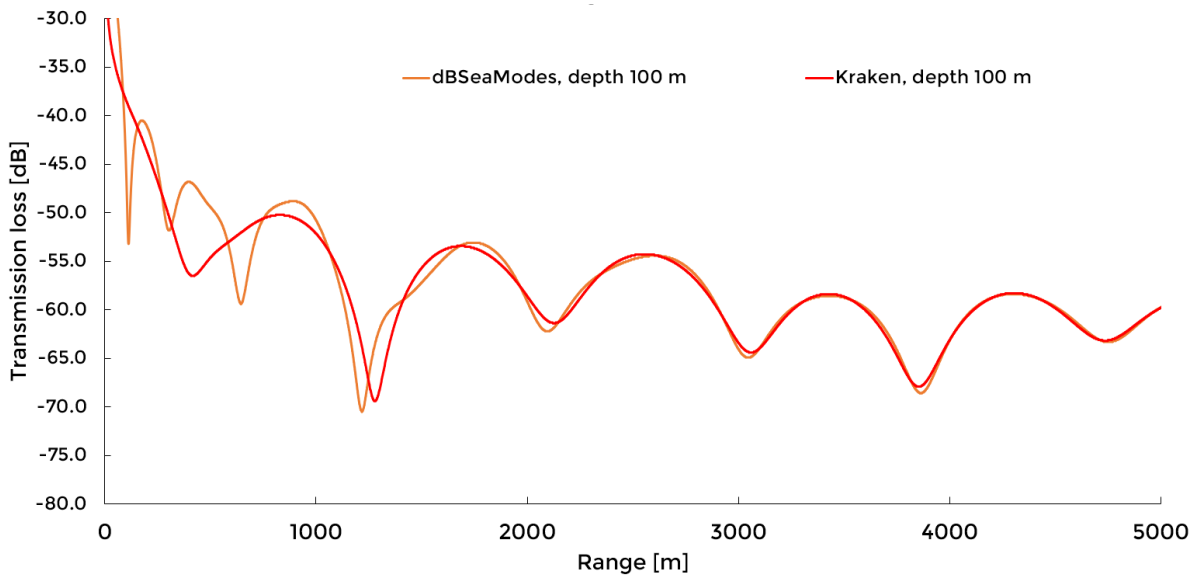


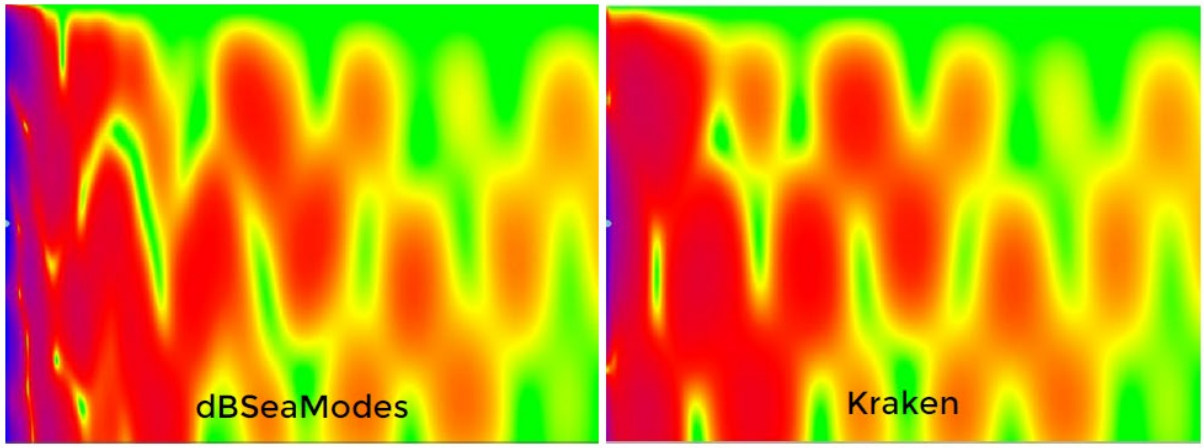


Leyenda: *Transmission Loss = Pérdida de transmisión; Depth = Profundidad; Range = Rango.*

3.1.3 Método de modos normales

Figura 10. Pérdidas de transmisión para dBSeaModes y Kraken. La profundidad de 100 m se muestra en la tabla, mientras que los transectos completos en color se presentan a continuación.

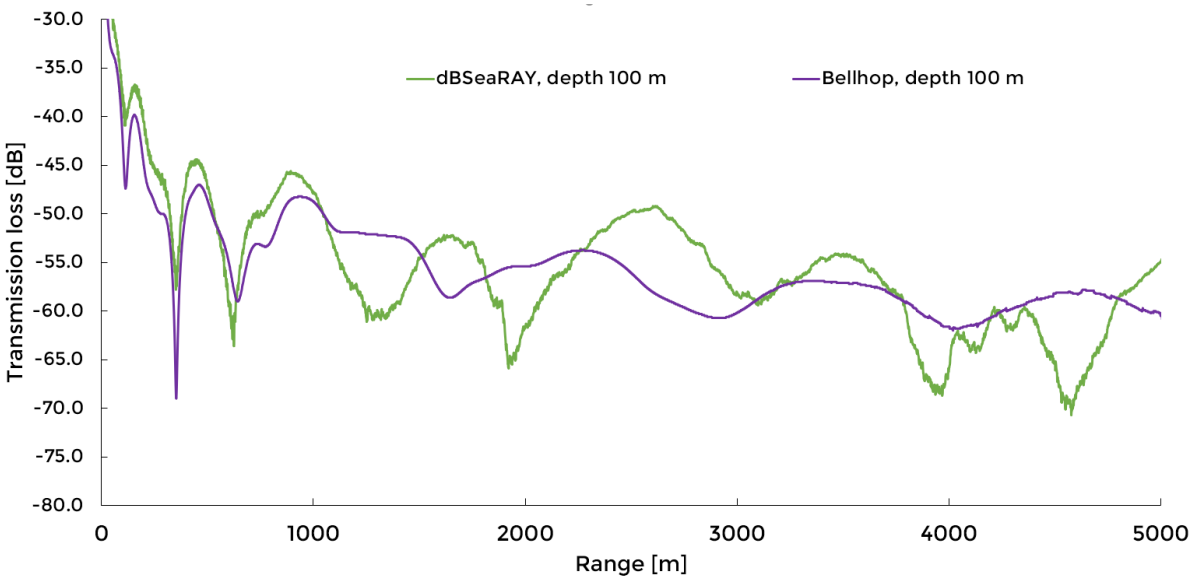


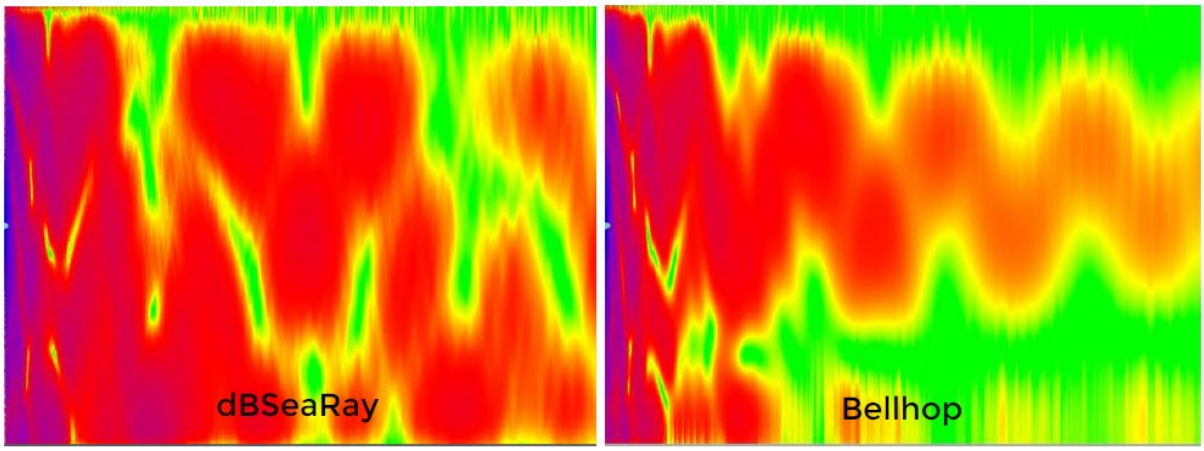


Leyenda: *Transmission Loss = Pérdida de transmisión; Depth = Profundidad; Range = Rango.*

3.1.4 Método de trazado de rayos

Figura 11. Pérdidas de transmisión para dBSeaRay y Bellhop. La profundidad de 100 m se muestra en la tabla, mientras que los transectos completos en color se presentan a continuación.





Leyenda: *Transmission Loss = Pérdida de transmisión; Depth = Profundidad; Range = Rango.*

4 REFERENCIAS

Chin-Bing, S. A., King, D. B., Davis, J. A. & Evans, R. B., 1993. *PE Workshop II,* Stennis: Naval Research Laboratory.

Jensen, F. B. & Ferla, C. M., 1989. Numerical solutions of range-dependent benchmark problems in ocean acoustics. 4(87).

República Argentina - Poder Ejecutivo Nacional
Las Malvinas son argentinas

Hoja Adicional de Firmas
Documentación personal

Número: RE-2022-71416446-APN-DTD#JGM

CIUDAD DE BUENOS AIRES
Martes 12 de Julio de 2022

Referencia: Documentación Complementaria

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 50 pagina/s.

Digitally signed by Gestion Documental Electronica
Date: 2022.07.12 17:54:19 -03:00

Santiago HEARNE - 20380290570
en representación de
EQUINOR ARGENTINA B.V. SUCURSAL ARGENTINA - 30715788302

Digitally signed by Gestion Documental Electronica
Date: 2022.07.12 17:54:20 -03:00