

EXPLORACIONES SÍSMICAS:

IMPACTO DEL SONIDO EN LOS PECES Y EN LOS INVERTEBRADOS MARINOS

Importancia de
los estudios
sobre los
efectos del
sonido en los
organismos
acuáticos

Mar del Plata
Junio 2019

IMPACTO DEL SONIDO GENERADO POR LAS EXPLORACIONES SÍSMICAS SOBRE LOS PECES E INVERTEBRADOS MARINOS

IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE LOS EFECTOS DEL SONIDO SOBRE ORGANISMOS ACUATICOS

Cada vez resulta más necesario prestar atención a las consecuencias ecológicas del ruido subacuático generado por las actividades humanas, que incluyen, la exploración y extracción de petróleo y gas, los sistemas de sonar, el dragado y la construcción de dispositivos de energía renovable en alta mar, entre otras. Existe una preocupación particular por la extensión de estas actividades en áreas de los océanos en las que no se había producido el impacto de esas actividades en forma previa y que pueden ser áreas de importancia ecológica y/o pesquera. Hasta el presente, la mayor parte de la preocupación se ha centrado en los efectos sobre los mamíferos marinos y otras especies protegidas. Sin embargo, examinar los impactos sobre la ecología general de los hábitats afectados también es importante, ya que en muchas oportunidades pueden afectarse áreas donde se distribuyen grandes biomasas de peces u otros organismos marinos de suma importancia pesquera.

Los criterios de exposición al sonido, que establezcan límites regulatorios a los niveles de ruido permitidos en términos de los efectos sobre los niveles de mortalidad, lesiones a los tejidos, capacidades auditivas, comportamiento y fisiología, se han desarrollado casi exclusivamente para los mamíferos marinos, mientras que para peces e invertebrados por lo general han sido asumidos, sin que se realicen experiencias de campo bien diseñadas a tal efecto. Debido a ello, los impactos en las poblaciones de peces e invertebrados a menudo son desconocidos o insuficientes. Sin embargo, es ampliamente conocido que el sonido tiene un efecto y suele provocar un impacto sobre los organismos que dependerá de la naturaleza e intensidad del sonido, así como de su duración, y de la capacidad de los organismos para percibir y/o resistir dicho efecto.

En ese sentido, es necesario recordar que el sonido se propaga a través del agua casi 4,5 veces más rápido que en el aire. La longitud de onda larga y los sonidos de baja frecuencia no se ven afectados por la absorción, dispersión y reflexión, y pueden viajar decenas de kilómetros, según las condiciones ambientales.

Al considerar los diversos canales sensoriales a través de los cuales los animales acuáticos pueden aprender sobre su entorno, se hace evidente que el sonido proporciona información que se comunica más rápidamente, proporciona indicaciones direccionales y se ve menos afectado por las variables ambientales (por ejemplo, presencia de luz, corrientes) que cualquier otra fuente de señal bajo el agua (por ejemplo, visión, tacto, sentidos químicos, etc.). En consecuencia, la audición es el principal sentido de la distancia para los vertebrados acuáticos, y es probable que lo sea también para muchos invertebrados en dicho medio.

Además, los peces y los invertebrados pueden usar el sonido de muchas maneras que son similares al uso del sonido por los mamíferos marinos y los vertebrados terrestres. Esto incluye a la comunicación con individuos de la misma especie, la búsqueda de presas y la huida de los depredadores. Los peces migratorios y posiblemente también los invertebrados pueden desplazarse utilizando señales posicionales proporcionadas por fuentes de sonido geofísicas naturales.

Está claro entonces, que cualquier irrupción en los patrones de sonido naturales y habituales, puede generar una reacción en los organismos subacuáticos de distinta intensidad. Por lo tanto, para evaluar los impactos de la contaminación acústica, es necesario investigar tanto la generación como la propagación de los sonidos subacuáticos y los estímulos que infligen a los animales, y también los efectos sobre los animales, en términos de relaciones dosis-respuesta para cambios físicos, fisiológicos y de comportamiento. Esto requiere experiencia científica en campos de las ciencias muy diferentes.

SOBRE LAS PROSPECCIONES SÍSMICAS

Las consecuencias ecológicas del ruido subacuático generado por las actividades humanas, como son la exploración y extracción de petróleo y gas, los sistemas de sonar, el dragado y la construcción de dispositivos de energía renovable en alta mar han generado preocupación en el ámbito científico por el impacto que pueden tener sobre la vida marina circundante.

Las prospecciones sísmicas que se utilizan en la exploración en alta mar para las reservas de combustibles fósiles implican el uso de una fuente de ruido, generalmente una serie de cañones de aire comprimido, que se remolcan detrás de un barco y se disparan a intervalos regulares, lo que produce un ruido de alta intensidad y baja frecuencia (20–500 Hz). Estas son condiciones necesarias para penetrar suficientemente los estratos del fondo. En una prospección sísmica, el buque recorre sistemáticamente el área de interés remolcando uno o varios cañones de aire. Estos disparan burbujas bajo el agua a intervalos regulares y como consecuencia se generan impulsos sonoros de gran intensidad.

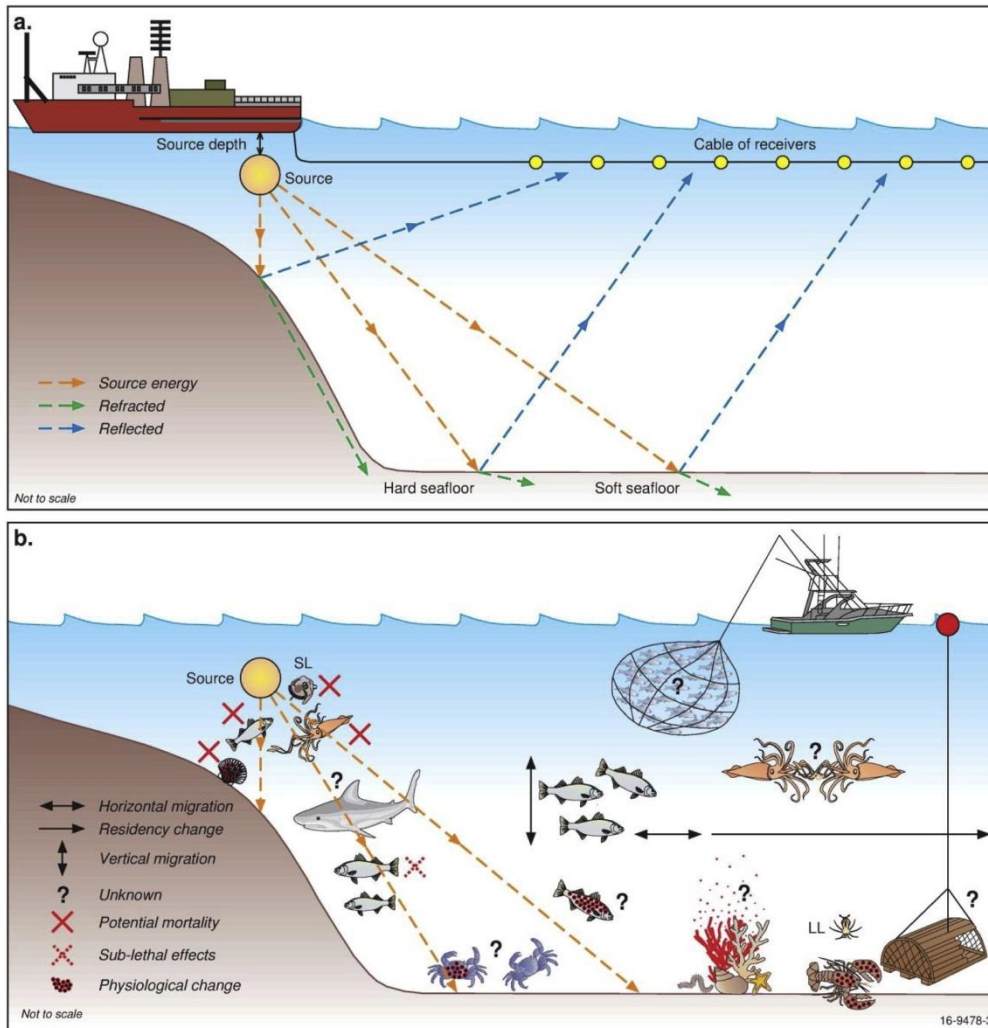


Figura 1. Modelos conceptuales que muestran a) características físicas y variaciones con respecto a la propagación del sonido a través de la columna de agua y el lecho marino, y b) impactos biológicos potenciales de la exposición al sonido de baja frecuencia. SL = larvas de vieira; LL = larvas de langosta. (Tomado de A.G. Carroll et al; 2017).

SOBRE LOS EFECTOS POTENCIALES EN ORGANISMOS MARINOS

Existe una amplia variedad de efectos potenciales que los ruidos de la exploración sísmica pueden ocasionar sobre los animales, que van desde la muerte inmediata hasta la absoluta falta de respuesta al estímulo. Entre ambos existe toda una gama de efectos que pueden incluir daño en los tejidos corporales, o modificaciones en el comportamiento al tratar de evitar/alejarse del sonido o un cambio del umbral de audición de los peces, que puede ser temporal o permanente. El sonido generado por los cañones de aire está dentro del rango de frecuencia detectable por los peces con capacidades auditivas conocidas y, aunque la energía acústica se dirige hacia el fondo marino, se propaga una energía considerable en forma horizontal, viajando por muchos kilómetros desde la fuente de emisión.

Se ha comprobado que la operación intensiva de cañones de aire durante períodos prolongados puede alterar la distribución espacial de los cardúmenes en alta mar. Una vez

iniciada la operación del cañón de aire (nivel de fuente > 250dB re.1 uPa) puede esperarse que, inicialmente, se produzca una mayor concentración de los peces sobre el fondo. Si la operación del cañón de aire continúa, luego de unas horas los peces comenzarán a abandonar el área. Este comportamiento ocasionará una reducción en las capturas de peces dentro de un radio de más de 50 millas náuticas. En esta zona, la reducción en las capturas de peces con redes de arrastre de fondo puede rondar un 50% en promedio y hasta un 70% sobre los fondos donde está operando el cañón de aire. Cuando cesa la operación del cañón de aire pueden transcurrir varios días, semanas o períodos más prolongados para que los peces retornen al área donde estaban originalmente y se restablezcan las situaciones iniciales.

- **SOBRE LOS IMPACTOS EN PECES**

Gran parte de la investigación se ha centrado en el impacto del sonido subacuático en los mamíferos marinos. Sin embargo, se ha demostrado que el ruido antropogénico bajo el agua tiene impacto en el comportamiento de los peces. Tal es el efecto que provoca, que se ha analizado la posibilidad de controlar el comportamiento de los organismos marinos utilizando ruidos sónicos. En nuestro país como antecedente puede mencionarse el INFORME INIDEP N° 104/2003, que consiste en un estudio de pre-factibilidad sobre las posibilidades de utilización de un dispositivo acústico dispersor de peces, considerando que tal dispositivo podría ser de utilidad en algunas pesquerías (ejemplo langostino patagónico) para disminuir el *by-catch* de merluza capturado por la flota tangonera.

En la consideración sobre los efectos potenciales del ruido en peces existen diversos factores como son el tipo y la duración de la prospección sísmica, la ecología del área y las características biológicas de las especies. La información sobre los efectos de los sonidos sísmicos en importantes factores fisiológicos y procesos biológicos como la tasa metabólica, la reproducción, el desarrollo larvario, la alimentación y la comunicación intra e interespecífica, resulta aún insuficiente.

Existen pocos estudios sobre los efectos fisiológicos en peces provocados por cañones de aire comprimido, la mayoría de ellos se limitan al laboratorio o las jaulas y ninguno de ellos ha demostrado que provoquen mortalidad. Los efectos conductuales son los aspectos más estudiados. Existe una creciente bibliografía que revela que los sonidos antropogénicos que exceden el ruido ambiental normal pueden producir un cambio temporal en la sensibilidad auditiva, de lo cual el animal, generalmente, se recupera con el tiempo. Este deterioro de la audición se denomina cambio de umbral temporal (TTS) y es una reducción temporal de la sensibilidad auditiva causada por la exposición a sonidos intensos. Mientras experimenta el TTS, los peces pueden sufrir una incapacidad en términos de comunicación, detección de depredadores o presas y/o evaluación de su entorno. El nivel y la duración del TTS varía ampliamente y puede verse afectado por la tasa de repetición, la frecuencia y la duración del sonido, así como por la salud de los organismos expuestos.

Debe tenerse en cuenta también, que los cambios en el comportamiento observados podrían tener impactos en otros aspectos de las especies, por ejemplo, el gasto de energía asociado a respuestas de alarma repetitivas, o los relacionados con los procesos de

reproducción o alimentación. Además, muy probablemente las alteraciones del comportamiento que ocurrieron a estas especies, tendrían un efecto similar en otras especies dentro del ecosistema. Se ha observado una mayor reducción en la cantidad de peces grandes que de peces pequeños en un área expuesta a un estudio sísmico de 5 días. Se han presentado varias explicaciones para este cambio en la distribución, por ejemplo, diferentes velocidades de natación, diferentes capacidades auditivas y tasas de habituación. Cualquiera sea la razón, podría tener efectos significativos en todo el ecosistema.

Los efectos sobre la captura y abundancia de peces causados por el sonido sísmico también han sido analizados. Si un pez es afectado, su captura y rendimientos asociados también puede serlo. Los efectos letales (físicos) y sub-letales, incluidos el espantamiento (comportamiento) y la disminución de la aptitud física (fisiológicos), pueden dar como resultado una reducción de la población dentro de un área determinada, disminuyendo por ende la captura. El análisis de los efectos en las capturas no discrimina cuales fueron los mecanismos causantes subyacentes y, por lo tanto, son menos “interesantes” desde una perspectiva biológica, sin embargo son de sumo interés para la industria pesquera.

Los efectos potenciales de las operaciones sísmicas en la distribución de los peces, la abundancia local o la captura han sido examinados para algunas especies de peces teleósteos, con resultados variables, posiblemente debido a los efectos específicos de las artes de pesca utilizadas y de las características biológicas de las especies.

Se ha demostrado que las capturas comerciales de arrastre y palangre de Bacalao del Atlántico (*Gadus morhua*) y Eglefino (*Melanogrammus aeglefinus*) disminuyeron en un 45% y 70%, respectivamente, cinco días después de las prospecciones sísmicas en el Mar de Barents. Dada la disminución local de la densidad de peces en el área central afectada por el sonido sísmico se considera que la reducción en las tasas de captura era probablemente el resultado de que los peces se alejaron del área sísmica debido a un comportamiento de espantamiento. También se han demostrado reducciones similares en las tasas de captura (disminución del 52% en el esfuerzo de captura por unidad (CPUE) en la pesquería de anzuelo del *Sebastes* spp. en California central.

Se ha sugerido que el mecanismo subyacente a la pronunciada disminución de la CPUE de peces de roca en la costa central de California, no era la dispersión, sino que disminuía la capacidad de respuesta a los anzuelos cebados asociados con una respuesta de comportamiento de alarma. Basado en un estudio de comportamiento que mostró que las respuestas de alarma y sobresalto no se mantuvieron después de la eliminación de la fuente de sonido se cree que estos efectos en la pesca pueden ser transitorios, principalmente durante la exposición al sonido.

Se ha indicado que la respuesta de los peces al estímulo sónico no depende solamente del umbral auditivo de la especie y de las características del sonido que se emita, sino que también se corresponde con factores relativos al comportamiento propio de la especie en cuestión (demersal o pelágica), factores fisiológicos particulares e inclusive con las condiciones de ruido ambiente en el lugar donde habiten. Se ha realizado un gran número de experimentos al respecto sobre diferentes especies, tanto en condiciones de laboratorio (peces en tanques cerrados), como con peces en libertad. De la revisión de los resultados obtenidos en estas

experiencias surge que, en los peces de hábitos demersales (peces de fondo) puede esperarse una reacción en dos etapas:

1. Reacciones inmediatas: La primera reacción esperable es que los peces se concentren aún más sobre el fondo, buscando alejarse de la fuente sonora y en procura de su refugio natural. Este por ejemplo es el caso que se observa con la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) en nuestro país.
2. Reacciones subsiguientes: Si la perturbación sonora persiste en el tiempo y si el nivel sonoro es suficientemente elevado, entonces puede esperarse una reacción de escape radial, alejándose del lugar donde opera la fuente sonora mediante un desplazamiento horizontal alejándose del área.

Tratándose de peces pelágicos, si bien la cantidad de información disponible es menor, se han observado alteraciones en sus patrones migratorios normales ante la operación prolongada de fuentes sonoras de alta intensidad.

Cabe destacar que para varias especies de peces se han comprobado reducciones muy marcadas en las tasas de captura con redes de arrastre de media agua, debido simplemente al ruido irradiado por el buque durante el arrastre y también por el propio aparejo de pesca. Tratándose de peces de fondo en cambio, en muchos casos se ha observado que debido a las reacciones arriba descritas, las tasas de captura con redes de arrastre de fondo pueden incluso verse aumentadas por la reacción de escape hacia el fondo ante el estímulo sonoro provocado por el buque. Esto se debe a que los peces que estaban inicialmente ubicados por encima de la abertura vertical de la red, terminan ingresando a la misma en su intento por alejarse de la fuente sonora. La magnitud de esta reacción de escape hacia el fondo varía de una especie a otra. En la pesquería de merluza de cola, se han observado claramente este tipo de reacciones, mientras que en la de merluza común en cambio, la reacción parecería ser más moderada.

Los estudios científicos indican que las respuestas a las prospecciones sísmicas son particulares de cada especie y dependen del régimen de exposición al ruido real. Es aconsejable entonces no prospectar zonas que revisten importancia biológica para las especies, particularmente las de valor comercial. Resulta aconsejable priorizar y generar planes de mitigación para la protección de los stocks más importantes.

- **SOBRE EL IMPACTO EN INVERTEBRADOS**

Mucho menor ha sido el estudio del impacto sobre los invertebrados marinos. Algunos estudios indican que las prospecciones sísmicas no tienen ningún efecto en los rendimientos de los crustáceos en el área circundante a las explosiones. Algunos estudios indican poco efecto sobre las poblaciones de invertebrados (crustáceos, equinodermos y moluscos) que habitan en arrecifes expuestos al ruido de los cañones de aire. Sin embargo, en otros estudios se han utilizado ruidos de baja frecuencia para disuadir con éxito a las larvas de percebes de asentarse en los cascos de los barcos. También se han reportado varamientos de calamares gigantes en las cercanías de la actividad de prospección sísmica.

Respecto de los efectos fisiológicos en invertebrados, se ha mencionado que los mismos incluyen reducción del crecimiento y cambios en las tasas de reproducción y comportamiento, lo cual lleva a considerar que existe sensibilidad de algunos invertebrados al ruido. También se ha reportado la existencia de efectos fisiológicos en crustáceos durante el estado previo, durante y posterior a la muda.

En cuanto los efectos en el comportamiento, se mencionan las respuestas de "alarma" y los cambios en la natación/movimientos, velocidad y dirección. En un estudio sobre el impacto del ruido de los cañones de aire sobre el comportamiento de peces y calamares, se observaron comportamientos en calamares en respuesta a la exposición al ruido similares a los observados en los peces, que incluían respuestas de alarma y cambios en los patrones de natación y posición vertical.

También se ha demostrado que al menos algunas especies de cefalópodos y crustáceos son capaces de "escuchar" dentro del rango de frecuencia del ruido de prospección sísmica. Por lo tanto, se puede aseverar que el ruido generado por los disparos de aire tiene el potencial de afectar el comportamiento de las poblaciones de invertebrados circundantes.

Un aspecto importante a considerar en la respuesta al ruido es la capacidad de movilidad. Dado que algunos invertebrados son sedentarios o tienen una escasa movilidad, su posibilidad de "escapar" de la fuente de ruido es extremadamente limitada respecto de otros organismos como mamíferos o peces.

El documento elaborado por expertos del *Environmental Science Fisheries and Oceans* de Canadá (HRS2004/002)) concluye que la significancia ecológica del efecto del ruido subacuático se espera que sea baja, excepto si los efectos de la exposición a los sonidos sísmicos provocan cambios en la reproducción o en el crecimiento, o provocan una dispersión de las agregaciones desovantes o cambios en los patrones de migración. La magnitud de estos efectos dependerá de la biología de las especies y de la extensión geográfica que tengan las dispersiones y/o migraciones, pero dichos efectos pueden tener un alto grado de impacto sobre la abundancia futura de las poblaciones.

- **SOBRE EL IMPACTO EN EL PLANCTON (ZOOPLANCTON E ICTIOPLANCTON)**

Los huevos, larvas y pequeños juveniles de peces carecen o tienen muy escasa movilidad propia. La incapacidad de alejarse de una fuente de sonido ocasiona que puedan lesionarse en el caso de que estén dentro o a pocos metros de la fuente sísmica.

Los resultados de los estudios llevados a cabo por el Instituto de Investigación Marina Noruego en 1991-1992 confirmados y ampliados son los siguientes:

- Aumento de las tasas de mortalidad para los huevos de peces que se encontraban a 5 metros de distancia desde los cañones de aire.
- Para larvas del saco vitelino, particularmente para rodaballo, las tasas de mortalidad fueron altas, 40-50% a una distancia de 2-3 m. Cifras de mortalidad menores pero importantes se han estimado para larvas vitelinas de anchoas a la misma distancia.

- En etapas posteriores, las larvas, post-larvas y crías, las tasas de mortalidad más altas encontradas fueron entre el 10-20% a una distancia de 2 m.
- Se comprobó el aumento de las tasas de mortalidad en la etapa post-larva para varias especies en distancias de 1-2 m.
- Se observaron cambios en la flotabilidad de los organismos y en la capacidad de evitar los depredadores y también efectos que tuvieron un impacto en el estado general de las larvas, y por lo tanto su capacidad de sobrevivir.

CONCLUSIONES SOBRE LOS EFECTOS EN ORGANISMOS MARINOS

Existe evidencia de que las prospecciones sísmicas realizadas con cañones de aire y el intenso ruido sísmico asociado provocan:

- Cambios temporales en el patrón de distribución de los peces y dispersión causados por el efecto de espantamiento por el ruido sísmico.
- Reducción temporales de la captura y rendimientos en las áreas cercanas a las prospecciones (algunos experimentos señalan áreas de hasta 33 km de diámetro durante cinco o más días).
- Cambios en el comportamiento (apareamiento, freza o migraciones) si las prospecciones ocurren en periodos críticos para la especie.
- Deterioro de la audición de los peces modificando el umbral temporal (TTS) y reduciendo la sensibilidad auditiva. Esto provoca en los peces incapacidad en términos de comunicación, detección de depredadores o presas y/o evaluación de su entorno.
- En invertebrados, estudios de respuesta de comportamiento realizados en laboratorios, han demostrado por ejemplo respuestas de alarma a la exposición a los diferentes niveles de sonido sísmicos, movimientos de alarma, evasión, agregación, agresividad y eyección de tinta en algunos calamares. En algunos casos también se han observado desoves que podrían estar asociados a los ruidos intensos.
- En algunos cefalópodos hay evidencia de daños morfológicos y estructurales, siendo en algunos casos, no compatibles con la vida.
- Existe evidencia de dos episodios de varamiento de calamares gigantes (*Architeuthis dux*) aparecidos muertos en la costa Cantábrica asociados a prospecciones geofísicas usando cañones de aire en la zona.
- Estudios realizados dan cuenta de aumento de las tasas de mortalidad para los huevos de peces que se encontraban corta de distancia de las fuentes sonoras.
- En el caso de las larvas se observaron cambios en la flotabilidad de los organismos y en la capacidad de evitar los depredadores y también efectos que tuvieron un impacto en el estado general, y por lo tanto su capacidad de sobrevivir.

EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS PARA LAS POBLACIONES DE ORGANISMOS MARINOS POR EXPOSICIÓN AL SONIDO.

Los procesos para evaluar los riesgos asociados con el sonido subacuático generado por el hombre implican varios pasos. Al principio, puede ser necesario definir las especies clave y los grupos de especies que probablemente se vean afectados por sonidos particulares. En un contexto ecológico, es importante identificar aquellos taxones y especies que pueden ser especialmente vulnerables a la exposición y que también desempeñan un papel clave en los ecosistemas locales. El riesgo para las especies potencialmente sensibles se puede evaluar revisando la literatura disponible sobre su capacidad auditiva y las respuestas al sonido, y examinando la probabilidad de exposición al sonido que resulte en efectos adversos.

En ese punto, es necesario distinguir entre *efectos* e *impactos*. Los efectos son la amplia gama de cambios potencialmente medibles que pueden observarse en individuos, grupos de animales o incluso en hábitats como resultado de la exposición al sonido. Los impactos son efectos que, con cierta certeza, alcanzan el nivel de importancia ecológica perjudicial. Por lo tanto, el efecto no indica la importancia, mientras que el impacto se relaciona con la gravedad, la intensidad o la duración del efecto sobre las poblaciones animales y las comunidades ecológicas.

Para evaluar los posibles impactos, se plantea a menudo cómo podrían responder los animales al sonido y cómo podría mitigarse esa respuesta. De acuerdo a lo mencionado antes en este documento, podría suponerse que hay un movimiento de evasión que aleja a los peces de la fuente de sonido, que puede producir la interrupción de los patrones de migración o el desplazamiento temporal de áreas de concentraciones conocidas. Luego, se podrían proponer medidas de mitigación, como el cierre de tiempo/área, el establecimiento de zonas de no intervención o los procedimientos de aumento de escala, donde el nivel de la fuente aumenta gradualmente (por lo general este último más relacionado a mitigar el impacto sobre los cetáceos y otros mamíferos). El objetivo sería proporcionar beneficios de protección durante la exposición y podría garantizar que el comportamiento pueda volver a la normalidad cuando cese la producción de sonido. Sin embargo, es evidente que para que dicha mitigación sea exitosa es necesario saber qué sucede realmente con los peces e invertebrados cuando están expuestos al sonido, la duración de sus respuestas, si se adaptan a la presencia del sonido, y cuáles son las consecuencias de sus respuestas específicamente en el caso de poblaciones de peces e invertebrados marinos.

Al considerar si existe una necesidad de mitigación, es importante determinar los niveles de un sonido que podrían tener efectos adversos en las poblaciones. Sin embargo, en muchas circunstancias, puede haber información insuficiente sobre las respuestas de la población de especies individuales. Puede ser necesario realizar una evaluación de riesgos, con base en el asesoramiento de expertos. En algunos casos, y particularmente con especies particularmente vulnerables, puede ser necesario adoptar un enfoque de precaución; donde, en ausencia de consenso científico, la carga de la prueba para demostrar que la exposición al sonido no será perjudicial recae sobre quiénes son los responsables de la emisión de los sonidos.

De ello se deduce que la relevancia de cualquier evaluación depende en gran medida de la información disponible sobre las respuestas al sonido de los animales expuestos. Sin embargo, como las evaluaciones de los riesgos para los animales se centran esencialmente en el impacto en términos de consecuencias poblacionales a largo plazo, no es suficiente simplemente demostrar que habrá efectos sobre el comportamiento, la fisiología o la reproducción y supervivencia de los individuos. La evidencia derivada de las observaciones en animales individuales es importante, pero debe traducirse en impactos sobre las poblaciones. Esto cobra singular importancia cuando los organismos y poblaciones afectadas son objeto de actividades pesqueras, por lo que el perjuicio a dicha actividad puede ser considerable aun cuando la respuesta de los organismos se revierta naturalmente después de cierto tiempo.

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS:

CRITERIOS DE EXPOSICIÓN AL SONIDO.

El impacto del ruido generalmente se evalúa estableciendo criterios de exposición de sonido; especificando umbrales de sonido que tendrán efectos perjudiciales si se exceden. Actualmente, para los mamíferos marinos se han adoptado una serie de criterios de exposición, aunque difieren de un país a otro. Con respecto a los peces, existen algunos criterios pero tienen un alcance limitado y, en algunos casos, están poco respaldados por evidencia científica. Los criterios de exposición al sonido aún no se han desarrollado para los invertebrados marinos.

El establecimiento de umbrales para una respuesta por parte del animal, ya sea que la respuesta consista en cambios físicos (Ej., lesión tisular), cambios fisiológicos, pérdida de audición o cambios de comportamiento, depende de la determinación de las relaciones dosis-respuesta (a menudo es difícil distinguir entre los efectos fisiológicos y físicos, ya que pueden estar interrelacionados). A medida que aumenta el nivel de sonido, puede haber un cambio gradual en la magnitud de la respuesta. En otros casos, puede haber un cambio repentino. En todos los casos, es necesario buscar un nivel de respuesta particular, que puede servir como un criterio para definir un umbral de respuesta. Actualmente hay una llamativa falta de datos de dosis-respuesta para los efectos del comportamiento o relacionados con el estrés que se producen como resultado de la exposición de peces e invertebrados al ruido.

Recientemente se han establecido algunas directrices, desarrolladas bajo los auspicios del programa del *American National Standards Institute (ANSI) de la Acoustical Society of América (ASA)*, que han proporcionado algunas instrucciones y recomendaciones para establecer criterios para peces. Estas instrucciones y recomendaciones se detallan aquí, especialmente en términos de efectos probables. Por lo tanto, dependiendo de la especie en cuestión, su distancia de la fuente y la naturaleza de la misma, la exposición a altos niveles de sonido puede resultar en los efectos detallados a continuación e ilustrados en la Figura que sigue.

Efectos potenciales del sonido generado por el hombre en los animales:

- **Muerte:** mortalidad inmediata o daño tisular y/o fisiológico que sea lo suficientemente grave como para que la muerte ocurra algún tiempo después debido a una disminución de la condición física. La mortalidad tiene un efecto directo sobre las poblaciones animales, especialmente si afecta a individuos maduros o cercanos a la madurez.
- **Efectos físicos y/o fisiológicos:** daños en los tejidos y otros efectos físicos o fisiológicos, que pueden ser recuperables, pero que pueden producir mermas en la aptitud física, pudiendo hacerlos más propensos a la depredación, dificultar la alimentación y el crecimiento, o disminuir el éxito reproductivo.
- **Deterioro de la audición:** cambios a corto o largo plazo en la sensibilidad auditiva (cambio de umbral temporal o cambio de umbral permanente) que pueden, o no, reducir la condición física y la supervivencia. El deterioro de la audición puede afectar la capacidad de los animales para capturar presas y evitar a los depredadores, y también puede causar un deterioro en la comunicación entre individuos, afectando el crecimiento, la supervivencia y el éxito reproductivo.
- **Enmascaramiento:** la presencia de sonidos hechos por el hombre puede dificultar la detección de sonidos biológicamente significativos. El enmascaramiento de los sonidos producidos por organismos presa puede reducir la alimentación con efectos sobre el crecimiento. El enmascaramiento de los sonidos de los depredadores puede reducir la supervivencia. El enmascaramiento de las señales de desove puede reducir el éxito del desove y afectar el reclutamiento. El enmascaramiento de los sonidos utilizados para la orientación y la navegación puede afectar la capacidad de los peces para encontrar hábitats preferidos, incluidas las áreas de desove, que afectan el reclutamiento, el crecimiento, la supervivencia y la reproducción.
- **Respuestas de comportamiento:** los cambios en el comportamiento pueden afectar a una gran proporción de los animales expuestos al sonido, ya que tales respuestas pueden ocurrir a niveles de sonido relativamente bajos. Algunas de estas respuestas de comportamiento pueden tener efectos adversos. El desplazamiento de los hábitats preferidos puede afectar la alimentación, el crecimiento, la depredación, la supervivencia y el éxito reproductivo. Los cambios en los patrones de movimiento pueden afectar los presupuestos de energía, desviando la energía de la producción de huevos y otras funciones vitales. Las migraciones a zonas de desove o alimentación pueden retrasarse o prevenirse, con efectos perjudiciales sobre el crecimiento, la supervivencia y el éxito reproductivo. La prevención del reclutamiento y asentamiento en hábitats óptimos puede afectar la colonización y el tamaño de la población en cualquier área expuesta a altos niveles de ruido.

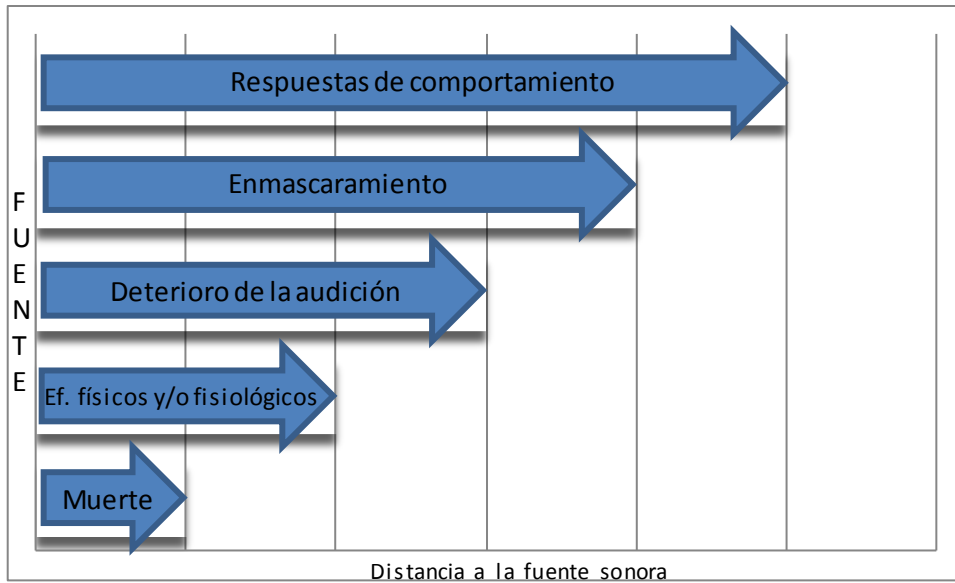


Figura 2. Representación esquemática de los efectos potenciales del sonido a diferentes distancias de la fuente. Se debe tener en cuenta que las distancias reales dependerán del nivel del sonido y de la distancia desde la fuente. Adaptado de Hawkins y Popper (2016).

PRIORIZACIÓN DE ESPECIES CLAVE

Cuando hay un requisito para evaluar los impactos del sonido generado por el hombre sobre los organismos marinos en un área en particular, uno de los puntos de partida debe ser examinar qué especies tienen más probabilidades de verse especialmente afectadas en términos de cambios en las poblaciones y amenazas a su sostenibilidad y cuáles de ellas constituyen componentes clave de los ecosistemas locales. En algunas áreas, es posible que varias especies ya hayan sido clasificadas como en peligro de extinción o amenazadas o susceptibles según la legislación de conservación. Otras pueden ser altamente valoradas como la base para la pesca comercial, por lo que el impacto sobre las mismas no sólo tiene una componente biológica/ecológica sino también puede tener una gran componente económica y social.

Al evaluar los impactos sobre los ecosistemas, es importante examinar todas las especies presentes e identificar aquellas que pueden ser especialmente vulnerables a la exposición al ruido, y particularmente aquellas que desempeñan un importante papel ecológico dentro de las comunidades biológicas locales. Sin embargo, esto no siempre se hace. Una posible solución es proteger los hábitats de las especies potencialmente vulnerables o donde se producen procesos claves para las especies o poblaciones. Por ejemplo, los hábitats donde se realizan actividades reproductivas o de cría de organismos marinos susceptibles pueden recibir protección, impidiéndose en esas áreas la generación de altos niveles sonoros.

La gran variedad de especies de peces e invertebrados en términos de historia de vida, ecología reproductiva, comportamiento migratorio y sensibilidad auditiva puede resultar en grandes diferencias en su vulnerabilidad a la exposición al sonido. Para establecer dicha

vulnerabilidad, se requiere una metodología mediante la cual identificar y catalogar a las distintas especies en un área determinada. Un método tradicional para establecer prioridades es desarrollar listas de especies en riesgo y establecer su vulnerabilidad a través de un Análisis de Productividad y Susceptibilidad (PSA). En dicha metodología, cuando no se dispone de datos locales, la puntuación para los diversos atributos debe estar basada en datos tomados de la literatura. En algunos casos, puede ser necesario extrapolar de otros conjuntos de datos o de especies sustitutas. Puede ser apropiado hacer circular los criterios de calificación y los puntajes provisionales a un grupo de expertos apropiados para su revisión, a fin de garantizar el apoyo de consenso para los criterios y calificaciones finales. Esta metodología ha sido de gran utilidad en diversas ocasiones, pero raramente se ha aplicado para establecer la vulnerabilidad de peces e invertebrados marinos a los efectos del sonido generado en el mar por acción humana.

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL SONIDO SUBACUÁTICO DE ORIGEN ANTRÓPICO SOBRE PECES E INVERTEBRADOS

Hasta el momento, no existe un enfoque de consenso sobre cómo evaluar los impactos potenciales del sonido en peces e invertebrados. Un enfoque genérico potencial se presenta como un procedimiento secuencial para evaluar tales consecuencias. En este proceso, primero es necesario conocer y caracterizar la señal acústica relevante; luego es necesario describir (o estimar a través de la bibliografía), las posibles alteraciones físicas, fisiológicas o de comportamiento resultantes, y determinar cualquier función de la vida o actividades esenciales que pudieran verse afectadas. El siguiente paso es investigar el cambio resultante en las "tasas vitales" para los animales afectados, lo que tendrá implicancias para las poblaciones reales. Finalmente, se deben examinar los impactos en la población, que afectan a las generaciones posteriores, incluidas las tasas de natalidad, las tasas de mortalidad, las tasas de fertilidad, las tasas de crecimiento y las variaciones en la composición por edad de la población. En la Figura siguiente se representa esquemáticamente dicho proceso.

EXPOSICIÓN AL SONIDO BAJO EL AGUA

EFFECTOS FÍSICOS	EFFECTOS FISIOLÓGICOS	EFFECTOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO
<p>Muerte Daño permanente Daño recuperable Daños menores (internos o externos) Daño auditivo</p>	<p>Cambios en los niveles de estrés Cambios en el metabolismo Cambios en el sistema inmune Reducción de las reservas de energía Reducción de la fertilidad</p>	<p>Cambios en el acople comunicacional Inicio de respuestas de evitamiento Alejamiento de hábitat preferenciales Alteración del comportamiento reproductivo Pérdida de oportunidades de reproducción Disminución de la alimentación Incremento del gasto energético Cambios en el comportamiento social y de cardúmenes Disminución de la habilidad para detectar predadores o presas Disminución de la capacidad para detectar información del ambiente</p>



EFFECTO EN FUNCIONES VITALES CLAVE

Modificaciones en patrones de movimiento y migraciones
 Dificultad para localizar hábitats preferenciales
 Dificultad para localizar alimento
 Reducción de los niveles de alimentación
 Disminución del crecimiento
 Retraso en la maduración sexual
 Interferencia en la reproducción
 Dificultad en la crianza de juveniles
 Pérdida de habilidad para evitar predadores



EFFECTOS SOBRE LA SUPERVIVENCIA

Cambios en tasa de crecimiento
 Aumento de la mortalidad natural
 Daño en el desarrollo (huevos y juveniles)
 Dificultad en la reproducción



IMPACTO SOBRE LA POBLACION

Reducción en el tamaño poblacional
 Reducción de la biomasa
 Cambios en la estructura poblacional
 Cambios en la distribución espacial
 Reducción de la diversidad genética

Figura 3. Efectos de la exposición al sonido subacuático en peces (y posiblemente invertebrados) con respecto al impacto en funciones clave de la vida, tasas vitales y parámetros poblacionales. Adaptado de Hawkins y Popper (2016).

Una vez que se han observado los efectos sobre los peces y los invertebrados, ¿cómo se evalúan los impactos reales? Existen numerosos informes y evaluaciones de impacto en los que se supone que una serie de efectos tienen un impacto a nivel de poblaciones particulares de peces marinos, pero sin que se haya presentado evidencia directa para respaldar estas conclusiones. En última instancia, esta falta de evidencia afecta la capacidad para evaluar y mitigar adecuadamente los efectos de los sonidos generados por la acción del hombre en los ecosistemas marinos, lo que dificulta la implementación de decisiones informadas sobre la gestión de riesgos.

Todavía es necesario explorar distintas metodologías para examinar las consecuencias de la exposición al sonido sobre las poblaciones de peces e invertebrados, que varían mucho en sus características y son muy diferentes a las poblaciones de mamíferos marinos. Un posible enfoque en esta etapa es examinar si las respuestas al sonido observadas en peces e invertebrados pueden tener efectos a nivel de la población. Se han desarrollado varios modelos para evaluar la vulnerabilidad de las poblaciones de peces a la pesca pero su posible aplicación para evaluar los efectos del sonido necesita ser explorada más a fondo.

Las evaluaciones de riesgo ecológico (ERA) también se han aplicado para examinar los efectos sobre los ecosistemas. Dentro del marco de ERA, se toma un enfoque jerárquico para evaluar los efectos de actividades como la pesca. El enfoque ecológico se amplía desde las preocupaciones sobre las especies y los recursos a las preocupaciones sobre las especies no objetivo, incluidas las especies protegidas, los hábitats y las comunidades ecológicas. Se podría adoptar un enfoque similar para examinar la exposición de los ecosistemas a los sonidos de las exploraciones sísmicas.

Lo que está claro es que más allá de la metodología que se decida aplicar para evaluar el impacto sobre el ecosistema o las poblaciones que lo componen, el efecto que puede tener sobre la salud del medio ambiente, incluida la pesca, hace absolutamente necesario que dicho impacto sea evaluado convenientemente. No resulta aceptable de ningún modo que de existir actividades que generen ruido subacuático de cierta magnitud y persistencia en áreas de una amplitud geográfica como aquellas que suelen involucrarse en estudios de sismica submarina, no se realicen las evaluaciones de impacto de manera obligatoria para establecer y mitigar los efectos perniciosos que pudieran causarse sobre las poblaciones y el ecosistema.

LA REGULACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE GENERACIÓN DE SONIDO EN EL MAR

La regulación de los factores de estrés ambiental a menudo se basa en la legislación que protege hábitats y especies clave. Las especies se seleccionan en función de su estado de conservación (por ejemplo, si están catalogadas como amenazadas o en peligro de extinción) o su importancia comercial (por ejemplo, si forman la base de pesquerías importantes). Relativamente pocas especies de peces e invertebrados están clasificadas como en peligro de extinción y la mayoría no recibe la fuerte protección que a menudo se otorga a los mamíferos y aves marinas.

Gran parte de la regulación de las actividades de producción de sonido se basa en evaluaciones de impacto ambiental y declaraciones ambientales dirigidas a los mamíferos

marinos. Tales evaluaciones no son particularmente relevantes para peces o invertebrados. Las regulaciones actuales pueden no seleccionar aquellos peces e invertebrados que son especialmente vulnerables y/o no identificar los períodos de su vida cuando pueden ser particularmente vulnerables a la exposición al sonido.

Muchas evaluaciones de impacto también se basan en predicciones de cómo se comportarán los peces y los invertebrados en circunstancias particulares. A menudo se acepta que la exposición al sonido puede alterar el comportamiento normal o desplazar a estos animales de las áreas que frecuentan, aunque es posible que no existan datos reales que respalden estas suposiciones. Luego se considera si ciertas medidas de mitigación (p. Ej., cierres de tiempo/área, establecimiento de zonas de exclusión, procedimientos de incremento) brindarán suficientes beneficios de protección. Luego se evalúa si los efectos predichos tienen efectos adversos en las poblaciones, pero a menudo sin que haya datos apropiados disponibles.

Por lo tanto, es evidente que muchas evaluaciones de impacto ambiental (como las llevadas a cabo hasta el presente en el Mar Argentino) no están evaluando completamente el impacto del sonido submarino sobre peces e invertebrados. Las autoridades que deben supervisar el proceso carecen de una evaluación crítica al analizar las metodologías para tales evaluaciones, ya que son aceptadas a pesar de sus fallas obvias, como fue el caso de la prospección sísmica llevada a cabo por PAN AMERICAN ENERGY en el Golfo San Jorge. Claramente en ese caso se ha demostrado que se trató de un estudio con un diseño muy débil y controles deficientes. Si esto se repite, es motivo de gran preocupación.

Es evidente que muchos intentos de evaluar el impacto de la exposición del sonido en peces e invertebrados han sido defectuosos, particularmente en Argentina. Los criterios de exposición al sonido y los diseños experimentales que se han aplicado son absolutamente deficientes y claramente no constituyen evaluaciones de impacto ambiental como debería ser requerido en los casos de estudios de sísmica empleando cañones submarinos como herramienta para la generación de impulsos sonoros. Recientemente se han identificado en función de la bibliografía internacional los requisitos previos clave para evaluar los impactos en Peces e invertebrados. Estos pre-requisitos incluyen:

1. El desarrollo y la aplicación de procedimientos para detectar y asignar prioridades a las especies de peces e invertebrados que pueden ser especialmente vulnerables a la exposición al ruido, incluidas aquellas que desempeñan funciones importantes en los ecosistemas locales. La alta prioridad no solo debe asignarse a especies legalmente protegidas o comercialmente importantes, sino que debe considerarse para un rango de especies, en función de su productividad biológica, vulnerabilidad a los efectos adversos y susceptibilidad a la exposición al ruido.
2. El desarrollo de criterios de exposición al sonido válidos y apropiados específicos para peces e invertebrados y que permitirán a los administradores establecer límites a los niveles de sonido que están permitidos en condiciones particulares. Tales criterios deben basarse en los datos de dosis-respuesta para los efectos físicos, fisiológicos, de comportamiento y/o de estrés relevantes; y especialmente aquellos que pueden afectar funciones clave de la vida. Los criterios deben expresarse en métricas que

reflejen aquellas características de los sonidos que tienen efectos potenciales sobre las especies de interés.

3. Se requieren descripciones completas de los sonidos producidos por diferentes fuentes para las evaluaciones y éstas deben expresarse en métricas apropiadas (adaptadas a la naturaleza de los sonidos, ya sean continuas o impulsivas, y aquellos rasgos característicos que pueden ser importantes para los animales).
4. Información sobre los niveles predominantes de ruido de fondo en el ambiente, incluida la presencia de sonidos de origen natural que pueden ser importantes para los peces e invertebrados, para que se puedan examinar los efectos del enmascaramiento de esos sonidos.
5. Examen de paisajes sonoros submarinos para identificar aquellos que son únicos o vulnerables a la contaminación acústica y que merecen ser protegidos de ésta.
6. En términos de la predicción de los efectos sobre los peces e invertebrados, y la extensión espacial de esos efectos, es importante que los modelos de propagación del sonido tengan en cuenta la transmisión del mismo a través del lecho marino, y examinen la propagación hacia y en aguas poco profundas, ya que esto difiere sustancialmente de lo que ocurre en aguas profundas lejos de las superficies.
7. Consideración de las respuestas físicas, fisiológicas y de comportamiento reales de individuos y grupos de animales, especialmente en términos de aquellos cambios que pueden influir en la salud y el estado físico individuales. Se deben hacer distinciones entre los cambios transitorios a corto plazo, de los cuales los animales se recuperan rápidamente, y aquellos que tienen efectos duraderos en los individuos.
8. Un examen detallado de esas respuestas en términos de sus efectos reales sobre las funciones clave de la vida y las tasas vitales, utilizando modelos de presupuesto de energía, o modelos basados en el individuo o una combinación de ambos.
9. Estimación de los impactos posteriores sobre las poblaciones de peces e invertebrados, especialmente aquellos que constituyen componentes clave de los ecosistemas locales, junto con la predicción de los efectos probables sobre dichos ecosistemas. Estas estimaciones se pueden lograr a través de estudios de modelos que tengan en cuenta los cambios en las tasas vitales.
10. Realización de estudios de respuesta conductual y audición sobre peces e invertebrados en un entorno acústico lo más cercano posible al entorno natural del animal. Por ejemplo, las respuestas de un pez o invertebrado que vive en aguas intermedias en el océano abierto deben examinarse en un campo de sonido libre. En contraste, para un pez que vive en aguas poco profundas, las respuestas deben examinarse en aguas poco profundas con un sustrato apropiado y con condiciones que simulen las que se encuentran en su hábitat natural. Los experimentos con peces e invertebrados que viven en o dentro del sustrato deben tener en cuenta la transmisión de sonido a través del sustrato. Cualquier sonido presentado debe parecerse a los que recibiría el animal en condiciones naturales. También es importante incorporar

controles bien diseñados para los experimentos y asegurar que la replicación sea estadísticamente adecuada.

11. Determinación y desarrollo de enfoques de mitigación para reducir los niveles de la fuente de sonido, el movimiento de partículas y la vibración del sustrato que se dirigen a los peces e invertebrados además de aquellos desarrollados para mamíferos marinos.
12. Incorporación de datos de estudios adicionales que se centran en llenar muchos de los vacíos de datos en nuestro conocimiento de los efectos del sonido producido por el hombre tanto en peces como en invertebrados.

Está clara la complejidad enorme que los estudios de evaluación de impacto del efecto del ruido submarino sobre peces, invertebrados y mamíferos debe involucrar. En ese contexto, pretender que cada evaluación de impacto realice los estudios pertinentes que abarquen tal variedad y profundidad de análisis no resulta posible. Sin embargo, muchos de estos aspectos, por no decir casi su totalidad, han sido ignorados en los estudios de evaluación de impacto que se han desarrollado hasta el presente en nuestro país.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA EXPLORACIÓN SÍSMICA MARINA EN LA ARGENTINA

Recientemente el Gobierno Argentino adjudicó 18 áreas para la exploración petrolera tanto en la Cuenca Argentina Norte (ver mapa) como en la Cuenca Malvinas Oeste. Algunas de las exploraciones comenzaron pero no se realizó hasta el momento ningún tipo de evaluación de impacto ambiental. Lo único que se hizo fue un análisis de la potencial afectación que pudiera tener tal actividad sobre el componente biótico de los ecosistemas, siendo éste muy limitado y basado exclusivamente en bibliografía internacional y algunos datos locales. Respecto del área norte, el INFORME INIDEP 17/2017 indica una serie de observaciones que se detallan a continuación.

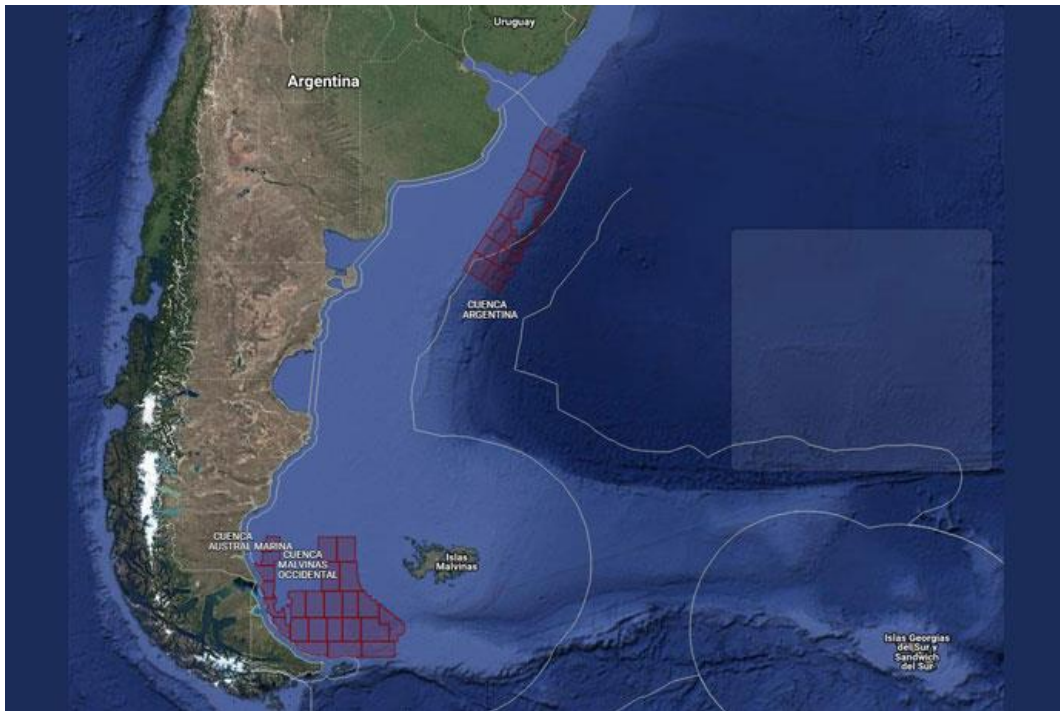


Figura 4. Localización de las zonas licitadas para la exploración sísmica pertenecientes a la Cuenca Argentina Norte y Cuenca Malvinas Oeste. Imagen tomada de <https://revistapuerto.com.ar/2019/05/la-pesca-disputara-areas-del-mar-argentino-con-la-industria-petrolera/>.

- La Cuenca Argentina Norte se superpone con el frente de talud, donde se genera una alta producción primaria gracias a la conjunción de nutrientes que permiten las concentraciones de plancton que son sustento de grandes bancos de moluscos como la vieira patagónica (*Zygochlamys patagonica*) que es objeto de una importante pesquería. El área también comprende parte de la ruta migratoria de los stocks sud-patagónico y bonaerense de calamar (*Illex argentinus*), donde opera la flota nacional y de terceros países en aguas internacionales.
- En relación con los peces existen en el área importantes concentraciones de peces demersales de importancia comercial como la merluza (*Merluccius hubbsi*), la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) y la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*), abadejo (*Genypterus blacodes*) y anchoíta (*Engraulis anchoíta*), entre otras.
- No se han realizado estudios de campo tendientes a establecer el grado de impacto que pudieran sufrir las diferentes poblaciones de peces o crustáceos que habitan en el área.
- Los pretendidos estudios de impacto ambiental llevados a cabo hasta el presente por la consultora Ezcurra & Schmidt se limitan a una mera recopilación bibliográfica del efecto que pudiera ser esperado en función de la

actividad de exploración sísmica en el área de plataforma externa y talud dentro y fuera de la ZEE de Argentina.

- En dicho estudio se considera que el impacto sobre la pesca de la merluza será poco significativo debido a que se descarta que se produzcan daños físicos en los peces, concluyendo que una vez finalizada la sonorización los peces retornarán inmediatamente a los sitios en que se encontraban.
- No descartan por el contrario, la afectación sobre tortugas marinas dado que con una velocidad de natación muy inferior a los peces, con podrán alejarse rápidamente de la fuente sonora.
- Dado que se establecen mecanismos de mitigación, se asume que el efecto sobre los mamíferos marinos será muy limitado.
- Sin embargo, los estudios realizados hasta el presente no han abordado en profundidad temas como la afectación del comportamiento de los peces y moluscos que se podría producir en un área que constituye una extensa zona reproductiva de varias especies de peces e invertebrados.
- El impacto del sonido sobre organismos en reproducción puede generar un estrés que afecte el potencial reproductivo disminuyendo la fecundidad o interrumpiendo los desoves.
- Por lo tanto, cualquier perturbación de la magnitud de una prospección sísmica podría generar no sólo la dispersión de los cardúmenes, dificultando las operaciones de pesca y disminuyendo los rendimientos, sino lo que podría ser de mayor gravedad, como lo es una posible interrupción del ciclo natural de reproducción y/o alimentación con las posibles consecuencias posteriores en el estado del recurso.
- Se concluye que existe una frondosa bibliografía de los efectos de los cañones de aire sobre los peces, observándose un claro alejamiento de los mismos de las áreas prospectadas, pudiendo demorarse un tiempo considerable (semanas a meses) en retornar a sus sitios habituales. Un ejemplo de ello puede ser el de la prospección desarrollada por PAN AMERICAN en el sur del Golfo San Jorge, donde la merluza demoró varios meses en reubicarse en dichas aguas luego de la prospección, afectando seriamente a la pesca de la flota costera con puerto de asiento en Caleta Paula.
- El informe concluye que la única manera de evaluar objetivamente el impacto de la prospección sísmica sobre la fauna de la región sería a partir de campañas de investigación que tengan por objeto monitorear y evaluar *in situ* el estado del ecosistema previamente, durante y con posterioridad a la finalización de la prospección, de manera de poder comparar empíricamente los efectos del sonido sobre la biota que habita la zona.

Por todo lo expuesto, se considera enfáticamente que una actividad como la prospección sísmica, que puede tener un alto impacto sobre el comportamiento, la distribución, y el éxito reproductivo de los distintos recursos pesqueros del Mar Argentino, y de aquellas especies sujetas a protección como tortugas y mamíferos marinos, no debe llevarse a cabo sin la realización de los estudios científicos que permitan evaluar dicha afectación y establecer mecanismos de mitigación sobre los componentes del ecosistema. Por otra parte, deberán también determinarse los mecanismos de compensación que pudieran corresponder para los actores involucrados si se produce un perjuicio ambiental o pesquero que afecte su economía.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Andriguetto-Filho, Ostrensky, A., Pie, M.R, Silva, U.A, Boeger, W.A, 2005. Evaluating the impact of seismic prospecting on artisanal shrimp fisheries. *Cont. Estante de res.*, 25 (2005), pp. 1720 - 1727.

Branscomb E.S. & Rittschof, D.1984. An investigation of low frequency sound waves as a means of inhibiting barnacle settlement. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 79 (1984), pp. 149-154

Carroll, A.G.; Przeslawski, R, Duncan, A.; Gunning, M; Bruce, B. 2017. A critical review of the effects of marine seismic studies on fish and invertebrates. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.038>.

Dalen y Knutsen, 1987. Alarming effects on fish and harmful effects on eggs, larvae and fingerlings by seismic explorations on the high seas. H. Merklinger (Ed.), *Progress in Underwater Acoustics*, Springer US (1987), pp. 93 – 102,

Department of Fisheries and Oceans (DFO). 2004. Review of Scientific Information on Impacts of Seismic Sound on Fish, Invertebrates, Marine Turtles and Marine Mammals. Canadian Science Advisory Secretariat. Habitat Status report 2004/002.

Department of Fisheries and Oceans (DFO). 2004. Potential impacts of seismic energy on snow crab. Canadian Science Advisory Secretariat. Habitat Status report 2004/003.

Engås, A., Løkkeborg, S., Ona, E., and Soldal, A.V. 1993. Effects of seismic shooting on catch and catch availability of cod and haddock. *Fisken Havet* No. 9.

Engås A, Løkkeborg S., Ona E., Soldal AV. 1996. Effects of seismic shots on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 53 (1996), pp. 2238 - 2249

Engås, A. and Løkkeborg, S. 2002. Effects of seismic shooting and vessel-generated noise on fish behaviour and catch rates. *Bioacoustics* 12, 313–315.

Fewtrell, J.L., McCauley R.D. 2012. Impact of air gun noise on the behaviour of marine fish and squid. *Mar. Pollut. Bull.*, 64 (2012), pp. 984-993

Greene, C.R. 1985. A pilot study of possible effects of marine seismic air-gun array operation on rockfish plumes. Prepared for the Seismic Steering Committee by Greeneridge Sciences, Inc., Santa Barbara, Calif.

Hawkins, A.D. 1981. The hearing abilities of fish. *In* *Hearing and sound communication*. Edited by W.N. Tavolga, A.N. Popper, and R.R. Fay. Springer-Verlag, New York. pp. 109.133.

Hawkins, A.D. 1993. Underwater sound and fish behaviour. *In* *Behaviour of teleost fishes*. Edited by J.T Pitcher. Chapman and Hall, London. pp. 129.169.

Hawkins, A. D., and Popper, A. N. 2016. A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates,” *ICES, J. Marine Sci.* 74, 635–671.

Hirst & Rodhouse. 2000. Impacts of geophysical seismic surveying on fishing success Article in *Reviews in Fish Biology and Fisheries* <https://www.researchgate.net/publication/226789255>

- Hu, M.Y., Yan, H.Y, Chung, W.-S., Shiao, J.-C., Hwang, P.-P. 2009. Acoustically evoked potentials in two cephalopods inferred using the auditory brainstem response (ABR) approach. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.*, 153 (2009), pp. 278-283
- Lokkeborg, S. & Soldal, A.V 1993. The influence of seismic exploration with airguns on cod (*Gadus morhua*) behavior and catch rates. *ICES Mar. Sci. Symp.*, 196:62-67.
- Løkkeborg, S., Egil, O., Aud, V.&, Are, S. (2012). Sounds from seismic air guns: Gear-and species-specific effects on catch rates and fish distribution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 69. 1278-1291. 10.1139/f2012-059.
- Lovell, J.M., Findlay, M.M., Moate, R.M., Yan, H.Y. 2005. The hearing abilities of the prawn *Palaemon serratus*. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.*, 140 (2005), pp. 89-100
- Madirolas, A; Ercoli, R; Bertuche, D y García, J. 2003. Estudio sobre la factibilidad de diseñar un dispositivo acústico para dispersar peces. Informe de Pre-factibilidad. Informe Técnico Interno INDEP N°104: 9pp.
- McCauley, R. D., Fewtrell, J., and Popper, A. N. 2003. High intensity anthropogenic sound damages fish ears, *J. Acoust. Soc. Am.* 113, 638–642.
- Pájaro, M.; Madirolas, A.; Martínez, P.A. y Acha, E.M. 2017. Análisis del informe “Estudio ambiental – prospección sísmica 2D zona económica exclusiva argentina y mar internacional para SPECTRUM GEO INC. Por Ezcurra y Schmidt S.A.” Informe de Asesoramiento y Transferencia INIDEP N° 17: 9pp.
- Parry, G.D & Gason, A. 2006. The effect of seismic studies on rock lobster catch rates in western Victoria, Australia. *Fish. Res.*, 79 (2006), pp. 272 – 284.
- Pearson, W.J., Skalski, J.R., and Malme, C.I. 1992. Effects of sounds from a geophysical survey device on behaviour of captive rockfish (*Sebastes* sp.). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 1343–1356.
- Pena H., Handegard N. O., Ona E. 2013. Feeding herring schools do not react to seismic air gun surveys. *ICES Journal of Marine Science* , 70: 1174–1180.
- Petitgas, P. 1993. Geostatistics for fish stock assessment: a review and an acoustic application. *ICES J. Mar Sci.* **50**: 285.298.
- Popper, A. N. 2003. Effects of anthropogenic sound on fishes, *Fisheries* 28, 24–31.
- Popper, A. N., Fay, R. R., Platt, C., and Sand, O. 2003. Sound detection mechanisms and capabilities of teleost fishes, in *Sensory Processing in Aquatic Environments*, edited by S. P. Collin and N. J. Marshall Springer-Verlag, New York!, pp. 3–38.
- Popper, A. N., Fewtrell, J., Smith, M. E., and McCauley, R. D. 2004. Anthropogenic sound: Effects on the behavior and physiology of fishes, *Mar. Technol. Soc. J.* 37, 35–40.
- Popper, A.N; E. Smith, M.; Cott, P. A; Hanna, B.W; MacGillivray, A.O; Austin, M.E; Mann, D.A. 2005. Effects of exposure to seismic airgun use on hearing of three fish species. Article in *The Journal of the Acoustical Society of America*. DOI: 10.1121/1.1904386.
- Popper A. N., Hastings M. C. 2009. The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. *Journal of Fisheries Biology* , 75: 455–489.
- Popper A. N., Hawkins A. D., Fay R. R., Mann D. A., Bartol S., Carlson T. J., Coombs S., et al. 2014. Sound Exposure Guidelines. In *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 , pp. 33–51. Springer, New York.

Richardson, W. J., Greene, C. R., Jr., Malme, C. L., and Thomson, D. H. 1995. *Marine Mammals and Noise* Academic, New York.

Slabbekoorn H., Bouton N., van Opzeeland I., Coers A., ten Cate C., Popper A. N. 2010. A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in Ecology and Evolution* , 25: 419–427.

Skalski, J.R., Pearson, W.H., and Malme, C.I. 1992. Effects of sounds from a geophysical survey device on catch-per-unit-effort in a hook-and-line fishery for rockfish (*Sebastes* spp.). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 1357–1365.

Wardle, C.S. 1977. Effects of swimming speeds in fish. In *Scale effects in animal locomotion*. Edited by T.J. Pedley. Academic Press, New York. pp. 299–313.

Wardle, C.S., Carter, T.J., Urquhart, G.G., Johnstone, A.D.F, Ziolkowski, A.M., Hampson, G., Mackie, D. 2001. Effects of seismic air guns on marine fish. *Cont. Shelf Res.*, 21 (2001), pp. 1005-1027.

Wartzog, D., Popper, A. N., Gordon, J., and Merrill, J. 2004. Factors affecting the responses of marine mammals to acoustic disturbance, *Mar. Technol. Soc. J.* 37, 6–15.

Wenz, G.M. 1962. Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* 34: 1936–1956.