

LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA Y SU IMPACTO EN EL DESARROLLO DE LA VIDA MARINA

NOISE POLLUTION AND ITS IMPACT ON THE DEVELOPMENT OF MARINE LIFE

Miguel Ángel Cortez Oyola¹

macobiologos@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6156-1758>

Brian Chero Arana²

a20150799@pucp.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3640-5387>

¹ Colegio de Biólogos del Perú, Consejo Regional II Piura.

² Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Mecatrónica.

RECIBIDO		ACEPTADO		PUBLICADO		Pág. 50-66					
[15/12/2021]		[17/12/2021]		[31/12/2021]				BY NC ND			

RESUMEN

Uno de los principales problemas de los últimos años es la contaminación ambiental. Producto de las actividades humanas, se genera la mayor parte de los contaminantes que terminan en algún cuerpo de agua, incluyendo todos los ruidos de origen humano generados dentro de ambientes marinos como producto de diversas actividades industriales, lo que se conoce como contaminación acústica submarina. En ese contexto, el presente artículo buscó explorar el impacto de la contaminación acústica submarina sobre la vida y desarrollo de las criaturas marinas y las formas de mitigación que están siendo implementadas para combatir esta situación. Para ello, se realizó una investigación bibliográfica, en la cual se revisaron bases de datos para recopilar información relevante acerca del tema. La investigación realizada halló que, aunque en los últimos años han aumentado las actividades industriales en altamar que resultan provechosas para el desarrollo de la economía mundial, durante mucho tiempo se ignoró el gran impacto del ruido sobre el desarrollo de la vida marina, causando desde cambios en el comportamiento, hasta daños a su integridad física, e interfiriendo en actividades diarias importantes como la comunicación, navegación o su supervivencia. Se concluyó que es importante priorizar los estudios orientados a obtener información sobre la naturaleza del ruido submarino, la capacidad auditiva de los diferentes seres marinos y los efectos del ruido submarino en ellos para implementar leyes y regulaciones eficientes y preservar adecuadamente los sonidos del océano.

PALABRAS CLAVE

Contaminación Acústica,
Ruido Submarino, Animales Marinos,
Actividades Industriales

ABSTRACT

One of the main problems of recent years is environmental pollution. As a result of human activities, most of the pollutants that end up in some bodies of water are generated, including all human-generated noise generated within marine environments as a result of various industrial activities, which is known as underwater noise pollution. In this context, this article sought to explore the impact of underwater noise pollution on the life and development of marine creatures and the forms of mitigation that are being implemented to combat this situation. For this purpose, bibliographic research was carried out, in which databases were reviewed to gather relevant information on the subject. The research found that, although in recent years there has been an increase in offshore industrial activities that are profitable for the development of the world economy, for a long time the great impact of noise on the development of marine life was ignored, causing from changes in behavior to damage to their physical integrity, and interfering in important daily activities such as communication, navigation or survival. It was concluded that it is important to prioritize studies aimed at obtaining information on the nature of underwater noise, the hearing capacity of different marine beings and the effects of underwater noise on them in order to implement efficient laws and regulations and adequately preserve the sounds of the ocean.

KEYWORDS

Noise Pollution, Underwater Noise,
Marine Animals,
Industrial Activities

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas de los últimos años es, sin duda, la contaminación ambiental. El rápido incremento de la población mundial —actualmente de 7.6 mil millones de personas— ha causado un aumento

en las actividades industriales, extractivas y agrícolas con un efecto nocivo importante sobre el medioambiente, dados los residuos contaminantes que se generan producto de las mismas (Brusseau *et al.*, 2019). Entre los entornos más afectados por la contaminación se

<https://bit.ly/3HqOZAL>

encuentra el entorno marino, el cual cubre aproximadamente un 71 % de la superficie del planeta y cuenta con un gran número de ecosistemas. Por ello, la contaminación de los cuerpos de agua a nivel mundial resulta peligrosa para el ser humano, pues suele hacer uso de los mismos con fines alimenticios, de transporte y recreación (Häder *et al.*, 2020).

Existe una gran variedad de fuentes de contaminación creadas por el hombre, capaces de deteriorar grandes cantidades de agua, incluso hasta volverlas inutilizables (Walker *et al.*, 2019). Así, actividades humanas como la construcción, la minería, la agricultura y la industria son las que generan gran parte de los contaminantes que terminan en algún cuerpo de agua. Esta situación posee un fuerte impacto negativo sobre los mismos y los ecosistemas que lo componen (Häder *et al.*, 2020). En ese sentido, en los últimos años, un tipo de contaminación que se ha incrementado debido al progreso de la industrialización es la contaminación acústica submarina, la cual comprende todos los ruidos de origen humano generados dentro de ambientes marinos como producto de diversas actividades industriales en estas zonas y con importantes efectos sobre la vida marina (Kuşku *et al.*, 2018).

El sonido es un elemento importante para los animales que habitan en entornos submarinos, puesto que es la forma más eficiente de comunicación para muchas especies

marinas. Mientras que la visión y demás sentidos se ven limitados en gran medida bajo el agua, las ondas sonoras son capaces de viajar miles de kilómetros en este medio (Nabi *et al.*, 2018). Es así que, por medio de la emisión de sonidos, muchos animales son capaces de comunicarse a grandes distancias, regular su navegación, lugar de residencia y actividades diarias (alimentación, socialización, reproducción) (Stanley *et al.*, 2017). Por lo tanto, al ser introducidos sonidos de origen humano y ajenos al entorno, se puede interferir con la capacidad de las especies marinas para detectar sonidos, ocasionando, de esta manera, importantes consecuencias negativas en su desarrollo y supervivencia (Popper *et al.*, 2020).

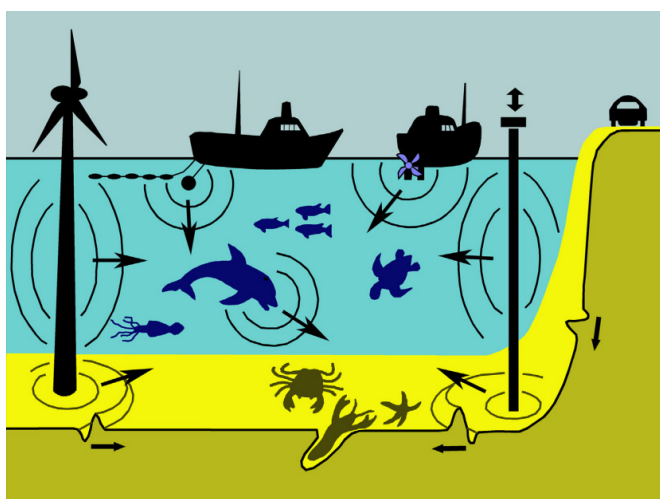
Finalmente, tal como se ha comentado anteriormente, la contaminación acústica submarina afecta a una gran variedad de animales, entre los cuales se encuentran mamíferos marinos, tortugas marinas, peces e invertebrados (Merchant, 2019). En este contexto, el objetivo del presente artículo fue explorar, desde el enfoque de la reflexividad, el impacto de la contaminación acústica submarina causada por actividades humanas sobre la vida y desarrollo de las criaturas marinas y las formas de mitigación que están siendo implementadas para combatir esta situación.

DESARROLLO

Principales fuentes de contaminación acústica submarina

La contaminación acústica submarina se produce al realizar actividades industriales ruidosas en cuerpos de agua. Entre las principales actividades generadoras de ruido se encuentran: los dragados y construcciones realizadas en altamar; las explosiones submarinas realizadas con fines de pesca o militares; exploraciones sísmicas y operaciones de taladrado necesarias para la extracción de gas o petróleo, y el transporte de carga o personas a través de cuerpos de agua. En la Figura 1 se aprecia una representación gráfica de las principales fuentes de ruido antropogénico, así como los principales animales marinos que se ven afectados.

Figura 1. Principales fuentes de ruido antropogénico y animales marinos afectados



Nota. Tomado de Popper *et al.* (2020)

Dragados y construcciones

Varias actividades industriales marinas normalmente involucran la construcción de infraestructuras en altamar como plantas de energía eólica, plataformas de extracción de gas y petróleo, puentes atirantados, túneles submarinos, etc. (Kuşku *et al.*, 2018). En ese sentido, las operaciones de dragado a nivel mundial resultan importantes para la construcción y el mantenimiento de este tipo de estructuras, además de participar en otras actividades como la extracción de arena y grava para la construcción, mantenimiento de ríos y playas, remediado de sedimentos contaminados, etc. (McQueen *et al.*, 2020). En estos casos, la contaminación acústica submarina se produce no de manera intencional, sino como un subproducto de estas actividades marinas (Farcas *et al.*, 2016).

<https://bit.ly/3HqOZAL>

Para construcciones en altamar se requiere anclar pilotes al suelo marino mediante técnicas de percusión, una actividad que aumenta los niveles de presión acústica en el fondo marino debido a las vibraciones radiales inducidas en los pilotes, las cuales generan ondas de presión sobre el agua y ondas de compresión y corte sobre el suelo marino (Tsouvalas, 2020; von Pein *et al.*, 2019). Se ha estudiado el ruido ocasionado por la construcción de plataformas en altamar, midiendo ruidos impulsivos con un rango de frecuencia entre 100 Hz y 1 kHz provocados por el uso de martillos hidráulicos de diferente potencia. Sin embargo, este nivel de ruidos no es comparable con el producido por el uso de explosivos (Rako-Gospic & Picciulin, 2019).

Explosiones submarinas

Teniendo en cuenta que el agua es capaz de transmitir energía explosiva de forma más eficiente que el aire, las explosiones submarinas resultan peligrosas para la vida marina por la onda de choque y las burbujas que forman, causando importantes lesiones o incluso la muerte a los animales que se encuentren cerca de una (Abrate, 2018; Vannucchi, 2019). El uso de explosivos en el agua está destinado a actividades industriales que requieren la remoción de estructuras y obstáculos submarinos, como también en actividades militares que incluyan ejercicios navales o pruebas con explosivos para verificar la integridad de los buques de guerra (Lindgren & Wilewska-Bien, 2016). Asimismo, los explosivos pequeños, también llamados dispositivos acústicos de disuasión, se usan con el fin de alejar a animales marinos de zonas de interés durante operaciones comerciales de pesca (Wiggins *et al.*, 2021).

Dado que las actividades militares en el mar se intensifican durante periodos de guerra, los niveles de ruido submarino experimentan un importante incremento. Este aumento está relacionado, principalmente, con la misma maquinaria de los buques de guerra, el uso de sonares y el uso de torpedos o bombas acuáticas (Boebel *et al.*, 2018). Por otro lado, existe una gran cantidad de munición sin detonar en los mares europeos producto de conflictos militares pasados, prácticas de tiro, naufragios, etc. Esta munición en muchas ocasiones no puede ser evitada o retirada de manera segura, por lo que se opta por provocar su detonación, generando pulsos acústicos en el área submarina circundante como consecuencia (Robinson *et al.*, 2020).

Perforaciones y producciones de gas y petróleo

El primer paso que llevan a cabo las industrias para implementar plataformas extractoras en altamar es la exploración sísmica, la cual puede llegar a cubrir regiones enteras en busca de yacimientos submarinos de petróleo o gas (Solangi, 2019). Esta técnica involucra el uso de baterías de cañones de aire, las cuales emiten pulsos

acústicos de alta intensidad y baja frecuencia (entre 5 y 300 Hz). Dichos pulsos son dirigidos hacia el fondo marino y se utilizan para generar imágenes detalladas del mismo y las formaciones geológicas que se encuentran debajo. Sin embargo, una vez disparados, estos pulsos acústicos son capaces de propagarse y alcanzar a seres marinos en un rango de miles de kilómetros, afectando su integridad fisiológica y su comportamiento (Carroll *et al.*, 2017; Keen *et al.*, 2018).

Una vez localizado el yacimiento de petróleo o gas, se inician las operaciones de taladrado para permitir la extracción de recursos y la construcción de la plataforma extractora (Patin, 2018). Mediciones realizadas a operaciones de taladrado en el Océano Ártico detectaron que estas producían niveles de presión acústica entre 10 Hz y 10 kHz en la zona circundante, y que incrementaban los niveles acústicos hasta un máximo de 124 dB, en comparación con el nivel normal del ambiente (91 dB aproximadamente) (Halliday *et al.*, 2020). Las actividades petroleras en altamar también generan contaminación acústica mediante el transporte de recursos mediante buques cisterna, las embarcaciones más ruidosas en el mar (Audoly *et al.*, 2017). Esto produce un impacto mayor en las especies pelágicas como los cetáceos, debido a que se interrumpe el envío de llamados y ecolocación, afectando en última instancia la reproducción (Zamora, 2021).

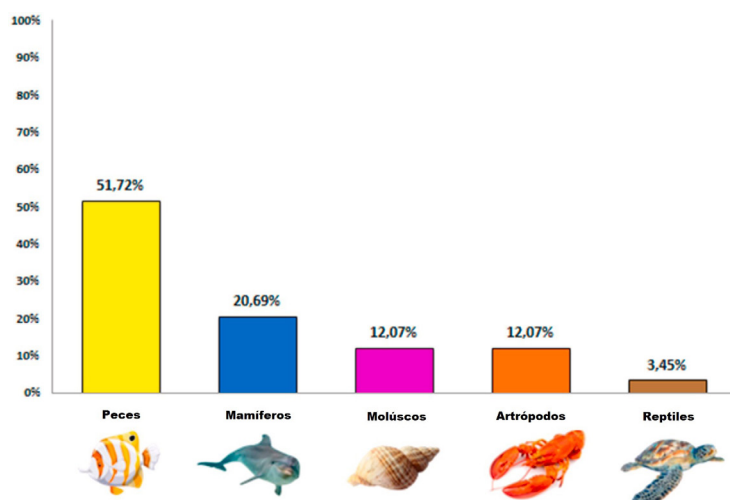
Transporte

Las grandes embarcaciones que recorren los océanos producen ruido submarino principalmente por la cavitación producida por sus hélices, ya que su rápida rotación genera burbujas que estallan violentamente y emiten fuertes ruidos en el proceso (Jalkanen *et al.*, 2018). Sin embargo, el nivel e intensidad del ruido submarino producido dependerá del tamaño del navío, su carga, su velocidad, su tipo de motor y modo de operación (Solangi, 2019). Miles de embarcaciones comerciales, cruceros, buques cisterna, entre otros, contribuyen a la generación de ruido en el ambiente marino. Sumado a esto, se sabe que aproximadamente el 90 % del comercio internacional se realiza mediante rutas marítimas (Nabi *et al.*, 2018).

Por otro lado, los aviones siempre han sido grandes causantes de contaminación acústica, con efectos sobre los humanos y los animales terrestres. El gran ruido que estos vehículos producen es capaz de propagar contaminación acústica submarina al sobrevolar cuerpos de agua, aunque en menor medida que los barcos, dada la pobre transmisión que existe entre ambos medios (Erbe *et al.*, 2018). Un estudio relacionado determinó que aviones que vuelan a baja altura pueden ser escuchados debajo del agua a niveles entre 20 Hz y 10 kHz (Williams *et al.*, 2018). La preocupación por este hecho ha aumentado al tener en cuenta que el tráfico aéreo mundial se ha incrementado en gran medida últimamente (Erbe *et al.*, 2018).

El impacto de estas fuentes de contaminación acústica en los organismos marinos se ha vuelto un tema de investigación importante en los últimos años. Los efectos del ruido antropogénico en los organismos marinos dependen de las especies que sean investigadas y de los niveles de ruido impulsivo y estacionario. En la Figura 2, el estudio de Peng *et al.* (2015) demostró que existe un mayor interés en investigar los efectos del ruido antropogénico en peces, ya que representan la mitad del número total de especies estudiadas con respecto a los efectos del ruido. En tanto que, para las especies de mamíferos marinos, principalmente ballenas y delfines, representan poco más del 20 % del total de especies investigadas. Por otro lado, existen pocos estudios con reptiles e invertebrados.

Figura 2. Porcentaje de especies marinas estudiadas en diferentes taxones que fueron afectados por ruido antropogénico



Nota. Tomado de Chahouri *et al.* (2021)

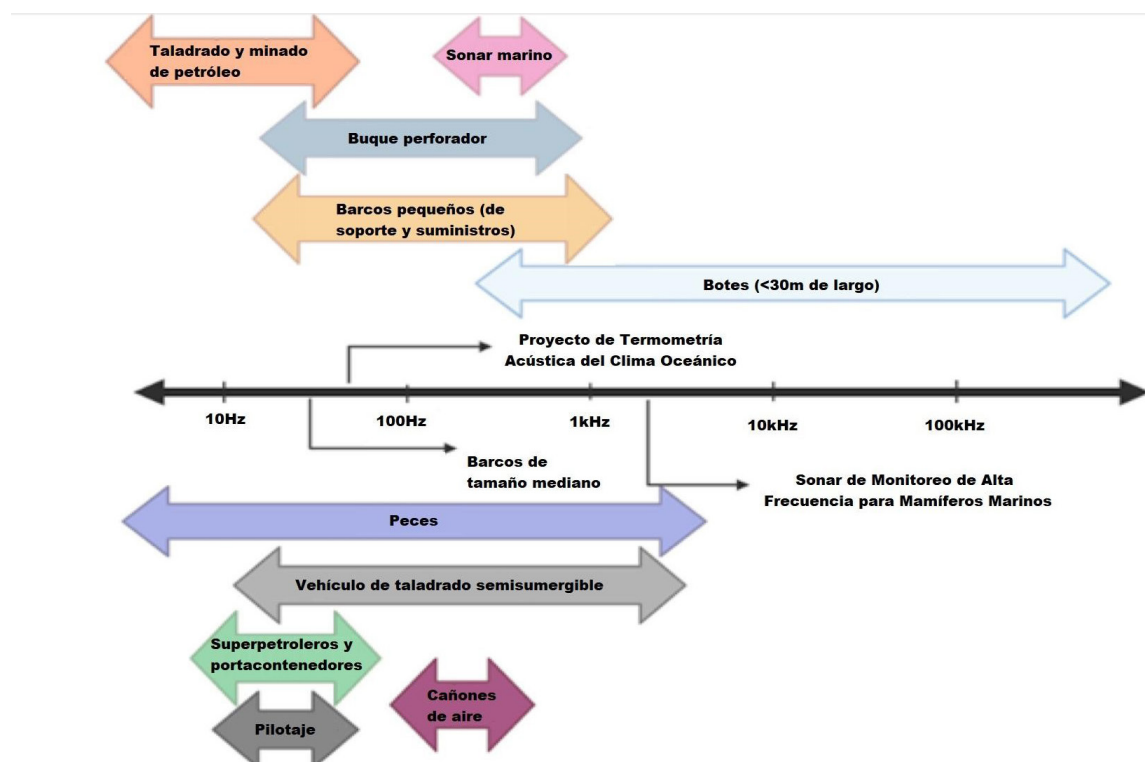
Efectos de contaminación acústica en vida marina

Efectos fisiológicos

Las diferentes especies de organismos marinos presentan un rango espectral de audición muy variado. Por ejemplo, los peces pueden clasificarse principalmente como especialistas auditivos (rango amplio de frecuencias auditivas y bajos umbrales auditivos) o generalistas auditivos (rango corto de frecuencias auditivas y altos umbrales auditivos) (Peng *et al.*, 2015). Dadas sus distintas capacidades auditivas, las diferentes especies marinas presentan reacciones variadas al verse en la presencia de ruidos extraños (Kunc *et al.*, 2016), cuyos efectos pueden variar desde no tener efectos o pequeños ajustes en el comportamiento, hasta cambios importantes o la muerte inmediata, dependiendo de varios factores como la intensidad y frecuencia del ruido, y la distancia hasta la fuente del mismo

(Chahouri *et al.*, 2021; Peng *et al.*, 2015). En la Figura 3 se muestran los rangos de frecuencias en los cuales se producen los principales ruidos antropogénicos submarinos, así como el rango auditivo de los peces.

Figura 3. Rango de frecuencias de ruidos producidos por fuentes humanas y rango auditivo de peces



Nota. Tomado de Chahouri *et al.* (2021)

En vista de que estos animales suelen percibir los ruidos antropogénicos como una amenaza, es común que estos induzcan estrés en la fauna marina, el cual tiene efectos negativos sobre su metabolismo y supone un riesgo para su crecimiento y supervivencia (Rako-Gospić & Picciulin, 2019). Aparte de esto, se pueden producir problemas auditivos y cambios en el umbral auditivo de los animales marinos como producto de esta exposición prolongada (Nabi *et al.*, 2018). Este incremento en su umbral auditivo puede ser temporal, en caso de que solo se trate de una fatiga auditiva, o permanente, en caso de presentarse lesiones internas. La intensidad de los daños dependerá de las características del sonido en cuestión (Kunc *et al.*, 2016; Nabi *et al.*, 2018). En la Tabla 1 se presentan los principales efectos de la contaminación acústica en los organismos marinos.

Tabla 1. Concentraciones del detergente Sapolio. Máximo poder y su variable respectiva

Tipo de ruido antropogénico	Efectos
Movimiento de barcos y cargueros	<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta el metabolismo - Induce la motilidad - Induce la emigración - Reduce la sensibilidad auditiva - Reduce las defensas del organismo
Dispositivo experimental emisor de ruido	<ul style="list-style-type: none"> - Incrementa el metabolismo - Disminuye la inmunidad - Aumenta la frecuencia cardíaca
Disparos sísmicos con cañones de aire	<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta el metabolismo - Disminuye la inmunidad - Altera el umbral auditivo - Varamientos masivos
Uso de sonares navales	<ul style="list-style-type: none"> - Modifica las llamadas de cortejo - Interrumpe la búsqueda de comida - Induce a un comportamiento evasivo
Detonación de explosivos submarinos	<ul style="list-style-type: none"> - Varamientos masivos

Nota. Adaptado de Peng *et al.* (2015)

Los efectos que sufren los animales marinos son físicos cuando estos se encuentran a una corta distancia de la fuente del ruido. A una mayor distancia, el ruido es capaz de afectar a una mayor cantidad de animales, pero estos efectos suelen afectar únicamente su comportamiento (Chahouri *et al.*, 2021). La exposición crónica a los ruidos submarinos intensos puede causar daños a los órganos internos y externos de los mamíferos acuáticos, principalmente daños de tejidos, lesiones en los oídos (responsables de la pérdida de audición) y algunos cambios anatómicos (Rako-Gospic & Picciulin, 2019). El uso de elementos como explosivos, sonares o cañones de aire producen ruidos tan potentes que son capaces de lastimar directamente a cualquier animal que se encuentre cerca del área donde son utilizados (Nabi *et al.*, 2018).

Cambios de comportamiento

El estrés generado en animales por ruido puede interferir con su capacidad para detectar el acecho de los depredadores, lo que los pone en peligro al no poder reaccionar de manera rápida ante un ataque (Simpson *et al.*, 2016). Otros efectos importantes incluyen el desplazamiento de animales de sus zonas de desove o alimentación, cambios en sus capacidades de navegación y migración, y el abandono forzado de sus hábitats (Popper *et al.*, 2020). Adicionalmente, estos sonidos afectan negativamente el comportamiento social de los animales marinos, perturbando sus interacciones territoriales y reproductivas. Estudios demostraron que las hembras se muestran menos receptivas al cortejo de los

machos, y presentan una menor incidencia de desove en presencia de ruidos antropogénicos (Butler & Maruska, 2020).

Estos sonidos de origen humano también tienen la capacidad de superponerse a otras señales, haciendo que los animales tengan problemas para interpretarlas correctamente, o sean incapaces de detectarlas directamente (Radford *et al.*, 2014). Esta situación provoca cambios en su comportamiento ligados a la emisión o recepción de sonidos, lo que puede terminar entorpeciendo actividades como la comunicación, llamadas de apareamiento, e incluso la búsqueda de presas (Lindgren & Wilewska-Bien, 2016). Para contrarrestar la presencia de estas perturbaciones, muchos animales se ven obligados a cambiar algunos de sus hábitos; por ejemplo, emitir sus llamados en momentos más oportunos, en mayor cantidad o durante más tiempo. Sin embargo, dadas sus limitaciones fisiológicas, en muchas ocasiones los animales no son capaces de alterar la frecuencia o amplitud de sus llamados (Butler & Maruska, 2020).

Regulaciones sobre contaminación acústica submarina

En la actualidad, se ha logrado crear una mayor conciencia acerca del problema que representa la introducción de ruidos de origen humano en el entorno marino y el daño que ocasionan sobre las criaturas que lo habitan. Esto, a su vez, ha atraído la atención de los gobiernos y organizaciones, quienes, mediante acciones, recomendaciones, políticas y medidas de mitigación, han buscado combatir este problema (Chou *et al.*, 2021). Sin embargo, lograr una adecuada regulación de la contaminación acústica submarina se ve obstaculizada por una falta de información, ya que aún se desconocen en gran medida factores como la naturaleza del ruido submarino, la capacidad auditiva de los diferentes seres marinos y los efectos del ruido submarino en ellos. Cabe resaltar que los estudios acerca de estos factores son escasos actualmente (Markus & Sánchez, 2018).

Debido a ello, organizaciones como la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) y la Unión Europea empezaron hace algunos años a determinar límites acerca de la exposición a ruidos y los diferentes umbrales auditivos para diferentes especies. Esta última tarea resultó complicada, principalmente por la falta de datos acerca de los mecanismos auditivos de los animales en cuestión (Chou *et al.*, 2021). Por otro lado, dichas organizaciones, al igual que varios países, han buscado implementar leyes que permitan una mayor regulación de las actividades marítimas y reducir la contaminación acústica submarina que producen. En el caso de Estados Unidos y Canadá, estas leyes se han enfocado en proteger individualmente a los animales, en lugar de prevenir los daños generales (Colbert, 2020).

<https://bit.ly/3HqOZAL>

Aunque actualmente existen muy pocas formas de reducir el ruido que generan las actividades humanas en el océano, en ocasiones se aplican medidas para mitigar los efectos que este tiene sobre la vida marina. Por ejemplo, medidas de tipo espacio-temporal, como la restricción de actividades durante las temporadas de desove, o el monitoreo en tiempo real de los animales que se acerquen a la zona (Merchant, 2019). En otro orden de cosas, existen formas de reducir el ruido submarino producido por los barcos, como optimizar el diseño o realizar mantenimiento regular de las hélices, el casco y la maquinaria a bordo, elementos que son las principales fuentes de ruido en los barcos. Adicionalmente, una buena planificación de la ruta y una apropiada navegación de la nave pueden contribuir a dicha reducción (Vakili *et al.*, 2020).

COVID-19 y la contaminación acústica submarina

Con la llegada de la actual pandemia por la COVID-19, se implementaron una serie de medidas restrictivas que buscaban frenar la propagación del virus. Dichas medidas se enfocaron principalmente en aislar a las personas, una situación que tuvo un efecto económico devastador a nivel mundial (Kumar *et al.*, 2020). Esta paralización mundial afectó actividades humanas como los envíos comerciales, exploración de petróleo, actividades de construcción, uso de sonares y sobre todo las actividades turísticas mediante grandes cruceros. Sin embargo, esta situación tuvo un efecto positivo en el entorno marino, pues se experimentó una reducción significativa de ruido antropogénico en el mismo y, en consecuencia, un descenso en los niveles de estrés de los animales marinos (Kumar *et al.*, 2020; Loh *et al.*, 2021).

Se experimentó una reducción en el ruido sísmico de hasta 50 % en la primera mitad del 2020, y en general, el nivel de reducción de la contaminación acústica submarina propiciado por la pandemia de la COVID-19, en ese año, ha sido tan significativo que representa la mayor reducción a nivel global jamás registrada (Chahouri *et al.*, 2021). Por ejemplo, según estudios, el descenso en la actividad comercial entre China y Canadá causó una reducción de 1.5 dB en la densidad espectral media semanal de ruido en el océano profundo de la costa del Pacífico de este país durante el primer trimestre de 2020 (Thomson & Barclay, 2020). Estos bajos niveles medidos permitieron completar algunos catálogos sísmicos que no pudieron terminarse por la dificultad para detectar señales de ciertas fuentes (Chahouri *et al.*, 2021).

Dado este descenso en los niveles de ruido submarino, se espera que miles de especies de peces sensibles a ruidos tengan una mejor oportunidad para prosperar y llevar a cabo sus ciclos de desove sin los efectos negativos que se presentaban anteriormente (Loh *et al.*, 2021). Además, los mamíferos marinos serán capaces de navegar, comunicarse o cazar con una mayor facilidad sin ruidos externos

que se superpongan a las frecuencias necesarias para desarrollar sus actividades diarias (Meng *et al.*, 2021). No obstante, debe tenerse en cuenta que esta reducción experimentada es un evento de corto plazo; aun así, resulta importante desarrollar estrategias a largo plazo para mantener el nivel de ruido ambiental submarino dentro de los límites establecidos por las organizaciones pertinentes (Kumar *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

En los últimos años, las actividades industriales han experimentado un crecimiento sin precedentes a nivel internacional. Dentro de estas actividades se incluyen muchas que se desarrollan en cuerpos de agua, principalmente el océano. Aunque estas actividades resultan provechosas para el desarrollo de la economía mundial, durante mucho tiempo se ha ignorado el gran impacto que tenía el ruido generado sobre el desarrollo de la vida marina. Entre los principales efectos se han descrito desde cambios en el comportamiento, hasta daños a su integridad física. En ese sentido, la contaminación acústica submarina representa un importante riesgo para la vida de una gran variedad de especies marinas, al interferir con actividades diarias importantes como la comunicación, navegación o incluso atentar contra su supervivencia.

Por otro lado, a pesar de que la actual pandemia por la COVID-19 ha tenido un impacto positivo y restaurador en los niveles de ruido submarino en varias partes del orbe, se debe tener en cuenta que esta es una situación temporal. Para mantener bajos los niveles de ruido submarino alrededor del mundo, es importante priorizar los estudios orientados a obtener una información sobre la naturaleza del ruido submarino, la capacidad auditiva de los diferentes seres marinos y los efectos del ruido submarino en ellos. Dado el creciente interés por reducir la contaminación acústica submarina mundial, los datos obtenidos mediante dichos estudios resultan vitales para implementar leyes y regulaciones eficientes capaces de preservar adecuadamente los sonidos del océano.

REFERENCIAS

- Abrate, S. (2018). Coatings for Mitigating the Effects of Underwater Shock Waves on Structures. En S. Gopalakrishnan & Y. Rajapakse (Eds.), *Blast Mitigation Strategies in Marine Composite and Sandwich Structures* (pp. 321-335). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7170-6_17
- Audoly, C., Gaggero, T., Baudin, E., Folegot, T., Rizzuto, E., Salinas, R., André, M., Rousset, C. & Kellett, P. (2017). Mitigation of Underwater Radiated Noise Related to Shipping and Its Impact on Marine Life: A Practical Approach Developed in the Scope of AQUO Project. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 42(2), 373-387. <https://doi.org/10.1109/JOE.2017.2673938>
- Boebel, O., Burkhardt, E. & Van Opzeeland, I. (2018). Input of Energy/Underwater Sound. En M. Salomon & T. Markus (Eds.), *Handbook on Marine Environment Protection: Science, Impacts and Sustainable Management* (pp. 463-485). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60156-4_24
- Brusseau, M., Pepper, I. & Gerba, C. (2019). Chapter 1 – The Extent of Global Pollution. En M. Brusseau, I. Pepper & C. Gerba (Eds.), *Environmental and Pollution Science* (3.a ed.) (pp. 3-8). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00001-X>
- Butler, J. & Maruska, K. (2020). Underwater noise impairs social communication during aggressive and reproductive encounters. *Animal Behaviour*, 164, 9-23. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2020.03.013>
- Carroll, A., Przeslawski, R., Duncan, A., Gunning, M. & Bruce, B. (2017). A critical review of the potential impacts of marine seismic surveys on fish & invertebrates. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 9-24. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.038>
- Chahouri, A., Elouahmani, N. & Ouchene, H. (2021). Recent progress in marine noise pollution: A thorough review. *Chemosphere*, 132983. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132983>
- Chou, E., Southall, B., Robards, M. & Rosenbaum, H. (2021). International policy, recommendations, actions and mitigation efforts of anthropogenic underwater noise. *Ocean & Coastal Management*, 202, 105427. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105427>

- Colbert, B. (2020). Trends and developments in international regulation of anthropogenic sound in aquatic habitats. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(5), 3100-3107. <https://doi.org/10.1121/10.0001139>
- Erbe, C., Williams, R., Parsons, M., Parsons, S., Hendrawan, I. & Dewantama, I. (2018). Underwater noise from airplanes: An overlooked source of ocean noise. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 656-661. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.064>
- Farcas, A., Thompson, P. & Merchant, N. (2016). Underwater noise modelling for environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 57, 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.012>
- Häder, D.-P., Banaszak, A., Villafañe, V., Narvarte, M., González, R. & Helbling, E. (2020). Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: Emerging problems with global implications. *Science of The Total Environment*, 713, 136586. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136586>
- Halliday, W., Pine, M. e Insley, S. (2020). Underwater noise and Arctic marine mammals: Review and policy recommendations. *Environmental Reviews*, 28(4), 438-448. <https://doi.org/10.1139/er-2019-0033>
- Jalkanen, J.-P., Johansson, L., Liefvendahl, M., Bensow, R., Sigra, P., Östberg, M., Karasalo, I., Andersson, M., Peltonen, H. & Pajala, J. (2018). Modelling of ships as a source of underwater noise. *Ocean Science*, 14(6), 1373-1383. <https://doi.org/10.5194/os-14-1373-2018>
- Keen, K., Thayre, B., Hildebrand, J. & Wiggins, S. (2018). Seismic airgun sound propagation in Arctic Ocean waveguides. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 141, 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2018.09.003>
- Kumar, A., Malla, M. & Dubey, A. (2020). With Corona Outbreak: Nature Started Hitting the Reset Button Globally. *Frontiers in Public Health*, 8, 533. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.569353>
- Kunc, H., McLaughlin, K. & Schmidt, R. (2016). Aquatic noise pollution: Implications for individuals, populations, and ecosystems. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1836), 20160839. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0839>

<https://bit.ly/3HqOZAL>

- Kuşku, H., Yiğit, M., Ergün, S., Yiğit, Ü. & Taylor, N. (2018). Acoustic Noise Pollution from Marine Industrial Activities: Exposure and Impacts. *Aquatic Research*, 1(4), 148-161. <https://doi.org/10.3153/AR18017>
- Lindgren, J. & Wilewska-Bien, M. (2016). Anthropogenic Noise. En K. Andersson, S. Brynolf, J. Lindgren & M. Wilewska-Bien (Eds.), *Shipping and the Environment: Improving Environmental Performance in Marine Transportation* (pp. 229-235). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49045-7_6
- Loh, H., Looi, I., Ch'ng, A., Goh, K., Ming, L. & Ang, K. (2021). Positive global environmental impacts of the COVID-19 pandemic lockdown: A review. *GeoJournal*. <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10475-6>
- Markus, T. & Sánchez, P. (2018). Managing and Regulating Underwater Noise Pollution. En M. Salomon & T. Markus (Eds.), *Handbook on Marine Environment Protection: Science, Impacts and Sustainable Management* (pp. 971-995). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60156-4_52
- McQueen, A., Suedel, B., de Jong, C. & Thomsen, F. (2020). Ecological Risk Assessment of Underwater Sounds from Dredging Operations. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16(4), 481-493. <https://doi.org/10.1002/ieam.4261>
- Meng, O., Ghazali, A., Md Amin, R., Bhubalan, K., Jen, L., Tuan, T., Khalil, I., Assaw, S., Jaw, Y., Mohd, N., Jaafar, I., Wan, W., Mazlan, N., Jannah, M., Husin, M., Radin, R., Fasha, Z., Mengli, C. & Ab, M. (2021). Positive and Negative Effects of COVID-19 Pandemic on Aquatic Environment: A Review. *Sains Malaysiana*, 50(4), 1187-1198. <https://doi.org/10.17576/jsm-2021-5004-28>
- Merchant, N. (2019). Underwater noise abatement: Economic factors and policy options. *Environmental Science & Policy*, 92, 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.014>
- Nabi, G., McLaughlin, R., Hao, Y., Wang, K., Zeng, X., Khan, S. & Wang, D. (2018). The possible effects of anthropogenic acoustic pollution on marine mammals' reproduction: An emerging threat to animal extinction. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(20), 19338-19345. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2208-7>

- Patin, S. (2018). Offshore Oil and Gas Production and Transportation. En M. Salomon & T. Markus (Eds.), *Handbook on Marine Environment Protection: Science, Impacts and Sustainable Management* (pp. 149-164). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60156-4_8
- Peng, C., Zhao, X. & Liu, G. (2015). Noise in the Sea and Its Impacts on Marine Organisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 12304-12323. <https://doi.org/10.3390/ijerph121012304>
- Popper, A., Hawkins, A. & Thomsen, F. (2020). Taking the Animals' Perspective Regarding Anthropogenic Underwater Sound. *Trends in Ecology & Evolution*, 35(9), 787-794. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.05.002>
- Radford, A., Kerridge, E. & Simpson, S. (2014). Acoustic communication in a noisy world: Can fish compete with anthropogenic noise? *Behavioral Ecology*, 25(5), 1022-1030. <https://doi.org/10.1093/beheco/aru029>
- Rako-Gospić, N. & Picciulin, M. (2019). Chapter 20 - Underwater Noise: Sources and Effects on Marine Life. En C. Sheppard (Ed.), *World Seas: An Environmental Evaluation* (2.a ed.) (pp. 367-389). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00023-1>
- Robinson, S., Wang, L., Cheong, S.-H., Lepper, P., Marubini, F. & Hartley, J. (2020). Underwater acoustic characterisation of unexploded ordnance disposal using deflagration. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111646. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111646>
- Simpson, S., Radford, A., Nedelec, S., Ferrari, M., Chivers, D., McCormick, M. & Meekan, M. (2016). Anthropogenic noise increases fish mortality by predation. *Nature Communications*, 7(1), 10544. <https://doi.org/10.1038/ncomms10544>
- Solangi, H.-R. (2019). Undersea Noise Pollution and Harm: Source, Impacts and International Legal Control. *Chinese Journal of Environmental Law*, 3(2), 203-224. <https://doi.org/10.1163/24686042-12340042>
- Stanley, J., Van Parijs, S. & Hatch, L. (2017). Underwater sound from vessel traffic reduces the effective communication range in Atlantic cod and haddock. *Scientific Reports*, 7(1), 14633. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14743-9>

<https://bit.ly/3HqOZAL>

- Thomson, D. & Barclay, D. (2020). Real-time observations of the impact of COVID-19 on underwater noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(5), 3390-3396. <https://doi.org/10.1121/10.0001271>
- Tsouvalas, A. (2020). Underwater Noise Emission Due to Offshore Pile Installation: A Review. *Energies*, 13(12), 3037. <https://doi.org/10.3390/en13123037>
- Vakili, S., Ölcer, A. & Ballini, F. (2020). The development of a policy framework to mitigate underwater noise pollution from commercial vessels. *Marine Policy*, 118, 104004. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104004>
- Vannucchi, F. (2019). Survey on Experimental and Numerical Approaches to Model Underwater Explosions. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(1), 15. <https://doi.org/10.3390/jmse7010015>
- von Pein, J., Klages, E., Lippert, S. & von Estorff, O. (2019). A hybrid model for the 3D computation of pile driving noise. *OCEANS 2019 - Marseille*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/OCEANSE.2019.8867294>
- Walker, D., Baumgartner, D., Gerba, C. & Fitzsimmons, K. (2019). Chapter 16 – Surface Water Pollution. En M. Brusseau, I. Pepper & C. Gerba (Eds.), *Environmental and Pollution Science* (3.a ed.) (pp. 261-292). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00016-1>
- Wiggins, S., Krumpel, A., Dorman, L., Hildebrand, J. & Baumann-Pickering, S. (2021). Seal bomb explosion sound source characterization. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 150(3), 1821-1829. <https://doi.org/10.1121/10.0006101>
- Williams, R., Erbe, C., Dewantama, I. & Hendrawan, I. (2018). Effect on Ocean Noise: Nyepi, a Balinese Day of Silence. *Oceanography*, 31(2), 16-18. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.207>
- Zamora, C. (2021). Contaminación acústica marina. *Ecología y Desarrollo Sostenible*. <https://bit.ly/3GDPNBW>