

Contaminación Acústica Marina

Constanza Zamora Ávila^a

^a Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Latina de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica; constanza.zamora@ulatina.net Orcid: 0000-0003-2420-3171

Submitted: 23/4/2021 | **Peer reviewed:** 28/9/2021 | **Accepted:** 1/12/2021 | **Published:** 6/12/2021

Resumen

La evolución de la interacción humana con su entorno va en aumento, y con ello el surgimiento de más fuentes contaminantes. En este trabajo se pretende dar un entendimiento general de la contaminación acústica marina, respondiendo a cómo las actividades antropogénicas y la falta de sensibilización influyen en el desarrollo de las especies marinas. Al no ser visible ni acumulativa pareciera que su impacto no es tan grande, cuando en realidad sus efectos se extienden perjudicando hasta la fauna marina. A través de una revisión sistemática de artículos científicos en las bases de datos Plos One y ResearchGate mediante el portal de Google Scholar, en los idiomas inglés y español, se analizaron alrededor de 19 estudios de los cuales se extrajo información concerniente a la polución sónica, características de los sonidos submarinos, fuentes de ruido con origen antropogénico y el impacto en especies marinas. En conclusión, las interrupciones ruidosas de origen antropogénico obstaculizan las funciones vitales y de navegación de las especies expuestas a éstos; además de influir en cambios comportamentales, deterioro a su salud, entre otros.

Palabras clave: contaminación, sonido, ruido, impacto antropogénico, especies marinas

Mucho se habla respecto a la contaminación y su alcance, hoy en día. Desde hace unos siglos, es palpable la evolución de la interacción humana con su entorno, y consecuente a esto surgen nuevas fuentes contaminantes. Entre los medios afectados por este fenómeno se encuentra el mar, ese ecosistema acuático que permanece lleno de incógnitas para el ser humano y, por tanto, un creciente objeto de estudio en la

comunidad científica (André, van der Schaar, Zaugg, Houégnigan, Sánchez, y Castell, 2011).

Es un hecho que el ecosistema marino está inundado de sonidos, de origen tanto biológicos como geofísicos naturales (olas, lluvia, etc) . Sin embargo, este ecosistema se ve altamente perturbado producto de la contaminación acústica, generada por la presencia de ruido de origen antropogénico. Los cuales alteran negativamente la salud auditiva y física de los seres vivos que habitan una determinada zona (Saura, 2014).

En la actualidad, existe un creciente volumen de literatura científica donde se documentan los potenciales efectos y consecuencias secundarias en mamíferos marinos y, además, aborda leyes ambientales en el cuadro de protección de estas especies (Comisión de Mamíferos Acuáticos de Estados Unidos, 2007).

A pesar de la existente ambigüedad en cuanto a los efectos del ruido en cetáceos, existen proyectos internacionales como LIDO (Listening to the Deep Ocean Environment), que se encargan del monitoreo constante del ruido en el ecosistema marino para detectar las especies afectadas por éste (André et al, 2011).

André et al (2011) discuten los efectos perjudiciales en cetáceos a la sobreexposición de ruido y las principales fuentes, así como los métodos que utilizaron para estudiarlos; y muchos otros más con abundante información alrededor de este tópico.

Parte de que los principales responsables de la contaminación acústica marina continúen desarrollando proyectos que están afectando físicamente, alterando comportamientos y generando un trauma en sí a diversas especies, es debido a la falta de asesoría o ignorancia de este escenario perjudicial, principalmente, para cetáceos. El desarrollo de la vida submarina se podría ver beneficiado de los estudios que buscan dar a conocer y crear consciencia de la situación que experimentan los seres que habitan estas zonas. Para así, hallar la manera de producir un impacto menos negativo en el curso de sus vidas; a través de soluciones para alcanzar el equilibrio sonoro, las cuales son propuestas posteriormente a darse cuenta cuál es el panorama general.

La literatura sobre contaminación acústica precisa la grave repercusión de ésta sobre los ecosistemas.

Para obtener una comprensión más completa y centrada en la experiencia de la vida marina se requiere una recopilación de dicha información; por tanto, en este trabajo se

pretende dar un entendimiento general de la contaminación acústica marina y su impacto en la fauna que se aloja en los mares. De forma que se busque responder a la pregunta: ¿Cómo las actividades antropogénicas y la falta de sensibilización influyen en el desarrollo de las especies marinas?

Materiales y métodos

Se realizó una revisión sistemática de estudios científicos y literatura gris (reportes de sociedades científicas, libros, conferencias y material audiovisual) dedicados al impacto de las actividades humanas en el desarrollo de la vida marina.

En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda en Google Académico de documentos publicados acerca de la contaminación acústica marina, tanto en contexto de investigación práctica como teórica, dentro del marco internacional. La búsqueda se hizo en idiomas español e inglés, y utilizando las palabras clave "Contaminación acústica", "Impacto antropogénico", "Especies marinas", "Vulnerabilidad al ruido", "Consecuencias fisiológicas y comportamentales". Posteriormente, se efectuó una inspección de las referencias bibliográficas de los artículos previamente seleccionados, en busca de más estudios relacionados al tema central.

Se aplicó como criterio de inclusión que los estudios incluyeran conceptos clave de la problemática, las consecuencias directas sufridas por el entorno biológico y el comportamiento físico del sonido en el medio acuático. El criterio de básico de exclusión fue que los documentos profundizaran mucho en el ámbito legal de conservación y salud. Tras la primera búsqueda se recopilaron 9 publicaciones, de los cuales 3 fueron excluidos por falta de información relevante para esta revisión. Luego de un análisis en los mismos documentos, se eligieron finalmente 18 artículos, 1 libro y 1 video.

La información analizada se estructuró en cuatro apartados: qué es la contaminación acústica, qué caracteriza a los sonidos submarinos, cuáles son las fuentes antropogénicas del ruido en océanos y de qué manera impacta la polución sónica en las especies marinas. De las investigaciones examinadas se extrajo información sobre elaboración del estudio, sujetos, resultados de experimentación, teoría de conceptos, interpretación de los resultados, conclusiones.

Resultados y Discusión

¿Qué es la contaminación acústica?

Al descomponer la frase se obtienen la palabra "contaminación", relacionada a una acción negativa y perjudicial que degrada el ambiente, y el vocablo "acústica", comúnmente asociado a sonidos, ruidos y la percepción de éstos. Lo que lleva a precisar su significado, de acuerdo con Saura (2014), como un exceso de ruido provocado por actividades humanas que perturba una determinada zona. Para Kryter (1985, citado por Peña, 2011): "el ruido es definido como energía acústica audible que afecta de manera adversa al bienestar fisiológico-psicológico de las personas". Además, se podría ampliar el concepto a que los afectados sean seres vivos en general, de forma que sean incluidos humanos, fauna y flora.

Y, específicamente, el tipo de contaminación abordado en este estudio se refiere a este suceso, pero, bajo el agua. Siendo así, un fenómeno ligeramente distinto ya que las propiedades del sonido varían según el medio y, asimismo, el impacto ejercido y en qué organismos.

El humano, al no estar adaptado a las condiciones del medio acuático, ha desarrollado actividades económicas e investigativas en los litorales que han irrumpido esas condiciones naturales, al agregar ruidos abióticos al entorno submarino. Esa falta de percepción del ruido de labores de extracción de gas y petróleo, transportes marítimos, sonares y otras (Comisión de Mamíferos Marinos, 2007) de la forma cómo lo experimentan, por ejemplo, los cetáceos, es lo que perpetúa la contaminación acústica sin control alguno.

Por consiguiente, el movimiento de protección de la vida marina busca llegar más allá de comprender lo que les toca vivir a estas poblaciones expuestas a los contaminantes sonoros. Es decir, considera importante el hecho de continuar investigando los efectos secundarios, así como modificar esas estrategias aplicadas actualmente que están provocando daños, para alcanzar ese punto de equilibrio en el que la convivencia entre humanos y resto de individuos dentro del ecosistema sea armónica y no perjudicial para ninguna de las partes.

¿Qué caracteriza a los sonidos submarinos?

Al discutir energía acústica, en términos físicos, la descripción de la propagación de una onda sonora consiste en: "compresiones y rarificaciones alternas de moléculas dentro de un medio elástico (líquido o gas o sólido), que son detectadas por un receptor como cambios de presión." (Simmonds, Dolman y Weilgart, 2003, p.12).

Para una mayor facilidad en el estudio, y al realizar comparaciones, de esas vibraciones acústicas, éstas son identificadas por elementos tales como la frecuencia, velocidad, amplitud, intensidad y longitud de onda (Simmonds et al, 2003); véase la Tabla 1 con dichas características listadas junto a su unidad de medida correspondiente. Particularmente, al viajar a través del medio marino también se podrían considerar factores como temperatura, profundidad y salinidad de las aguas (Saura, 2014).

Tabla 1

Las características del sonido y sus correspondientes unidades de medida

| Característica | Unidad |
|----------------------|--|
| Frecuencia (f) | Hertz (Hz) |
| Velocidad (c) | Metros por segundo (m/s) |
| Amplitud (a) | Metros (m) |
| Intensidad | Vatio por metro cuadrado (W/m ²) |
| Longitud de onda (λ) | Metros (m) |

Basado en el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Existe una principal diferencia entre el viaje del sonido por el agua o por el aire, que marca distinciones claras en el proceso evolutivo atravesado por los organismos, para así, desarrollar estructuras mejor adaptadas al medio en el que se encuentren. Este factor es la velocidad; la efectividad de recorrido de las ondas sonoras vía acuática es superior que por vía aérea, bien lo expresa André (2017) cuando recalca que el sonido viaja 5 veces más rápido en el agua en comparación a cuando viaja en el aire.

Este contraste puede ser evidenciado con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (1)$$

En la ecuación 1, la "B" representa la propiedad elástica del medio y "ρ" (rho) la densidad del medio. Y estos valores varían según la temperatura, presión y salinidad a la que se pretenda hacer el

cálculo, sin embargo, con la operación más sencilla y valores estándares se puede evaluar como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2

Estimación de la velocidad del sonido en agua salada y aire

| Medio | B | ρ | c |
|--------------|-------------------------|-------------------------------------|----------|
| Agua salada | 2,25x10 ⁹ N | 1x10 ³ kg/m ³ | 1500 m/s |
| Aire | 1,41 x10 ⁸ N | 1,29x10 ³ kg/m | 331 m/s |

*Los resultados son aproximados, a una temperatura de 0 °C y presión de 1 atm.

De donde se puede interpretar que la propagación de las ondas acústicas por medio del aire es más lenta que por medio del agua. Fenómeno explicado por el mismo concepto de sonido, que la velocidad de viaje depende de cómo se deje comprimir ese medio elástico al ejercer presión la onda.

La intensidad puede medirse en la escala de W/m², sin embargo, es más común utilizar las unidades de decibeles (dB) para estudiar estas diferencias de presión; al expresarse en decibelios el resultado es dado en una relación logarítmica respecto a un valor de referencia (García, 1988). Cuando se analizan los sonidos submarinos, tanto los naturales de fondo como el ruido, es más sencillo primeramente detectar los cambios de presión y luego interpretarlo en intensidad. Y de la intensidad se entiende que es la medida de la energía mecánica por unidad de superficie en la dirección de propagación (Simmonds et al, 2003).

Según la dirección de propagación de las ondas bajo el agua, éstas se clasifican como longitudinales, es decir, el avance de la vibración de la onda concuerda con la dirección de propagación. Y se sobreentiende que son clasificadas como ondas mecánicas, porque se exige la existencia de un medio elástico para propagarse (García, 1988).

¿Cómo es percibido este sonido?

Entre la fauna marina, los que cuentan con una percepción del sonido más eficiente se podría concluir que son los cetáceos por su complejo sistema auditivo, comprobado ser mucho más sensible que el oído humano. Mooney, Yamato y Branstetter (2012) determinaron, después de comparar múltiples estudios, que los rangos de audición y sensibilidad de odontocetos presenta una gran diversidad según las diferencias entre especies y variaciones individuales.

Una prueba de esa sensibilidad acústica, particularmente en la especie *Phocoena phocoena* conocida vulgarmente como marsopa común, es precisada en los audiogramas analizados por Kastelein, Bunskoek, Hagedoorn, Au y de Haan (2002). De los cuales se interpreta que las marsopas de puerto tienen capacidades auditivas de 0,25 a 180 kHz, con una máxima sensibilidad entre 100 y 140 kHz. Las vocalizaciones de los cetáceos también permiten darse una idea de su perceptibilidad auditiva, como indican Simmonds et al (2003), y en tal caso éstas se extienden en un amplio rango de frecuencias desde los 130-150 kHz de los pulsos ultrasónicos de las marsopas hasta 10-15 kHz en los gemidos de ballenas azules.

Es decir, lo que para algunos seres humanos ya es un sonido molesto por su volumen, tono y duración, para las especies marinas con una audición más sensibilizada es un fenómeno aún más desagradable. La percepción del sonido en especies marinas ha sido considerada un don admirable por la cantidad de beneficios para su propio desarrollo bajo el agua, mientras que ante la contaminación acústica es una gran desventaja y los mantiene más expuestos a consecuencias negativas.

¿Cuáles con las principales fuentes antropogénicas del ruido en océanos?

Los océanos contienen sonidos naturales que ya forman parte de su ecosistema, de igual manera, las actividades desarrolladas por humanos cerca de estas zonas aportan aún más ruido. Entre estos ruidos ambientales se encuentran procesos físicos: el movimiento de placas tectónicas (generado por sismos o erupciones volcánicas), el viento, las olas del mar, la lluvia; y ruidos biológicos: la vocalización de mamíferos marinos y peces (Simmonds et al, 2003).

Por otra parte, la lista de fuentes antropogénicas de ruido es amplia y diversa. Por ejemplo, el mayor impacto se le retribuye a acciones en la categoría de construcciones, producciones de gas y petróleo, transporte, sonares e investigaciones científicas (Saura, 2014). Igualmente, la Comisión de Mamíferos Marinos (2007), destaca que las causas dominantes de contaminación sonora son la navegación comercial y los estudios sísmicos asociados con la exploración para petróleo y gas.

- En cuanto a construcciones, se incluyen esos trabajos para fabricar túneles, los dragados para aumentar la profundidad de canales y para minería submarina (Saura, 2014). Asimismo, recientemente, un importante contaminante ha sido la construcción, precisamente, de granjas eólicas en el océano (Simmonds y Brown, 2010).

- Durante el proceso de exploración, instalación y producción de gas y petróleo se producen constantes sonidos molestos que trascienden largas distancias submarinas. Ya sea durante los procesos de perforación, colocación de tuberías, bombeo, generación de energía y hasta cuando se transportan las maquinarias y personal (Simmonds et al, 2003).

- Con respecto al transporte, así sea por vía marítima o vía aérea representa una gran porción del ruido en ambiente submarino. Las embarcaciones contribuyen a esto con el sonido que producen sus motores, bombas, sistemas de propulsión, hélices y equipos eléctricos (Saura, 2014). Particularmente, los navíos para navegación comercial ocasionan estruendos mediante la cavitación de la hélice, el flujo hidráulico sobre el casco, la maquinaria de propulsión y la flexión del casco (Comisión de Mamíferos Marinos, 2007). Del mismo modo, ese siseo de los buques se debe a la cavitación de la hélice; la cual al girar crea regiones de baja presión en sus extremos y cuando estas presiones negativas son muy fuertes forman burbujas, al colapsar estas burbujas contra la misma superficie de la hélice ocasionan ese fuerte silbido (Simmonds et al, 2003).

Por otro lado, los aviones interrumpen con el ruido de sus máquinas de pistón, turbinas, hélices y rotores. Y al ser una transmisión aire-agua las características del sonido submarino son distintas,

y si el ángulo entre la línea del avión y el nivel del agua es mayor a 13° se comporta como una superficie reflectante, por lo que, el sonido no penetra en las profundidades marinas (Saura, 2014).

- Los sistemas de sonares son mayoritariamente utilizados para actividades navales y pesqueras (Simmonds et al, 2014), y presentan rangos de frecuencia muy variables. Incluso, una innovadora tecnología de sonares de baja frecuencia activa (con las siglas anglosajonas LFAS) está siendo desarrollada por Estados Unidos y otros países, con el propósito de detectar submarinos a cientos de kilómetros (Comisión de Mamíferos Marinos, 2007). Conforme a lo escrito por Cihlar (2004), esta reportado que dicha tecnología de LFAS ha causado la muerte directa de ballenas debido al sangrado interno por exposición a estas ondas sonoras.
 - Otro importante contribuyente son los estudios sísmicos, llevados a cabo para el monitoreo de las reservas de combustibles fósiles y para indagar en la geología del fondo marino (Comisión de Mamíferos Marinos, 2007).

¿De qué manera impacta la polución sónica en las especies marinas?

Las especies que habitan bajo el agua son obligadas a desarrollarse en un medio donde el sonido se propaga mejor que en cualquier otra forma de energía, gracias a esto han evolucionado para así aprovechar de esta eficacia del viaje del sonido (André, Houégnigan, van der Schaar, Delory, Zaugg, Sánchez, y Mas, 2014). Además, la deficiencia de luz en estos fondos submarinos ha contribuido a que la fauna marina dependa aún más del sonido para funciones vitales como: alimentación, reproducción, comunicación y navegación (Simmonds, Dolman, Jasny, Parsons, Weilgart, Wright, y Leaper, 2014).

Qué tanto el ruido antropogénico interrumpe en el curso de sus vidas es relativo, bien lo establece André (2017) cuando aclara que conlleva tiempo de estudio para analizar todas las variables y aunque en ocasiones no es tan claro un cambio en la respuesta comportamental, tampoco se puede asumir que no haya consecuencias biológicas a esta exposición constante de ruidos fuertes. Por consiguiente, la cuestión es si es posible que el ruido interfiera en sus habilidades para ejecutar actividades normales o hasta causarles daños físicos que comprometan su supervivencia (André et al, 2011).

La contaminación acústica marina puede tener efectos muy perjudiciales en los organismos que pueblan este ecosistema. Puntualmente, una consecuencia directa es, de acuerdo con Simmonds et al (2003), cambios en el comportamiento a corto plazo. Lo cual influye en cómo socializan,

vocalizan, bucean hasta afecta sus patrones alimenticios, incluso se ha documentado de algunos cetáceos que abandonan sus hábitats para huir del ruido. Estas perturbaciones son significantes cuando son repetidas y de larga duración, ya que se induce estrés, debilidad y por último la muerte. El estrés busca tensar al espécimen y esto lo logra al amenazar o perturbar la homeostasis (equilibrio dinámico) de los animales a través de estímulos intrínsecos o extrínsecos. Los factores estresantes tras de alterar la homeostasis, generan respuestas conductuales y fisiológicas para poder superar la amenaza (Wendelaar-Bonga, 1997).

De esta manera, está claro como el ruido, aunque en primera instancia no parezca ser un arma tan peligrosa, de una u otra forma ocasiona un impacto en quienes están expuestos a este. Por ejemplo, los ensordecedores sonidos que acompañan una embarcación podrían desorientar a los individuos y consecuentemente, según André (2017), ellos chocan contra las estructuras metálicas y a partir de ahí se desencadenan una serie de eventos nocivos para su salud física. O en otras ocasiones, el ruido sí produce un trauma directo evidente solo que la humanidad no se percata o decide no hacerlo para continuar con ciertas actividades, tal es el caso del uso de sonares; así como, Cihlar (2004) expresa que la exposición de las ballenas a los sonares de baja frecuencia activa podrían generar graves daños a sus sistemas inmunes, además de darles la sensación de estarse cocinando como en un microondas.

Entre otros síntomas experimentados por cetáceos y otras especies marinas se encuentran la elevación de cortisol plasmático como indicador de estrés e interferencia en cómo utilizan sonidos para su comunicación y navegación (André et al, 2014). Esta sobreexposición acústica obstaculiza la reproducción, ya que interrumpe el envío de sus llamados, y ecolocación, por lo que complica su manera de orientarse y buscar comida.

Al estudiar estos efectos negativos en distintas especies, se debe focalizar la investigación a un área determinada y analizar los datos de un rango de tiempo suficiente como para obtener indicios de patrones de cambio constantes. Un ejercicio naval conocido como Neo-Tapon, llevado a cabo en 2002 a más de 100 kilómetros al norte de las Islas Canarias, fue precisamente objeto de estudio para examinar su efecto en los cetáceos llamados ballenas picudas. En donde recuperaron los cuerpos de varias ballenas ya descompuestas, de las cuales pudieron realizar deducciones tras exámenes postmortem y estudios hispatológicos. De las diez ballenas picudas inspeccionadas: ocho eran *Ziphius cavirostris*, una *Mesoplodon densirostris* y una *Mesoplodon europaeus*. En estos animales se encontraron embolias sistemáticas de grasa muy raras para

cetáceos varados, y la interpretación corresponde a sugerir que las ballenas picudas son conductual o fisiológicamente susceptibles a los efectos del ruido (Fernández, Edwards, Rodríguez, Espinosa, Herráez, Castro, Jaber, Martín y Arbelo, 2005).

Otro estudio dirigido en la Bahía de California del Sur señala cambios en el comportamiento de una población de ballenas azules, de la especie *Balaenoptera musculus*. En condiciones usuales estas ballenas en peligro de extinción producen sonido de baja frecuencia, es decir, iguales o menores a 100 Hz y éstos son asociados a la búsqueda de alimento tanto para machos como para hembras. Sin embargo, cuando un sonar activo de media frecuencia estaba a sus alrededores, las ballenas azules disminuyeron el tiempo dedicado a producir estos llamados (Párraga, Moore y Fahlman, 2018).

Una síntesis de algunos de las principales consecuencias de la contaminación acústica marina se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 3

Posibles impactos de la polución sónica

| | |
|---------------------|--|
| Fisiológicos | <u>Auditivos:</u> Daño a tejido corporal (ej. hemorragias internas, rupturas de tejido pulmonar) Embolia |
| | <u>No Auditivos:</u> Daño grave a los oídos Desplazamiento permanente o temporal del umbral de audición |

| | |
|-------------------------------|--|
| Con relación al estrés | <p>Viabilidad comprometida de los individuos</p> <p>Supresión del sistema inmunológico, y vulnerabilidad a enfermedades</p> <p>Disminución de la tasa de reproducción</p> <p>Encallamiento</p> <p>Interrupción de comportamientos normales como alimentación y crianza</p> <p>Pérdida de eficiencia (ej. llamadas de apareamiento menos efectivas)</p> |
| Perceptivos | <p>Enmascaramiento de la comunicación con conespecíficos</p> <p>Enmascaramiento de sonidos biológicos importantes, como llamadas de depredadores</p> <p>Interferencia con la capacidad de interferir acústicamente el ambiente</p> <p>Interferencia con la búsqueda de alimentos</p> |
| Crónicos | <p>Efectos acumulativos y sinérgicos</p> <p>Sensibilización del ruido</p> <p>Habitación al ruido, causando que permanezcan cerca de niveles de ruido perjudiciales</p> |
| Indirectos | <p>Degradación de la calidad y disponibilidad de hábitats</p> <p>Reducción de disponibilidad de presas</p> |

Fuente: " An updated note on the vulnerability of cetaceans to acoustic disturbance", de Dolman y Simmonds, 2006, Whale and Dolphin Conservation Society, 58, p.2.

Por otro lado, estas víctimas también buscan adaptarse y luchar contra los fuertes y molestos sonidos. Tal es la situación documentada por Melcón, Cummins, Kerosky, Roche, Wiggins y Hildebrand (2012) cuando detectaron que los llamados entre ballenas azules aumentaron junto con su frecuencia y el nivel de presión de sonido, ya que buscaban seguir comunicándose a pesar del sonido de banda ancha proporcionado por barcos.

Algo semejante ocurre con las ballenas estudiadas por Williams, Bain, Ford y Trites (2002), más en términos de ajustar su desplazamiento. Al momento de pasar un buque, éstas persiguieron una trayectoria menos directa que la anteriormente reportada que cuando las habían avistado bajo condiciones normales. Además, no fueron evidentes cambios comportamentales, con excepción de una respuesta de las ballenas orcas masculinas a sonidos con niveles aproximados de 116dB. No obstante, esos aparentemente pequeños ajustes podrían alterar mucho más de lo que los humanos están preparados a culparse por. Inclusive influenciar cómo responden ante amenazas biológicas que surgen por vivir en mar abierto, causando repercusiones en su salud y esperanza de vida. Se puede ilustrar con el ejemplo de la capacidad de limitar la captación de nitrógeno para así evitar émbolos gaseosos en vertebrados marinos y cómo ésta ha sido afectada. Simmonds et al (2003) describe esta formación de burbujas por concentraciones de gas disueltos en la sangre y órganos como enfermedad de descompresión. Entonces, las tortugas marinas, cetáceos, y otros mamíferos marinos buceadores comprimen sus pulmones motivando el colapso de los alvéolos para bloquear el intercambio de gases en las profundidades, de manera que no se forman émbolos gaseosos cuando ascienden y, por tanto, tampoco sufren de síntomas de la enfermedad de descompresión. Pese a lo cual, la polución sónica generada por un sonar de frecuencia media ha sido asociada a émbolos gaseosos y severas lesiones en ballenas picudas, cachalotes, focas, tortugas y delfines (Párraga et al, 2018).

Finalmente, una actividad antropogénica de la cual se obtienen gran cantidad de beneficios y superficialmente se podría considerar amigable con el ambiente es la producción de energía renovable, particularmente la marina. La industria concerniente a esta actividad también tiene un impacto sonoro en el ecosistema submarino. Conforme a Simmonds y Brown (2010), durante la operación de turbinas u otras estructuras, mantenimiento de buques, dragado, perforación, explosiones y más acciones contribuyen a originar una nube de ruido. A pesar de ello, es rescatable un resultado positivo de esto y es que la zona ocupada por ese conjunto de dispositivos de energía renovable puede convertirse en un área protegida, donde la pesca y el transporte marítimo serían limitados o excluidos.

Conclusión.

En la revisión llevada a cabo se ha intentado englobar las principales consecuencias del ruido antropogénico en la vida marina, así como sus fuentes y características. Mientras que se incita a crear conciencia acerca del impacto tan negativo que la contaminación acústica tiene sobre el curso natural del ecosistema marino. La educación ambiental necesita de ejemplos concretos de lo que experimentan estos seres vivos para conmover a la sociedad, igualmente se requiere de su difusión en eventos y campañas de sensibilización orientadas a esta temática.

La carencia de responsabilidad y de determinación para proponer soluciones a la problemática enfrentada en los mares en cuanto a la contaminación acústica debido a actividades antropogénicas, son conductas que amenazan con perpetuar este desinterés en la preservación de la vida marina. Al exponer la dolorosa cotidianeidad de algunas especies, se aspira a que surjan movimientos o al menos opiniones para iniciar esta fundamental discusión y proponer alternativas que se preocupen tanto por el progreso humano como por el de estos animales acuáticos.

La eficacia del viaje del sonido a nivel submarino es un factor del cual depende la fauna marina para su desarrollo en general, debido a la falta de luz en los fondos oceánicos estas especies evolutivamente han adoptado medidas para que el sonido sea su guía. Es decir, el sonido es una gran base que les permite desde comunicarse entre sí hasta orientarse para navegar, incluyendo todas las funciones que se podrían derivar de estas actividades.

Por lo tanto, las interrupciones ruidosas alteran el orden y cómo se desenlazan sus acciones vitales. Las fuentes de origen antropogénico como construcciones, extracciones de gas y petróleo, el transporte marítimo y aéreo, los sonares e investigaciones invasivas producen molestos y fuertes sonidos que obstaculizan los procesos de reproducción, alimentación, comunicación y navegación de las especies expuestas a éstos.

Igualmente, al contar con un sistema auditivo tan sensible corren riesgo de ser perjudicados físicamente, ya que la exposición de los animales a estos ruidos influye en cambios comportamentales, deterioro a sus oídos, desorientación, inducción de estado de estrés, vulneración a su sistema inmune, enfermedad de descompresión, entre otros que aún siguen en estudio o tan siquiera se han propuesto como daños colaterales.

En suma, el hecho de que este tipo de polución no sea visible para los humanos ni sea acumulativa porque su impacto es inmediato, aunque con repercusiones a largo plazo, es lo que la hace un arma peligrosa y silenciosa contradictoriamente. Las repercusiones generadas en las vidas de ballenas, delfines, tortugas, focas, cachalotes y demás especies marinas son tangibles y documentables, por ello, representan el mejor bioindicador de los efectos de la contaminación acústica marina.

Referencias

André, M. [European Environment Foundation]. (2017, Marzo 17). Listening to the Deep-Ocean - Michel André, Spain (ICEL 2017). Recuperado de:

<https://www.youtube.com/watch?v=E5SikudvcV0>

André, M., Houégnigan, L., van der Schaar, M., Delory, E., Zaugg, S., Sánchez, A. M. y Mas, A. (2011). Localising Cetacean Sounds for the Real-Time Mitigation and Long-Term Acoustic Monitoring of Noise. Strumillo, P. (Ed.). *Advances in Sound Localization* (pp. 545-574). Barcelona, España: InTech. DOI: 10.5772/14371

André, M., van der Schaar, M., Zaugg, S., Houégnigan, L., Sánchez, A.M. y Castell, J.V. (2011). Listening to the Deep: Live monitoring of ocean noise and cetacean acoustic signals. *Marine Pollution Bulletin*: 63, 18-26.

Carrasco-Acosta, M. (2011). Estudio sobre el estrés producido por contaminación acústica antropogénica en el comportamiento de *Carassius aurata* (Pisces: Cyprinidae). *Anales Universitarios de Etología*: 5, 7-13.

Cihlar, N. (2004). The Navy and Low Frequency Active Sonar: Stripping the Endangered Species Act of Its Authority. *William & Mary Law School Scholarship Repository*: 28(3), 913-949. Recuperado de: <https://scholarship.law.wm.edu/wmelpr/vol28/iss3/7>

Dolman, S. y Simmonds, M. P. (2006). An updated note on the vulnerability of cetaceans to acoustic disturbance. *Whale and Dolphin Conservation Society*: 58, 1-11.

Fernández, A., Edwards, J. F., Rodríguez, F. y Espinosa, A. (2005). "Gas and Fat Embolic Syndrome" Involving a Mass Stranding of Beaked Whales (Family Ziphiidae) Exposed to Anthropogenic Sonar Signals. *Veterinary Pathology*: 42 (4), 446-457.

García, A. (1988). La contaminación acústica. [e-book]. Recuperado de: <https://books.google.co.cr/books?id=A6F7BAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=contaminación+acústica+amando+garcia&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwUjO L5KXrAhUlp1kKHVL0BDwQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=contaminación%20acústica%20amando%20garcia&f=false>

Kastelein, R. A., Bunskoek, P., Hagedoorn, M., Au, W. L. y de Haan, D. (2002). Audiogram of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) measured with narrow-band frequency-modulated sounds. *The Journal of Acoustical Society of America*: 112 (1), 334-344. DOI: 10.1121/1.1480835

Marine Mammal Commission. (2007). Marine Mammals and Noise: A Sound Approach to Research and Management. Recuperado de: <https://www.mmc.gov/wp-content/uploads/fullsoundreport.pdf>

Melcón, M. L., Cummins, A. J., Kerosky, S. M., Roche, L. K., Wiggins, S. M. y Hildebrand J. A. (2012). Blue Whales Respond to Anthropogenic Noise. *PLOS ONE*: 7 (2). Recuperado de: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032681>

Mooney, T. A., Yamato, M. y Branstetter, B. K. (2012). Hearing in Cetaceans: From Natural History to Experimental Biology. *Advances in Marine Biology*: 63, 197-234. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-394282-1.00004-1>

Párraga, D., Moore, M. y Fahlman, A. (2018). Pulmonary ventilation– perfusion mismatch: a novel hypothesis for how diving vertebrates may avoid the bends. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences*: 285 (1877), 1-9. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.0482>

Peña, F. (Ed.). (2011). Manual de Técnico de Medio Ambiente. Recuperado de: http://www.medioambienteysalud.com/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=755&Itemid=&lang=es.

Saura, F. J. R. (2014). La Contaminación Acústica Submarina: Fuentes e Impacto Biológico. Sociedad Anónima de Electrónica Submarina (SAES).

Simmonds, M. P. y Brown, V. (2010). Is there a conflict between cetacean conservation and marine renewable-energy developments? *Wildlife Research*: 37, 688-694.

Simmonds, M. P., Dolman, S., Jasny, M., Parsons, C., Weilgart, L., Wright, A. y Leaper, R. (2014). Marine Noise Pollution-increasing recognition but need for more practical action. *The Journal of Ocean Technology*: 9 (1), 71-90.

Simmonds, M.P., Dolman, S. y Weilgart, L. (2003). Oceans of noise: A WDCS Science Report. Whale and Dolphin Conservation Society ,1-164.

Wendelaar-Bonga, S. E. (1997). The Stress Response in Fish. *Physiological Reviews*: 77 (3), 591-625.

Williams, R., Bain, D., Ford, J. y Trites, A. (2002). Behavioural responses of male killer whales to a leapfrogging vessel. *Journal of Cetacean Research and Management*: 4 (3), 305-310.