

Discovery of
Sound in the Sea

La traducción al español

En la página web *Descubrimiento del Sonido en el Mar* (www.dosits.org) y recursos educativos asociados, proveen información sobre la ciencia del sonido en el mar, cómo las personas y animales utilizan el sonido bajo el agua y los efectos del sonido en la vida marina. También hay tecnología, audio, y galerías de los científicos, así como secciones especiales para educadores, estudiantes y los medios de comunicación.

Contenido

Importancia del Sonido en el Mar,	3
Ciencia del Sonido,	4
Personas y el Sonido en el Mar,	6
Animales y el Sonido en el Mar,	9
Efectos del Sonido en Animales Marinos,	13
Recursos de Descubrimiento del Sonido en el Mar,	16

Agradecimientos

En la página web *Descubrimiento del Sonido en el Mar* y recursos educativos han sido desarrollados por la Universidad de Rhode Island (University of Rhode Island/URI), Escuela Graduada de Oceanografía (Graduate School of Oceanography/GSO) en colaboración con Acústica Marina, Inc. (Marine Acoustics, Inc./MAI) de Middletown, RI. Muchas otras personas contribuyeron con esta página, incluyendo revisores científicos independientes y diez maestros de escuela de Rhode Island. Un agradecimiento especial al Dr. Peter Worcester de la Institución de Oceanografía de Scripps por su significativa contribución. *El Proyecto Descubrimiento del Sonido en el Mar* ha sido financiado desde 2002 por la Oficina de Investigación Naval. Otros colaboradores son reconocidos a continuación.

Personal de la Escuela Graduada de Oceanografía (Graduate School of Oceanography)

Gail Scowcroft, Directora del Proyecto
Christopher Knowlton, Asociado de Investigación Marina
Holly Morin, Asociada de Investigación Marina
Darrell McIntire, Diseñador Gráfico

Acústica Marina, Inc. (Marine Acoustics, Inc.)

Kathleen Vigness Raposa, Científica Experta

Traducido por

Daisy Durant, Ph.D., Reserva Nacional de Investigación Estuarina de la Bahía de Narragansett

Revisores científicos

Dr. Danielle Cholewiak, NOAA Centro de Ciencia en Pesquería del Noreste (NOAA Fisheries)
Dr. Darlene Ketten, Institución Oceanográfica de Woods Hole (Woods Hole Oceanographic Institution)
Dr. James Miller, Universidad de Rhode Island (University of Rhode Island)
Dr. Arthur Popper, Universidad de Maryland (University of Maryland)
Dr. Jacqueline Webb, Universidad de Rhode Island (University of Rhode Island)
Dr. Peter Worcester, Institución de Oceanografía de Scripps (Scripps Institute of Oceanography)

© 2015 Universidad de Rhode Island (University of Rhode Island)
Si desea citar este documento, por favor hacer referencia como sigue:
Scowcroft, G., Vigness-Raposa, K., Knowlton, C., y Morin, H.
2012. Discovery of Sound in the Sea. University of Rhode Island.

Importancia del Sonido en el Mar

Los sonidos producidos por animales marinos, procesos naturales, y actividades humanas llenan los océanos del mundo. Debido a que el agua es un medio eficaz para la transmisión de sonido, animales marinos y personas usan el sonido como una herramienta para encontrar objetos, navegar, y comunicarse bajo el agua.

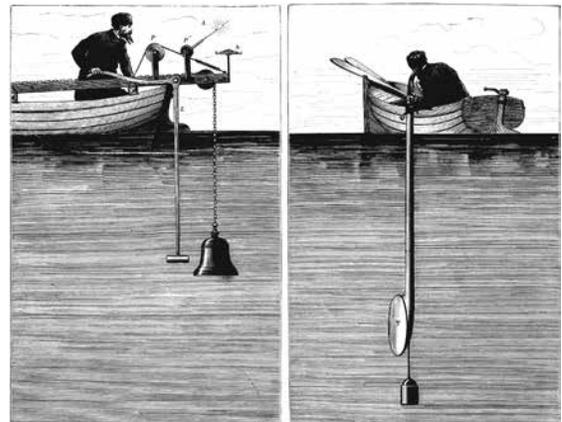
El sonido recorre distancias mucho mayores que la luz bajo el agua. La luz viaja sólo unos cientos de metros en el océano antes de que se absorba o disperse. Incluso donde hay luz es más difícil ver a lo lejos bajo el agua comparado con el aire, limitando la visión en el ambiente marino. Además de la visión, muchos animales terrestres dependen en gran medida de señales químicas y el sentido del olfato para las funciones importantes de la vida (como marcar límites territoriales). Las señales olfativas están restringidas en el ambiente marino. Algunos peces utilizan el olfato para detectar arrecifes cercanos, pero en general, el olfato es menos importante para muchas especies marinas que para los mamíferos terrestres. El sonido submarino les permite a los animales marinos recopilar información y comunicarse a grandes distancias. Muchos animales marinos dependen del sonido para la supervivencia y dependen de adaptaciones que les permiten percibir su entorno acústicamente, comunicarse, buscar comida, y protegerse bajo el agua..

Además de la variedad en los sonidos que ocurren en la naturaleza (por ejemplo, el romper de las olas, rayos, terremotos) y los sonidos hechos por animales marinos, hay muchas fuentes de sonidos antropogénicos (generados por humanos) en los océanos. Los sonidos en el mar puede ser un subproducto de actividades humanas. Por ejemplo, más del noventa por ciento del comercio mundial depende de transporte a través de los mares, el cual produce una gran cantidad de ruido subacuático.

No todos los sonidos antropogénicos son un subproducto de las actividades humanas. Algunos sonidos submarinos se utilizan intencionalmente con una gran variedad de propósitos valiosos e importantes. Los sistemas de sonar utilizan ondas sonoras para producir mapas del fondo marino y trazar posibles peligros para la navegación, localizar reservas petrolíferas e identificar objetos sumergidos. Para la comunidad científica, el sonido submarino es fundamental en la determinación de las propiedades básicas de los océanos y el estudio de los animales que viven allí.

Además, la acústica proporciona un medio eficaz para documentar y analizar importantes procesos geológicos naturales, como terremotos, actividad volcánica y deslizamientos del fondo marino. Es fundamental utilizar el sonido para estudiar estos procesos, porque pueden tener efectos profundos en comunidades de zonas costeras e islas a nivel mundial. Mientras continuamos explorando los océanos y utilizando los recursos marinos, debemos determinar las condiciones para el uso seguro y sostenible del sonido en el mar.

La página web para el *Descubrimiento del Sonido en el Mar* (www.dosits.org) y recursos asociados proporcionan información sobre la ciencia básica del sonido en el mar, cómo las personas y animales utilizan el sonido bajo el agua, y los efectos de sonido en la vida marina. La siguiente información se basa exclusivamente en publicaciones de investigaciones científicas y es el resultado del *Proyecto Descubrimiento del Sonido en el Mar*. Todo el contenido ha sido revisado cuidadosamente por un panel de expertos científicos.



J.-D. Collard, Souvenirs et Mémoires, Albert-Schuchardt, Geneva, 1893



Dr. James P. McVey, NOAA Sea Grant Program



El océano contiene una gran variedad de sonidos.

Los sonidos pueden describirse con palabras como fuerte o suave; agudo o grave. Estas palabras describen o caracterizan cómo percibimos los sonidos. Los científicos, por otro lado, describen los sonidos con características que pueden ser medidas con instrumentos. Podemos relacionar las características que los científicos miden con las palabras que usamos para

describir los sonidos que escuchamos. Cuando hablamos de fuerte o suave, los científicos hablan de la intensidad o amplitud del sonido. Cuando hablamos sobre el tono de un sonido, los científicos utilizan la palabra frecuencia. Un

piano tiene 88 teclas que abarcan un rango de frecuencia de 27.5 a 4,186 ciclos por segundo (un ciclo por segundo se conoce como un Hertz, Hz). Personas con buena audición pueden escuchar sonidos de alrededor de 20 Hz a 20,000 Hz, aunque la audición de las personas es mejor alrededor de 3,000-4,000 Hz, donde se centra el habla humana.

El sonido submarino es generado por una variedad de fuentes naturales, como el romper de las olas, la lluvia y la vida marina. También se produce por una variedad de fuentes hechas por el hombre, como barcos y sonares militares. Algunos sonidos están presentes más o menos en todos los lugares en el océano durante todo el tiempo. El sonido de fondo en

Decibeles en el aire versus en el agua

Las ondas de sonido en el agua y las ondas de sonido en el aire son fundamentalmente similares; sin embargo, la forma en que se reportan los niveles de sonido en el agua y en el aire es muy diferente. La intensidad relativa de sonido en el agua en decibeles (dB) no puede ser comparada directamente a la intensidad relativa del sonido en dB en el aire. Esto es similar a cómo se reporta la temperatura. Decir que afuera está a 50 grados es confuso porque 50 grados Fahrenheit es igual a 10 grados en la escala Celsius, mientras que 50 grados Celsius es igual a 122 grados Fahrenheit- ¡una gran diferencia! Para asegurarse de que no haya confusiones, indicamos cual escala de temperatura estamos utilizando. Es lo mismo con escalas de dB en aire y agua. Para evitar confusiones, debemos especificar que los sonidos en el agua, un medio más denso, se midieron relativos (re) a 1 microPascal (μPa) y que los sonidos en el aire se midieron relativos (re) a 20 μPa . Para hacer la distinción clara para el lector, los recursos de *Descubrimiento del Sonido en el Mar* utilizan “dB submarino” para sonidos submarinos.

Los decibeles en el agua y en el aire no son lo mismo



National Oceanic and Atmospheric Administration



Tom Kieckhefer

el océano se llama ruido ambiental. Otros sonidos están presentes sólo en determinado momento, o en ciertos lugares en el océano. Los mamíferos marinos, como ballenas y delfines, producen sonidos en un rango de frecuencias mucho más amplio que las personas pueden escuchar. Por ejemplo, algunas ballenas barbadas (misticetos) producen sonidos de menos de 10 Hz mientras que el clic de la ecolocación de los delfines puede contener frecuencias mayores de 100,000 Hz. Ciertos tipos de peces, como el pez sapo y corvinas, y los invertebrados marinos como el camarón pistola, también producen sonidos.

Procesos físicos también generan sonido en el océano. Estos incluyen la lluvia, viento, olas, un rayo que golpea la superficie del mar, hielo marino agrietándose, terremotos submarinos y erupciones de volcanes submarinos. Los sonidos también son generados por las actividades



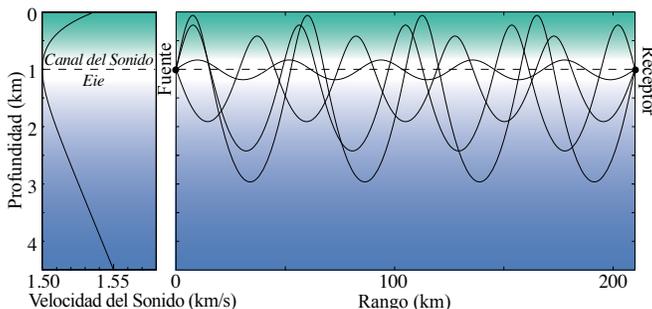
Courtesy of Moonraker Australia



humanas como el transporte, exploración petrolera, sonares militares, investigación científica, fatómetro, y otros sistemas comerciales de sonar. Estos sonidos antropogénicos cubren una amplia gama de frecuencias, desde unos cuantos Hz hasta varios miles de Hz.

El sonido viaja más rápido y más lejos en agua que en aire.

Velocidad del Sonido/Canal SOFAR



El sonido viaja aproximadamente 1500 metros por segundo en agua de mar. ¡Esto es un poco más de 15 campos de fútbol de principio a fin en un segundo! El sonido viaja mucho más lentamente en el aire, a unos 340 metros por segundo, sólo 3 campos de fútbol por segundo. La velocidad del sonido en agua de mar no es un valor constante, y aunque las variaciones en la velocidad del sonido no son altas, tienen efectos importantes sobre cómo el sonido viaja en el océano. En latitudes medias en las profundidades del océano, la velocidad de sonido más baja se produce a una profundidad de aproximadamente 1000 metros. El sonido se curva o refracta hacia la región donde la velocidad del sonido es más baja creando un canal de sonido en el que las ondas sonoras pueden viajar largas distancias. Este se conoce como el canal de sonido profundo o canal de sonido de fijación y oscilación sonora ("Sound Fixing And Ranging" o SOFAR, por sus siglas en inglés). El diagrama de la izquierda muestra ejemplos de trazados de sonido en el canal.

Las principales fuentes de ruido ambiental pueden clasificarse por la frecuencia del sonido. En el rango de frecuencia de 20-500 Hz, el ruido ambiental en el hemisferio norte es principalmente debido al ruido generado por entregas distantes. En el rango de frecuencia de 500-100,000 Hz, el ruido ambiental es principalmente debido a burbujas y rocío asociado al rompimiento de las olas.

La intensidad relativa de las diferentes fuentes de sonido es descrita por el nivel de la fuente de origen. Los niveles de la fuente están definidos como si el receptor hubiese estado a un metro de la fuente. La intensidad de sonido submarino es reportada en unidades denominadas decibeles submarinos (ver recuadro en página 4). Existe una relación entre sonoridad y decibeles (dB): un aumento de 10 dB de intensidad es percibido por las personas como el doble de la sonoridad de un sonido.

Los niveles de la fuente de varios productores de sonido submarinos se enumeran en la siguiente tabla. Según el sonido viaja lejos de la fuente, la intensidad disminuye porque las ondas de sonido se dispersan (extendiendo la pérdida) y porque parte del sonido es absorbido por el agua de mar. Por ejemplo, la intensidad de un sonido 236 dB submarinos a un metro, disminuiría a 196 dB submarinos a una distancia de 100 metros (aproximadamente la longitud de un campo de fútbol). Los sonidos de alta frecuencia no viajan tan lejos a través del océano como los sonidos de baja frecuencia porque los de alta frecuencia son absorbidos más rápidamente.

La intensidad de sonido disminuye según se aleja de su fuente de origen.

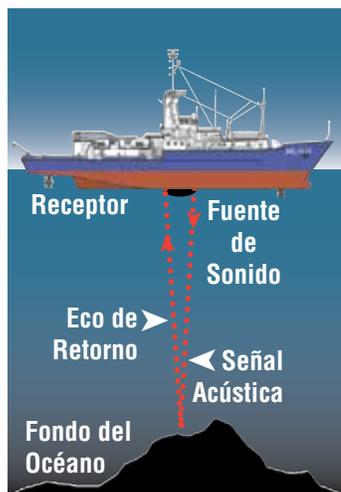
Ejemplos de niveles de sonido submarino producido por fuentes comunes

Fuente	Nivel del Sonido (dB submarino a 1 m)
ballena jorobada	144-174
cangrejo pistola	183-189 (tope-a-tope)
silbido de delfín	125-173
clics de cachalote	236
buque-tanque grande	186
sonar naval de frecuencia media	235
Exploración de petróleo y gas utilizando armas de aire comprimido	259 (tope)

Las personas utilizan el sonido en el océano con una amplia variedad de propósitos. Muchas actividades cotidianas importantes, como la pesca, dependen del sonido para ser exitosas. El uso principal del sonido es localizar objetos en el océano, incluyendo rocas en el fondo marino, animales marinos, submarinos, y naufragios. El sonar (“Sound Navigation and Ranging” o SONAR, por sus siglas en inglés) es una tecnología que utiliza ondas sonoras para identificar los objetos y sus ubicaciones en el océano.

Existen dos tipos de sonar: activo y pasivo. El sonar pasivo utiliza equipo que sólo escucha o recibe el sonido. Las ondas sonoras producidas por una fuente de sonido se reciben y puede utilizarse para identificar o localizar el objeto que emite el sonido. El sonar activo, por otro lado, envía ondas de sonido y luego escucha (recibe) el eco de retorno. El eco de retorno puede utilizarse para identificar el tipo de objeto (ballena, roca, barco) que refleja el sonido así como su alcance y la velocidad.

Sonar es el acrónimo en inglés de “sound navigation and ranging”, o navegación por sonido. Sistemas de sonar activo utilizan transmisión de ondas sonoras para detectar objetos bajo el agua al escuchar los ecos reflejados o de retorno. La distancia hasta el objeto o el fondo marino puede calcularse utilizando el tiempo transcurrido entre el envío de la señal y la recepción del sonido reflejado ó eco. Al conocer cuán rápido viaja el sonido a través del agua, la distancia entre un buque y el objeto de interés, como otro buque o animal, puede ser calculada..



Sonar

El sonido puede utilizarse para crear mapas del fondo del mar y localizar peces, naufragios y submarinos.

Comúnmente, las personas utilizan el sonido para determinar la profundidad del océano. El sistema más común para medir la profundidad del agua y prevenir colisiones con rocas submarinas, arrecifes, etc., es el ecosonda (receptor acústico de eco), una forma de sonar activo. Estos sistemas de sonar utilizan una fuente de sonido que normalmente está montada en la parte inferior de un buque. Los pulsos de sonido se envían desde la parte inferior de la nave hacia abajo en el agua. El sonido se refleja en el fondo marino y regresa a la nave. Para producir mapas detallados del fondo del mar, los científicos utilizan un sistema llamado sonar multihaz. Este sistema puede utilizar más de 100 rayos de sonidos para encontrar la profundidad de una amplia zona del océano a la vez. Los sistemas multihaz pueden producir mapas muy precisos del fondo del mar que son necesarios para una navegación segura, para estudios del hábitat marino y para investigación geológica. Otras tecnologías, como el sonar de barrido lateral, se utilizan para examinar detalles del fondo marino. El sonar de barrido lateral es muy sensible y puede medir características sobre el fondo del océano menores de 1centímetro (menos de la mitad de una pulgada). Los usos típicos del sonar de barrido lateral incluyen: la búsqueda de objetos en el suelo marino (barcos hundidos, tuberías, aviones derribados, carga perdida), cartografía detallada del fondo marino, investigación de las propiedades del suelo marino (tamaño de grano, etc.) y observar características especiales del suelo marino como volcanes submarinos. Por ejemplo, la selección de la ubicación de una planta de energía eólica requiere información precisa sobre las características del fondo marino.

Los pescadores utilizan una versión de ecosonda especialmente diseñada para localizar peces (“fish finder”). Este tipo de ecosonda detecta la presencia de los peces, principalmente, al detectar una cámara de aire de gran tamaño, llamada vejiga natatoria, que se encuentra en la cavidad abdominal en la mayoría de los peces. El aire contenido en la vejiga natatoria refleja el sonido hacia el ecosonda, donde los ecos se interpretan como tipos específicos de peces, y donde además pueden hacerse estimaciones de densidades de peces.



Courtesy of Klein Associates, Inc.

Imagen del sonar del carguero británico Caballero del Imperio (*Empire Knight*) que se hundió en 1944 frente a la costa de Maine.

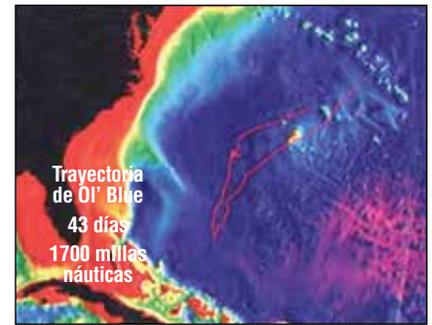


Los científicos pueden rastrear animales y estudiar su comportamiento al escuchar los sonidos que producen.

El sonido se utiliza para estudiar las distribuciones de los mamíferos marinos al escuchar los sonidos que éstos emiten (acústica pasiva). Las diferentes especies de ballenas y delfines (cetáceos) producen sonidos diferentes, incluyendo canciones, gemidos, clics, suspiros y zumbidos. Los científicos pueden escuchar estos sonidos y detectar, identificar y localizar diferentes especies de mamíferos marinos. La acústica pasiva se utiliza también para mejorar los estimados de abundancia o el tamaño poblacional de animales, demostrando ser un complemento eficaz para censos visuales tradicionales. Los científicos están utilizando ambas técnicas, especialmente para los cetáceos, ya que la acústica pasiva a menudo puede detectar un número mayor de animales a gran distancia y bajo el agua que lo que se obtendría con métodos visuales solamente. La acústica pasiva ha sido utilizada en los estimados de abundancia de varias especies de cetáceos como la ballena franca, ballenas minke, zifios, cachalotes, delfines jorobados y marsopas sin aleta.

La ballena franca del Atlántico Norte, en vías de extinción, se ha beneficiado del uso de la acústica pasiva. Sistemas pasivos de audición han sido desplegados a lo largo de la costa Atlántica de los Estados Unidos para monitorear continuamente la presencia de las ballenas y reducir el peligro de colisión con buques, ya que los canales de entrada a los puertos comerciales pueden coincidir con el hábitat de la ballena. En relación con el desarrollo de una terminal de Gas Natural Licuado (GNL) en el puerto de Boston, Massachusetts, se desplegaron diez boyas de detección automática en las rutas de navegación del puerto. Ordenadores en cada boya estimaron la similitud del sonido a una llamada de la ballena. La información sobre cuáles de las boyas detectan las vocalizaciones de la ballena es transmitida a los buques y buques LNG tienen el mandato de reducir su velocidad en las zonas alrededor de boyas que se han detectado las ballenas. A todos los demás barcos se les anima a comprobar los alertas y reducir la velocidad si es necesario.

Las corrientes se miden comúnmente con sonido. Un instrumento llamado Analizador Acústico de Corriente Doppler (“Acoustic Doppler Current Profiler” o ADCP, por sus siglas en inglés) a menudo se utiliza para medir la corriente en lugares específicos, como arroyos, ríos, canales de transporte y en boyas. Estos analizadores pueden colocarse en el fondo del océano, ser atados a una boya o montados en la parte inferior de un buque. Los analizadores miden corrientes enviando un sonido y luego escuchando el sonido de retorno para detectar pequeños cambios en la frecuencia del sonido causada por el efecto Doppler. El efecto Doppler es un cambio en la frecuencia de un sonido debido al movimiento de la fuente, de las partículas en el agua que reflejan el sonido, o del oyente. El ejemplo más común del efecto Doppler es el cambio en la frecuencia de un silbato de tren. A medida que el tren se mueve hacia usted, aumenta la frecuencia. Este efecto Doppler se produce porque el movimiento del tren comprime las ondas sonoras. Al alejarse el tren, la frecuencia disminuye



Courtesy of U.S. Naval Research Laboratory

Una ballena azul solitaria, OL ‘ Blue, fue rastreada durante 43 días (línea roja oscura) a través del Atlántico Norte mediante el sistema de vigilancia de sonido (“Sound Surveillance System” o SOSUS, por sus siglas en inglés) de la Marina de los Estados Unidos. Los colores muestran la batimetría.



Courtesy of Cornell/WOHI

Boyas de detección automática de tiempo real, son una herramienta acústica que se utiliza para supervisar ballenas en las afueras de la costa de Massachusetts. Esta es una imagen archivada desde abril de 2008, mostrando boyas que detectaron vocalizaciones de la ballena franca (iconos rojos de ballena) en las últimas 24 horas.

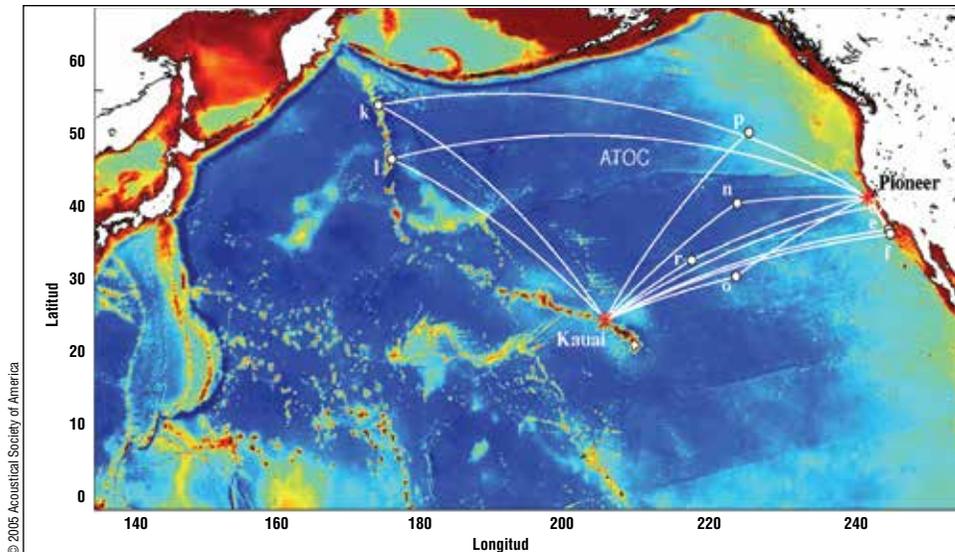
El sonido puede utilizarse para medir la temperatura del océano, las corrientes y olas.

porque el movimiento del tren expande las ondas sonoras. El efecto Doppler también se produce en el agua. Las temperaturas del océano pueden medirse utilizando el sonido. La mayoría de los cambios en la velocidad del sonido en el océano abierto es debido a los cambios de temperatura. El sonido viaja más rápido en aguas más cálidas y más lento en aguas frías. Para medir la temperatura del agua, un pulso de sonido es enviado desde una fuente de sonido subacuática y escuchado por un dispositivo de audición (un hidrófono) en el agua a una distancia conocida (hasta miles de kilómetros). Midiendo con precisión el tiempo que tarda el sonido en viajar desde la fuente al receptor, puede calcularse la velocidad a la que viaja el sonido. Esta velocidad puede ser directamente relacionada con la temperatura del agua entre la fuente y el hidrófono. La medida de temperatura de agua de esta manera es muy eficaz y proporciona datos útiles para la comprensión de las corrientes oceánicas y estudiar cambios climáticos.

Los niveles de sonido en el océano no son constantes, sino que difieren de un lugar a otro y cambian con el tiempo. Diferentes fuentes de sonido contribuyen al nivel de ruido general del océano, incluyendo el transporte, romper olas, vida marina y otros sonidos naturales y antropogénicos. El sonido de fondo en el océano se llama ruido ambiental. Las principales fuentes de ruido ambiental pueden clasificarse por la frecuencia del sonido. Por ejemplo, en el rango de frecuencia de 20-500 Hz, el ruido ambiental es principalmente debido al ruido generado por transporte o entregas lejanas.

Un presupuesto de ruido es un listado de las distintas fuentes de ruido en un receptor y su clasificación asociada a su importancia. Esto compara las diferentes fuentes de sonido submarino, en localizaciones geográficas particulares y en diferentes bandas de frecuencia, promediadas con el

tiempo. Un presupuesto de ruido caracteriza la magnitud de intensidad de sonido o energía de diversas fuentes en el campo de sonido submarino. Los investigadores evalúan la distribución y los presupuestos de ruido en la caracterización de hábitat y estudios ambientales, y en el diseño de sistemas de comunicación acústicos y sonar. Los presupuestos de ruido también se evalúan durante estudios de enmascaramiento de animales marinos. Enmascaramiento se produce cuando el ruido interfiere con la capacidad de un animal marino de escuchar un sonido de interés. Igual puede ser difícil escuchar a alguien hablar en una fiesta ruidosa, los niveles elevados de ruido pueden enmascarar sonidos importantes para animales marinos.



Esta imagen muestra las fuentes de sonido y los receptores (puntos blancos) utilizados para medir las temperaturas en el Océano Pacífico. Los colores muestran la batimetría.

Las animales y el sonido en el mar

Los animales marinos utilizan sonido para percibir su entorno, comunicarse, buscar comida y protegerse bajo el agua. Estos animales generan sonidos para atraer a la pareja, defender sus territorios y coordinar las actividades de grupo. Los mamíferos marinos utilizan el sonido para mantener el contacto entre la madre y las crías, para la reproducción y mostrar agresividad. Los peces producen sonidos que se utilizan para atraer a la pareja, así como para ahuyentar a los depredadores. Algunos invertebrados marinos, como las langostas, se cree que producen sonido con el fin de ahuyentar a los depredadores.

Uno de los ejemplos más conocidos de los animales que utilizan sonido a largas distancias para la reproducción es la canción de la ballena jorobada. Las ballenas jorobadas machos producen una serie de vocalizaciones que colectivamente forman una canción. Estas canciones pueden oírse a kilómetros de distancia. Las canciones de estas ballenas son de estructura compleja y larga duración. Se sabe que las ballenas han llegado a cantar la misma canción por varias horas.

La actividad reproductiva, incluyendo el cortejo y desove, es responsable de la mayoría de los sonidos producidos por los peces. Durante la temporada de cría, se escucha el zumbido de

cortejo de los peces sapo macho durante la noche para atraer a las hembras y animarlas a poner huevos en sus nidos. El zumbido es un sonido grave generado por la rápida contracción de los músculos de la vejiga natatoria del macho. Machos zumbando a la vez producen un sonido como el de un enorme enjambre de abejas o un grupo de embarcaciones; un sonido lo suficientemente fuerte como para ser escuchado por personas en tierra y en casas flotantes.

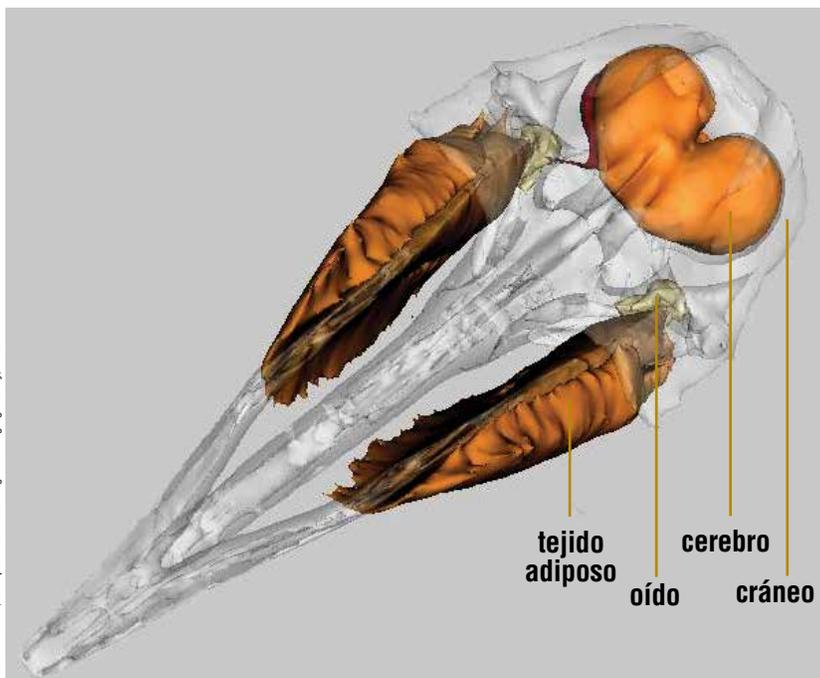
Incluso los invertebrados marinos utilizan el sonido para comunicarse. El camarón pistola, la langosta y el cangrejo violinista se defienden con sonido. El camarón pistola cierra su pinza para crear una burbuja que se produce en la cavitación, produciendo un fuerte ruido. La fuerza de la burbuja cavitariais es tan poderosa que puede ahuyentar a los depredadores. Las langostas del Caribe que produjeron sonidos ásperos fueron capaces de escapar y resistir los

Las ballenas jorobadas pueden producir canciones complejas que pueden ser escuchadas a kilómetros de distancia.



Tsunao Nakamura

Dedene Kellen, Computerized Scanning and Imaging Facility, WHOI



Esta imagen fue producida a partir de imágenes de tomografía computarizada de un zifio (*Ziphius cavirostris*). Los tejidos están segmentados para reconstruir basado en sus atenuaciones de rayos X. Se muestran sólo algunos tejidos.

ataques del pulpo depredador por un período mayor de tiempo que las langostas que no hicieron ningún sonido. El camarón limpiador agita su pinza para anunciar sus servicios de limpieza a los peces de arrecife. Mientras más hambre tenga el camarón, mayor será el movimiento de su pinza. Al agitar su pinza, el camarón limpiador también se protege de los depredadores, anunciándose como un limpiador.

Además de comunicación, los animales marinos utilizan sonido para buscar alimentos y navegar a través del agua. Las ballenas dentadas usan ecolocación para encontrar presas y evitar obstáculos. Estas ballenas envían sonidos que se reflejan cuando golpean un objeto. La ecolocación funciona igual que los sistemas de sonar activo. Los ecos proporcionan información sobre el tamaño, forma, orientación, dirección, velocidad e incluso composición del objeto de interés, ya sea una presa o un obstáculo. Los delfines pueden ecolocalizar tan bien que son capaces de detectar diferencias en el grosor de las paredes de menos de 0.3 mm y discriminar entre los objetos de aluminio y cobre.

Las ballenas dentadas y las barbadas producen otros sonidos durante la alimentación. Las ballenas jorobadas han desarrollado una técnica de alimentación llamada red de burbujas de alimentación. La red de burbujas de alimentación implica que una o varias ballenas soplan aire desde su espiráculo mientras están sumergidas. Esto produce sonido según las burbujas forman una nube, cortina o columna que se eleva hacia la superficie. Las burbujas atrapan la presa entre la superficie y las bocas de las ballenas. Una red de burbujas se forma cuando las burbujas producidas por las ballenas forman un anillo y mantienen la presa dentro de éste. Tanto el sonido como las burbujas contribuyen a concentrar la presa para que la ballena jorobada pueda capturar más alimentos por bocado.



Utilizando ecolocación, los delfines pueden determinar el tamaño, forma, velocidad, distancia, dirección e incluso parte de la estructura interna de objetos en el agua.

Los animales también pueden navegar escuchando los sonidos a su alrededor. Existe evidencia de que el sonido en los arrecifes puede ser detectado por los estadios larvales de invertebrados y peces de arrecife de coral. Estos sonidos guían las larvas hacia las zonas costeras, lo que les permite identificar hábitats de asentamiento adecuado. Los adultos y juveniles de algunos peces arrecifales también pueden utilizar los sonidos submarinos de los arrecifes de coral para guiar sus movimientos nocturnos.



La fisiología de los animales marinos es única para producir, detectar e interpretar sonidos bajo el agua. Las focas y leones marinos (pinnípedos) producen sonidos en el aire utilizando mecanismos similares a los seres humanos (el aire se mueve desde los pulmones y a través de los ligamentos del pliegue vocal, que luego vibran y producen sonidos). Algunos pinnípedos también producen sonidos bajo el agua, como clics, trinos, silbidos y sonidos similares a una campana. Estos sonidos son generados por el ciclo del paso de aire a través de bolsas de aire en la cabeza del animal.

Las vocalizaciones emitidas por las ballenas dentadas y delfines (odontocetos) son todos producidos bajo el agua. Estos sonidos incluyen clics, silbidos y sonidos pulsantes. Los detalles de la producción de sonido en las ballenas dentadas son complejos. El sistema nasal de los odontocetos se compone de un sinnúmero de sacos de aire nasales y cierres que abren y cierran cuando el aire se mueve de un saco a otro. La circulación de aire estimula las vibraciones, que pueden ser amplificadas por sacos de aire que actúan como resonadores. El sonido es entonces canalizado a través de lípidos en la frente (llamado el melón) al agua frente al animal. El melón ayuda a que las ondas de sonido que salen se enfoquen en haces direccionales.



El Shochard, National Science Foundation

El zumbido del macho de los peces sapo producen un sonido lo suficientemente fuerte como para ser escuchado por personas cercanas en tierra y casas flotantes.

Los peces producen sonidos incluyendo gruñidos, croados, clics y chasquidos, utilizando mecanismos diferentes al de los cetáceos y pinnípedos. Las tres formas principales de los peces para producir sonidos son el contraer y expandir rápidamente los músculos sónicos ubicados en o cerca de su vejiga natatoria (percusión); golpear o frotar componentes esqueléticos (estrídulación); y cambiando rápidamente la velocidad y la dirección al nadar (hidrodinámica). La mayoría de los sonidos producidos por los peces son de baja frecuencia, típicamente menos de 1000 Hz. Los músculos sónicos encontrados en los peces como en los peces tambor (Familia Sciaenidae) son los músculos de contracción más rápidos que se conocen en los vertebrados.



James Nichols, www.piscuba.com

La mayoría de los invertebrados marinos produce sonidos al frotar dos partes de su cuerpo. El camarón pistola, sin embargo, produce el sonido de una manera única. Al cerrar su alargada pinza, se forma una burbuja que se revienta, produciendo un fuerte ruido. El sonido generado por las colonias de camarón pistola es tan frecuente en algunas regiones de aguas someras que interfiere con las investigaciones, las actividades militares y comunicaciones submarinas.

Las animales y el sonido en el mar

Para detectar sonidos también se requiere estructuras especializadas. Las focas, leones marinos, morsas, nutrias y osos polares viven en tierra al menos una parte del tiempo y tienen orejas, que son similares a la de los mamíferos terrestres. Las ballenas, delfines y marsopas (cetáceos) que pasan toda su vida en el agua han desarrollado un mecanismo diferente para detectar el sonido. En las ballenas dentadas (odontocetos), la mandíbula inferior está rodeada de tejido graso especializado que, junto con una zona ósea delgada, se piensa que juega un papel importante en canalizar el sonido al oído medio. A diferencia de los mamíferos terrestres que tienen oídos conectados al cráneo, el oído medio y el oído interno de los cetáceos están confinados por huesos que se encuentran en una cavidad fuera del cráneo. En los odontocetos, estos huesos están unidos al cráneo por ligamentos. En los misticetos, el oído tiene conexiones óseas en el cráneo. El mecanismo exacto que los misticetos utilizan para la audición todavía se está investigando.

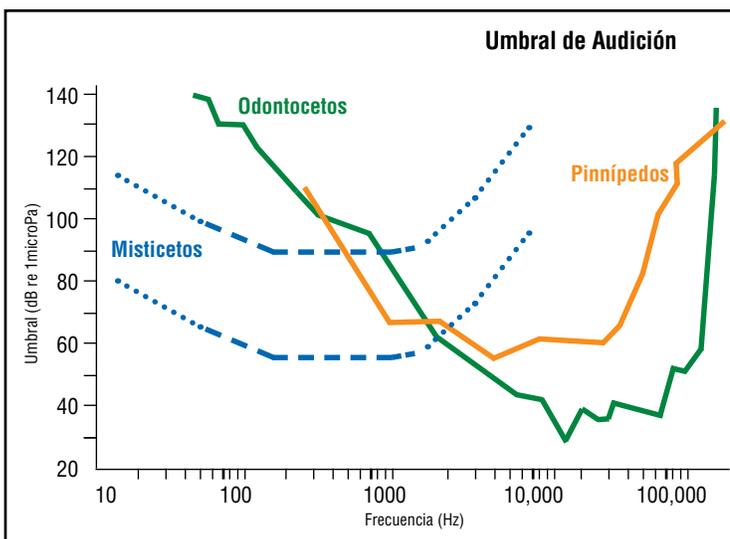


R.P. Van Dam

Las ballenas, delfines y marsopas han desarrollado un mecanismo diferente para la detección de sonido.

Se necesita más investigación sobre muchos de estos temas, incluyendo especies que hasta ahora han recibido poca atención, como las tortugas marinas. Las tortugas marinas se encuentran en todo el océano, excepto en las frías aguas polares. En la actualidad, los científicos no tienen ninguna grabación submarina confiable de sonidos producidos por las tortugas, ni se conoce bien su capacidad para escuchar el sonido en el aire o bajo el agua. Sin embargo, en algunos de sus hábitats costeros, las tortugas son sometidas a altos niveles de ruido antropogénicos. Las investigaciones en audición han demostrado que las tortugas marinas pueden escuchar sonidos de baja a mediana frecuencia bajo el agua, pero con una sensibilidad más pobre que los mamíferos. La apertura externa en el oído de una tortuga de mar está cubierta por piel gruesa, conocida como la placa cutánea, que es un anillo de escamas que son similares pero más pequeñas que en el resto de la cabeza. Por debajo de esta piel se encuentra una capa de tejido graso (subcutáneo). La piel gruesa y la capa de tejido graso dificultan a la tortuga a oír en el aire, pero ofrecen buena conducción para que el sonido subacuático llegue al oído medio y al oído interno.

Sensibilidad auditiva de los mamíferos marinos



Los estudios de sensibilidad de audición proporcionan información sobre cuáles frecuencias puede oír un animal y cuán alto debe ser un sonido para ser escuchado. No se perciben los sonidos que caen fuera del rango de detección de un individuo. Por ejemplo, las personas no pueden oír el sonido de un silbato de perro, pero los perros pueden escucharlo. Se han medido las sensibilidades auditivas de varias especies de ballenas dentadas (odontocetos) y se ha encontrado que estas especies pueden oír mejor en rangos de alta frecuencia (10,000 a 50,000 Hz). Se sabe muy poco acerca de la sensibilidad auditiva de las ballenas barbadas (misticetos). Los rangos de audición para misticetos que se muestra en el gráfico están basados en modelos. Su anatomía y vocalizaciones sugieren que están adaptados para escuchar frecuencias bajas. Los pinnípedos (focas y leones marinos) tienen rangos de audición similares a la de los odontocetos, pero son menos sensibles.

La intensidad en que los animales apenas pueden escuchar un sonido se conoce como el umbral de audición. El umbral de audición es el nivel más bajo de sonido a una frecuencia determinada que se detecta en promedio y varía entre individuos y con el tiempo. El gráfico muestra las estimaciones de los umbrales de audición para tres grupos de mamíferos marinos. Los puntos más bajos en cada curva indican las frecuencias en que los animales pueden oír mejor. Las dos líneas azules discontinuas son el rango estimado de umbrales de audición para misticetos.

La investigación sugiere que el aumento en el ruido de fondo y de otras fuentes de sonido en particular, podría tener un impacto en animales marinos de varias maneras. Los impactos potenciales incluyen sonidos que causan los animales marinos a alterar su comportamiento, evitar que los animales marinos escuchen sonidos importante (enmascarar), aumentar los niveles de estrés fisiológico, o causar la pérdida de la audición (temporal o permanente). En al menos cuatro casos bien documentados existe una relación en el tiempo y el espacio entre el uso del sonar de frecuencia media y el varamiento de cetáceos, especialmente algunas especies de zifios.

El sonido submarino puede afectar a los animales marinos en una variedad de formas.

Las respuestas de comportamiento al sonido varían enormemente. Para entender cómo los sonidos antropogénicos pueden afectar la vida marina, primero debe medirse la reacción del animal a sonidos conocidos. Observaciones de comportamiento normal, “control” o “base”, proporcionar los puntos de referencia para medir los cambios que ocurren durante o después de la exposición al sonido. Es importante obtener datos de referencia que describen tanto el valor típico de las mediciones como el rango de variabilidad natural.

Las respuestas de comportamiento de un animal depende de una serie de factores, tales como la sensibilidad de la audición, la tolerancia al ruido, la exposición al mismo ruido en el pasado, comportamiento en el tiempo de exposición, edad, sexo y composición del grupo. Algunas respuestas de animales marinos a sonido son reacciones momentáneas e inconsecuentes, como voltear la cabeza. Otras respuestas son a corto plazo y dentro del rango de variación natural en estos comportamientos. En otros casos, se han observado cambios más significativos en el comportamiento. Algunas de las reacciones más fuertes se producen cuando los sonidos son similares a los realizados por los depredadores.

Así como puede ser difícil escuchar a alguien hablando en una fiesta ruidosa, los niveles elevados de ruido en el océano pueden interferir con la capacidad de animales marinos para oír los sonidos importantes. El enmascaramiento se produce cuando un sonido fuerte ahoga un sonido más suave o cuando el ruido es en la misma frecuencia que la señal del sonido. El enmascaramiento también está influenciado por la cantidad de tiempo que el ruido está presente. Se conoce muy poco so-



Tom Kleckner

Eventos de varamientos de múltiples zifios han estado estrechamente relacionados con las actividades militares usando sonar. Cómo los sonares han causado los varamientos, es todavía un misterio.

bre el impacto potencial que el enmascarar puede tener sobre la supervivencia individual, lo que los animales marinos podrían hacer para evitar el enmascaramiento, y los costos energéticos de cambio de comportamiento para reducir el enmascaramiento. Sin embargo, debido a la amplia naturaleza de las actividades antropogénicas, el enmascaramiento puede ser uno de los más extensos e importantes efectos en la audición y la comunicación de animales marinos.

La exposición a sonidos fuertes puede causar pérdida o deterioro de la audición. La pérdida de la audición depende de la intensidad y la frecuencia del sonido y la duración de la exposición del animal al sonido. Así como los seres humanos expuestos a sonidos extremadamente fuertes durante períodos cortos de tiempo (por ejemplo, conciertos de rock) experimentan sordera temporal o permanente (llamado cambio temporal del umbral auditivo y cambio permanente de umbral auditivo, respectivamente), los mamíferos marinos y los peces también pueden sufrir pérdida de audición por la exposición a sonidos antropogénicos. Daños a la audición también pueden ser causados por la exposición a niveles moderados de ruido durante largos períodos de tiempo. Los problemas auditivos debido al ruido no se producen si la frecuencia del sonido al que está expuesto el animal está fuera de su rango auditivo.

Se han reportado varamientos de múltiples zifios que han coincidido muy de cerca en tiempo y espacio con las actividades militares usando sonar. Varamiento masivo de zifios es raro; en la revisión de todos los varamientos de zifios desde 1874 a 2004 se encontraron sólo 136 eventos de varamientos masivos. De estos, sólo 12 eventos de varamientos incluyen evidencia de que actividades navales coincidieron en espacio y tiempo. Estos 12 eventos tenían tres características consistentes: (1) las ubicaciones de los varamientos fueron a menos de 80 km del contorno de 1,000 m de profundidad (es decir, donde las aguas profundas ocurre cerca de la costa); (2) 8 de los 12 eventos de varamiento ocurrieron en zonas donde anteriormente se habían reportado varamientos masivos de zifios; y (3) los 12 eventos incluyeron el zifio de Cuvier (*Ziphius cavirostris*), una especie que no vara comúnmente en masa.

Existen muchas causas de varamientos de mamíferos marinos, algunas naturales y algunas relacionadas con la actividad humana. En dos casos bien documentados, existe suficiente información sobre las operaciones de sonar, los tiempos y ubicaciones de los varamientos y la naturaleza de las lesiones a los animales, para determinar que múltiples ejercicios de sonar y embarcaciones con sonar contribuyen a los varamientos. Estos eventos se produjeron en Grecia (1996) y Las Bahamas (2000). En otros dos varamientos masivos que coincidieron con las actividades del sonar naval (Madeira y Portugal en mayo de 2000 y en las Islas Canarias en 2002), no existe suficiente información sobre el tiempo y el lugar de los varamientos versus la actividad naval para hacer una asociación fuerte, sin embargo las necropsias (autopsias a animales) que se realizaron en algunos de los animales encontraron lesiones similares a los observados en los casos de Las Bahamas.

El mecanismo por el cual los sonares podrían ser la causa de los varamientos es todavía un misterio. Se necesitan muchas más investigaciones científicas para explicar las lesiones observadas en los animales varados en las áreas de ejercicios de sonar.

Una variedad de métodos están siendo aplicados o desarrollados para ayudar a medir el efecto de sonido submarino en animales marinos. Estudios de sensibilidad de audición proporcionan conocimientos de las habilidades auditivas y otras características acústicas de animales marinos. Esto es importante cuando se mide los efectos del sonido sobre animales marinos porque si un animal es incapaz de detectar un sonido debido a limitaciones en el alcance de la audición o intensidad, es poco probable que el animal se vea afectado por el sonido. Las observaciones visuales y acústicas de mamíferos marinos durante estudios a gran escala o asociadas a un proyecto específico de investigación pueden proveer información detallada sobre el comportamiento, movimiento y abundancia



Protected Resources Division, Southwest Fisheries Science Center



de estos animales en la naturaleza. Con el fin de medir la reacción de un animal a un sonido se debe estudiar primero el comportamiento del animal cuando el sonido no está presente. Estas observaciones de comportamiento normal, que son el “control” o “base” de datos, proporcionan los puntos de referencia para medir los cambios que ocurran durante o después de la exposición de sonido. Las etiquetas de registro de datos pueden ser fijados a los animales para proporcionar información sobre lo que hacen los animales cuando están bajo el agua. Las etiquetas también pueden proporcionar información continua a largo plazo sobre el comportamiento y los movimientos de animales individuales. Los experimentos controlados de exposición son un método de campo en el cual dosis controladas de sonido se transmiten a animales focales para observar la reacción natural a un sonido particular. El científico controla la amplitud, frecuencia y otras características del sonido. Los niveles a que están expuestos los animales son limitados para evitar hacerles daño. Las observaciones pueden ser obtenidas con métodos visuales y observaciones conductuales, etiquetas y monitoreo acústico pasivo. Utilizando una combinación de estos tres métodos, proporcionará una imagen más completa.

El proceso para considerar si y cuánto una fuente de sonido podría afectar a los animales marinos se llama evaluación de riesgo ecológico. El primer paso de este proceso científico es identificar el problema. La siguiente etapa consiste en estimar la probabilidad de estar expuesto al problema y, basado en la exposición, determinar los tipos de efectos ecológicos esperados. Solo entonces se puede estimar el riesgo:



Este modelo general puede utilizarse para determinar si una fuente de sonido específica podría afectar una especie particular contestando las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el nivel de sonido a diferentes distancias y profundidades según el sonido se aleja de la fuente?
- ¿Cuáles son los niveles y duraciones del sonido al los cuales podrían estar expuestos los animales?
- ¿Pueden los animales percibir estos sonidos?
- ¿Qué efectos podrían tener estos niveles de sonido en los animales?

Se puede tomar acción para reducir los efectos en la vida marina. Si no es posible eliminar la fuente de sonido, es posible cambiar la frecuencia o amplitud de la fuente de sonido. Aumentando gradualmente el nivel de la fuente de sonido (“incrementar”) o utilizando barreras o cortina de burbuja alrededor de fuentes fijas es otro de los métodos que se han utilizado. Otra manera obvia de mitigar los efectos de sonido antropogénico es evitar las concentraciones de animales marinos. Leyes federales como la ley de especies en peligro de extinción, el acta de protección de mamíferos marinos, y la ley nacional de política ambiental que pretenden proteger a los animales de acoso (incluido el impacto de las fuentes de sonido), han motivados estudios de animales marinos y el desarrollo de técnicas de mitigación y tecnologías alternativas. No se ha determinado aún la efectividad de las medidas de mitigación más comúnmente utilizadas.

Método científico

Este método comienza con observaciones del mundo natural. De estas observaciones se forma una pregunta que se responde utilizando las herramientas de la ciencia. A continuación, se formula una respuesta tentativa a la pregunta que se denomina una hipótesis. Luego se hacen predicciones basadas en la hipótesis y son probadas a través de observaciones o experimentos. Si las predicciones están equivocadas, la hipótesis ha sido falsa. Si las predicciones fueron exactas, la hipótesis es aceptada como provisionalmente correcta. Las hipótesis y sus pruebas deberán ser repetidas por otros para ser considerada válida. Las hipótesis que han sido validadas constantemente a través de observaciones adicionales o experimentación, eventualmente pueden avanzar a la categoría de teoría. Una teoría es una explicación completamente justificada de algún aspecto del mundo natural y está tan cerca de la verdad objetiva como sea posible. Como las hipótesis, las teorías son consideradas algo provisionales porque siempre existe la posibilidad de que algún día se hará una observación que será incompatible con las predicciones de la teoría. Los científicos deberán crear una nueva hipótesis que sea consistente con todos los datos disponibles. La ciencia es un proceso en continua evolución.

Recursos en Internet

El *Descubrimiento del Sonido en el Mar* en la página web (www.dosits.org) es uno de los recursos de Internet más completos sobre sonido submarino. Además del contenido profundo en ciencia, hay galerías y recursos educativos que proporcionan una gran abundancia de información.

La Galería de Audio contiene clips de audio de más de 100 sonidos submarinos generados por animales marinos, las actividades humanas y fenómenos naturales. También hay imágenes que acompañan a cada archivo de audio en la galería y video para algunos animales marinos.



Tom Kleindinst, Institución Oceanográfica de Woods Hole

Galería de los Científicos, destaca la investigación de vanguardia de cinco científicos de renombre y ofrece entrevistas para cada uno.

Galería de Tecnología, proporciona imágenes y descripciones del equipo científico y comercial que emplea tecnologías acústicas submarinas.

Recursos del Maestro, contiene actividades para el salón de clases desarrolladas por educadores junto con una lista de recursos para el aula.

Presentaciones en PowerPoint, están disponibles en el la página web de DOSITS.

Recursos para los Medios, contiene material destinado a los medios de comunicación sobre los aspectos básicos del sonido en el océano.

Recursos del Alumno, contiene tutoriales y materiales diseñados para los estudiantes.

Recursos Impresos

Este cuaderno y el folleto asociado están disponibles en la página web de DOSITS como documentos pdf.



Jill Schoenher

Financiamiento proporcionado por

Office of Naval Research
National Oceanic and Atmospheric
Administration
National Science Foundation



Asociados

University of Rhode Island
Graduate School of Oceanography
Marine Acoustics Inc.

