



La Fondation Pacifique

y

el Laboratorio de Aplicaciones Bioacústicas (LAB)
de la Universidad Politécnica de Cataluña

presentan

20 000 sonidos bajo el mar

Un programa de cartografía de la polución sonora
de los océanos en el marco de
The Ocean Mapping Expedition a bordo del velero
Flor de la Pasión



Durante mucho tiempo, se ha creído que los mares eran «el mundo del silencio»...

«¿Se ha tumbado alguna vez en el agua, con los oídos sumergidos? ¿En el mar, en la piscina o incluso en la bañera, ha notado cómo los sonidos se difuminan y cómo nos invade de inmediato un profundo sosiego? Durante mucho tiempo se ha creído que los mares eran «el mundo del silencio»...

El oído humano, en efecto, no está adaptado al medio acuático. En este ambiente ajeno a él, los sonidos llegan amortiguados, de ahí la sensación de intenso bienestar que experimentamos. En algunas piscinas de Suiza es posible incluso dejarse mecer ¡al son del canto de las ballenas!

¿Y los animales marinos, por su parte, qué perciben? Porque su aparato auditivo, al contrario del nuestro, está adaptado al medio en el que se desenvuelven. La cuestión se vuelve tanto más importante en cuanto que el nivel sonoro de los mares ha aumentado considerablemente desde hace un siglo debido al tremendo auge de la actividad humana: el transporte marítimo, los sónares militares e industriales o incluso las prospecciones de petróleo y gas, entre otros, generan al cabo de decenios un auténtico «smog sonoro» más o menos denso según los mares del planeta.

Las consecuencias del «smog sonoro»

¿Cómo afecta la polución sonora de origen humano al medio marino? ¿Qué impacto tiene en particular sobre los cetáceos, que necesitan comunicarse para cazar en grupo, delimitar sus territorios o incluso entrar en contacto a distancia con un compañero? Sabemos que el «smog sonoro» les obstaculiza la comunicación. ¿Pero de qué forma en concreto? En este caso, ¿no es cierto que afecta gravemente a sus facultades auditivas? Ahora bien, los cetáceos desempeñan un papel esencial en el equilibrio de los océanos. Si los amenaza una actividad humana inocua para nosotros, toda la cadena alimentaria se desequilibra.



Para responder a las numerosas preguntas que plantea este tema nuevo, la Fondation Pacifique de Ginebra y el Laboratorio de Aplicaciones Bioacústicas (LAB) de la

Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) de Barcelona han decidido asociarse para iniciar *20 000 sonidos bajo el mar*, un programa exclusivo destinado a cartografiar la extraordinaria abundancia de sonidos de los océanos.

A bordo del *Flor de la Pasión*

Equipado con sensores y medios de procesado y de transmisión de datos, el velero *Flor de la Pasión* recogerá en tiempo real los datos científicos de que lamentablemente se carece en este momento. Este programa se desarrollará en el marco de *The Ocean Mapping Expedition*, una gran vuelta al mundo, a un tiempo científica, socioeducativa y cultural, de cuatro años tras la estela del descubridor del Pacífico, de 2015 a 2019.

El objetivo de *20 000 sonidos bajo el mar* es entregar a la comunidad científica datos de primordial importancia con el fin de comprender mejor un fenómeno todavía hoy muy poco conocido. Consiste en elaborar medios para sensibilizar al público en general y a los actores políticos y económicos competentes en estos temas de importancia vital para el equilibrio de los océanos.

Un guiño a Julio Verne y a Cousteau

Un guiño explícito a Julio Verne y a su espíritu visionario, referencia evidente al comandante Cousteau y a la película *El mundo del silencio*, que han desempeñado un papel crucial en la concienciación de los desafíos ligados al mar, *20 000 sonidos bajo el mar* pretende ser el crisol de nuevas tomas de conciencia y, tal vez también, el catalizador de nuevas aplicaciones técnicas que se puedan inventar y poner en práctica para que los océanos recuperen un poco de sosiego. Y con ellos, las criaturas que los pueblan.



Michel André
Director del Laboratorio
de Aplicaciones Bioacústicas (LAB)
Universidad Politécnica de Cataluña



Pietro Godenzi
Presidente de la Fondation Pacifique
Miembro fundador

Océanos repletos de sonidos



El medio marino está repleto de sonidos naturales, si bien un número creciente de ruidos de origen humano han contribuido al nivel sonoro general actual de los océanos. La magnitud con que esos ruidos impactan y afectan al medio y a la vida marinos es una cuestión que suscita en la actualidad enorme interés tanto en la comunidad científica como en el público en general. El interés de los científicos se deriva de la necesidad de comprender mejor el papel de la producción de esos ruidos y de su percepción sobre el comportamiento, la fisiología y la ecología de los organismos marinos. Los sonidos de origen humano, incluidos los necesarios para el estudio del medio marino, pueden interferir en estos, naturales y biológicos, producidos por esos mismos organismos marinos. El interés del público en general proviene principalmente de los posibles efectos de los ruidos de origen humano sobre los mamíferos marinos, teniendo en cuenta que en general se acepta la importancia del ruido en la vida de estas especies.

La importancia de los sonidos para los organismos marinos

Para los oceanógrafos especialistas en acústica, los sismólogos marinos o incluso los prospectores de energías fósiles (petróleo y gas), el ruido es el medio más eficaz disponible en la actualidad para determinar la estructura de los fondos marinos y descubrir reservas nuevas de petróleo o de gas profundamente ocultas en el lecho de los océanos. La sociedad en su totalidad ha obtenido importantes beneficios de estas actividades en lo que respecta a conocimientos o de las tecnologías que permiten, gracias a los sónares que cartografían los fondos marinos, el descubrimiento de reservas sustanciales de petróleo. **Pero tanto los científicos como el público en general son plenamente conscientes de que los sonidos representan el medio esencial gracias al cual numerosos organismos marinos se desenvuelven en su entorno y de que los sonidos constituyen asimismo el medio principal de comunicación, de navegación y de reproducción para numerosas especies de peces y de mamíferos marinos.** El estudio de los sonidos producidos por esos organismos ofrece numerosos indicios relativos a su biología y permite extraer conclusiones sobre la gestión de los ecosistemas marinos. **El interés, tanto del público en general como de la comunidad científica, en el impacto de los sonidos producidos por el ser humano sobre los animales marinos ha aumentado enormemente en estos últimos años.** La inquietud se asienta en el hecho de que los sonidos de origen humano podrían interferir con los que producen de forma natural los animales marinos, además de causarles un daño físico. La cuestión es saber en qué medida los sonidos de origen humano afectan a la capacidad de los animales marinos para realizar sus actividades normales y a largo plazo a su capacidad para sobrevivir, para reproducirse y para mantener poblaciones sanas. **Es en este contexto de desarrollo paralelo a la acústica y a la sismología marina, a la prospección minera y petrolera y a la bioacústica animal en donde ha surgido de la preocupación por los efectos del ruido sobre la vida marina.**

Posibles amenazas al bienestar de la vida marina

Los científicos conocen desde hace ya mucho tiempo la naturaleza de los sonidos que produce la vida marina. No obstante, no es sino tras el proyecto «Termometría acústica del clima de los océanos» (Acoustic Thermometry of Ocean Climate, ATOC), en el marco del cual los sonidos de alta intensidad y de baja frecuencia (definidos aquí como inferiores a 1000 Hz) se transmiten a larga distancia, cuando la atención del público en general se ha dirigido a los posibles impactos de los sonidos de origen humano sobre los mamíferos marinos.

De repente, todas las fuentes de producción de sonidos han sido objeto de una intensa atención y han sido percibidas como posibles amenazas a la existencia y el bienestar de la vida submarina. Esas fuentes no son solo los instrumentos de

cartografía que se utilizan en el marco oceanográfico, militar o sísmológico, sino también las fuentes no intencionadas, como el transporte marítimo, la actividad costera o incluso la de recreo.

Lo que es preciso comprender bien es que en los océanos los sonidos los produce una gama extraordinariamente amplia y variada de fuentes naturales de origen biológico y no biológico. Los sonidos naturales no biológicos pueden provenir tanto del viento y de las olas como de corrimientos de tierras y de otros fenómenos geológicos, de tormentas o de los movimientos del agua sobre un arrecife de coral.

¿Cuál es su impacto sobre la comunicación de los animales?

Muchos de esos sonidos existen desde la formación de la Tierra y de los océanos y es muy probable que hayan tenido impacto sobre la evolución del sistema auditivo de los animales marinos y sus modos de comunicación. Los sonidos biológicos son asimismo de origen muy variado y los emiten de forma intencionada o no intencionada numerosos organismos. Los sonidos no intencionados incluyen, por ejemplo, los que producen los bancos de peces cuando nadan o cuando liberan aire para ajustar su flotación. Se cree que los sonidos intencionados, como el canto de las ballenas, los chasquidos de los delfines o las vocalizaciones de los peces se producen con fines de comunicación, de ecolocalización y quizá también de cartografía acústica del medio para evaluar las características físicas. La detección de sonidos por parte de los vertebrados aumenta claramente en el medio acuático. Las capacidades auditivas de ciertas especies de peces (teleósteos) son relativamente sofisticadas y numerosas especies son no solo capaces de detectar los sonidos, sino también de determinar la dirección de la que proceden, de detectar una señal entre ruidos que tenderían a enmascararla y de distinguir entre diferentes sonidos. Por otro lado, se percibe una similitud considerable en la estructura del oído de los vertebrados acuáticos y terrestres. Y está claro que la estructura de base del oído, incluidas las células sensoriales ciliadas que transforman las vibraciones en señales eléctricas en el sistema nervioso de todos los vertebrados, evolucionó muy temprano en la historia de estos.



Michel André utilizando un hidrófono durante una misión en el Mediterráneo.

En el medio marino hay poca o incluso ninguna luz. Y hasta en las zonas que disfrutan de una enorme luminosidad, el alcance de la vista está limitado debido a la rápida absorción de las longitudes de onda lumínicas. En consecuencia, si los primeros animales acuáticos hubieran dispuesto solo de sistemas visuales, la gama de informaciones que habrían podido recoger sobre su entorno habría estado limitada por la escasa distancia de penetración de la luz en el agua. La evolución de un sistema auditivo capaz de diferenciar entre sonidos, de determinar su procedencia y de detectar sus componentes, incluso si el entorno es razonablemente ruidoso, ha aumentado de forma considerable las posibilidades de supervivencia de los animales marinos. Hay acuerdo a la hora de afirmar que tanto los humanos como los animales aprovechan el «escenario acústico» y la inmensa cantidad de informaciones sutilísimas que este proporciona en abundancia con el fin de situar su entorno. Por

extensión, ello permite presuponer que el aspecto más importante del oído no es la comunicación como tal, sino la posibilidad de moverse en ese «escenario acústico», con el propósito de detectar objetos u organismos y de diferenciar entre distintos sonidos y su procedencia.

Aprender de su entorno y sobrevivir

Los sonidos y su detección aparecen, por tanto, como elementos esenciales en la vida de los peces y de los mamíferos marinos. Muchos de estos animales utilizan los sonidos para comunicarse entre miembros de una misma especie. Igual de importante es la idea de que todas las especies utilizan esos sonidos para situarse en su entorno y sobrevivir. **Por ende, la preocupación debería centrarse no solo en el impacto de las fuentes de origen humano sobre la comunicación, sino también en el impacto general sobre su capacidad para extraer la información del medio.** Una cuestión fundamental es saber si el impacto de esos sonidos de origen humano sobre los mamíferos marinos y sobre el ecosistema marino en general es lo suficientemente importante para justificar la inquietud tanto de la comunidad científica como del público en general. Si se tienen en cuenta los datos disponibles, la respuesta es que tal interés está sobradamente justificado.



El aspecto más importante del oído no es la comunicación en sí, sino la posibilidad de moverse en el «escenario acústico» marino.

Sin embargo, nuestros conocimientos siguen siendo muy parciales, razón por la cual es importantísimo llevar a cabo un programa como 20 000 sonidos bajo el mar. Este debe ayudar a establecer una base científica que permita:

- 1) identificar y clasificar automáticamente los sonidos de origen biológico y no biológico;
- 2) monitorizar los organismos marinos y la dinámica de las poblaciones.
- 3) observar y verificar los efectos de los sonidos de origen humano sobre los organismos marinos en una escala geográfica y temporal nunca antes alcanzada.

Una oportunidad única para estudiar la situación actual

Un programa científico como este solo es posible si los datos están disponibles en una vasta escala espacial y temporal. Además, una vuelta al mundo de varios años tras la estela de Magallanes en el marco del proyecto *The Ocean Mapping Expedition* de la Fondation Pacifique a bordo del velero *Flor de la Pasión* constituye una oportunidad única para llevar a cabo una verdadera evaluación de la situación actual mundial de los sonidos de los mares y trazar una carta acústica de los océanos. Esta permitirá identificar posibles conflictos de intereses entre las diferentes fuentes de ruidos y proponer a las partes implicadas las soluciones concretas destinadas a procurar que los océanos recuperen un mejor equilibrio acústico entre ruidos naturales y silencios



Objetivos científicos y aplicaciones

Gracias al análisis en tiempo real de las informaciones recogidas por los equipos acústicos que lleva a bordo el *Flor de la Pasión* y transmitidas a los investigadores del Laboratorio de Aplicaciones Bioacústicas (LAB) de la Universidad Politécnica de Cataluña, el programa *20 000 sonidos bajo el mar* evaluará la contribución respectiva de los hombres y la naturaleza al ruido ambiente de los océanos y describirá las tendencias de fondo con relación al nivel sonoro general, en particular en lo que concierne a las actividades humanas. Pondrá de manifiesto cuáles son las investigaciones necesarias para evaluar los impactos del ruido ambiente procedente de distintas fuentes (natural, transporte marítimo, actividad militar, investigación oceanográfica) sobre las especies marinas, en particular en las zonas sensibles desde el punto de vista biológico. El programa estudiará e identificará las lagunas en las bases de datos existentes de ruidos marinos y formulará recomendaciones en relación a las investigaciones que se han de llevar a cabo para desarrollar un modelo de ruido de los océanos que incorpore variables tanto temporales como espaciales y de frecuencias.

Puntos esenciales

Aunque el programa *20 000 sonidos bajo el mar* se centrará principalmente en los efectos del ruido sobre los mamíferos marinos, se interesará asimismo por otras especies (por ejemplo, los peces) que forman parte del ecosistema y de la cadena alimentaria de la que dependen estos animales. La frecuencia de los sonidos estudiados irá de unos pocos hercios a 200.000 Hz (200 kHz), pues en esa amplitud de frecuencia hay numerosos organismos marinos capaces de detectar sonidos.

Puntos considerados esenciales para alcanzar los objetivos del programa:

- concentrar los datos existentes de los sonidos y fuentes de sonidos de origen humano;

- fijar una relación cuantitativa entre sonidos de origen humano y nivel de actividad humana;
- fijar un programa de monitorización a gran escala del ruido de los océanos que abarque una banda de frecuencia de 1 a 200.000 Hz;
- complementar el conocimiento sobre el reparto, los esquemas de propagación, las características y la clasificación de los sonidos marinos biológicos y los organismos;
- monitorizar el ruido de los océanos en regiones geográficamente muy diversas con atención más constante en las zonas de hábitat de los mamíferos marinos;
- examinar el impacto del ruido de los océanos sobre las especies no mamíferas del ecosistema marino.

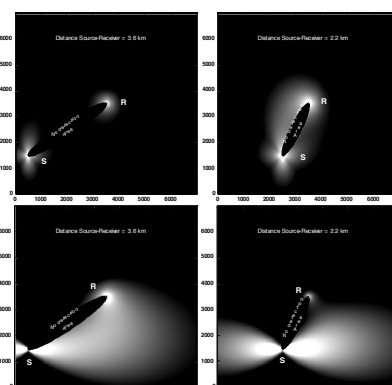
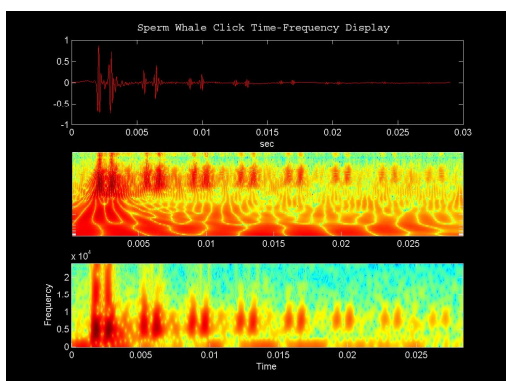
Este programa de investigación y sus modalidades de realización deben apoyarse en un enfoque multidisciplinario y contar con la contribución y los conocimientos de:

- especialistas en electrónica para la selección y la calibración de los transductores utilizados en la monitorización de los sonidos naturales, biológicos y de origen humano;
- especialistas en física acústica para analizar las informaciones recogidas;
- biólogos marinos para observar el comportamiento de las especies en relación con los sonidos;
- estadísticos para el concepto inicial, el análisis de los datos y su representación.

El Laboratorio de Aplicaciones Bioacústicas (LAB) de la Universidad Politécnica de Cataluña reúne un grupo multidisciplinario de investigadores cuyos conocimientos abarcan el conjunto de las competencias y la experiencia necesarias para llevar a buen puerto el proyecto.



A la escucha de los sonidos de los océanos. El programa se interesará asimismo por los peces que forman parte del ecosistema y de la cadena alimentaria de la que dependen los cetáceos.



Equipos a bordo del *Flor de la Pasión*

Para cartografiar los sonidos de los océanos durante su vuelta al mundo a vela tras las huellas de Magallanes, el *Flor de la Pasión* irá dotado del material siguiente:

- 1 sistema de hidrófonos remolcados tras el velero para la escucha continua de sonidos marinos. Hay que señalar que esa cinta de hidrófonos irá asimismo provista de una cámara que recogerá imágenes de la fauna marina y en particular de los cetáceos encontrados, propensos a acercarse a jugar alrededor del equipo;
- sistemas de medición de fuentes de ruido;
- medios informáticos y de comunicación para la transmisión en tiempo real y continuo de datos recogidos, sonidos e imágenes.

Gracias al desarrollo de la tecnología, una vez que la tripulación del velero introduce en el agua los hidrófonos, estos equipos de recogida y transmisión de datos son manejados a distancia directamente por los especialistas del LAB, mediante la tecnología de Internet integrada en los medios técnicos empleados.

Un sitio web especializado

El programa *20 000 sonidos bajo el mar* dará lugar al desarrollo y la creación de un sitio web especializado que permitirá seguir la navegación del velero y escuchar en especial:

- sonidos en directo,
- las grabaciones brutas de los dos meses anteriores,
- segmentos pertinentes,
- mediciones de ruidos de diferentes lugares.
- el análisis estadístico así como las cartas de ruido creadas automáticamente por los programas informáticos de a bordo.

Gracias a la cámara colocada en la cinta de hidrófonos, el sitio permitirá compartir también con el público en general las imágenes de los animales marinos encontrados.

En las escalas, difundir los sonidos del mar

Tanto los sonidos como las imágenes de los océanos están destinados también a ser compartidos durante las escalas del velero gracias a los equipos de difusión y de proyección que el barco lleva a bordo.

En el marco más global de *The Ocean Mapping Expedition*, vuelta al mundo en cuatro años —de 2015 a 2019— tras la estela de Magallanes, cada escala da, en efecto, lugar a la organización de una «comunidad» alrededor del velero, en la cual se presentan al público en general los diferentes programas que constituyen el proyecto.

ANEXO 1: la polución sonora de los océanos

Los cien últimos años han sido testigos del desarrollo de los sonidos de origen humano en el medio marino de una forma sin precedentes en relación a los diez millones de años de la evolución del orden moderno de los cetáceos. Por ello, es relativamente lógico observar que durante este último capítulo de su historia, las ballenas y los delfines no han estado en condiciones de adaptar su sistema auditivo a los sonidos nuevos y fuertes producidos por la actividad humana.

Esta polución sonora de los océanos derivada de la actividad humana se produce por:

- el transporte marítimo,
- las prospecciones y explotaciones de petróleo y gas en el mar,
- los sónares industriales y militares,
- las fuentes acústicas experimentales,
- las explosiones submarinas y otras actividades de ingeniería civil submarina,
- el ruido de los aviones supersónicos.

Estos ruidos artificiales ocupan el espacio físico y acústico de los organismos vivos sin que se pueda evaluar de qué manera afectan negativamente al equilibrio de los océanos a corto, medio y largo plazo.

El control de estas fuentes de ruido constituye un desafío científico e implica una responsabilidad importante por parte de la sociedad y los gobiernos.

Aunque el efecto negativo de estos ruidos elevados, como la actividad industrial, las prospecciones sísmicas o el tráfico marítimo se ha demostrado a través de la observación de cambios de comportamiento en ciertos animales marinos, sigue siendo difícil de determinar si los sonidos de origen humano pueden tener consecuencias mortales sobre estos.

No obstante, está claro que esos ruidos de origen humano, en diferentes niveles de intensidad, pueden afectar negativamente a las poblaciones de cetáceos y traducirse en el desplazamiento de esas poblaciones de sus hábitats tradicionales, en colisiones con barcos o incluso en embarrancamientos en masa seguidos de la muerte de los individuos afectados. Las pruebas demuestran especialmente que los sónares de alta intensidad y los ruidos fuertes como los producidos por el transporte marítimo, las prospecciones marinas o los estudios sismológicos provocan lesiones en los órganos auditivos lo suficientemente graves para resultar mortales. El estado actual de los conocimientos sobre el efecto del ruido en los



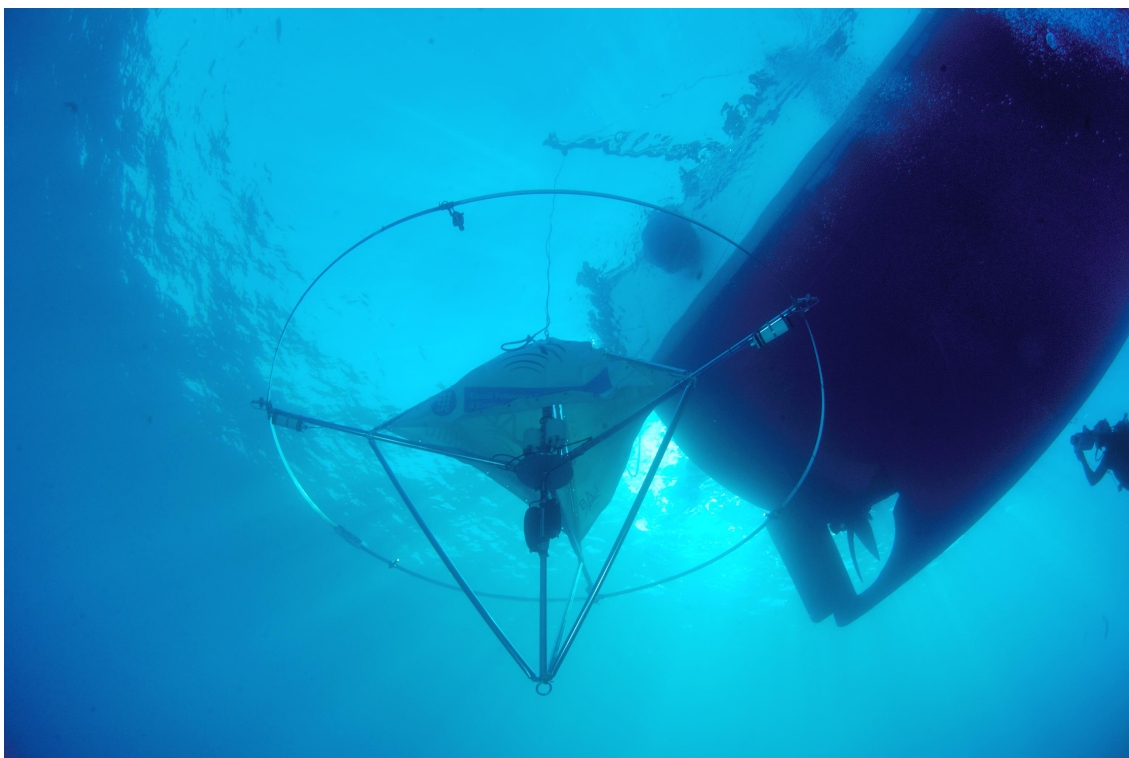
Cachalote golpeado por un navío. Las graves lesiones provocadas por tales colisiones pueden ser fatales.

mamíferos marinos y su hábitat es insuficiente para comprender la relación entre, por un lado, las frecuencias, la intensidad y la duración de la exposición al ruido y, por otro, los daños causados.

Teniendo en cuenta acontecimientos recientes que han supuesto la muerte de cetáceos, el Consejo de la Sociedad Europea de Cetáceos (European Cetacean Society) ha emitido una declaración de clausura de su 17.º congreso anual sobre los sonidos y los mamíferos marinos en la que establece que:

1. la investigación de los efectos del ruido de origen humano sobre los mamíferos marinos es urgentemente necesaria y se debe realizar conforme los más patrones más elevados de credibilidad científica y pública, evitando todo conflicto de intereses;
2. deben desarrollarse y ponerse en práctica medidas de mitigación no invasiva lo más rápidamente posible;
3. el recurso a fuentes de ruidos submarinos deberá limitarse hasta que sus efectos a corto y largo plazo sobre los mamíferos marinos sean comprendidos mejor y no se deberán utilizar en zonas de importancia para los cetáceos;
4. deberán desarrollarse instrumentos legislativos que acompañen la aplicación de políticas nacionales y europeas en materia de polución sonora de los océanos.

Estos elementos nuevos exigen un análisis dinámico de la situación que pasa por el desarrollo y la puesta en práctica de nuevas tecnologías sin frenar los intereses humanos ni comprometer la conservación del medio marino, si no queremos que la actividad humana en los océanos se convierta a corto plazo en una puesta en entredicho definitiva de su equilibrio natural.



Uno de los elementos del sistema anticolidión con las ballenas inventado por Michel André, por el que obtuvo un Premio Rolex a la Iniciativa en 2002.



Acerca de la Fondation Pacifique

La Fondation Pacifique es una organización suiza sin ánimo de lucro, con sede en Ginebra y reconocida oficialmente como de «utilidad pública». Desde su creación en 2007, idea, organiza y desarrolla expediciones temáticas que combinan programas de investigación científica con proyectos culturales, socioeducativos y de sensibilización sobre el medio ambiente; todo ello a bordo de su velero, el *Flor de la Pasión*, un antiguo queche de 33 metros de eslora. La Fundación contribuye así a que se conozca mejor el impacto de los seres humanos sobre el medio marino, y nos invita a reflexionar sobre el lugar que ocupamos en el «planeta mar» al permitir que cualquiera pueda embarcarse como miembro de la tripulación y tomar parte en la expedición. Con este propósito, sus expediciones se desenvuelven bajo un espíritu multidisciplinario en el que se anima a compartir experiencias acompañadas de acciones de comunicación dirigidas al gran público, principalmente durante las escalas. Su proyecto emblemático, *The Ocean Mapping Expedition*, una vuelta al mundo en cuatro años (2015-2019) siguiendo la ruta de los primeros navegantes del Pacífico, es una ocasión única de observar y cartografiar el estado actual de los océanos inspirándose en la aventura vivida por el gran navegante portugués y su tripulación, hazaña que pronto cumplirá 500 años.

FONDATION PACIFIQUE

9bis, rue de Veyrier, 1227 Carouge – Suisse
www.fondationpacifique.ch
www.omexpedition.ch

Contacto con los medios:
samuel@pacifique.ch - +41 76 563 65 43

Programa *20 000 sonidos bajo el mar*

En asociación con el



Laboratorio de Aplicaciones Bioacústicas (LAB)
de la Universidad Politécnica de Cataluña,
Barcelona Tech.
www.lab.upc.es

Contacto con los medios:
michel.andre@upc.edu - +34 93 896 7299/7200