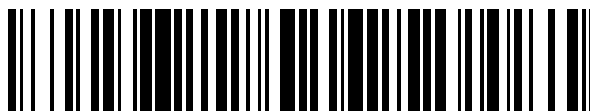


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 793 314**

51 Int. Cl.:

A01M 29/16 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.04.2008 PCT/GB2008/050245**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.10.2008 WO08129313**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.04.2008 E 08719090 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2020 EP 2144498**

54 Título: **Disuasión acústica**

30 Prioridad:

20.04.2007 GB 0707640

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

13.11.2020

73 Titular/es:

**THE UNIVERSITY COURT OF THE UNIVERSITY
OF ST ANDREWS (100.0%)
College Gate, North Street
St Andrews, Fife KY16 9AJ, GB**

72 Inventor/es:

**GÖTZ, THOMAS y
JANIK, VINCENT M.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 793 314 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Disuasión acústica

La presente invención se refiere a la disuasión acústica, y en particular a un dispositivo y método de disuasión acústica para disuadir a los mamíferos marinos.

5 En todo el mundo, la cría de especies de peces de aleta marina y diádromos ha experimentado enormes tasas de crecimiento, mostrando un aumento de diez veces en las últimas tres décadas. Este aumento en los recursos alimentarios potenciales presentados en un entorno marino ha provocado un aumento de las interacciones con especies depredadoras. Un grupo común de depredadores son los mamíferos marinos que explotan los recursos alimenticios en función de su rentabilidad y costos potenciales, que incluyen las profundidades de buceo como un
10 factor importante. La poca profundidad de las piscifactorías las hace particularmente atractivas para los depredadores.

En particular, el comportamiento depredador de los pinnípedos es una preocupación importante, que causa una variedad de riesgos económicos y relacionados con el mercado para el propietario de una piscifactoría. En consecuencia, hay mucho interés en desarrollar métodos de control anti-depredadores.

15 Estos métodos incluyen modificaciones de red, extracciones letales o no letales, control de la población y acondicionamiento aversivo. Sin embargo, cada uno de estos métodos tiene sus propios inconvenientes. Por ejemplo, la adición de una segunda red puede causar enredos de depredadores y especies no depredadoras; y las extracciones letales, así como el control de la población, pueden tener un impacto en las poblaciones y generar inquietudes éticas sobre el tratamiento de los animales. El sacrificio de los depredadores de orden superior también puede tener un
20 impacto negativo en las tasas de depredación por parte de otros depredadores, por ejemplo, los pinnípedos se alimentan de especies de peces depredadores alrededor del cercado de red que a su vez se alimentan potencialmente de especies acuícolas importantes. Además, el acondicionamiento de la aversión emética requiere que los individuos aprendan a asociar los peces tratados con la enfermedad, y esto puede ser difícil de lograr cuando el número de depredadores es alto.

25 Un método de control antidepredador que evita estas trampas es el uso de dispositivos de disuasión acústica (ADD). Estos se han considerado tradicionalmente como una solución benigna. Sin embargo, presentan ciertos problemas con respecto a los efectos que tienen sobre otra fauna marina y con la habituación, donde una especie objetivo motivada por una fuente de alimento deja de ser disuadida por las señales acústicas.

30 La potencia acústica, también conocida como nivel de fuente, de los ADD puede causar daños auditivos temporales o permanentes tanto a las especies objetivo como a otras especies silvestres, y la contaminación acústica es en general un peligro ambiental. Además, las especies objetivo y no objetivo pueden ser excluidas de su hábitat natural dentro de un amplio radio de las piscifactorías. Estas preocupaciones han llevado a algunos gobiernos a restringir o incluso prohibir el uso de ADD.

35 Otro problema es la habituación de las especies objetivo al sonido. En casos extremos, el sonido que pretende ser aversivo actúa como una "campana de la cena" y en realidad sirve para atraer a los depredadores, en lugar de disuadirlos. Además, si los sonidos de depredadores se usan como un ruido aversivo, la habituación es peligrosa para las especies objetivo una vez que han regresado a su hábitat normal.

Además, los niveles de potencia y los ciclos de señal existentes imponen ciclos de trabajo pesado en las baterías utilizadas como fuentes de alimentación en las unidades de transductor.

40 El documento US4922468 describe un método para controlar la población de especies marinas y acuáticas en un área de agua que incluye el desarrollo de datos sobre la respuesta de varias especies a estímulos en diferentes condiciones ambientales, y la generación de estímulos en el área de control para afectar a las especies en ese área y así controlar la población.

45 El documento US5559759 describe un método para alertar a los mamíferos marinos y a otros mamíferos bajo el agua sobre el peligro de acercarse a las embarcaciones de motor, incluye generar una señal acústica de pulsos a una frecuencia de fuente predeterminada y a un nivel de presión de sonido fijo o variable (con la velocidad del barco) y proyectar la señal generada bajo el agua de una manera altamente direccional desde una embarcación a motor y en una dirección correspondiente a la dirección de desplazamiento de la embarcación a motor o desde peligros fijos que presentan un peligro para los mamíferos bajo el agua. El documento WO 95/00016 describe un sistema acústico y un
50 método para repeler mamíferos marinos. La potencia de las señales acústicas comienza en un nivel bajo y se incrementa por escalones o gradualmente hasta un nivel alto que produce una señal más allá del umbral de dolor de los mamíferos para ser repelidos. Por lo tanto, los mamíferos son repelidos gradualmente del área sin sufrir una pérdida auditiva permanente.

Por consiguiente, sería deseable proporcionar un dispositivo de disuasión acústica que sea altamente efectivo, pero que no dañe el medio ambiente, sea específico de la especie y evite la habituación.

55 Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para disuadir a los mamíferos marinos

como se describe en la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas.

Se entiende que "disuadir" significa desalentar o evitar que un mamífero entre o permanezca en un área en particular. La respuesta de sobresalto es un reflejo fisiológico en los mamíferos a los niveles de sonido que a menudo inicia la huida del sonido.

- 5 El nivel predeterminado está entre 90 y 125 dB re 1 μ Pa por encima del umbral de audición representativo en cada frecuencia.

La señal acústica tiene una duración aproximadamente igual al tiempo de integración acústica específico del sistema auditivo de mamíferos objetivo. Preferiblemente, la señal acústica tiene una duración de menos de 200 ms. Preferiblemente, la señal acústica es lo más ancha de banda posible dentro del rango de frecuencia designado.

- 10 Preferiblemente, la señal acústica comprende componentes de frecuencia en los cuales la sensibilidad auditiva de los mamíferos objetivo es mayor que la de otros animales seleccionados.

Preferiblemente, la señal acústica utiliza una banda de frecuencia entre 500Hz y 2kHz para disuadir focas u otros pinnípedos. La señal acústica es preferiblemente tan ancha de banda como sea posible dentro de este rango de frecuencia.

- 15 Los mamíferos a ser disuadidos comprenden mamíferos marinos que incluyen preferiblemente pinnípedos, lo más preferiblemente focas; o cetáceos

Preferiblemente, se hace un sonido de acondicionamiento secundario para condicionar a los mamíferos para que eviten el estímulo principal. Esto podría ser un sonido de frecuencia central de 1KHz, velocidad de modulación de 250 Hz y duración de 1,2 segundos con dos ciclos de modulación.

- 20 Preferiblemente, el sonido de acondicionamiento se reproduce entre 500 ms y 5 s antes de las principales señales acústicas en ocasiones seleccionadas.

También se describe un método para disuadir a los mamíferos marinos, que comprende transmitir una señal acústica que comprende un sonido aversivo cuyas características se eligen en base a características que son desagradables para los humanos.

- 25 Preferiblemente, el sonido aversivo se selecciona para tener una o más de las siguientes características psicofísicas: alta aspereza; baja tonalidad; alto volumen; alta intensidad.

Preferiblemente, se aplica una modulación de frecuencia a la señal portadora, lo más preferiblemente con una frecuencia de modulación de aproximadamente 70Hz.

Esta modulación de frecuencia se aplica para lograr una alta aspereza.

- 30 Preferiblemente, la modulación de frecuencia tiene una profundidad de modulación de entre 10 y 150%, preferiblemente 50% de la frecuencia central de la señal portadora.

Preferiblemente, el sonido aversivo tiene un nivel de presión acústica de al menos 70 dB por encima del umbral de audición de los mamíferos objetivo, lo más preferiblemente al menos 80 dB por encima del umbral de audición de los mamíferos objetivo.

- 35 Preferiblemente, un sonido aversivo es de una forma compleja y comprende parciales que caen dentro del 25% del ancho de banda crítico del sistema auditivo de los mamíferos objetivo.

Preferiblemente, cuando los cetáceos deben ser disuadidos, las señales acústicas podrían estar cerca del borde de frecuencia superior del rango de audición para aumentar la intensidad.

- 40 Preferiblemente, la señal acústica es lo más ancha de banda como sea posible dentro de la banda de frecuencia seleccionada para aumentar el volumen sin aumentar el nivel de presión de sonido real.

Preferiblemente, el sonido aversivo comprende componentes de frecuencia en los cuales la sensibilidad auditiva de los mamíferos objetivo es mayor que la de otros animales seleccionados.

Preferiblemente, la señal acústica comprende uno o más componentes de frecuencia entre 500Hz y 2kHz para la disuasión de focas u otros pinnípedos.

- 45 Preferiblemente, el tiempo de exposición al sonido se determina en base a un nivel de exposición al sonido por debajo del que causa un cambio de umbral temporal en las especies objetivo y no objetivo, por ejemplo, una densidad de flujo de energía de 120 dB re 1 μ Pa²s⁻¹ por encima del umbral de audición de los mamíferos objetivo.

La presente invención también proporciona un sistema de disuasión acústica que comprende una unidad de control, una fuente de alimentación, un amplificador y medios transductores subacuáticos, configurados para realizar el

método.

Preferiblemente, se proporciona un software de control ejecutable en una computadora para que la computadora sea operable como la unidad de control del sistema de disuasión acústica.

5 El software de control se puede proporcionar grabado en un medio legible por computadora o disponible para descargar.

La presente invención se describirá ahora, solo a modo de ejemplo, con referencia a las figuras adjuntas en las que:

La figura 1 muestra un sistema de disuasión acústica;

La figura 2 muestra el gráfico de umbrales de audición para animales seleccionados;

La Fig. 3 muestra una representación de la Ley de Stevens;

10 La Fig. 4 muestra la percepción de sonoridad calculada de un tono de 2.5 KHz en una foca de puerto;

La figura 5 muestra una comparación de avistamientos de focas durante las pruebas de campo tanto en días de control como en días de sonido para (a) aproximaciones más cercanas y (b) distancia promedio desde un dispositivo de disuasión acústica;

15 La figura 6 muestra una comparación de avistamientos de marsopas durante las pruebas de campo tanto en días de control como en días de sonido para (a) aproximaciones más cercanas y (b) distancia promedio desde un Dispositivo de Disuasión Acústica;

Fig. 7: muestra un gráfico de resultados de experimentos con focas cautivas que muestran que las focas mostraron una respuesta de sobresalto y sensibilizados a un sonido transmitido, lo que significa que las respuestas adversas aumentaron con el tiempo.

20 Una variedad de Dispositivos de Disuasión Acústica (ADD) están disponibles para reducir o detener la depredación de pinnípedos en las piscifactorías. Estos incluyen, por ejemplo, los ahuyentadores de focas Ferranti-Thomson Mk2, Mk3 y 4X, el "ahuyentador silencioso" Ace-Aquatec, el Airmar Technology Corporation dB Plus II, el DSMS-4 Terecos Limited y el "asustador universal" o "asustador de focas" Lofitech.

25 Como se ve en la Fig. 1, un ADD comprende una fuente de alimentación 10 (generalmente baterías marinas), una unidad de control 12, un amplificador 14 y un transductor subacuático (altavoz) 16. La realización que se muestra en la Fig. 1 muestra toda la fuente de alimentación, el amplificador y el transductor están por debajo de la superficie del agua 18, pero se apreciará que se puede usar cualquier disposición adecuada de estos componentes, por ejemplo, una o más de la fuente de alimentación y el amplificador pueden estar situados lejos del transductor 16 y como tal podrían estar por encima de la superficie 18, o como otro ejemplo, todos los componentes podrían estar bajo el agua, no solo el transductor.

30 La unidad de control 12 típicamente incluye una computadora que tiene una cantidad de archivos de sonido almacenados en ella que generan señales para ser transmitidas a través del amplificador 14 y transmitidas en el agua. La unidad de control 12 también controla la sincronización de los sonidos que se reproducen.

35 El sonido que se reproduce se caracteriza por sus niveles de fuente, tiempo de subida, composición de frecuencia y duración. Además, el intervalo entre sonidos determina lo rápido se suceden los sonidos.

40 El "nivel de fuente" (SL) es una medida de la salida acústica del dispositivo a una distancia de 1 m. En el siguiente texto, los niveles de origen y los niveles recibidos en general se denotarán en unidades de decibelios (dB) medidos con referencia a 1 μ Pa, a menos que una afirmación o el contexto específico impliquen lo contrario. El "tiempo de subida" es una medida de cuánto tarda una señal acústica o pulso en alcanzar su máxima amplitud. El término niveles de sensación se refiere al nivel de presión acústica por el cual un estímulo excede el umbral auditivo de la especie (nivel recibido menos el umbral de audición). El nivel recibido se refiere al nivel de presión acústica que alcanza los oídos del animal (nivel fuente menos pérdida de transmisión). El término nivel de exposición al sonido (SEL) se refiere a la densidad de flujo de energía (en función del nivel de presión acústica y del tiempo de exposición) y viene dado por $SEL = SPL + 10 \log_{10} (\text{tiempo de exposición})$ en donde SPL es el nivel de presión acústica de un sonido recibido.

45 Al diseñar un dispositivo de disuasión acústica hay varios factores que deben tenerse en cuenta, incluidos los impactos ecológicos (tanto en especies objetivo como no objetivo), y problemas y posibles soluciones.

Impactos ecológicos

Especies implicadas

50 Cualquier animal que pueda percibir sonidos acústicos puede verse afectado negativamente por ellos. Estos efectos pueden ser muy diversos. Por ejemplo, el ADD Ferranti-Thomson 4X tiene una potencia de más de 200 dB re 1 μ Pa a

25KHz y las señales de este dispositivo pueden ser audibles para una marsopa de puerto (*Phocoena phocoena*) hasta 10 km. Se cree que la zona de audibilidad potencial para una foca de puerto para una fuente de 175 dB re 1 μ Pa se encuentra entre aproximadamente entre 1,4 km y 2,9 km.

Daño auditivo

5 Los ADD podrían causar daños auditivos a las especies objetivo y a las especies no objetivo, lo que conduce a efectos adversos en animales individuales y en la población en general. El daño auditivo también reduciría la eficiencia potencial del ADD, ya que sería menos audible para los depredadores afectados.

10 El daño auditivo primero ocurre como un cambio temporal del umbral auditivo (TTS) que es completamente recuperable después de unas pocas horas o días. Sin embargo, la exposición a estímulos acústicos de mayor intensidad o mayor duración puede causar daño crónico y conducir a un cambio de umbral permanente (STP). En su forma más leve, este daño auditivo permanente solo afecta las células ciliadas externas del sistema auditivo. Esto conduce a un aumento muy sutil del umbral de audición, pero también destruye el amplificador de la cóclea causando una disminución del rango dinámico y una pérdida de la capacidad para discriminar entre frecuencias.

15 El daño auditivo en cualquier forma es una función del nivel de presión acústica (SPL) y el tiempo de exposición. Un sonido de corta duración se puede presentar de forma segura en un SPL más alto que uno más largo. Se ha sugerido que los estímulos de igual energía acústica causan daños similares. El nivel de exposición al sonido (SEL) o la densidad de flujo de energía se ha sugerido como una medida para definir niveles de exposición seguros, donde **SEL = SPL + 10 log₁₀ (tiempo de exposición)**. Sin embargo, los datos sobre mamíferos terrestres parecen sugerir que el criterio de energía igual subestima el riesgo de daño auditivo, al menos para presiones de sonido cercanas a un nivel crítico de aproximadamente 135 dB por encima del umbral auditivo.

20 No se dispone de mediciones directas de STP para mamíferos marinos, por lo que se deben extraer conclusiones basadas en la extrapolación de los datos de STT o los criterios de riesgo de daño humano (RDC).

Cambio de umbral temporal (TTS)

25 Los estudios sobre odontocetos han encontrado que los niveles de exposición al sonido entre 193 y 213 dB re 1 μ Pa²s⁻¹ pueden causar TTS de leve a moderada, pero totalmente recuperable. Estos valores son aproximadamente 116-132 dB re 1 μ Pa por encima del umbral de audición de las personas evaluadas. También se ha sugerido que un nivel de exposición al sonido se puede expresar en términos de niveles de densidad de flujo de energía en algunas situaciones.

30 Se han utilizado estudios sobre odontocetos para estimar los rangos de TTS de ADD para transmisiones únicas (es decir, pulsos cortos) en base a supuestos de energía iguales. Teniendo en cuenta estos supuestos, un dispositivo Airmar dB Plus II (que tiene un nivel de fuente de 192 dB re 1 μ Pa) solo causaría TTS en delfines nariz de botella a distancias inferiores a 1 m, mientras que un dispositivo Ferranti-Thomson 4X de alta potencia (200 dB re 1 μ Pa) tendría un Zona TTS de unos 2-3 metros. Las zonas TTS para la marsopa del puerto serían 2-3 y 14-25 metros respectivamente.

35 Estas zonas TTS se amplían notablemente para tiempos de exposición más largos. Se cree que la exposición a 10 segundos de un sonido a un nivel de 194 dB re 1 μ Pa (que es equivalente a la energía de un ahuyentador de 20 segundos producida por un dispositivo tipo Ace-Aquatec o Ferranti-Thomson Mk 2) da como resultado zonas TTS de 150m para marsopas de puerto, 285m para delfines nariz de botella y 577m para orcas, mientras que una zona TTS de foca de puerto estaría alrededor de 11m en una estimación conservadora.

Cambios de umbral permanentes (PTS)

40 El criterio de riesgo de daño humano (DRC) establece que el STP será causado en o después de un valor crítico de 130 dB por encima del umbral de audición. Los estudios de mamíferos terrestres han confirmado que dicho daño auditivo ocurre rápidamente cuando se expone a pulsos de sonido de 130-140 dB por encima del umbral auditivo. Los datos disponibles sobre marsopas de puerto sugieren que una zona de daño PTS para marsopas de puerto sería de 30 m, con un resultado similar para las orcas (*Orcinus orca*).

45 La extrapolación de umbrales o PTS de los datos de TTS es problemática, pero debido a la falta de mediciones directas en mamíferos marinos y las dificultades de extrapolación de la RDC humana, tal intento está justificado. Los datos sobre humanos sugieren que los niveles de exposición que causan TTS de 40 dB o más conllevan cierto riesgo de causar un PTS. Un cambio de umbral temporal que exceda los 40 dB conlleva cierto riesgo de convertirse en permanente y se correlaciona con un aumento del nivel de presión de exposición al sonido en 20 dB más allá del nivel de presión del sonido que causa el inicio de TTS). Con base en estas consideraciones, las zonas de daño dentro de las cuales podría ocurrir PTS serían 16m, 31m y 69m para el delfín nariz de botella, la marsopa de puerto y la orca, respectivamente.

55 La exposición a largo plazo (es decir, cualquier cosa de 1,5 minutos por día o más) requiere que se hagan diferentes cálculos. El uso de un umbral de daño de PTS de 110 dB por encima del umbral de audición para exposiciones de hasta 1,5 minutos produce rangos de PTS entre 69 m y 562 m para un dispositivo de alta potencia (200 dB re 1 μ Pa

a 1 m) y valores entre 40 m y 281 m para un ADD de 194 dB re 1 μ Pa dependiendo de los umbrales de audición de la especie.

La exposición a largo plazo durante meses o años requiere criterios aún más conservadores. Los niveles de ruido aceptados en los lugares de trabajo industriales humanos son 85 dB por encima de la zona del umbral de audición. Se superaría un umbral de 80 dB aún más conservador dentro de una zona de más de un kilómetro de radio para el dispositivo Airmar dB Plus II que tiene un nivel de fuente de 192 dB con 1 μ Pa. En áreas con actividad densa de piscicultura, los animales podrían estar expuestos a estos niveles por un período de tiempo extenso. Como han demostrado los estudios en humanos, el TTS inofensivo inicial puede convertirse en PTS si los períodos de recuperación son insuficientes o inexistentes.

- 5
- 10 La audición en peces está menos estudiada en general. Sin embargo, los peces son sensibles a frecuencias más bajas que los pinnípedos o los cetáceos y se han realizado estudios sobre peces utilizando señales con frecuencias de 500Hz o menos, que se encuentran dentro del rango auditivo más sensible de los peces. Esto hace que sea difícil sacar conclusiones sobre los efectos de las señales de mayor frecuencia. Sin embargo, el aumento de TTS con niveles de exposición crecientes y cambios temporales débiles se ha demostrado en algunos estudios.

15 **Enmascaramiento**

Es importante que los sonidos producidos por los TDA no se superpongan con los sonidos de comunicación o ecolocación utilizados por los mamíferos objetivo o no objetivo.

- 20 Para que una señal sea enmascarada, la detección de la señal debe estar influenciada por un segundo sonido: el enmascarador, que generalmente estará centrado en la frecuencia de la señal. Está bien establecido que el efecto de enmascaramiento depende del ancho de banda del enmascarador hasta que alcanza el llamado ancho de banda crítico. Por lo tanto, el ruido solo enmascara una señal si contiene frecuencias similares a la señal de interés. Los anchos de banda críticos en los mamíferos marinos generalmente están por debajo del 10% de la frecuencia central de la señal.

- 25 Además, los efectos de enmascaramiento se atenúan si el enmascarador y la señal provienen de diferentes direcciones. En las focas de puerto, los ángulos audibles mínimos distinguibles para los clics son de 4,5 grados, y en los delfines nariz de botella son menores de 3 grados. Por lo tanto, parece que los cetáceos y pinnípedos pueden evitar con éxito los efectos de enmascaramiento, pero el potencial de afectar otras redes de comunicación de mamíferos marinos es alto.

- 30 Poco se sabe sobre los impactos del enmascaramiento en los peces. Sin embargo, sus habilidades auditivas son generalmente menos sofisticadas que las de los mamíferos, lo que podría hacerlos más propensos a los efectos del enmascaramiento.

Exclusión de hábitat

Como se mencionó anteriormente, se ha demostrado que los ADD para focas excluyen a los mamíferos marinos no objetivo (es decir, los cetáceos) de su hábitat. Esto ha sido confirmado por varios estudios.

35 **Problemas y soluciones**

Ciclos de trabajo

Si un ADD existente se usa continuamente, la contaminación acústica es sustancial. Los ciclos de trabajo varían del 3% en un modelo Ferranti-Thomson hasta el 50% en otros diseños.

- 40 Los dispositivos pueden incluir detectores de depredadores adicionales para que el ADD solo se active cuando haya un depredador presente. Esto se puede realizar a través de la detección directa de un depredador, o del análisis de los patrones de movimiento de los peces en los corrales de la piscifactoría. Tales sistemas son deseables y pueden incorporarse en combinación con la invención.

Bandas de frecuencia

- 45 La Figura 2 muestra los umbrales de audición para un espectro de vida silvestre marina medido en dB con respecto a 1 μ Pa trazado en el eje Y, en función de la frecuencia en KHz en el eje X logarítmico.

Los ADD existentes usan frecuencias superiores a 4KHz, en las cuales la audición de los odontocetos es generalmente más sensible que la audición de los pinnípedos. Por lo tanto, los odontocetos perciben un sonido de un SPL dado más fuerte que las focas.

- 50 Se han investigado los niveles de incomodidad para las focas de puerto cautivas y las marsopas de puerto y se ha descubierto que para una frecuencia de 12 KHz, las marsopas de puerto evitan el sonido que es aproximadamente 5 dB más silencioso que el que evitan las focas de puerto. Esto corresponde a la diferencia entre los umbrales de audición de ambas especies en la frecuencia relevante.

5 Algunos ADD funcionan a frecuencias cercanas a la audición más sensible de los pinnípedos, es decir, entre 20 y 30 KHz. Sin embargo, estas frecuencias no son adecuadas porque los umbrales de audición en los odontocetos son aún más bajos en esta banda. Además, la mayoría de los odontocetos tienen su audición más sensible en el rango ultrasónico entre 30 y 50 KHz. Por lo tanto, sería deseable que ningún ADD produzca energía sustancial por encima de 20KHz. Sin embargo, este es el caso de la mayoría de los ADD disponibles.

10 En una banda de frecuencia entre 200Hz y 2KHz, la audición de los pinnípedos es más sensible que la audición de los odontocetos y, por lo tanto, parece ser una banda de frecuencia ideal para los ADD. Esta banda de frecuencia no se ha utilizado previamente para los ADD de pinnípedos porque está por debajo de las frecuencias a las que su audición es más sensible. Sin embargo, los inventores se han dado cuenta de que el uso de esta banda de frecuencia aparentemente no óptima permite que un ADD tenga un efecto en pinnípedos sin afectar negativamente a los cetáceos y odontocetos.

15 Este es un ejemplo específico de la comprensión más general de los inventores de que los componentes de frecuencia para un ADD se pueden elegir para que se encuentren en valores en los que la sensibilidad auditiva de los mamíferos objetivo sea mayor que la de otros animales seleccionados, incluso a expensas del uso las frecuencias correspondientes a los umbrales auditivos más bajos de los mamíferos objetivo.

20 Las frecuencias más bajas (es decir, 500Hz a 2kHz en el ejemplo de la foca) pueden tener efectos en peces con audición especializada (como clupeidos) y ballenas barbadas y es posible que sea necesario realizar más investigaciones para cuantificar esto. Sin embargo, las especies de peces con audición especializada y la mayoría de las ballenas barbadas generalmente no se producen alrededor de las ubicaciones de las piscifactorías, por lo que no se anticipa que esto sea un problema cuando la invención se usa en un entorno de la piscifactoría.

Percepción de los niveles de presión sonora recibidos

El paradigma general aplicado en los ADD actuales es que se espera que un alto nivel de fuente cause molestias físicas o dolor y, por lo tanto, haga que un animal abandone un área. Sin embargo, hay varios problemas involucrados cuando se opera en el extremo superior del rango dinámico de un animal.

25 La Figura 3 muestra una representación cualitativa de la Ley de Steven donde la magnitud de la sensación se representa frente a una magnitud de estímulo físico para un sonido. Se muestran dos curvas, una muestra el volumen de un sonido mientras que la otra muestra la percepción del dolor.

La Ley de Steven proporciona un modelo aproximado de la relación general para la magnitud de la sensación, ψ , y la magnitud de un parámetro físico, ϕ , de la siguiente manera:

30
$$\Psi = k(\phi - \phi_0)^m$$

k es una constante y ϕ_0 es el estímulo físico (umbral) perceptible más bajo y m es un coeficiente específico de modalidad que determina la forma esencial de la función. En el sistema auditivo humano, m es igual a 0.6 (este valor se ilustra en la Fig. 3).

35 Se puede ver que, como una generalización, agregar un valor de presión de sonido definido (en Pascales) al estímulo de alta presión de sonido solo conduce a un pequeño aumento de la sonoridad percibida, mientras que agregar el mismo valor de presión de sonido a un estímulo de baja presión de sonido conduce a un aumento más fuerte en el volumen percibido. Por lo tanto, un aumento en la presión del sonido en el rango superior de la curva en la figura 3 aumenta desproporcionadamente el riesgo de dañar el sistema auditivo sin producir un efecto aversivo mucho más fuerte.

40 La sonoridad percibida de un sonido generalmente se mide en la escala de sonido, una duplicación de la cual refleja una duplicación de la sonoridad percibida. Un sono se define como un sonido que se percibe igual de fuerte que un tono de 40 dB re 20 μ Pa a 1 kHz en el aire para humanos. La sonoridad percibida en sono (L) se puede calcular mediante la ecuación: $L = 0,01 (p-p_0)^{-0,6}$, donde p es la presión sonora en μ Pa y p_0 es el umbral efectivo

45 La Figura 4 muestra la percepción de sonoridad calculada de un tono de 2,5 KHz en una foca de puerto. Una duplicación del volumen de los sonos refleja una duplicación del volumen percibido. Se considera que el umbral de incomodidad para la foca de puerto es de aproximadamente 6 sono, que es ligeramente más bajo que el de los humanos. Los umbrales de dolor son mucho más altos y generalmente cercanos a los SPL que causan daño auditivo inmediato. Por lo tanto, los ADD actuales no causarán dolor en la mayoría de los casos, pero cuando se causa dolor también es probable que haya daño auditivo.

50 A la luz del daño auditivo potencial causado por los ADD, los inventores recomiendan que no se intente aumentar los niveles de fuente de los ADD actuales ni usar dispositivos que emitan sonido continuamente a niveles de fuente en el extremo superior del rango dinámico cercano al umbral de sospecha de dolor. Además, el nivel crítico de 135 dB por encima del umbral no debe superarse a distancias razonables de la fuente de sonido, ya que el riesgo de daños originados por exposiciones únicas a corto plazo aumenta sustancialmente por encima de este nivel.

Un nivel de exposición seguro para las focas sería un nivel de exposición al sonido percibido de aproximadamente $126 \text{ Pa}^2\text{s}^{-1}$ por encima del umbral, que equivale a un SEL de 183 dB re $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}^{-1}$. Esto se calculó para un tono de 2,5KHz reproducido para una foca de puerto.

5 Los tiempos de recuperación en escenarios de exposición al sonido que no causan un TTS deben ser de al menos diez segundos para evitar la acumulación de trauma acústico. Sin embargo, se deben calcular niveles de exposición aceptables para las especies con la audición más sensible en el rango de frecuencia utilizado por el ADD.

Para los ADD actualmente disponibles, esto generalmente sería un odontoceto en lugar de un pinnípedo.

Tipos de sonidos

10 Se ha demostrado que los sonidos de las orcas son aversivos a las focas. Sin embargo, afectan igualmente a los cetáceos, lo que los convierte en una opción poco atractiva. El uso de sonidos de depredadores también conlleva el riesgo de que los mamíferos se habitúen a los sonidos de depredadores y se vuelvan más vulnerables a la depredación real.

15 No hay datos disponibles sobre la percepción de aversión en mamíferos marinos. Sin embargo, el sistema auditivo es generalmente similar entre todos los mamíferos, en particular el funcionamiento básico de la cóclea y el procesamiento auditivo periférico en el cerebro. Los inventores proponen que los datos basados en la percepción del sonido humano serían un buen punto de partida para la investigación de la percepción de aversión en mamíferos marinos.

20 Se proponen dos versiones diferentes de ADD. La primera versión utiliza la respuesta de sobresalto de los mamíferos para provocar la huida. Los sonidos de sobresalto deben tener un tiempo de subida corto, tener un nivel de sensación de al menos 90 dB por encima del umbral de audición y ser relativamente cortos (es decir, menos de 200 ms). Además, el sonido debe ser de banda ancha. Estos tipos de sonidos provocan una respuesta de sobresalto y huida.

25 La respuesta de sobresalto es un reflejo fisiológico a los niveles de sonido y se ha demostrado que ocurre en niveles de fuente específicos por encima del umbral de audición de una especie en particular. Se produce a través de un reflejo relativamente simple y es probable que los mamíferos compartan los mecanismos subyacentes. La respuesta de sobresalto generalmente es seguida por una respuesta de huida en una dirección que se aleja de la fuente del sonido. La respuesta de sobresalto ha sido bien documentada en ratas, pero principalmente con fines experimentales para estudiar las bases neuronales de los comportamientos de aprendizaje simples (por ejemplo, sensibilización y habituación). No se ha utilizado en la práctica para un dispositivo disuasorio de mamíferos, y además nunca se ha aplicado a la disuasión de mamíferos marinos en una piscifactoría o en cualquier otro entorno práctico.

30 La segunda versión usa sonidos aversivos que fueron diseñados sobre la base de un modelo que describe lo que hace que el sonido sea agradable o desagradable para los humanos. Zwicker, E. y Fastl, H. (1990), "*Psychoacoustics-Facts and Models*", Springer-Verlag, Nueva York. Los cuatro parámetros que se mencionan en el modelo que predice lo que hace que los sonidos sean desagradables en los humanos son alta intensidad, alta aspereza, baja tonalidad y alto volumen. Además, se ha encontrado que las diferencias de frecuencia específicas dentro de los sonidos complejos son desagradables (por ejemplo, diferencias de frecuencia / proporciones que constituyen intervalos musicales desagradables).

35 Para maximizar los efectos causados por la intensidad, se deben usar señales de mayor frecuencia, por lo que la intensidad se descarta como un parámetro para los ADD específicos para las focas. Sin embargo, podría usarse como parámetro en un ADD para disuadir a los cetáceos; en particular odontocetos (ballenas dentadas) con buena audición de alta frecuencia.

40 Se puede lograr una baja tonalidad utilizando sonidos de onda cuadrada como señales portadoras que no tienen características muy tonales (por ejemplo, en comparación con un tono de onda sinusoidal pura).

Para maximizar la aspereza, la señal portadora debe ser modulada en frecuencia. Una modulación de frecuencia de entre 5Hz y 200Hz sería adecuada para los ADD, con un potencial óptimo de aproximadamente 70 Hz (correspondiente a la modulación de frecuencia más efectiva en humanos para causar un estímulo desagradable).

45 La profundidad de modulación de la señal puede ser de banda estrecha o de banda ancha, que generalmente varía entre 10% y 150%. Como ejemplo particular, una profundidad de modulación del 50% de la frecuencia central de la señal portadora puede ser útil.

50 Como se ha mencionado anteriormente, la composición de frecuencia de los sonidos complejos también es un factor que contribuye a la aversión de un sonido. Los sonidos complejos que consisten en parciales (componentes de ondas sinusoidales individuales) que tienen diferencias de frecuencia que caen dentro del 25% de un ancho de banda crítico se perciben como disonantes en los humanos. Al modelar el sistema auditivo como una serie de filtros de paso de banda, el ancho de banda crítico refleja el ancho de banda de cada filtro individual.

Algunos ejemplos de sonidos adecuados que se pueden sintetizar son los siguientes:

1. Señales de moduladas de frecuencia de 70-Hz de onda cuadrada con una frecuencia portadora de 500 y 527 Hz.

Ambos tonos son mixtos (presentados al mismo tiempo) que se asemejan al intervalo musical de un segundo menor. La profundidad de modulación fue del 50%.

5 2. Tonos de onda cuadrada de frecuencia modulada de 70 Hz con frecuencias portadoras de 500 y 507 Hz. Ambos tonos se mezclan (se presentan al mismo tiempo) y se asemejan a una distancia de frecuencia del 25% de la banda crítica para una foca de puerto (*Phoca vitulina*) La profundidad de modulación fue del 50%.

3. Tonos de frecuencia modulada tonos de onda cuadrada de 70-Hz con una frecuencia portadora de 500 Hz.

4. Una combinación de los primeros tres sonidos: este sonido consistiría en elementos de longitud variable (100 ms a unos pocos segundos). Algunos de estos elementos se presentan como barridos de FM que cubren un rango de frecuencia de 200 Hz a 4 kHz.

10 Debe apreciarse que estos cuatro ejemplos son solo para fines ilustrativos.

También se ha observado que las señales de banda ancha se perciben como siendo más fuertes que las señales de banda estrecha cuando se reproducen en el mismo nivel de fuente, y esto se puede usar para aumentar el volumen percibido sin aumentar realmente el nivel de fuente. Por lo tanto, tanto para los sonidos sobresaltados como para los aversivos, una señal se construye intencionalmente para que sea tan ancha de banda como sea posible dentro de la banda de frecuencia designada.

Prevenir la habituación

Los factores motivacionales influyen claramente en las respuestas a la exposición al sonido. Un elemento de disuasión acústica probado en focas cautivas bien alimentadas ofrece mejores resultados de rendimiento que uno probado en focas de alimentación alrededor de piscifactorías reales, ya que la motivación alimentaria daría a las focas una mayor tolerancia a los sonidos fuertes.

La habituación podría evitarse o al menos retrasarse mediante un método de activación que solo reproduce sonidos cuando se acercan las focas. Esto puede ser provocado por la detección de una foca en sí o por el análisis de patrones de movimiento cambiantes en la natación de los peces, lo que indica que hay un depredador presente. El uso de tipos de sonido altamente variables también debería evitar la habituación, pero no hay datos empíricos disponibles para los animales en el contexto de alimentación que respalden esto.

Los estudios en la respuesta de sobresalto de las ratas han indicado que la habituación no es causada por un aumento del umbral de percepción que provoca la respuesta de sobresalto, sino por un cambio de la pendiente de la función de la diferencia entre una señal de entrada (SPL) y una señal de salida (magnitud de la respuesta).

30 Esto apoya la teoría del proceso dual de habituación, lo que significa que la respuesta a un estímulo repetido está influenciada por un componente decreciente (sensibilización) y creciente (habituación). Para los ADD esto significaría que los niveles de fuente tendrían que incrementarse más allá de los niveles iniciales para producir la misma respuesta que antes de que ocurriera la habituación. Dados los problemas mencionados anteriormente asociados con un alto ruido SPL, esta no es una buena solución.

35 Idealmente, se tendría como objetivo reemplazar la habituación por la sensibilización a un estímulo sonoro. Esto podría lograrse mediante el uso de sonido de alta intensidad de forma intermitente para sensibilizar un estímulo de baja intensidad. La sensibilización a través de la estimulación eléctrica no es factible ya que la foca debería estar muy cerca para producir un efecto.

40 Sin embargo, es preferible que el estímulo acústico sea reforzado negativamente repetidamente por un estímulo aversivo. Los paradigmas de condicionamiento clásico podrían usarse aquí. Un estímulo no condicionado (por ejemplo, sonido de sobresalto) que causa una respuesta no condicionada (por ejemplo, respuesta de sobresalto) se asocia con un estímulo condicionante (por ejemplo, una señal acústica artificial sin significado biológico) que puede provocar la respuesta condicionada que consiste en el mismo patrón de comportamiento que la respuesta no condicionada (por ejemplo, sobresaltarse y huir).

Confirmación de teoría

45 Para confirmar las mejoras teóricas en la disuasión acústica introducidas anteriormente, los inventores llevaron a cabo una serie de experimentos. Para comenzar, estos experimentos se llevaron a cabo en un ambiente controlado con focas cautivas que constituye una prueba de campo de la invención en una piscifactoría en la que nunca se había utilizado un dispositivo de disuasión acústica (ADD) de ningún tipo.

Sensibilización para sobresaltar sonidos en cautiverio

50 Los experimentos con focas cautivas se llevaron a cabo bajo una fuerte motivación alimentaria provocada por la presencia de una estación de alimentación submarina. La mayoría de las focas mostraron una clara respuesta de sobresalto como lo indican las sacudidas del cuello en respuesta al estímulo elegido (pulso de ruido filtrado de 450Hz y 1,9kHz; frecuencia pico 1 kHz, nivel recibido 170 db re 1μPa). La respuesta de sobresalto fue seguida por una

respuesta de huida. Después de varias exposiciones, las focas también comenzaron a arrastrarse (salir del agua) en respuesta al sonido. Estas respuestas de huida y el tiempo que el animal pasó en tierra aumentaron con el tiempo, ya que todos los animales eran muy reacios a entrar en la piscina o acercarse a la estación de alimentación al final de los experimentos. El comportamiento aversivo se cuantificó mediante un índice de aversión que era un índice acumulativo de ocurrencia de una serie de comportamientos aversivos. Dependiendo de si ocurrieron todos o ninguno de los siguientes comportamientos, el índice varió de 0 (no aversivo) a 4 (altamente aversivo):

- Se evitó la captura de peces.
- La foca de repente se aleja del altavoz.
- Respuesta de escape / huida: la foca aumenta la distancia al altavoz a velocidades de más de 3 m / s.
- Arrastre fuera durante al menos 30 segundos después de la respuesta de huida

Como se muestra en la figura 7, las respuestas aversivas aumentaron con el tiempo, lo que significa que los animales no se habituaron sino que se sensibilizaron al sonido. Esto confirma la teoría y es un resultado altamente deseable para un método de disuasión acústica. Ningún estudio previo sobre dispositivos de disuasión acústica ha demostrado ningún tipo de sensibilización a un estímulo acústico.

Prueba de campo en piscifactoría

Se utilizó un ADD compuesto por un altavoz Lubell® 9162, un amplificador estéreo de alta potencia para automóvil Cadence® Z9000, un reproductor de CD Panasonic® SL-S120 y una batería para automóvil instalada en una caja de aluminio a prueba de agua. El altavoz se desplegó a 17 m de profundidad, que estaba a unos 2 m debajo de la parte más profunda de una jaula para evitar los efectos de sombra de sonido de los peces en el campo cercano. Se utilizó un estímulo de sobresalto compuesto por un pulso de ruido de 200 ms de duración con un tiempo de subida de 5 ms y una frecuencia máxima de 950 Hz. El ancho de banda de -20dB abarcó aproximadamente de dos a tres octavas con los puntos de potencia promedio menos 20dB a 450Hz y 1,9kHz. El pulso de sobresalto se combinó con un sonido previo sustancialmente más débil que comprende un tono puro de onda sinusoidal larga modulada en frecuencia de 3 Hz de 1,2 s. Los barridos causados por la modulación de frecuencia cubrieron un rango de frecuencia de 700Hz a 1,3kHz y el sonido previo terminó 2 segundos antes de la presentación del pulso de sobresalto.

Los pulsos de ruido se reprodujeron a intervalos variables que oscilaban entre 2 y 40 segundos con un promedio de 2,4 pulsos por minuto. Para hacer el patrón de sonido menos predecible, las señales se organizaron digitalmente en 4 pistas de reproducción diferentes, cada una de las cuales tuvo una duración de 1,5 horas. Estas pistas de reproducción se asignaron a diferentes días de reproducción y se reprodujeron en modo bucle desde el reproductor de CD. Dada la longitud de la señal de 200 ms, el ciclo de trabajo efectivo del ADD fue de 0,08%. El nivel de fuente del ADD se ajustó a 180 dB re 1 µPa. Los experimentos se llevaron a cabo en estados marinos de menos de 3 (altura de ola leve de 0,5 a 1,25 m). Se eligieron los días de buen tiempo para usar como un día de control con el equipo en su sitio, pero no hubo reproducciones o un día de exposición en el que se reprodujo el estímulo como se describe anteriormente. Los períodos de observación promedio fueron de 3,5 horas (SD = 0,96) en los días de control y 3,4 horas (SD = 0,94) en los días con exposición al sonido. El período de observación más largo fue de 5 horas, el más corto de 1,5 horas. Este protocolo dio lugar a un total de 113 horas de observación con 58 h durante la exposición al sonido y 55 h durante los períodos de control. Las observaciones se cuadraron para que el estado de marea, el estado del mar y la hora del día fueran los mismos durante los períodos de observación de control y exposición al sonido.

Durante los períodos de observación, dos observadores realizaron exploraciones visuales. Un observador estaba inspeccionando visualmente mientras que el otro observador estaba usando binoculares. Si uno de los observadores detectaba una marsopa o una foca, se registraron las demoras y las posiciones de superficie para cada encuentro de superficie. Se realizó un seguimiento de un grupo hasta que no se produjo salida a la superficie 15 minutos después de que se registró la última salida a la superficie. Por lo tanto, la identificación de grupo y trayectoria se definió como una línea consecutiva de salidas a la superficie que no estaban separadas por más de 15 minutos. Si los observadores descubrían otro grupo o especie mientras rastreaban a un grupo, se registraron las superficies para ambos grupos.

La Fig. 5 y la Fig. 6 son gráficos que muestran una comparación de avistamientos de focas (Fig. 5A y Fig. 5B) y marsopas (Fig. 6A y Fig. 6B) en días de "control", en los que no se reprodujeron sonidos, y en días de "sonido", en los que los sonidos descritos anteriormente se reprodujeron para (A) acercamientos más cercanos y (B) distancia promedio del ADD. Los resultados muestran que las focas mostraron claramente una respuesta de evitación de hasta 250 m en sus aproximaciones más cercanas (Fig. 5A) y en la distancia promedio al dispositivo (Fig. 5B), mientras que las marsopas no mostraron diferencias significativas en ninguna de las variables de respuesta. Se vieron regularmente grupos de marsopas nadando entre las jaulas de la piscifactoría y un grupo de marsopas se acercó al ADD tan cerca como 7 m durante la exposición al sonido. El acercamiento más cercano jamás observado de una foca fue de aproximadamente 50 m durante la exposición al sonido.

La prueba de campo mostró que un ADD que incorpora sonidos de "sobresalto" no tuvo un efecto negativo en la distribución de marsopas de puerto, pero fue eficaz para reducir el número de focas en las proximidades de la

5 piscifactoría. Esta piscifactoría era inusual ya que las ballenas minke usaban ocasionalmente el lago marino con la granja. El sonido de sobresalto no tuvo ningún efecto en las ballenas minke. En los experimentos, fueron expuestos al nivel recibido de hasta 125 dB re 1 μ Pa. De hecho, se observaron considerablemente más ballenas minke en los días de exposición al sonido, el contrario que en los días en los que no se reprodujo ningún sonido como nivel de control, lo que confirma que los animales no muestran una fuerte respuesta de evitación a los sonidos ADD como se describe aquí.

Otras aplicaciones

Se pueden hacer varias mejoras y modificaciones a lo anterior sin apartarse del alcance de la invención, limitado por las reclamaciones adjuntas.

10

REIVINDICACIONES

1. Un método para disuadir a los mamíferos marinos que comprende:
- seleccionar una familia, género o especie objetivo de mamíferos para ser disuadidos;
 - seleccionar un nivel recibido a un nivel predeterminado entre 90 y 125 dB en cada frecuencia por encima de un umbral de audición representativo de los mamíferos objetivo; y
 - transmitir una señal acústica desde un punto de transmisión al nivel de fuente requerido, teniendo en cuenta la pérdida de transmisión, para crear el nivel recibido seleccionado a una distancia predeterminada del punto de transmisión;
 - en donde la señal acústica es un pulso que tiene una duración tan larga como el tiempo de integración acústica específico para el sistema auditivo de los mamíferos objetivo y un tiempo de ascenso de menos de 20 ms; y
 - en donde la señal acústica provoca en dichos mamíferos objetivo, una respuesta de sobresalto acústico.
2. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la señal acústica tiene una duración de hasta 200 milisegundos.
3. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la señal acústica comprende componentes de frecuencia en los que la sensibilidad auditiva de los mamíferos objetivo es mayor que la de otros mamíferos seleccionados.
4. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la señal acústica usa una banda de frecuencia entre 500 Hz y 2 kHz para disuadir focas u otros pinnípedos.
5. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los mamíferos que van a ser disuadidos comprenden mamíferos marinos que incluyen pinnípedos, lo más preferiblemente focas; o cetáceos
6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se produce un sonido de acondicionamiento secundario para acondicionar a los mamíferos para evitar un estímulo principal de la señal acústica.
7. Un método de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el sonido de acondicionamiento secundario comprende un sonido de frecuencia central de 1 KHz, régimen de modulación de 250 Hz y duración de 1,2 segundos con dos ciclos de modulación.
8. Un método de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, en el que el sonido de acondicionamiento se reproduce entre 500 ms y 5 s antes del estímulo principal en ocasiones seleccionadas.
9. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la señal acústica comprende un estímulo de sobresalto que tiene un pulso de ruido de 200 ms de duración que tiene un tiempo de ascenso de 5 ms y una frecuencia máxima de 950 Hz.
10. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la señal acústica se reproduce a intervalos variables que varían de 2 a 40 segundos.
11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la señal acústica se reproduce a un promedio de 2,4 pulsos por minuto.
12. Un sistema de disuasión acústica que comprende una unidad de control (12), una fuente de alimentación (10), un amplificador (14) y medios transductores subacuáticos (16), configurados para realizar el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
13. Un software de control ejecutable en una computadora para que la computadora funcione como la unidad de control de la reivindicación 12.
14. Un medio legible por computadora que comprende el software de control de acuerdo con la reivindicación 13.

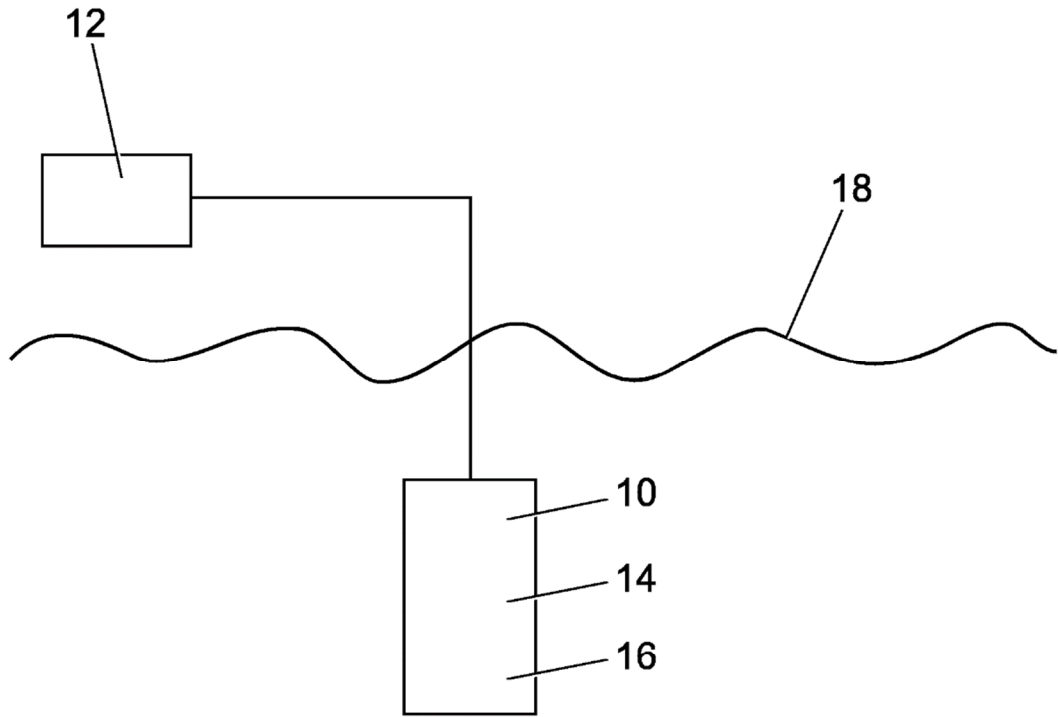


Fig. 1

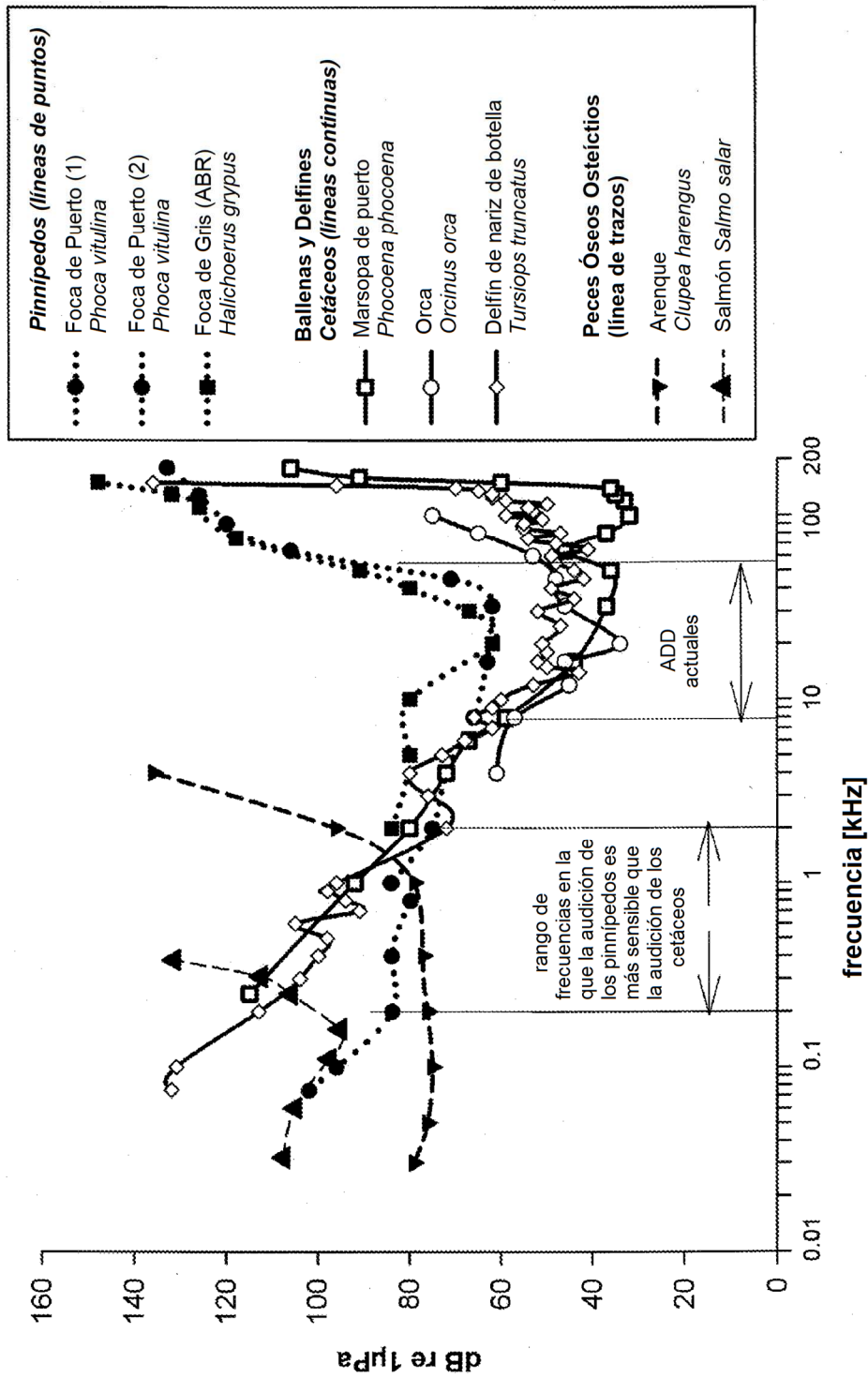


Fig. 2

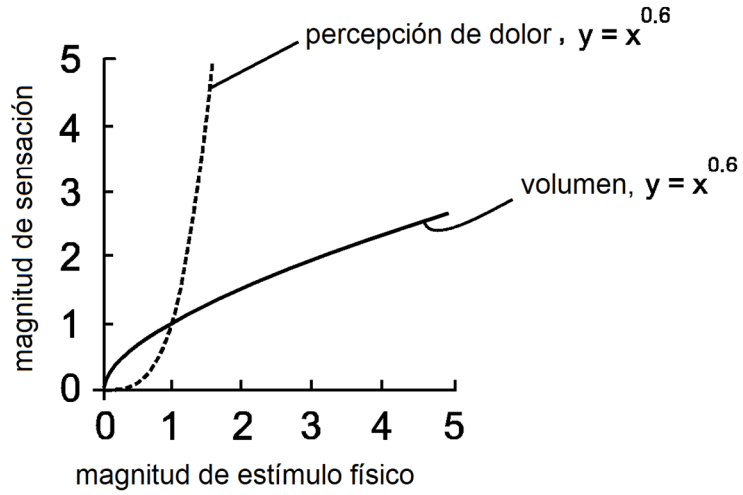


Fig. 3

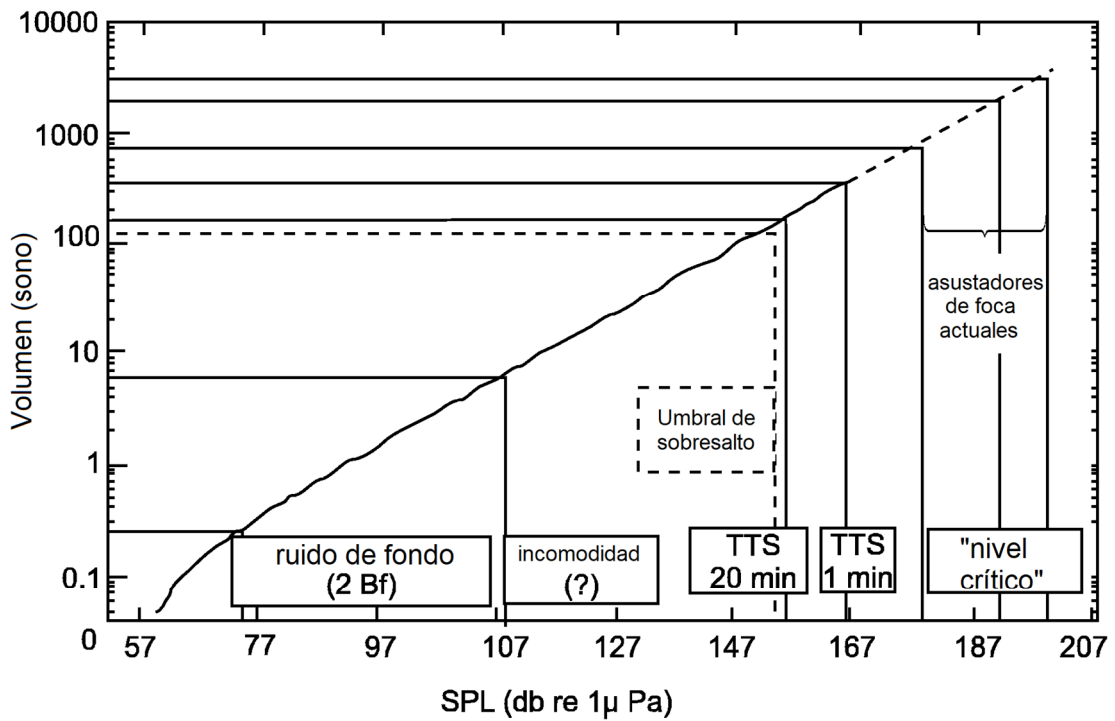


Fig. 4

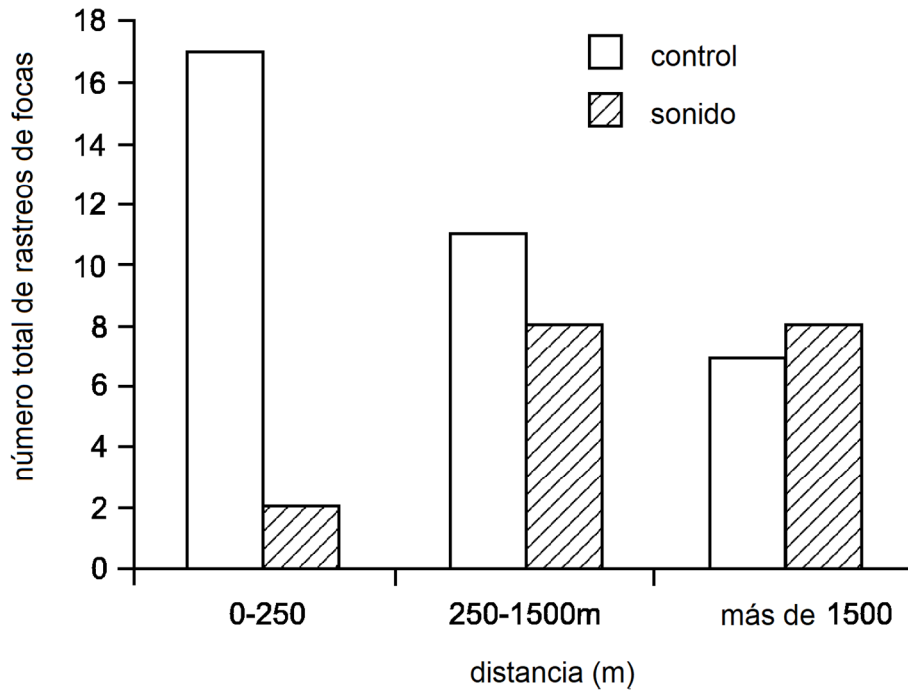


Fig. 5a

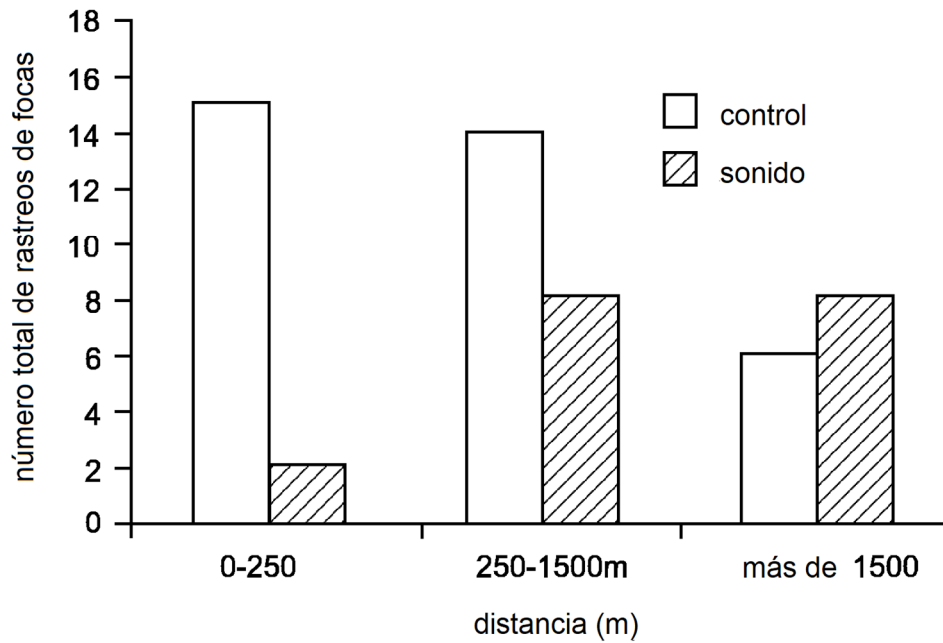


Fig. 5b

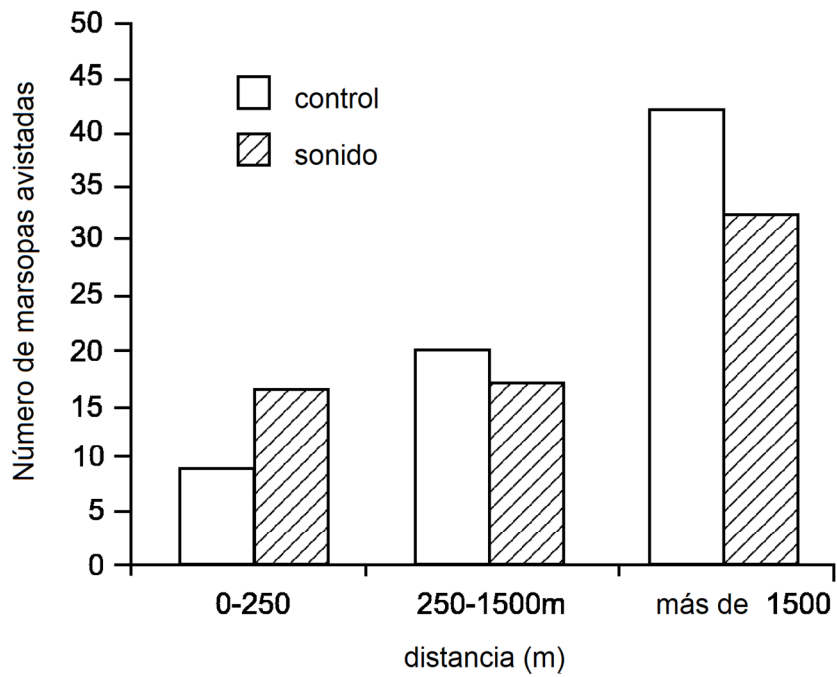


Fig. 6a

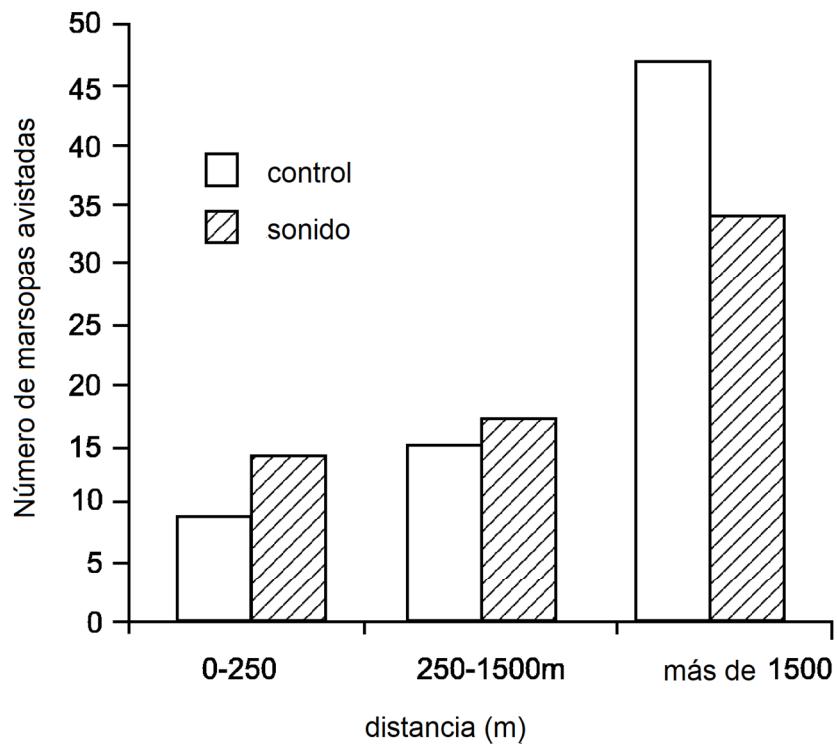


Fig. 6b

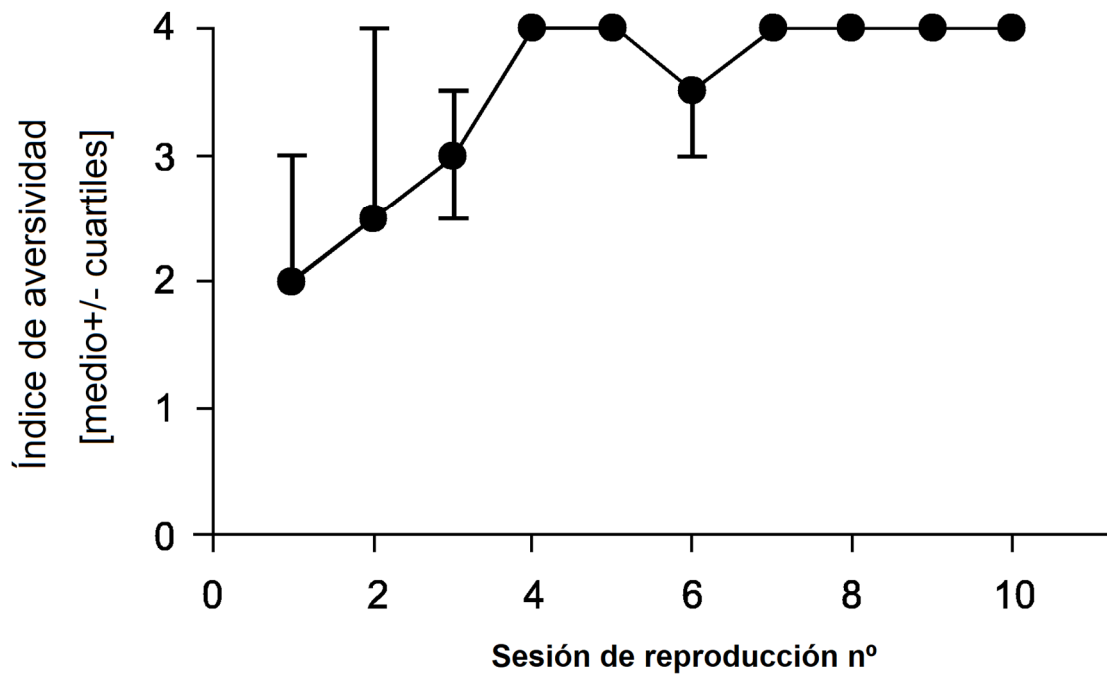


Fig. 7