

A ACÚSTICA NO MEDIO MARIÑO E NOS CETÁCEOS

*Publicación do departamento educativo da
Coordinadora para o Estudo dos Mamíferos Mariños*

Novembro 2009

Nº 8

INDICE

FUNDAMENTOS DA ACÚSTICA	3
COMUNICACIÓN NOS CETÁCEOS	11
CONTAMINACIÓN ACÚSTICA MARIÑA	21
QUE SE PODE FACER?	25
PROTOCOLOS SOBRE ACÚSTICA	27
INVESTIGACIÓN ACÚSTICA EN GALICIA	39
BIBLIOGRAFÍA	52

Referencia:

López, A.; Alonso, J.M.; Santos, L.; Dios, J.J.; Lago, R. 2009. **A ACÚSTICA NO MEDIO MARIÑO E NOS CETÁCEOS**. *Publicación do departamento educativo da Coordinadora para o Estudo dos Mamíferos Mariños. Novembro de 2009. Nº 8.*

Baseado no principio de *recoñecemento-compartir por igual*, o material creado neste libro pode ser distribuído, copiado e exhibido por terceiros se se mostra nos créditos citando a fonte. As obras derivadas teñen que estar baixo os mesmos termos de licenza que o traballo orixinal.

Nigrán, novembro de 2009.

Autores: Alfredo López, José M^a Alonso, Luz Santos, Juan José Dios e Rebeca Lago.

Asesoramento lingüístico: Marta Dacosta.

Deseño e ilustracións: Tokio.

Edita: Coordinadora para o Estudo dos Mamíferos Mariños -CEMMA.

Colabora: Consellería de Medio Ambiente.

Deseño: Astropenta Medioambiente SL

Imprime: Feito.

Depósito legal:



Fotografías: o material fotográfico utilizado pertence ao banco gráfico da CEMMA.
Por defecto a autoría das fotografías é de CEMMA.

www.cemma.org

cemma@arrakis.es



1.- FUNDAMENTOS DA ACÚSTICA

A acústica é a ciencia que estuda os diversos aspectos relativos ao **son**, particularmente os fenómenos de xeración, propagación e recepción das ondas sonoras en diversos medios, así como a percepción e as súas variadas aplicacións tecnolóxicas. A acústica ten un carácter fortemente multidisciplinario, abarcando cuestións que van desde a física pura ata a bioloxía e as ciencias sociais.

A presenza de **sons** é constante no mar: ondaxe, erupcións volcánicas, terremotos e emisións de orixe animal son algunhas das fontes naturais que xeran este son. Pero actualmente hai unha grande variedade de sons xerados de xeito artificial, sons de orixe antropoxénico, como son os procedentes das emisións de motores de embarcacións, sonares, aeroxeradores ou prospeccións petrolíferas.

A comunicación entre os seres vivos pode definirse como o **intercambio de información** entre os membros dunha mesma especie, entre os membros de diferentes especies ou entre os organismos e o seu medio. A comunicación é o medio polo cal as sociedades animais se manteñen unidas, organizando a súa conduta social en modelos de actividades coordinadas entre os individuos dunha mesma especie. Para coñecer a comunicación dunha especie é importante determinar a calidade do sinal (visual, auditivo, táctil ou químico: olfativo ou gustativo), o medio no cal se transmite, os mecanismos que o orixinan (estruturas anatómicas) e as funcións obxectivo dos sinais como: coidados parentais, agresións, atracción sexual, etc. O sinal é entón o vehículo polo cal os organismos intercambian información ou se comunican entre si ou co seu medio.

Os cetáceos, son capaces de comunicarse entre si (conversar) e coñecer o medio ambiente no que viven, detectar o alimento e navegar usando un sistema de sonar biolóxico. Probablemente constrúan unha imaxe sonora do seu ambiente, e con este mecanismo, poden conseguir unha ampla gama de actividades.

No presente libro explicaranse as características dos sons submarinos, a importancia do mesmo para os cetáceos, a problemática da contaminación acústi-

ca mariña, así como as propostas de actuación e de investigación, na liña da conservación da biodiversidade mariña.

QUÉ É O SON?

Podemos definir o **son** como unha onda que se propaga a través da materia. A **onda acústica**, pode definirse á súa vez, como alternativas comprensións (zonas de alta presión) e rarefaccións (baixa presión) de moléculas dentro dun **medio elástico**: sólido, líquido e gasoso; que é recibido nun receptor como cambios de presión.

As ondas acústicas son clasificadas como ondas lonxitudinais porque a enerxía é propagada paralelamente á velocidade de propagación.

Natureza do son

O son é a sensación producida no oído pola vibración das partículas que se desprazan a través dun medio que as propaga. Por iso, deben existir dous factores para que exista o son:

Unha **fonte de vibración mecánica**.

Un **medio elástico de propagación** da perturbación.

Como falamos de perturbacións, vibracións, etc., está claro que debe haber un valor estático, a partir do cal se producen estas variacións. No caso do aire, o valor estático dánolo a presión atmosférica.

Desde un punto de vista físico, o son é unha sucesión de ondas, polo que comparte todas as propiedades características do movemento ondulatorio, e pode ser descrito utilizando a terminoloxía propia da mecánica ondulatoria.



PROPIEDADES BÁSICAS

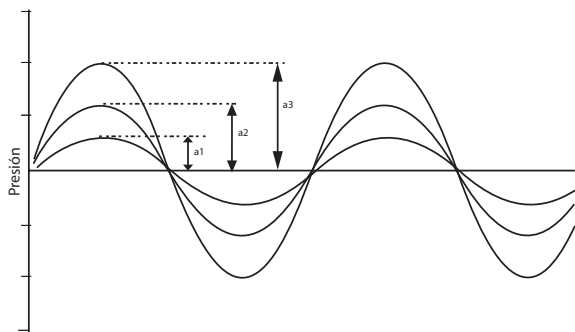
As ondas acústicas caracterízanse pola súa amplitude, frecuencia, lonxitude de onda, fase e intensidade.

Amplitude (a):

É unha medida da variación máxima do desprazamento, ou outra magnitude física, que varía periodicamente no tempo.

A amplitude proporcional á máxima distancia de vibración á que unha partícula en vibración esta desprazada do resto. É o cambio de presión ao paso da onda polo medio, e está relacionada coa cantidade de enerxía que contén. Unha amplitude maior levará máis carga enerxética.

As pequenas variacións na amplitude producen sons débiles e baixos. Por outra banda, as grandes variacións: sons fortes, altos.

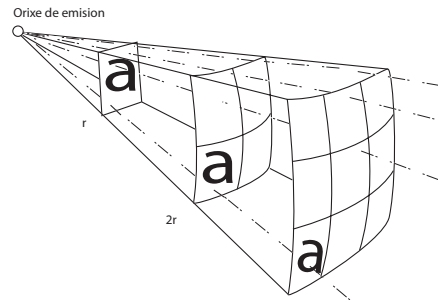


As ondas van *debilitándose en amplitude* conforme van afastándose do seu punto de orixe: é o que se coñece como **atenuación da onda**. Aínda que a amplitude das ondas decrece, a súa lonxitude de onda e a súa frecuencia permanecen invariables, xa que estas dependen só do foco emisor.

A diminución de amplitude dunha onda sonora débese a dúas razóns:

Á **Lei cadrática inversa**, que se refire a algúns fenómenos físicos, en particular a fenómenos ondulatorios como o son e a luz, nos que a intensidade diminúe co cadrado da distancia ao centro onde se orixina, é o que define a diminución da amplitude do son no mar.

Á **absorción da vibración**, que é un proceso disipativo polo cal parte da potencia sonora é absorbida por algún material que sexa un illante acústico.

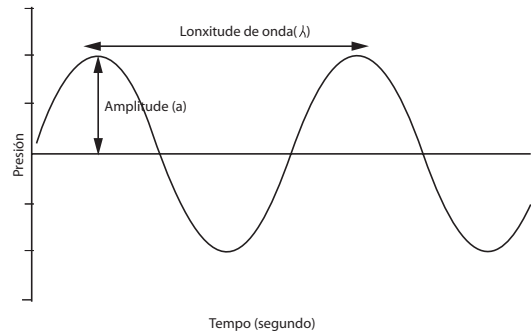


Representación da Lei cadrática inversa

A unidade da amplitude nunha onda sonora é a sobrepresión atmosférica e, xa que logo, as unidades para a amplitude poden ser o pascal (Pa), o milibar (mb) ou calquera outra unidade de presión.

Lonxitude de onda (λ -lambda):

É a distancia entre dúas comprensións sucesivas ou a distancia que percorre a onda nun ciclo de vibración. Mídese en unidades de lonxitude.



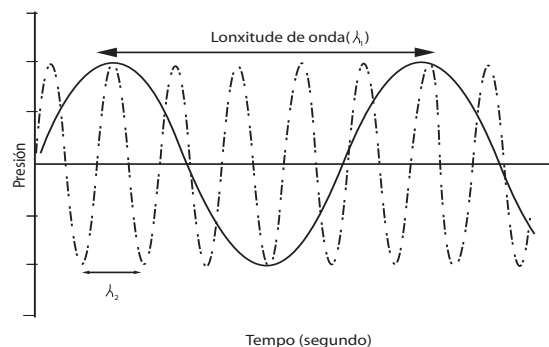
Frecuencia (f):

É o número de ciclos por segundo. Tamén se podería definir como o ritmo de oscilación ou vibración das partículas da onda acústica. Mídese en Hertziros (Hz). 1 Hz= 1 ciclo / s.

Para o oído humano un aumento na frecuencia é percibido como un son de ton alto, ou sexa, máis agudo.

$$f = \lambda / c$$

A maior f menor λ . c = velocidade do son (m/s).



Intensidade (I)

É a enerxía fluíndo por unidade de tempo e unidade de área na dirección de propagación. A enerxía por unidade de tempo é a potencia, polo que podería definir a intensidade como a potencia acústica por unidade de área. A unidade é o vatio por metro cadrado W/m^2 . Como exemplo, a medida da enerxía cinética (E_c), que depende do movemento, e da enerxía potencial (E_p), que depende da presión no medio, dunha onda por unidade de área.

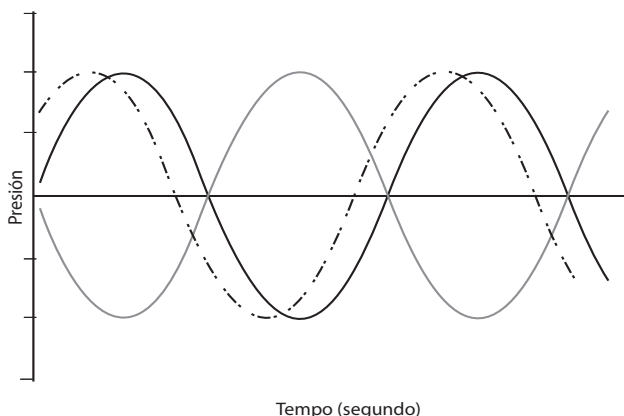
$$I = \text{Potencia/Superficie}$$

Cando hai un incremento da amplitude do son, hai un aumento da intensidade, polo que esta é proporcional ao cadrado da presión acústica (P). Se a intensidade supera $1 W/m^2$ a sensación é de dor.

$$I = P^2$$

Fase (φ)

Sería o aliñamento dunha onda respecto a outra en función do tempo. Mídese en ángulos e está menos relacionada coa percepción da intensidade do son.



A impedancia acústica (Z)

Defínese como a resistencia que ofrece un medio para a transmisión do son. É característica de cada material e é análoga á resistencia eléctrica.

A impedancia é o cociente entre a presión e a velocidade que produce esta na partícula. A súa unidade é o Rayl ($Pa \cdot s / m^2$). As variacións nela, no límite entre dous medios, é unha determinación importante de canta enerxía será reflectida. A **Lei de Snell** aplica a fórmula para calcular o ángulo de refracción da onda no momento de cambiar de medio.

A impedancia acústica no aire é de $4,15 \times 10^2$

Kg/sm^2 e na auga é $1,5 \times 10^6 Kg/sm^2$, polo que a unha mesma presión sonora a intensidade será menor na auga que no aire.

Medición da intensidade do son

Poderíase medir a intensidade directamente pero é máis doado detectar e medir os cambios de presión (P) e a partir do valor obtido calcular a intensidade (I).

O uso da presión como unidade de medida enfronta aos acústicos con dous problemas:

1. O rango de diferencias de presión que o oído humano pode detectar ($10 \mu Pa$ - $100,000,000 \mu Pa$).
2. A forma na que o oído humano procesa diferencias na presión.

Por estas razóns foi introducida a **Escala Decibelio** e a súa unidade, o **decibel (dB)**, que é adimensional. O dB compara sistematicamente unha presión ou unha intensidade con unha unidade de referencia. A escala decibel é logarítmica, o que facilita os cálculos.

Definíronse tamén: o **Nivel de Presión do Son** (*Sound Pressure Level- SPL*) como a medida logarítmica da presión dun son en relación a unha presión de referencia ($20 \mu Pa$ no aire e $1 \mu Pa$ na auga), e o **Nivel de Intensidade do Son** (*Sound Intensity Level- SIL*) como a medida logarítmica da intensidade dun son en relación a unha intensidade de referencia (10 - $12 W/m^2$ no aire).

$$SIL = 10 \log (I / I_{ref}) \text{ (en dB)}$$

$$SPL = 20 \log (P / P_{ref})$$

Como $SIL = SPL$, enton $SIL = 20 \log (P / P_{ref})$

Comparación da intensidade do son (medido como SIL) na auga e no aire: para una presión dada, sendo a presión de referencia na auga $= 1 \mu Pa$ e no aire $20 \mu Pa$:

$$SIL \text{ auga} = 20 \log (P / 1 \mu Pa) = 20 \log (P / 0.000001 Pa)$$

$$SIL \text{ aire} = 20 \log (P / 20 \mu Pa) = 20 \log (P / 0.00002 Pa)$$

Hai que ter conta, ao comparar os niveis de son no aire e na auga, que esta comparación non se pode realizar directamente debido as diferencias en presións de referencia usadas e as diferencias de impedancias de ambos medios.



Para poder facer a comparación realizouse un axuste en 2 pasos:

1. Axústase a impedancia (impedancia na auga = 1.5×10^6 e impedancia no aire = 4.15×10^2).

$10 \log$ (impedancia auga / impedancia aire = $10 \log$ (3614.5) = +35.6 dB. A comparación dunha intensidade ou presión determinada entre aire e auga difire aproximadamente 35.5 dB.

2. Axústanse as diferencias en presións de referencia usadas.

$$20 \log (P \text{ aire} / P \text{ auga}) = 20 \log (20 / 1) = +26 \text{dB}$$

A comparación dunha intensidade ou presión determinada entre o aire e a auga difire aproximadamente 26 dB.

Tendo en conta estes axustes, se medimos SIL no aire debemos engadirlle 62dB (35.5 +26 dB) para coñecer a súa equivalencia na auga.

Aínda que estes axustes sexan correctos non teñen en conta a complexidade do oído dos mamíferos mariños. Non podemos comparar o oído dos humanos, ou o dos mamíferos terrestres, co dos mariños debido a que os mecanismos que principalmente danan o oído poden ser diferentes, así como os niveis de intensidade prexudiciais.

Velocidade do son (c)

Defínese como a velocidade coa que a vibración se propaga a través dun medio elástico: sólido, líquido ou gasoso. A velocidade de propagación do son é maior na auga que no aire, sendo a velocidade do son na auga do mar de aproximadamente 1500m/s e no aire 340m/s (aproximadamente 4,5 veces menor). É igual á raíz cadrada do cociente entre o módulo de Bulk(B) e a densidade(d).

$$c = \text{Raíz cadrada } (B / d)$$

O **módulo de Bulk ou da compresibilidade (B)**, mide a resistencia á compresión uniforme e, por tanto, indica o aumento de presión requerido para causar unha diminución unitaria de volume. Esta constante nos indica o grao de compresibilidade cando se exerce unha presión sobre el, depende das propiedades elásticas e da densidade do medio.

$$B \text{ auga} = 2,2 \times 10^9 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$$

$$\text{Densidade auga de mar} = 1027 \text{ Kg/m}^3$$

$$B \text{ aire} = 1,42 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{Densidade aire} = 1,3 \text{ Kg/m}^3 \text{ (a } 0^\circ\text{C e } 1 \text{ atm)}$$

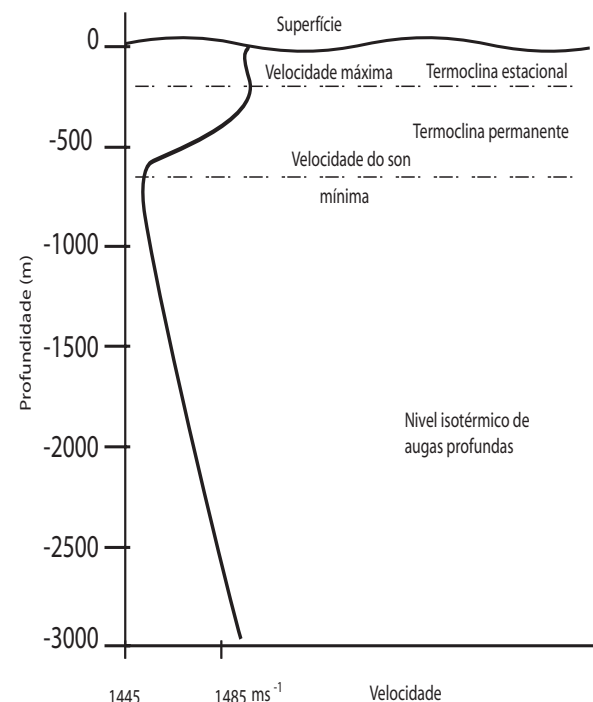
Asumindo eses valores a velocidade do son na auga de mar sería de 1463,6 m/s e no aire de 330,5 m/s. Ao non ser a densidade un valor constante, xa que depende tanto da temperatura como da presión, e da salinidade na auga, a velocidade do son no mar non será polo tanto un valor constante.

A velocidade do son (c) tamén se pode calcular coñecendo a lonxitude de onda (λ -lambda) e a frecuencia (f).

$$c = \lambda \cdot f$$

Como se xa se mencionou, a velocidade do son na auga non é constante, varía dunha zona a outra, dunha estación do ano a outra e co tempo. Aínda que as variacións non sexan elevadas si teñen grande importancia na transmisión do son na auga do mar. Os parámetros ambientais que van influir na velocidade do son na auga de mar son a temperatura, a presión e a salinidade, sendo o de maior influencia a temperatura. Ao aumentar o valor destas variables aumentará a velocidade do son no mar.

Por enriba da profundidade onde a velocidade é mínima (V_{min}) a variable ambiental que maior efecto



Perfil de velocidade do son para o océano aberto e latitudes medias.



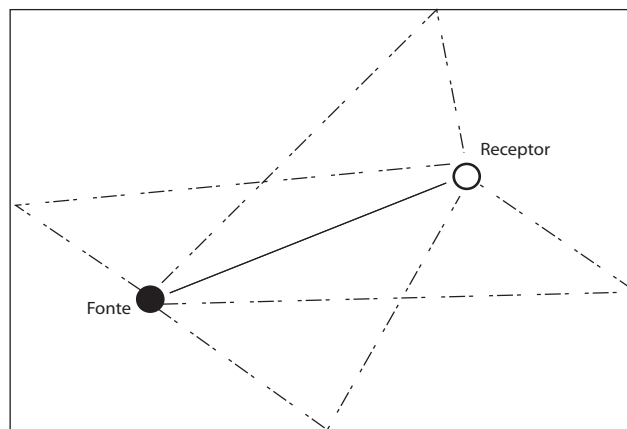
vai ter sobre a velocidade do son é a temperatura, e baixo esa profundidade a presión. Nos primeiros metros da columna de auga, correspondente á **termoclina estacional**, que é unha capa diferencial na columna de auga debido ao cambio estacional das súas características: temperatura e salinidade, en relación coa auga que se sitúa sobre ou por baixo da mesma. O efecto da presión é mínimo, e non hai diminución brusca da temperatura e salinidade o haber mestura de augas, polo que a velocidade do son permanecerá practicamente constante variando o seu valor estacionalmente.

A partir dos 50 m de profundidade ata aproximadamente os 600 m, termoclina permanente, hai un descenso brusco da temperatura, o que provoca unha diminución da velocidade do son ata os seus valores mínimos. A partir dos 600m-1000m de profundidade ata o fondo os cambios de temperatura son leves, comeza a capa isoterma, influíndo principalmente na velocidade o aumento da presión, o que implica un aumento da velocidade de propagación do son.

O SON NO MAR

A heteroxeneidade das masas de auga no océano, con diferenzas na temperatura, na salinidade, e polo tanto na densidade, así como diferenzas de presión á que se ven sometidas, fai que a transmisión do son no mar sexa un proceso complexo ao verse afectado por estes parámetros.

Entre os procesos físicos que afectan á transmisión do son, e que están influídos polos cambios no tipo de medio e as distintas masas de auga, podemos mencio-



nar a **reflexión**, a **refracción** e a **difracción** ou **dispersión**.

A **reflexión** é a desviación que sofre a onda ao encontrarse cun obxecto ou no límite entre dous medios de distintas características. Na figura represéntase unha fonte e un emisor, a liña recta continua representa a transmisión directa do son, as liñas discontinuas representan algunhas das reflexións do son nos bordos da caixa.

Os ecos pódense considerar reflexións, do mesmo xeito que un espello reflítcte a luz, as superficies duras, como a dos canóns submarinos, reflicten o son. A cantidade de son que é reflectida e transmitida depende das propiedades acústicas dos dous medios e do ángulo de incidencia. Canto máis similares sexan dous medios haberá máis transmisión e menos reflexión. Cando unha onda acústica chega ao fondo do océano parte da enerxía será transmitida a este segundo medio, e parte da enerxía será reflectida ao medio de orixe, o océano.



A cantidade que se reflicta dependerá da composición do fondo, os fondos rochosos transmitirán máis o son que os fondos areosos.

En canto á **refracción** poderíamos dicir que é un cambio na dirección da onda sonora cando pasa dun medio a outro, hai unha certa inclinación da onda cara a rexión de menor velocidade do son. A refracción implica un cambio na velocidade e na lonxitude de onda.

A **difracción ou dispersión** prodúcese cando o son, ao atoparse con determinados obstáculos, se dispersa. Unha onda sonora ao atoparse cun pequeno obstáculo o rodea, tamén se se atopa cun pequeno furado o atravesará. A difracción dependerá do tamaño do obxecto e da lonxitude de onda. As ondas con maior lonxitude, e polo tanto de máis baixa frecuencia, teñen máis capacidade para rodear os obstáculos e veranse menos afectadas.

Así mesmo, canto máis afastado estea o receptor da fonte emisora de son menor será a recepción do son, non recibindo ningún sinal ao afastarse unha distancia determinada da fonte. Isto é debido aos fenómenos de **difusión e absorción**.

A **difusión** é a introdución da onda nun medio no que estaba ausente, o que conleva a **absorción**, que é a conversión da enerxía acústica en enerxía calorífica, provocando que as moléculas do medio comecen a vibrar cando o son pasa a través del.

Perda por Transmisión (TL)

É o resultado da perda de intensidade dun son ao propagarse polo medio. É debida aos procesos de absorción, dispersión, reflexión e rarefacción. Polo tanto, a perda por transmisión tamén pode ser estimada engadindo os efectos da difusión xeométrica, a absorción e as **anomalías (A)**. Dentro das perdas por anomalía inclúense perdas por dispersión, e a perda debida á reflexión e rarefacción no límite entre dous medios.

$$TL = TL \text{ difusión} + TL \text{ absorción} + A$$

Para simplificar trataremos só coas perdas por difusión e absorción.

$$TL = TL_{\text{difusión}} + TL_{\text{absorción}}$$

A **perda por difusión** é o compoñente principal da perda por transmisión. Hai dous xeitos de difusión:

A **difusión esférica** asume un medio homoxéneo ou uniforme que é típico de augas profundas (> 2000 m). Dende a fonte emisora o son difúndirase a xeito de ondas esféricas, e a intensidade variará inversamente ao cadrado da distancia dende a fonte. A perda por transmisión na difusión esférica será:

$$TL \text{ difusión esférica} = 20 \log (R / R_0)$$

$$R < R_1$$

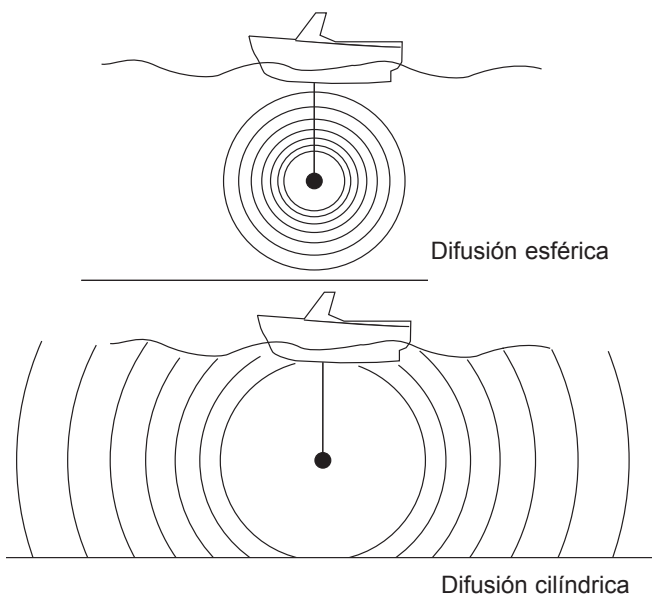
R = distancia do receptor á fonte emisora.

R0= distancia de referencia, usualmente 1m.

R1= profundidade da columna de auga ou da capa de densidade. É a distancia na que acaba a difusión esférica e comeza a cilíndrica.

Coa difusión cilíndrica o nivel de son decrece 6 dB cando a distancia se duplica e 20 dB cando aumenta por un factor de 10.

A **difusión cilíndrica** é apropiada cando o medio non é homoxéneo, típico das augas pouco profundas (< 200 m) ou estratificadas. Ocorre cando o son é reflectido ou refractado da superficie oceánica, do fondo ou de capas de auga de distinta densidade, de acordo coa **Lei de Snell**. A distancia da fonte ao receptor debe ser maior que a distancia ao fondo, á superficie ou á capa de densidade. Neste tipo de difusión varias ondas reflectidas combínanse para formar unha fronte de onda cilíndrico.



A intensidade varía inversamente á distancia da fonte e a perda por transmisión, na transmisión cilíndrica será:

$$TL \text{ difusión cilíndrica} = 20 \log R1 + 10 \log (R/R0) \\ R > R1$$

A perda por transmisión na difusión cilíndrica é menor que na difusión esférica, e o nivel de intensidade do son decrece 3 dB se se duplica a distancia e 10 dB cando se multiplica por un factor de 10.

Sinal da relación do son (SNR)

A posibilidade de que un sinal acústico sexa detectado depende non só do nivel do sinal recibido, senón tamén do ruído ambiental. As siglas son as do termo anglosaxón *Signal to Noise Ratio-SNR*, e valor exprésase en dB.

O sinal (SNR) compara o nivel do sinal recibido polo receptor co nivel de ruído ambiental, e da unha indicación de se o receptor será capaz de detectar un sinal concreto en presenza dun determinado nivel de ruído ambiente.

Da enerxía acústica que recibe o receptor, unha parte será da fonte emisora do sinal que interesa recibir, o branco, e outra parte será procedente do ruído ambiental. Para que o sinal procedente do branco poida ser detectado polo receptor debe ser maior que o ruído ambiental, polo tanto o valor do sinal da relación do son (SNR) debe ser maior ca cero.

$$SNR = SIL \text{ recibido} - NL \text{ (en dB)} \geq DT$$

SIL recibido: nivel da sinal que chega ao receptor

NL: nivel de ruído ambiente.

DT: rango de detección que ven determinado polo sistema. Se SNR é menor que DT o sinal non será detectado.

ECUACION DE SONAR

A ecuación sonar trata con todos os aspectos da xeración, propagación e atenuación do son. Está baseada na relación entre o nivel de sinal recibido e o ruído de fondo ou ruído ambiental (SNR).

A ecuación sonar está determinada polos parámetros sonar que veñen determinados polo emisor do sinal acústico, o receptor, o medio e, no caso dun sonar activo, o obxecto a detectar, o branco.

Os sistemas sonar pasivos detectan sinais que non son producidas por eles mesmos. Por exemplo aplicaríase no caso dun hidrófono que detecta o son dun motor ou o son dun cetáceo, como os hidrófonos fixos POD ou o hidrófono de arrastre usados polos equipos de investigación e a CEMMA.

Os sistemas de sonar activo, como as ecosondas ou sonares militares, emiten un pulso de son e detectan os ecos dese son cando rebota no branco. A fonte de son é tamén o receptor.

Parámetros da ecuación de sonar determinados polo:

Emisor: SL= Nivel de intensidade do sinal emitido (Source Level).

Receptor: DI= Índice de direccionalidade (Receiving Directivity Index). DT= Rango de detección (Detection Thershold). NL = Ruído propio do equipo receptor (Self-Noise Level).

Medio: TL = Perda por transmisión (Transmission Loss). RL = Nivel de reverberación (Reverberation Level). NL = Ruído ambiente (Ambient -Noise Level).

Branco a detectar (en sonar activo): TS = Forza do branco (Target Strenght)

Ecuación sonar pasivo

A ecuación de sonar pasivo ten conta do nivel de sinal emitido pola fonte (SL), a perda por transmisión (TL), o ruído de fondo (NL) e o índice de direccionalidade (DI).

O nivel de sinal que chega ao receptor (SIL receptor) será:

$$SIL \text{ recibido} = SL - TL$$

Se o nivel de ruído de fondo é NL, entón o sinal da relación do son (SNR) será:

$$SNR \text{ (dB)} = SIL \text{ recibido} - NL = SL - TL - NL$$

Os receptores poden ser máis sensitivos a sons procedentes dunha determinada dirección e discriminar o resto. A discriminación de sons é denominada índice de direccionalidade (DI) e ven determinada polo receptor. DI indica a redución do nivel de ruído obtida



polas propiedades de direccionalidade do receptor e sempre será un valor positivo. Deste xeito, agora o ruído (N) sería:

$$N = NL - DI$$

A ecuación sonar pasivo expresaría da seguinte maneira:

$$SNR = SL - TL - NL + DI \geq DT$$

Ecuación sonar activo

O sonar activo transmite un sinal cun nivel de intensidade SL e este sinal vai perdendo intensidade ao transmitirse (TL). Cando o sinal chega ao branco, o nivel de intensidade será menor que o de orixe, ademais só una parte do son que golpea o obxecto vai ser transmitido por el en forma de eco. Esta proporción entre o nivel de intensidade do eco e o nivel de intensidade do sinal que chega ao branco denomínase TS (Target strenght).

$$TS = 10 \log$$

(I do sinal reflectido a un metro / I incidente)

$$N = SIL \text{ recibido} + TS = SL - TL + TS$$

N=Nivel de Intensidade (I) do eco a un metro do obxecto

SIL recibido = O nivel de intensidade que chega ao obxecto, ao branco, que é igual ao nivel de intensidade emitida pola fonte (SL) menos a perda por transmisión (TL)

O eco tamén vai diminuindo o seu nivel de intensidade ao transmitirse debido á perda por transmisión (TL). A intensidade do eco incidente no receptor será:

$$\text{Nivel de I do Eco incidente} = (SL - TL) + TS - TL = SL - 2TL + TS$$

Tendo en conta o nivel de ruído ambiente (NL) e o índice de direccionalidade (DI), entón o sinal da relación do son (SNR) para un sonar activo será:

$$SNR = SL - 2TL + TS - NL + DI \geq DT$$

Pero se o eco regresa cando a reverberación de fondo aínda non decaeu a un nivel inferior que o ruído ambiente, o ruído de fondo será dado como reverberación (RL = Reverberation-Limited). Para casos con reverberación de fondo, o termo N (NL - DI) será substituído na ecuación por RL. Neste caso a ecuación sonar activo sería:

$$SL - 2TL + TS - RL \geq DT$$

A reverberación é causada polos sons procedentes do transmisor que volven ao receptor debido a fenómenos de reflexión e dispersión.

CANLE SONORA PROFUNDA

Na profundidade onde a velocidade do son é mínima formase o canle sonora profunda (*SOFAR channel*) onde as ondas sonoras viaxan grandes distancias, centos ou incluso miles de km, dependendo da súa intensidade e frecuencia. Cando maior sexa a intensidade e menor a frecuencia maior será a distancia percorrida.

A formación da canle sonora é debida a fenómenos de refracción da onda sonora dende capas de auga con maior velocidade de son a menor velocidade de son, formándose a canle na capa de auga con menor velocidade de son.



2. COMUNICACIÓN NOS CETÁCEOS

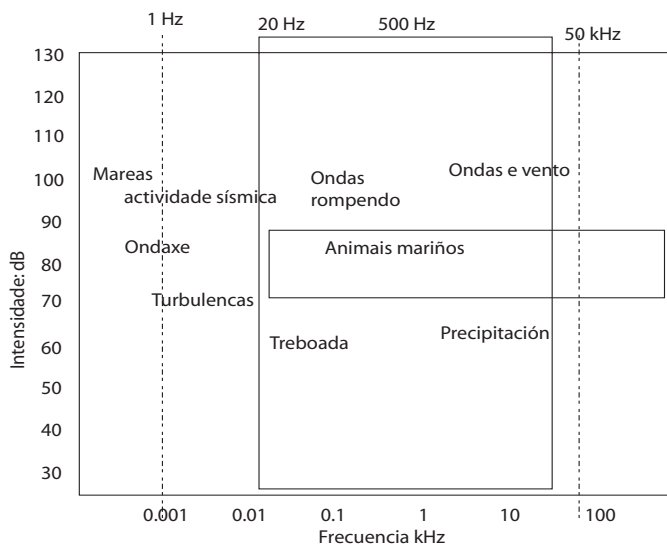
Un 20% dos mamíferos resolven a orientación e a localización de obxectos, en momentos de visibilidade limitada mediante, a potenciación do sentido do oído.

A evolución dos cetáceos, dende hai 65 millóns de anos, permitiu destacar o sistema auditivo como sentido principal para comunicarse, para orientarse e para comprender o mundo que os rodea. A través deste sentido desenvolveron unha nova forma de comunicación e de relación co medio, única no reino animal, denominada **ecolocalización** que leva a cabo a acción de detectar e comprender o medio a través da emisión de ondas sonoras e a recepción do eco destas ondas cando rebotan con obxectos distantes, ou *brancos*. O proceso de ecolocalización foi detectado nos cetáceos odontocetos, entre os que se atopan os delfínidos: golfinhos, caldeiróns, e candorcas, as toniñas, os cifios e os cachalotes.

Aínda que non todas as especies de cetáceos desenvolven ecolocalización, o son é fundamental para a vida de todas elas. Os cetáceos empregan o son para detectar e capturar as presas, para orientarse, detectar os depredadores e comunicarse con outros membros do grupo ou de outros grupos.

SINAIS ACÚSTICOS NOS CETÁCEOS

Os sinais producidos polos cetáceos van dende sons infrasónicos (< 20 Hz), como os producidos polas grandes baleas, ata sons ultrasónicos (> 20 kHz), como os producidos polas toniñas, pasando polo rango



Distribución dos sons que se difunden no mar e situación dos sons dos animais mariños. Potter e Delory 1998.

audible (20 Hz - 20 KHz) como poden ser os sons producidos por golfinhos e cachalotes, sendo os cetáceos máis sensibles aos sons no rango da súa vocalización.

Poderíamos agrupar os sinais producidos polos cetáceos en **sons tonais ou asubíos** (whistles), **sinais pulsados breves, ou estralos**, (clicks) e **sinais pulsados menos definidos** como choros, xemidos (moans), trilos (trills), muxidos (moos), gruñidos,.... Tamén **berros** (craking) que están constituídos por series de estralos.

En xeral as especies que emiten asubíos soen ser sociais e vivir en grandes grupos como é o caso dos golfinhos, e as que non emiten asubíos van en grupos de poucos individuos ou illados, pero hai algunha excepción a esta afirmación como pode ser o caso dos cachalotes ou as candorcas, estas especies soen ir en grupos de varios individuos pero non se detectou a produción de asubíos. No esquema, adaptado de Potter e Delory 1998, pódese observar a presenza do ruído natural e antropoxénico no mar onde se superpón a contaminación acústica aos sons naturais e biolóxicos.

ODONTOCETOS

EMISIÓN E RECEPCIÓN DO SON

Os cetáceos odontocetos teñen unha ampla gama de sons, varían moito entre as diferentes especies e non teñen nada que ver os emitidos polos cachalotes





ou cifios cos emitidos polas toniñas. Os mellor coñecidos son os emitidos polos golfiños. Mesmo poida que entre varias especies non sexan quen de detectar os sons producidos dunha a outra, é dicir, que non se entendan ou non se escoiten.

Sons tonais: Os asubíos

A maioría dos sons producidos polos cetáceos cunha frecuencia menor a 20KHz denomínanse asubíos e atópanse dentro do rango audible para os humanos. Durante o asubío a frecuencia vai variando, así como as amplitudes das porcións ascendentes e descendentes.

O patrón de frecuencia do asubío pode ser modulado, ascendente, descendente, ascendente-descendente ou descendente-ascendente; estando constituído o asubío por un destes patróns illado ou repetido, ou por una combinación dos distintos tipos.

Non podemos afirmar con total certeza cal é a función dos distintos sons producidos polos cetáceos, mais, os estudos realizados ata o de agora fannos pensar que a produción de asubíos estea relacionada cunha función social. Os odontocetos producirían os asubíos para comunicarse con outros individuos dentro do grupo, sobre todo sería importante para manter a cohesión maternofilial.

Estudios recentes indican a existencia dos chamados **asubíos sinatura** nos golfiños (Caldwell et al., 1990). Cada individuo de golfiño emitiría un asubío propio e característico que sería similar ao nome individual para as persoas.

Sinais pulsados breves

Son os denominados **estralos de ecolocalización** (*clicks*). Mediante a ecolocalización os cetáceos odontocetos obteñen unha información precisa e detallada do medio: poden detectar obxectos a grandes distancias diferenciando en forma e composición.

Os sinais empregados son de media e alta frecuencia, alta intensidade e direccionais. Canto maior sexa a frecuencia do sinal menor vai ser a distancia a que se poda transmitir pero maior vai ser a resolución, o que facilitará a detección e recoñecemento do obxecto. A frecuencia destes sinais variará dunhas especies a outras.

Outra característica dos sinais de ecolocalización é a frecuencia de repetición, que pode definirse como o número de eventos (sinais) por unidade de tempo. A repetición de sinais no tempo depende da frecuencia de repetición e se denomina serie ou tren de sinais pulsados breves ou estralos.

Os odontocetos empregarían a ecolocalización para relación co medio, funcións sociais e detección e captura de presas.

Sinais pulsados pouco definidos

Sons variados e de diferente tipo: choros, xemidos (moans), trilos (trills), muxidos (moos), gruñidos, etc.

Emisión e recepción do son

Os golfiños emiten de xeito continuo estralos e asubíos. Os primeiros consisten en pequenos pulsos de 300 sons por segundo que se xeran desde un complexo de sacos aéreos situados xusto debaixo do espiráculo e que se utilizan para a ecolocalización dos obxectos. Os humanos copiamos este sistema para deseñar o funcionamento do sonar.

Os pulsos de sons emítense desde a súa cabeza, a estrutura que permite a propagación dos sons está situada no **melón**, que é un abombamento da fronte que está situado xusto diante do espiráculo e sobre os maxilares e premaxilares superiores, consta principalmente dun paquete de graxa e aceite, rodeada de musculatura, e actúa como unha pantalla acústica que mellora a resolución da emisión de sons.



Ao igual que o sistema utilizado polos morcegos, estes pulsos de sons retornan ao golfinho a xeito de ecos logo de rebotar nos obxectos que se atopan no seu camiño.

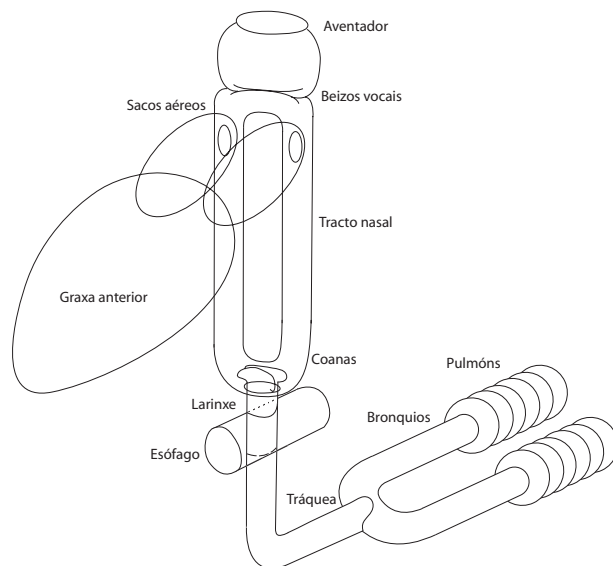
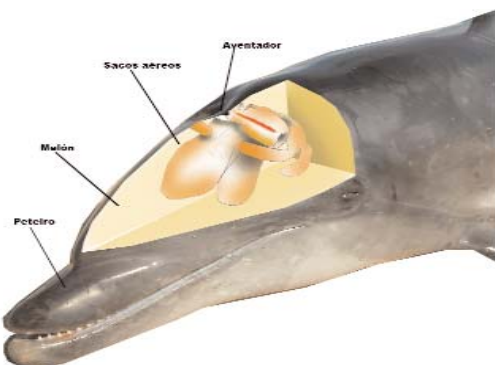
O animal analiza os ecos para desprazarse e para calcular a distancia e o lugar no que se atopan as súas presas, algunhas veces tan pequenas como un camarón.

A mandíbula inferior está formada por un óso especial, presenta un grosor fino e ten unha estrutura dura, case vítrea, está oca case na súa totalidade ensanchándose na súa parte traseira, no seu interior dispónse unha estrutura aceitosa que axuda á transmisión do eco reflectido polos obxectos, sendo dirixido á zona posterior, cara ao oído.

ANATOMÍA DO SON

Segundo as investigacións realizadas polo Dr. Eduard Degollada da *Facultade de Veterinaria da Universidade Autònoma de Barcelona (UAB)*, e incluídos na súa Tese de Doutoramento: **Anatomía e Histología funcionales del sistema de sacos nasales en los odontocetos** (1998), todo o sistema respiratorio está relacionado coa anatomía do son, pois para producir un son precísase de aire en movemento, efecto presión que ven dada polo barquín dos pulmóns, e diferentes músculos e estruturas específicas. Neste apartado, explícanse as hipóteses recollidas nos traballos do Dr. Degollada, sobre a morfoloxía e funcionalidade das diferentes estruturas anatómicas da cabeza dos golfinhos na produción, emisión e recepción dos ultrasóns do sistema de ecolocalización dos odontocetos.

Na parte inferior do sistema respiratorio están os pulmóns, os bronquios e a tráquea, lugares onde se recolle e expulsa o aire durante a respiración e onde permanece entre cada inspiración e expiración.

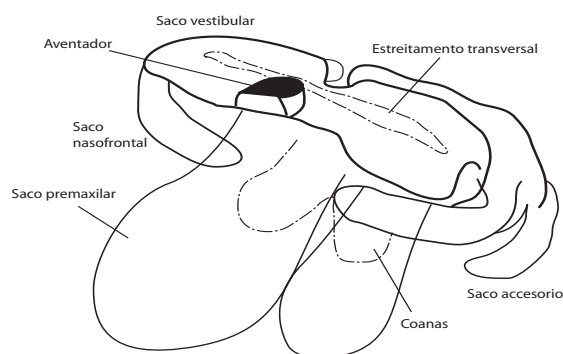


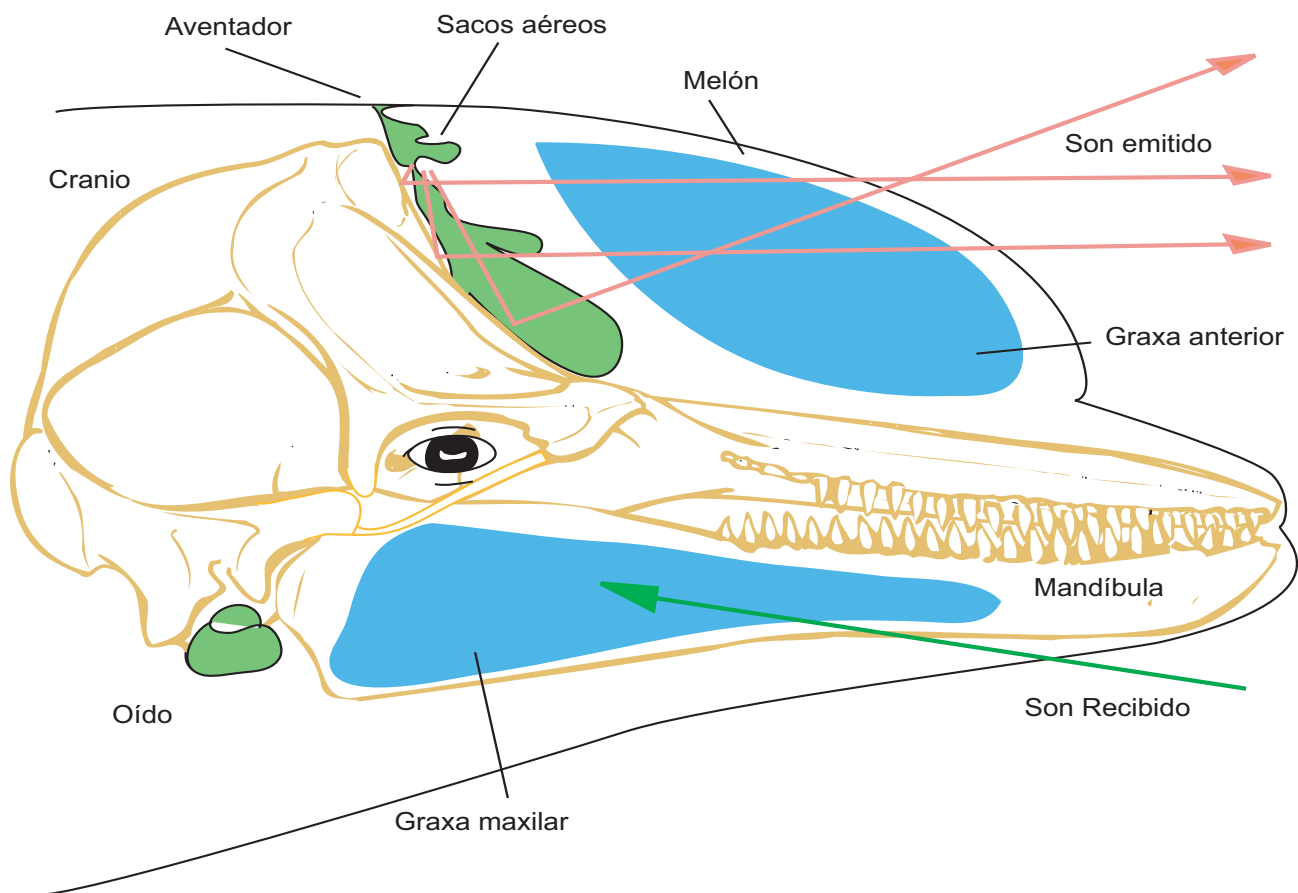
Na parte anterior de toda a estrutura pulmonar está a **larínxe**, como válvula de regulación do aire cara a parte superior do sistema respiratorio, esta estrutura está formada pola elongación dos cartílagos larínxeos (epiglote e aritenoides) desde a base do esófago. Atópase perpendicular ao tubo esofáxico atravesando a nasofarinxe e penetrando na nasolarínxe a través das coanas e dirixindo a súa abertura cara a parte superior do cráneo onde se atopan os sacos nasais e o aventador. A musculatura do esfínter farínxeo pecha a larínxe a nivel das coanas.

Puidera pensarse nesta peza como importante en canto a produción de son, pero as características anatómicas e o funcionamento non indican que esta sexa a orixe do son. Mesmo os pregues internos no fondo da larínxe teñen outras funcións, como a inmunolóxica debido á presenza de células específicas.

Anatomía do tracto nasal

É o tracto comprendido entre as coanas e o aventador, consta dunha serie de sacos, aínda que non están presentes todos en todas as especies, estes son:





- Sacos premaxilares (SP)
- Sacos accesorios (AC)
- Sacos nasofrontais (SN)
- Sacos vestibulares (SV)

Os sacos están comunicados entre si e rematan nun so orificio que abre ao exterior, é o aventador.

Outras estruturas

Membranas diagonais: atópanse na entrada das coanas á estrutura de sacos, en concreto nos premaxilares.

Estreitamento transversal: atópase entre os sacos vestibulares e o resto dos sacos, é a estrutura máis importante na produción do son, nelas sitúanse os beizos.

Características da cuberta epitelial: o epitelio que cubre internamente os sacos é semellante á pel, mesmo ten pigmentación escura, é máis fino e con poucas papilas dérmicas. Consta dun epitelio elástico con grande capacidade de expansión con pregues superficiais e fibras elásticas profundas. A práctica totalidade do epitelio presenta rugosidades e pregues que lle confiren esta característica, excepto a parte

inferior dos premaxilares que por estar sobre o óso carece de elasticidade.

Área glandular: na parte posterior do tracto nasal e no saco frontonasal atópanse unhas áreas glandulares (na Familia *Phocoenidae*, en xeral todas as toniñas, ocupan todo o pregue nasal). As glándulas están orientadas cara arriba e segregan substancias polisacáridos ácidos densos (tipo bágoas). A función é lubricante.

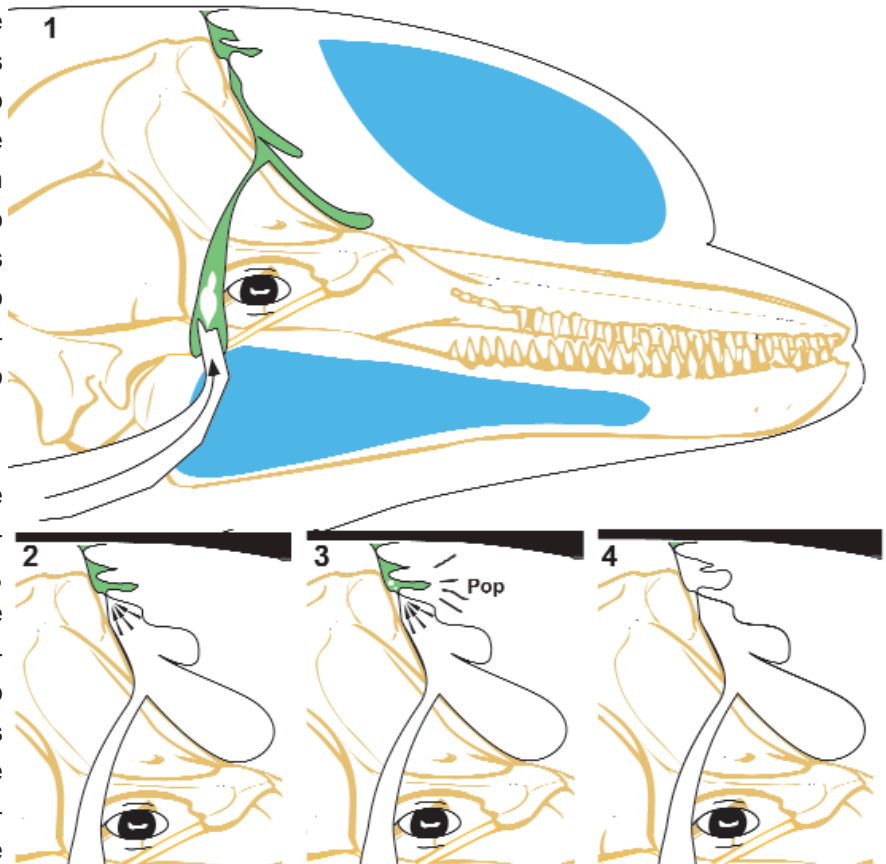
Terminacións nerviosas mecanorreceptoras: a zona está innervada polo nervio facial que afecta á musculatura e polo infraorbitario que é sensitivo dos sacos nasais. O lado dereito ten un enorme nervio polo que a asimetría vese tamén reflectida na importancia do nivel nervioso.

Tecido fibroelástico: o saco nasofrontal e a fenda transversal están rodeados por tecido fibroso e elástico. Por detrás existe tamén este tecido unido á cartilaxe nasal dando rixidez á parede posterior.

Tecido adiposo: o tecido fibroelástico pecha un paquete muscular e un cúmulo de tecido adiposo no centro que ten aspecto circular nun corte transversal.



Todo o melón está formado por graxa e canto máis central máis rico en ácidos graxos que son bos transmisores do son. Esta graxa crea unha canle que se dirixe á fenda transversal coa que non chega a conectar pero entre o final do cúmulo graxo e a fenda existen dous corpos graxos anteriores. A graxa do melón non é de reserva, é dicir, metabolizable e mesmo sería tóxica se o fora.



Esquema da produción do son.

Beizos vocais: forman o punto de contacto entre a parte anterior e posterior do estreitamento transversal, caracterízanse polas rugosidades que presentan e polo cambio de cor resultado do ancheamento do epitelio (estrato externo queratinizado). As células exteriores non se desprenden e permanecen unidas por materia intercelular, mentres que na zona inferior e superior as células están descamadas e dun xeito máis brusco superiormente, esa zona pode soportar grandes presións. Canto máis se estire menos pregues hai e máis ancho e groso é nesa zona central.

PRODUCCIÓN DO SON

O motor de produción de son é o aire. Entre dous medios de densidade diferente (aire e auga), o son produce unha reflexión e perda de intensidade, e non unha refracción, isto implica que o son non vai pasar ao outro medio coa mesma intensidade.

Considéranse tres lugares de orixe do son ao longo da anatomía do aparato respiratorio superior dos golfinhos.

Hipótese do aventador: o son produciríase no borde do aventador, pola saída do aire, tal e como se produce nun globo. Mais, non sería efectivo facelo co aventador na auga sen paso de son polos tecidos, ademais da perda de aire que isto suporía ao animal.

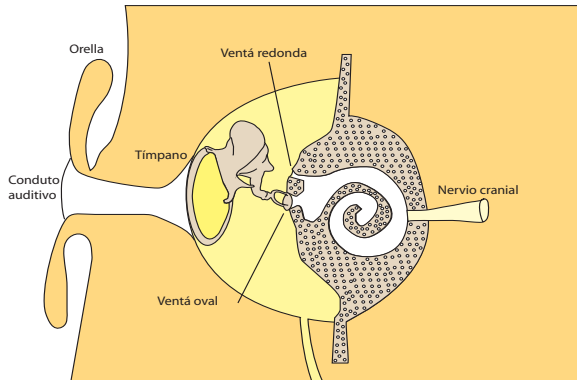
Hipótese da larinxe: a produción do son ten lugar a nivel da cartilaxe da larinxe e a transmisión pola cartilaxe mesorostral. Mais, xa se describiu como carece de características anatómicas para produci-lo.

Hipótese nasal: o son prodúcese nos sacos nasais. A proba da medida da presión no tracto nasal, no momento da produción do son, confirma que este sexa producido nos sacos, por enriba do esfínter larínxeo xa que na traquea non hai variación de presión.

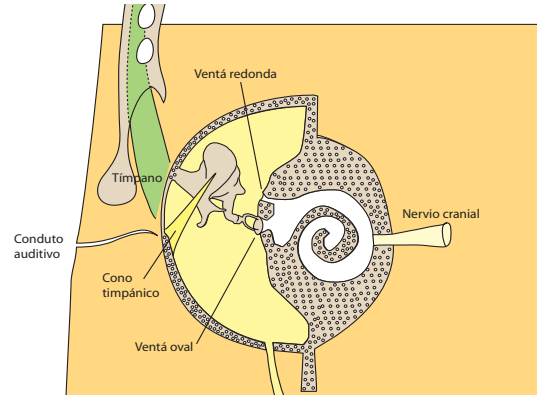
Dada a presión existente no tracto nasal debido á entrada de aire desde os pulmóns (Figura 1 do esquema de produción de son) o aire comprímese e inchan os sacos nasofrontais e accesorios (figura 2), os premaxilares inchan moi pouco dado que a súa expansión é moi limitada. Ao estar inchados 2/3 do seu volume prodúcese os estralos (*clics*, Figura 3). Cando rematan os estralos, baléiranse os sacos e recuperan o seu tamaño orixinal. O son prodúcese concretamente entre os pregues nasais e o saco vestibular.

Debido á presión, o aire produce unha bolsa de aire na zona superior da membrana diagonal e a nivel glandular, esta pasa a modo de burbulla entre os duros e flexibles beizos provocando a súa apertura, e o violento peche da lugar un choque dos beizos e a unha vibración (Figura 3). Os pregues epiteliais dos sacos vestibulares evitan a resonancia.

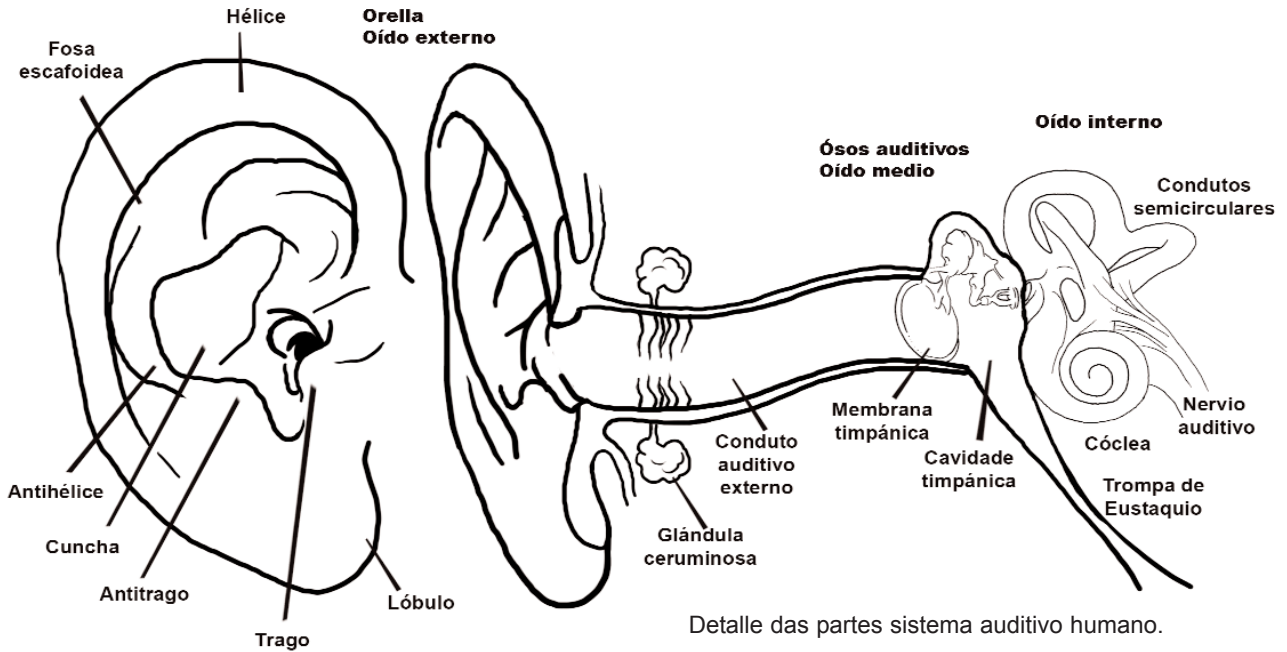




Esquema do oído dun humano.



Esquema do oído dun cetáceo odontoceto.



Detalle das partes sistema auditivo humano.

HIPÓTESE DA EMISIÓN

A vibración producida expándese en todos os sentidos pero os corpos graxos permiten pasar a vibración cara aos tecidos brandos anteriores mentres que os sacos cheos de aire impiden que o son se transmita cara a outro lugar (pantallas reflectantes) que non sexa a parte anterior do animal (direccionalidade). A velocidade de transmisión dos tecidos graxos anteriores é moi semellante á da auga do mar.

RECEPCIÓN

A recepción do son ten lugar a través do maxilar que recolle as ondas sonoras e as traslada cara ao oído mediante un tecido graxo que se sitúa dende o interior da mandíbula ata o oído, rodeado e illado polos seos aéreos para dirixir a onda e poder activar os receptores do oído interno para traducir o son en impulso nervioso que leva ao cerebro a información. Mais, vexamos todas as estruturas anatómicas en detalle.

Oído externo

Externamente os cetáceos teñen un pequeno furado que é o **conduto auditivo externo**, nos odontocetos a canle interna, en forma de S, dura e coa parede cartilaxinosa. O epitelio do conduto descámase pechándose. Existe certo crecemento bacteriano causando otite crónica, mais, sen grandes problemas patolóxicos.

Oído medio

O oído, ten unha peza ósea composta de varias partes que é o **complexo timpáno-periótico** esta peza é independente do cranio na maioría dos odontocetos. O oído medio presenta dúas grandes pezas osificadas, a **bulla timpánica** e o **periótico**, ademais, presenta unhas **pezas osificadas** interiores: o **martelo, bigornia e estribo**, semellantes ao do resto dos mamíferos, ademais conta co tímpano calcificado (cono timpánico), ao contrario que os mamíferos terrestres que presentan un tímpano membranoso.



O oído medio atópase recheo de mucosa con escuma densa. O estribo sitúase sobre un orificio que está no óso periótico que é a **ventá oval ou vestibular**. No oído medio está a **ventá redonda ou coclear**. Dende o oído medio sae a **trompa de eustaquio** ou faringo-timpánica que comunica coa naso-farinxe (esfínter e tracto nasal óseo).

Oído interno

O oído interno ten as **canles semicirculares**, condutos semicirculares situados nas tres dimensións do espazo. Están pouco desenvolvidos para evitar mareos nos xiros veloces.

A **cóclea** é un espiral dividido en tres espazos que son os seguintes: **Escala vestibular**: entre elas está a membrana vestibular. **Escala media ou coclear**: entre estas está o **órgano de corti ou espiral** onde se produce a audición. **Escala timpánica**: estas cámaras están cheas de perilinfa (líquido parecido ao das meninxes) e endolinfa (líquido exclusivo do oído).

A parte central é o **modiolo**, de estrutura arborescente, por dentro recorre o nervio que se bifurca a todos os puntos da espiral chegando ao órgano de Corti. A comunicación entre as dúas escalas vestibular e timpánica denomínase **ericotrema**. A escala vestibular remata na ventá oval e a timpánica na redonda que se abre ao oído medio.

No órgano de Corti aparece a **lámina espiral** que une a aresta ósea coa membrana podendo ser tensada por un ligamento. Sobre esta membrana sitúanse máis de cinco tipos de células ciliadas de onde saen os nervios. Nestes cilios vanse producir os sinais nerviosos dando lugar ás diferentes frecuencias. Por enriba

das células existe unha membrana xelatinosa (tectoria) que ante calquera movemento provoca o movemento dos cilios. O impulso nervioso produce unha onda de vibración no líquido vestibular que sube e baixa pola escala timpánica ata que se compensa na ventá redonda liberando a presión.

Nos movementos de ascenso e descenso a membrana basilar vibrará nun punto ou outro do caracol. As frecuencias altas vibran na base da cóclea, as baixas preto do ápice. A membrana basilar estreita e grosa vibrará a alta frecuencia e as finas e longas vibrarán a baixas frecuencias. Os odontocetos teñen formas adaptadas a moi altas frecuencias e os mistice-tos a moi baixas.

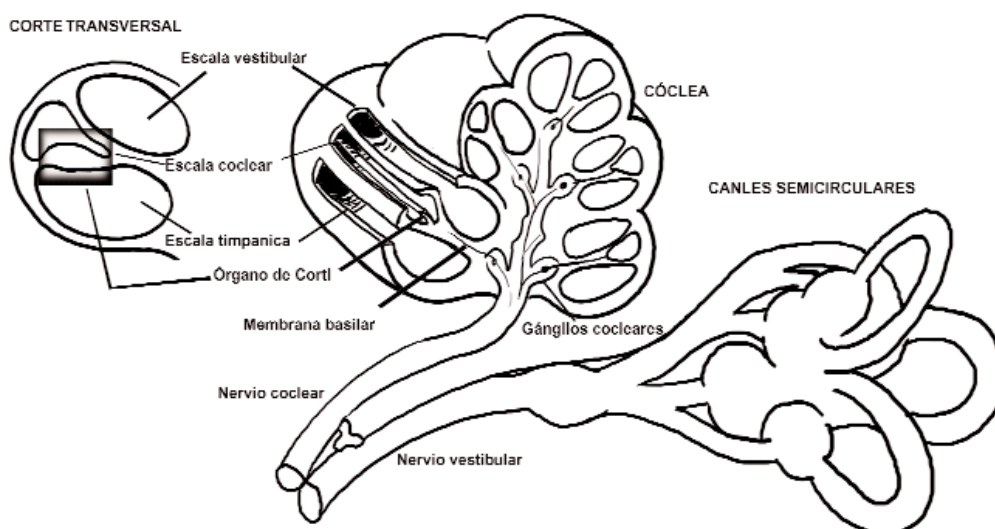
Canle acústica maxilar

Composta por estruturas de tecido graxo que se sitúan dentro da mandíbula e rodeando a súa parte posterior. E unha ventá acústica por baixo do ollo e está rodeada de graxa moi semellante á do melón. A graxa ocupa a segunda metade interior da mandíbula polo que o son pode entrar lateralmente. A canle acústica está tamén rodeada por sacos aéreos (seos) impedindo a transmisión de son cara a outro lugar.

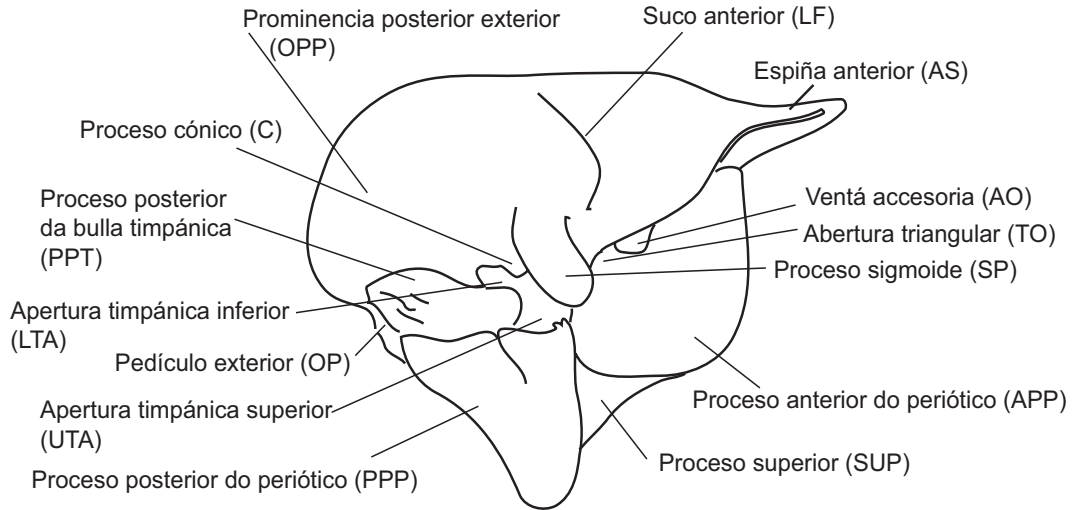
Seos perióticos

Na parte inferior do cranio os cetáceos presentan oquedades interconectadas que teñen relación coa recepción do son, denominadas **seos**, neste caso todos eles están rodeando ao oído, son os seguintes:

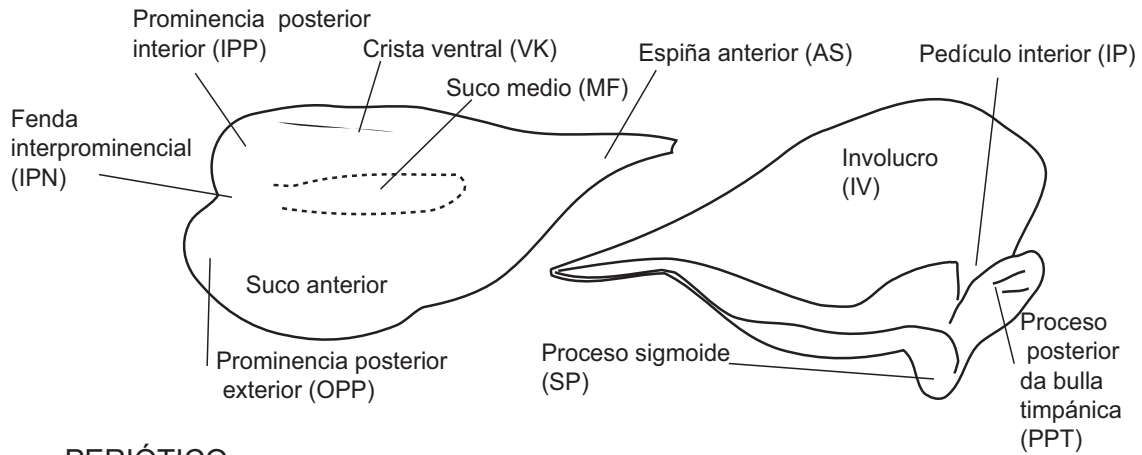
- Seo anterior
- Seo medio
- Seo peribullar
- Seo posterior
- Seos pteriogoideos



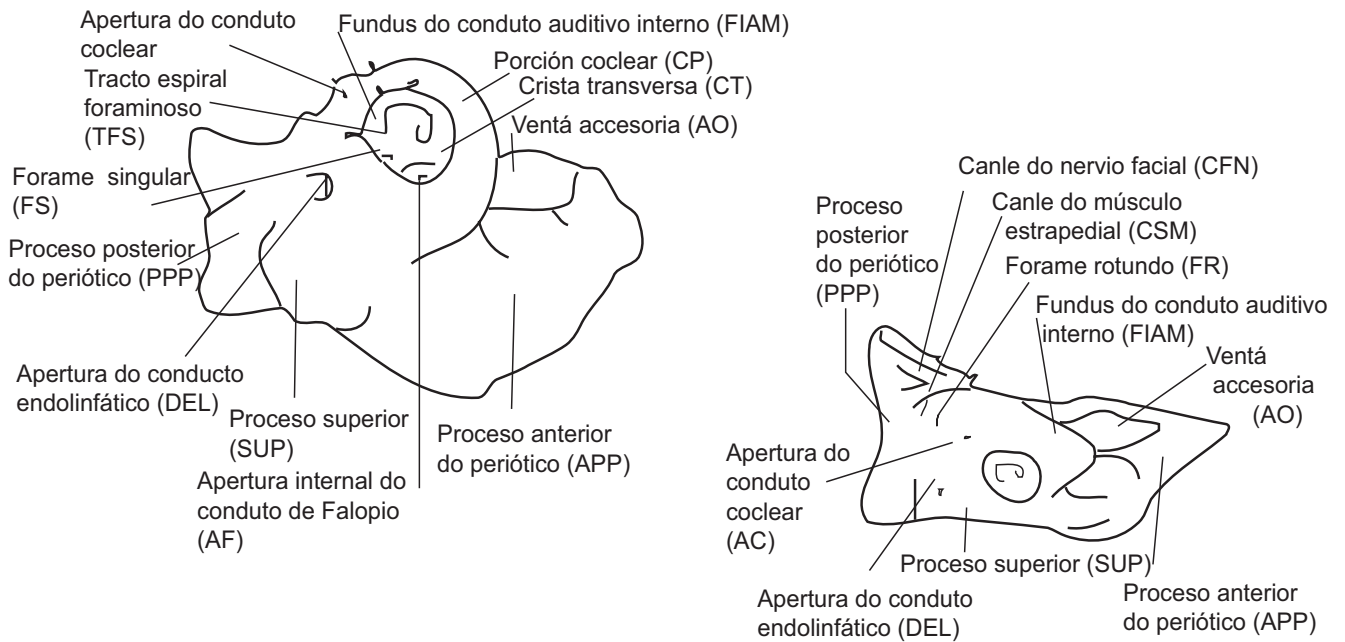
PARTES DA BULLA TIMPÁNICA E PERIÓTICO DOS ODONTOCETOS



BULLA TIMPÁNICA



PERIÓTICO



PATOLOXÍAS DO OÍDO

É habitual a parasitose causada por dúas especies de nematodos e un trematodo, *Crassicauda grampicola*, *Stenurus minor* e *Nasitrema spp.*

As consecuencias son:

Redución do espazo aéreo, por mor da ancoraxe dos parasitos na parede do seo.

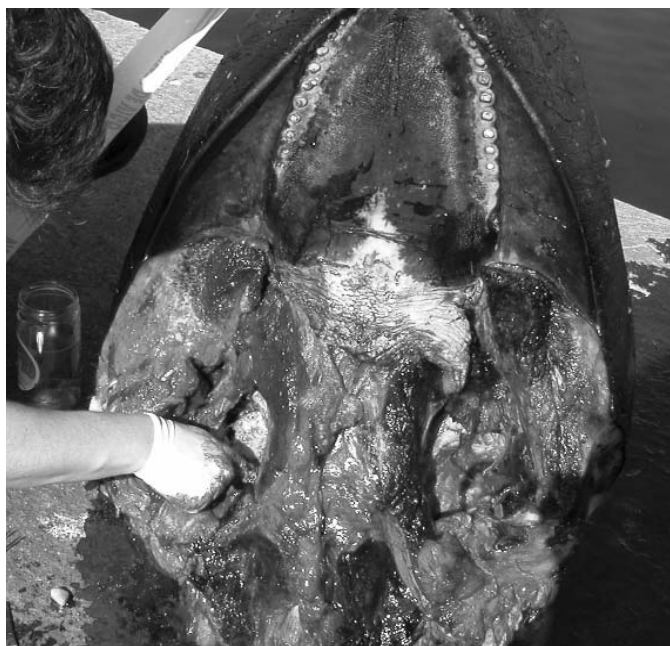
Escavación do óso e calcificación da parede do seo pola acción e presenza parasitaria.

Se a parasitose fora moi grave, a ancoraxe podería acontecer na ventá redonda fectando ao equilibrio e á audición; ou chegando a migrar polo oitavo nervio cranial penetrar na cavidade encefálica, aumentando o risco de encefalite e afección mortal.

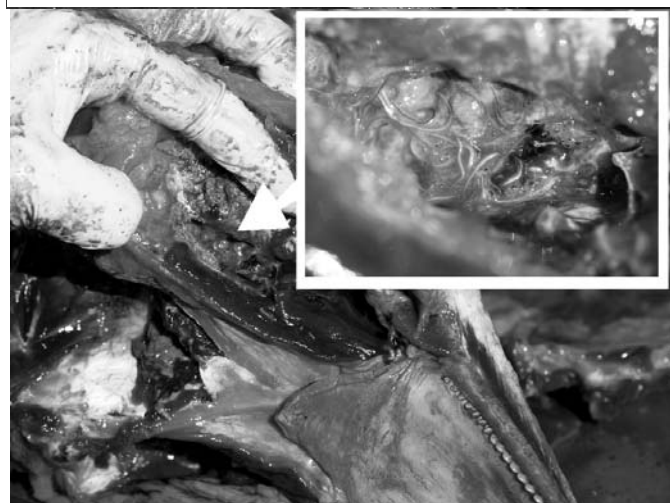
USO DO SON POLOS GOLFIÑOS

A frecuencia de repetición da emisión é a duración entre dous estralos nun conxunto denominado tren. No arroz, a frecuencia de repetición é maior que o tempo de recorrido ida e volta do sinal. O valor do tempo entre a emisión dun sinal e a emisión doutro é de 7 a 50 milisegundos, o intervalo aumenta coa distancia cara ao obxecto, de 10-25 a 1 metro, de 190 ms a 120 metros. O tempo de percorrido de ida e volta é de 1.3 ms a 1 metro e de 160 ms a 120 m. A duración dun pulso ou estralo é de 50 a 80 ms.

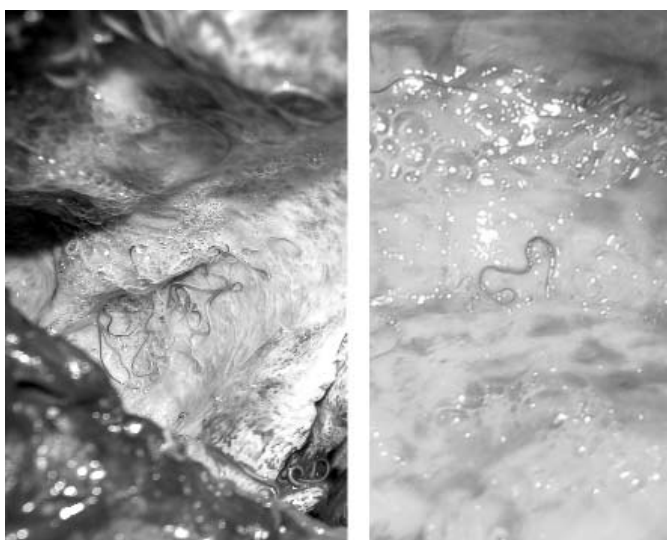
Na beluga o intervalo entre dous estralos é máis reducido e non permite a chegada do primeiro eco,



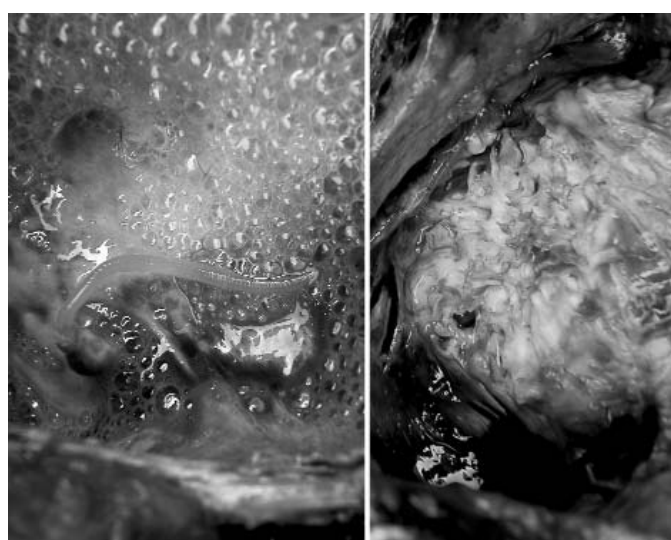
Apertura dos seos perióticos dun caldeirón para o estudo parasitolóxico.



Apertura dos seos perióticos dunha toniña con parasitos nematodos, *Stenurus sp.*



Parasitos nematodos, *Stenurus sp.* nos seos aéreos perióticos dun caldeirón.



Parasitos nematodos, *Crassicauda sp.* nos seos aéreos perióticos dun caldeirón. A imaxe da dereita amosa a afección ósea en cazoletas baixo o epitelio, onde o nematodo agocha a súa fixación.



este proceso, teoricamente, lle permite assimilar máis información por unidade de tempo. A emisión independente da recepción permite maior capacidade de ecolocalización.

Distancias de detección

Para a experiencia de detección tómase como referencia unha esfera de 7.6 cm de diámetro como obxecto a escanear, ou *branco*, por un golfinho adherado. O obxecto foi detectado no 50% dos casos a 113 metros de distancia. En cambio unha esfera de 2,5 cm de diámetro foi detectada no 50% dos casos a 72 metros de distancia. Unha beluga detecta esta esfera a 80 metros e unha falsa candorca a 120 metros.

A función da emisión de estralos será, por tanto a:
Observación de obxectos.

Discriminación detallada de obxectos

Discriminación das diferencias morfolóxicas superficiais.

Non se coñece en que medida os animais utilizan estas diferencias na natureza. A visión interna dos obxectos é especulativa. Sábese que poden detectar redes de 0.5 mm de diámetro. As frecuencias de 100 KHz poden detectar as redes a 30 metros. Cando os animais van en grupo utilizan ecolocalización a pesar de saber que non existen obxectos algúns que escanear e que non o dirixen a outros conxéneres polo que se especula con algún intercambio de información. É por iso que se pensa que as presas poderían quedar atordadas polo eco. Coñécese que cuns niveis de 236 Db o 50% dos peixes quedan atordados, desorientados e en estado de shok.

MISTICETOS

Os misticetos, cetáceos con barbas e sen dentes, utilizan sons de baixa frecuencia para comunicarse e crean *melodías* complexas. Caracterízanse por emitir sinais pulsados e de baixa frecuencia (20 Hz). Este tipo de sons teñen maior lonxitude de onda e polo tanto percorreren maiores distancias que os de alta frecuencia, isto suporá unha vantaxe para animais que migran grandes distancias e están separados centos de quilómetros de outros individuos da súa especie, como é o caso de moitas especies de baleas.

Os misticetos utilizan estes sons para orientarse, navegar e para a comunicación con outros individuos, como a balea azul, o canto da balea xibarte ou a balea grenlandesa.

Os odontocetos son os únicos cetáceos que adquiriron unha verdadeira capacidade de ecolocalización. Se os sons producidos polos misticetos teñen algún sentido acústico comparable ao dos odontocetos, no mellor dos casos, é moi primitivo.

Existen algúns datos referentes a algunhas especies que emiten estralos de frecuencia bastante concreta e propúxose que poderían ter a función do sonar: detectar obxectos e determinar a profundidade. Sen dúbida esa información sería útil para os misticetos. Se por exemplo, puidese recibir información sobre a topografía do fondo durante as súas longas migracións estacionais ao longo dos mares, isto permitiríalles recoñecer determinados puntos característicos (montes submarinos, dorsais oceánicas, fosas profundas...) e utilízalas como fitos no seu camiño. Mais de momento é simple hipótese.



3. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA MARIÑA

Dende mediados do século XX, a investigación acústica imprimiu un esforzo substancial sobre o estudo dos cetáceos, polo que se dispón hoxe de moitos datos científicos sobre o seu sistema acústico e a súa dependencia dos sinais acústicos como fonte de información, así como do seu sistema de comunicación no medio mariño.

O ruído submarino producido polas actividades humanas aumenta cada día e inclúe o tráfico marítimo, a explotación e produción de gas e petróleo, o sonar industrial e militar, as fontes sonoras de experimentación industrial, as explosións submarinas, etc. De feito, non existe ningún recuncho do mundo que non estea afectado pola contaminación acústica.

Dentro do conxunto dos factores de risco que pesan sobre o hábitat mariño, esta contaminación constitúe unha das maiores ameazas a curto prazo e a escala mundial para o equilibrio dos océanos. Dado que os cetáceos dependen do son en todos os aspectos das súas vidas, non cabe dúbida de que son especialmente vulnerables ás fontes de ruído artificial.

Os cetáceos son altamente dependentes do seu sistema auditivo para a súa supervivencia, é por iso que os cetólogos están cada vez máis preocupados pola contaminación acústica dos océanos derivada das diversas actividades humanas que poden estar tendo importantes impactos negativos en moitas especies

Os estudos referentes ás respostas dos cetáceos á contaminación acústica inclúen a evitación da fonte do ruído e a alteración do comportamento dos animais. Algúns odontocetos ocasionalmente achéganse ás embarcacións e nadan preto delas, e mesmo outros cetáceos habituados ao tráfico mariño aproxímanse aos barcos, aparentemente para socializar, mais, os coñecementos a respecto dos efectos do ruído na fisioloxía e psicoloxía dos mamíferos mariños son aínda escasos.

Tense constatado que algunhas mortalidades masivas de cetáceos, en diferentes augas do mundo, teñen que ver con fontes de ruído a diferentes niveis de intensidade, que afectaron de xeito negativo ás poboacións de cetáceos.

O impacto destas fontes pode variar de forma significativa, desde causar molestias, desprazamento de poboacións, lesións de distinta gravidade no sistema auditivo, dende lixeiras e reversibles, crónicas e irreversibles producindo xordeiras permanentes, ata a morte inmediata do animal.

A modernización e o aumento do tráfico marítimo, xunto con practicas de exploración xeolóxica, prospeccións petrolíferas e o emprego militar de sonares activos ocasionaron efectos negativos na fauna mariña e nos cetáceos. Nos últimos anos, no Estado Español diversas emisións sónicas relacionadas con manobras militares ou prospeccións petrolíferas afectaron ás poboacións de cetáceos existentes nas augas do Golfo de Biskaia, Illas de Canarias, Estrecho de Gibraltar, costa Mediterránea e Illas Baleares.

Algúns exemplos de impacto acústico son os producidos polas plataformas petrolíferas que poden afectar á distribución das baleas a distancias de mais de 50 km. Con todo non existen experimentos que o demostren como causa e efecto. Tamén niveis de 143 dB (decibeis) no rango de 20 a 1000 Hz foron determinados a máis dun quilómetro dunha plataforma petrolífera de California, o que indica que un amplo rango de frecuencias son audibles a distancias significativas desas instalación. Os trades utilizados na extracción de petróleo xeran sons con fortes tons en baixas frecuencias (< 20 Hz)

O coñecemento científico actual sobre o efecto do ruído nos mamíferos mariños e o seu hábitat é insuficiente para entender a relación entre frecuencias,



intensidades e duración das exposicións que poden levar consecuencias negativas para as especies. Diante destas incertezas considérase que resulta necesario o deseño de parámetros obxectivos para asesorar a conservación da biodiversidade mariña, establecendo normativas locais e internacionais sobre a contaminación acústica mariña (López et al., 2003).

TRAFICO MARIÑO

Unha das principais ameazas para os cetáceos está relacionada co incremento exponencial do tráfico marítimo nas últimas décadas. Os ruídos de baixa frecuencia producidos por grandes barcos e as altas frecuencias de pequenas embarcacións poden ter grandes efectos sobre os pequenos cetáceos.

Ata a aparición dos motores de vapor, o mar era un medio ideal para a utilización de sons por parte dos cetáceos, para comunicarse, orientarse e alimentarse. Pero ademais da contaminación acústica, as embarcacións constitúen hoxe tamén unha nova ameaza para moitas especies de cetáceos.

En 1985 o barco de pasaxeiros *Princesa Tegui* que realizaba a liña as Palmas - Santa Cruz de Tenerife, chocaba cun cachalote ocasionándolle a morte así como a dun pasaxeiro. A pesar deste accidente, as liñas de ferrys de alta velocidade proliferaron en diferentes puntos, coincidindo nalgúns lugares con importantes áreas de interese para a alimentación e migración de diversas especies de cetáceos, como son o Estrecho de Gibraltar, ruta de Baleares, etc.

O estudo de Zacharias et al. (2004), describe que a vulnerabilidade de dous grupos de baleas sometidas a catro tipos de feitos que ocasionan tensión acuática: tráfico de transbordadores, tráfico de barcos comerciais, tráfico de embarcacións pequenas e potencial produción de petróleo lonxe da costa. A resposta dos animais foi relativamente similar, con todo, as especies próximas á costa foron mais sensibles a actividades costeiras antrópicas como a explotación de hidrocarburos, tráfico de transbordadores e de pequenas embarcacións.

Dende hai 30 anos créase unha nova industria, o avistamento de cetáceos con finalidade comercial; trátase dunha actividade aparentemente inofensiva para os cetáceos con fins turísticos e que mesmo



nalgúns áreas, como Os Acores e Madeira, substituíu á caza. Na ausencia de códigos de conduta esta industria trouxo novas ameazas para os cetáceos. Mentres que o avistamento desde terra é inofensivo, a grande cantidade de barcos movéndose moi rápido e operando con moito ruído ao redor dos cetáceos poden interromper comportamentos tales como a alimentación e a reprodución ademais de causar danos físicos.

Tres das áreas mais importantes para os cetáceos nas costas españolas, as Illas Canarias, a zona costeira de Galicia e o Mar de Alborán, son puntos claves para o tráfico marítimo internacional. Mais dun 20 % deste tráfico marítimo transita por estas augas.

Ademais destes buques mercantes hai que resaltar a proliferación de embarcacións adicadas ao





turismo de avistamento de cetáceos, en Canarias e Gibraltar e outras como motos acuáticas ou embarcacións lixeiras que causan molestias por persecución reiterada aos animais, como en Galicia e en xeral por toda a costa.

Dende o ano 2007 existe un decreto a nivel estatal, o *Real Decreto 1727/2007, de 21 de decembro, polo que se establecen medidas de protección dos cetáceos*, moi agardado durante tantos anos, e unicamente nas illas Canarias hai unha lexislación específica, dende os anos noventa, que evita o achegamento inadecuado destas embarcacións aos cetáceos, que pode non só ocasionar un risco de colisión, senón tamén unha tensión que pode chegar a poñer en perigo a eses animais.

DETONACIÓNS

As medicións sísmicas son usualmente realizadas utilizando canóns de aire que xeran principalmente sons de baixa frecuencia como pulsos curtos, en fraccións de segundo, repetidos cada 5 ou 10 segundos. Aínda que se dispón normalmente apuntando cara abaixo, unha cantidade significativa de enerxía de son é proxectada cara aos lados.

Foron medidos niveis de orixe superiores 200 dB e, os estudos de respostas de mamíferos mariños documentaron cambios de conduta a máis de 10 km para as baleas azuis e de 8 km para as baleas xibartes. Por esta razón moitos estudos suxiren a necesidade da posta en marcha de protocolos para as exploracións sísmicas, ou detonacións programadas, durante períodos onde as potenciais especies afectadas puideran estar presentes. Por primeira este tipo de protocolos foron aplicados en Galicia no ano 2008 e 2009 para

garantir que non houbera danos aos cetáceos en diversas actividades con forte impacto sonoro, como unha competición de embarcacións rápidas ou as detonacións no porto exterior de Ferrol.

SONARES

A recente coincidencia, no espazo e no tempo, de manobras militares e varamentos masivos de cetáceos, sobre todo de especies de hábito de inmersión profunda, produciu alarmas sobre o impacto que esta tecnoloxía pode causar sobre os mamíferos mariños. Aínda que os sistemas sonares actuais non son os únicos, ou os maiores, causantes de problemas acústicos, son un claro expoñente do lesivo que pode ser o ruído antropoxénico na súa forma máis aguda e letal.

Un sonar activo é basicamente un radar submarino que mediante a emisión de sons permite a composición dunha imaxe e a detección de obxectos debido á recepción do eco que se produce por reflexión.

A armada española posúe sonares de grande potencia e alcance medio, utilizados para a detección de calquera obxecto afundido, especialmente submarinos. Estes sonares foron implicados nos varamentos masivos de cifios, especies pouco coñecidas, de distribución oceánica e baixa densidade poboacional. Os casos máis recentes déronse nas Bahamas no ano 2000, nas Illas Canarias no ano 2002 e no Mediterráneo en diversas ocasións, a última no ano 2007 en Amería. En todos os casos estaban implicados estes sistemas sónicos de detección submarina.

O uso extensivo destes sistemas polos buques da OTAN nas augas españolas e europeas representan un claro factor de risco para as poboacións de cetáceos.



os. Aínda máis cando se descoñece o efecto da combinación de varios sonares como posible factor potenciador do impacto negativo.

Considerando a capacidade directa ou indirectamente letal destes sistemas acústicos activos quizais non se teñen en consideración os danos a longo prazo que poden sufrir as poboacións expostas. O risco sobre os mamíferos mariños, que producen as actividades relacionadas con estes sonares, fai urxente o estudo e seguimento destas actividades, establecer límites de seguridade e medidas mitigadoras para permitir a súa viabilidade e, no seu caso, os parámetros e criterios sobre os que se deban desenvolver.

SONAR ACTIVO DE BAIXA FRECUENCIA

O LFAS ou SURTASS-LFAS é o termo co que se coñece a un sistema de sonar de grande precisión, as siglas significan SURTASS LFAS: *Surveillance Towed Array Sonar System-Low Frequency Active Sonar* ou Sistema de Sonar de Vixilancia por Medio de Varrido Reticular e **Sonar Activo de Baixa Frecuencia**. Baséase na utilización de ondas de son de alta intensidade (superior a 200 dB) e baixa frecuencia (entre 450 e 700 Hz) que poden viaxar maiores distancias baixo a auga e detectar obxectivos a centos de quilómetros de distancia.

O funcionamento resulta da emisión de decenas de ondas en períodos de poucos segundos, preto de

250 en 4-5 segundos, que golpean sobre os obxectos e rebotan ata un receptor que as interpreta, tamén poden utilizarse sons durante un minuto ou máis a intervalos de 10 a 15 minutos. Este emisor atópase suspendido dende o barco a uns 50 metros de profundidade.

O LFAS ademais de emitir sons de alta intensidade a través de 18 elementos emisores, utiliza baixas frecuencias para aumentar considerablemente o seu radio de acción. O potencial impacto sobre grandes cetáceos, que utilizan frecuencias similares, é motivo de preocupación á que se engade a do seu uso proxectado en todos os océanos indiscriminadamente.

O obxectivo deste sistema de sonar nos navíos militares é o de poder localizar con total precisión aos submarinos (tanto nucleares como convencionais), incluídos os máis silenciosos ou ata submarinos parados. A OTAN, e especialmente a armada estadounidense, ten como obxectivo implantar este sistema nas súas embarcacións para poder cubrir o 75 % - 80 % dos océanos do Planeta.

O LFAS pode provocar efectos sobre os cetáceos ata a grande distancia da fonte emisra. A resonancia destes sonares provoca a vibración de todas as cavidades do corpo, a traquea, mandíbulas, seos craniais e órganos internos, con maiores repercusión sobre aqueles que conteñen aire.



3. QUE SE PODE FACER?

En 1997, a *Comisión do Congreso Estadounidense sobre Mamíferos Mariños* presentou un informe no que recoñecía o impacto dos sonares LFAS sobre os cetáceos, indicando que estes podían producir efectos como morte por hemorraxia nos pulmóns e traumas noutros tecidos, perda parcial ou total da audición dificultando a comunicación, tensión e outras alteracións psicolóxicas, facendo aos individuos máis vulnerables a patoloxías como virus, bacterias e parasitos, cambios nas rutas migratoria evitando as zonas habituais de alimentación e reprodución, ademais doutras alteracións do comportamento. Indicaba ademais que se estes efectos eran de carácter severo ou continuo poderíanse provocar impacto reprodutivo e de supervivencia, diminuindo as poboacións e poñendo en perigo a perpetuación da especie.

Un estudo de impacto ambiental realizado pola armada estadounidense, posto en marcha polas denuncias de numerosos colectivos sociais que amosaban as súas preocupacións polas manobras militares, demostrou que os cifios podían verse afectados por estas operacións. Segundo os propios estudos da armada os LFAS poden xerar ondas de son de 140 dB capaces de superar as 300 millas. En 2001, un ano logo da mortaldade de cifios nas Bahamas, oficiais da Armada estadounidense anunciaron que, baseándose nas necropsias e outras evidencias dos animais varados, era "altamente probable" que fosen debidas a transmisións de sonar da armada. Estas lesións foron demostradas tamén noutras mortalidades de cetáceos como as acontecidas en Canarias.

A *Parte XII da Convención sobre a Lei do Mar das Nacións Unidas* establece a obriga de protexer o ambiente mariño. Diante da crecente evidencia científica sobre os impactos negativos xerados pola contaminación acústica mariña, as Nacións Unidas debería apoiar un enfoque precautorio sobre todas as fontes de ruído antropoxénico e debería avaliar formas de limitar e mitigar o seu uso en alta mar e chamar aos Estados Membros a facer o mesmo nas súas augas territoriais.

O Principio de Precaución debería ser aplicado pública e transparentemente sobre as fontes de ruído intenso de orixe militar, comercial e científico.

En moitos casos, existen alternativas reais de mitigación para reducir e eliminar fontes de ruído antropoxénico de alta intensidade, por exemplo, sonares pasivos mellorados, deseños mecánicos que minimizan o ruído, fontes de enerxía alternativa, etc.

Por todo iso, faise necesario un seguimento individualizado de cada operación prospectiva que se realice en cada lugar das augas mariñas, para poder aproximarnos aos efectos concretos nesa determinada zona. Todo iso, sen menoscabo de posibles análises e interpretacións globais, unha vez postos en común e estudados varios casos ben documentados.

Mais o problema das mortalidades masivas causadas polos LFAS non é máis que a punta dun iceberg que afecta de xeito crónico á fauna mariña e que ademais tende a aumentar co tránsito marítimo, as prospeccións e outras actividades humanas agresivas co medio mariño. É por iso que diante da problemática xeral compre poñer en marcha protocolos de actuación e aumentar a investigación tanto na liña da análise do impacto do ruído ambiental no medio mariño como na liña de tratar de investigar de que xeito afecta á fauna e aos cetáceos particularmente co fin de poñer en marcha labores paliativos do impacto.

Nesta liña a CEMMA adecuou a metodoloxía da investigación acústica aos seus traballos de investigación mariña, aplicándoa como ferramenta de monitorización habitual e como ferramenta de conservación da biodiversidade. Así mesmo a CEMMA deseñou protocolos específicos que se comezaron a aplicar na práctica en eventos e actividades que poden ser potencialmente lesivas para os cetáceos, como poden ser a integración do protocolo no dispositivo de seguridade da POWERBOAT, carreira de embarcacións de velocidade celebrada no ano 2008 na Ría de Vigo, ou tamén a aplicación do protocolo durante as detonacións nas obras do porto exterior de Ferrol, supervisadas por membros da CEMMA, integrados na empresa que realiza o seguimento.



4. PROTOCOLOS SOBRE ACÚSTICA

O seguinte apartado describe os protocolos de actuación diante de dúas actividades agresivas para o medio ambiente relacionadas coa emisión acústica, como por exemplo: as prospeccións petrolíferas, o tráfico marítimo, as actividades deportivas con embarcacións a motor de alto cilindraxe, e o uso dos sónares activos de baixa frecuencia (LFAS).

Estes protocolos deben ser útiles para levar a cabo a recollida de datos pormenorizada antes, durante e logo das prospeccións e para que se poidan redactar informes que acheguen a información necesaria para a extracción de conclusións sobre os efectos das campañas de prospección sísmica nos peixes, tartarugas e mamíferos mariños das augas galegas.

O son transmítese moito máis rápido e con maior nitidez baixo a auga que no aire. Este feito provoca que fontes de sons inducidas polo ser humano que producen niveis tolerables de ruído ambiental no aire, ao producirse baixo o mar se magnifiquen, orixinando unha contaminación acústica do medio mariño que ocasiona desde leves molestias aos animais mariños, ata graves lesións incompatibles coa vida. As mortalidades masivas que sufriron algunhas especies de cetáceos durante manobras militares nas que se usaban *sonares activos de baixa frecuencia-LFAS*, ou ben durante campañas de prospección de recursos naturais do subsolo mariño en zonas xeográficas moi próximas a Galicia, requiren a definición duns **plans de continxencia** que teñan en conta as actuacións antes, durante e despois destes eventos, para monitorizar os efectos negativos da contaminación acústica submarina producida.

A denuncia do impacto dos sonares nas manobras militares foi realizada por diferentes entidades civís dende os anos 90. As institucións militares tardaron en admitir danos producidos polo impacto sobre os cetáceos, mais actualmente, e grazas á rigorosidade dous estudos científicos, tense unha clara evidencia deste impacto. A revista científica *Nature* recolle un informe de científicos españois e británicos sobre as necropsias realizadas aos cifios (cetáceos odontocetos) mortos durante as manobras realizadas en augas das Illas Canarias polas forzas navais españolas e da OTAN.

Unhas manobras militares realizadas pola mariña española e a OTAN durante o mes de setembro de 2002 nas inmediacións das Illas Canarias provocaron a morte dun número indeterminado de mamíferos mariños. O día 24 dese mes, catro horas despois de que comezaran as manobras navais, só nas praias de Fuerteventura apareceron varados 14 cifios duns 2000 quilos, 11 deles mortos e os outros tres agonizantes. O impacto destes dispositivos militares foi confirmado por numerosos informes, entre eles, algúns oficiais da flota norteamericana en Hawai (1998), Bahamas (2000) e da propia OTAN en Grecia (1998).

Os estudos realizados sobre cetáceos demostran que con só 120 dB (decibeis), os animais tenden a abandonar as zonas onde se experimenta con estes sonares, e que a partir de 140 dB pódense provocar efectos nocivos sobre a vida mariña. Por poñer un exemplo, o oído humano non pode soportar sons superiores aos 160 dB. Cada aumento en 10 puntos dos decibeis, supón tamén un aumento 10 veces maior da intensidade do son, polo que un sonar a 240 dB tería unha intensidade 100 millóns de veces superior aos 140 dB a partir dos cales atópanse xa efectos nocivos. A propia armada estadounidense recoñece nos seus informes que ondas de son de 180 dB poden provocar danos graves sobre os cetáceos.

As Illas Canarias é o lugar do mundo onde con máis frecuencia se produciron varamentos de cetáceos tras a realización de manobras militares, aínda que non é o único. Estes sucesos ocorreron tamén nas Bahamas, Hawai, Mediterráneo, costas atlánticas de Norteamérica, Illas Virxes, Porto Rico, Madeira, Os Açores, California e no estado de Washington. A



OTAN desenvolveu no Mediterráneo, polo menos 16 destes experimentos con algunhas consecuencias tamén para os cetáceos, como no caso de Grecia ou no máis recente de Almería.

Aínda que as especies máis comunmente afectadas por estes exercicios navais son os cifios, cetáceos de tamaño medio, entre 4 e 11 metros, comprobouse que os seus efectos poden chegar a afectar a candorcas, golfinhos, toniñas e, ata, peixes.

PROSPECCIÓNS PETROLÍFERAS

Metodoloxía das prospeccións

Na primeira fase dos proxectos de prospección xeofísica, fundamentalmente petrolíferos, lévanse a cabo estudos xeolóxicos e sísmicos para determinar a existencia de depósitos de combustibles fósiles baixo a superficie das zonas de estudo.

Os métodos de prospección xeofísica mariña consisten, en xeral, na emisión de ondas acústicas, desde un buque en movemento, que viaxan a través da auga e acadan a superficie do fondo mariño, posteriormente estas ondas son reflectidas cara á superficie do mar onde son captadas polo mesmo buque, que as rexistra e interpreta obtendo datos das discontinuidades do fondo e subsolo mariños, deste xeito determinar a existencia de depósitos de combustibles fósiles.

O equipamento empregado para realizar estudos sísmicos dividiuse en tres grupos segundo a función que realiza: **fontes de enerxía**, que proporcionan un pulso de enerxía acústica, **equipos de rexistro**, encargados de captar e rexistrar os sinais reflectidos e/ou refractados polo fondo mariño, **sistemas de procesado**, que permiten analizar e representar os sinais sísmicos.

Normalmente utilízase como fonte de enerxía o denominado **canón de aire comprimido** (*air-gun*) que consiste nun dispositivo que emite unha onda acústica mediante a acumulación de aire a alta presión no seu interior e a súa posterior expulsión súbita no seo da auga, é a fonte máis empregada tanto na industria de exploración petroleira como nos estudos científicos. Hoxe en día o canón máis comercializado é o modelo *Long Life Air Gun* deseñado pola empresa *Bolt Technology* en 1993 con máis de 4500 unidades vendidas.

Os canóns, ao liberar o aire comprimido na auga, producen un pulso acústico de gran enerxía, que se transmite de forma omnidireccional pola columna de auga ata acadar o fondo mariño, onde a enerxía reflicte e refractase cada vez que atopa unha discontinuidade de impedancias acústicas. Os sinais procedentes dos diferentes reflectores son captados por un conxunto de sensores, hidrófonos, remolcados polo buque.

Este conxunto de hidrófonos, coñecidos polo seu nome en inglés, *streamer*, consisten nun cable de máis de 4000 metros con receptores de ondas acústicas que converten a presión da onda de retorno nun sinal eléctrico que finalmente é dixitalizado e procesado.

Durante as prospeccións sísmicas mariñas a fonte de emisión de son é arrastrada a 4-10 metros de profundidade a unha velocidade de 4 a 6 nós, Os canóns dispáranse aproximadamente en intervalos de 6 a 20 segundos mentres que o buque realiza transeptos predeterminados. O canón de aire é capaz de xerar uns niveis de intensidade sonora de 215- 230 dB, cunhas frecuencias de entre 10 e 300 Hz (Hercios). A enerxía liberada ao medio segue pacticamente unha relación lineal coa presión do aire do canón. Recentemente se teñen rexistrados niveis de intensidade de ata 90 dB e unhas frecuencias de 20 kHz a unha distancia de 1 Km da fonte emisora.

Para facernos unha idea do que estes datos implican, resulta interesante dicir que o nivel de intensidade sonora considerado como limiar da dor nos humanos é de 120 dB, adoptouse pola comunidade científica que 180 dB é o nivel límite de intensidade sonora que pode producir danos fisiolóxicos irreversibles nos cetáceos, é necesario ter conta de que a escala dos decibel aumenta logaritmicamente.



As metodoloxías utilizadas nas prospeccións sísmicas realizadas en busca de recursos explotables do subsolo mariño, amosáronse moi prexudiciais para a fauna e os ecosistemas mariños. Os efectos adversos que producen este tipo de fontes de son foron descritos nos organismos planctónicos, invertebrados, peixes, tartarugas, aves e mamíferos mariños.

A inmensa riqueza biolóxica das augas costeiras españolas vese ameazada periodicamente, por diversas campañas de prospección sísmica en busca de recursos naturais explotables. Nos últimos anos, diversas organizacións ambientais, e algúns organismos oficiais de investigación, manifestaron a súa preocupación polos efectos que estas operacións poidan causar ao ecosistema mariño (Guerra et al .2004; Aguilar e Brito 2002, López et al, 2003).

Ademais, cabe destacar que as campañas de prospección son tan só a primeira das fases da planificación do traballo con obxecto de extraer recursos naturais do subsolo mariño. Posteriormente a estas, e unha vez identificadas as posibles zonas con recursos extraíbles, levarán a cabo catas do subsolo, e posteriormente entrarase de cheo na fase extractiva. Todas estas operacións introducen niveis moi altos de contaminación acústica no medio mariño, que en ocasións resultan incompatibles co desenvolvemento das actividades vitais para moitos organismos mariños.

Os efectos negativos producidos pola contaminación acústica teñen ademais un efecto acumulativo, que é necesario estudar a longo prazo. Ata a data, os diversos estudos realizados sobre os efectos negativos nos organismos mariños foron, na súa grande maioría, efectos a curto prazo. As consecuencias a longo prazo son difíciles de estudar e prever, pero en todo caso, teñen que ser tidas en conta. Así mesmo, se aos efectos negativos a curto prazo únense as consecuencias non demostradas, pero facilmente extrapolables (aparición de patoloxías crónicas, afectación do sistema inmunitario por unha taxa de tensión mantida, efectos na reprodución, etc), os efectos das prospeccións sísmicas aparecen como un factor de risco para a supervivencia dalgunhas poboacións ameazadas.

De todos os xeitos, hai que ter moi en conta que os efectos terán diferentes graos de afectación entre as

especies, e ata se producirán diferenzas intraespecíficas. Entre os factores que poden condicionar estas respostas dos organismos mariños poden citarse as seguintes:

- A utilización do espazo e o tempo no que se desenvolvan actividades extractivas.
- A capacidade de migración nun momento dado,
- A importancia das capacidades auditivas das diferentes especies.
- A utilización do son nas actividades vitais das diferentes especies.
- Os niveis de exposición á contaminación acústica precedentes.
- A distancia ás fontes de contaminación acústica.
- As características da fonte sonora que introduce a contaminación acústica no medio.

Por todo iso, parece claro que os estudos realizados noutras zonas do mundo, deben considerarse como unha pauta a seguir, pero en todo caso, é necesario realizar estudos específicos en cada unha das zonas onde se produzan estas situacións. Este feito ven determinado pola existencia de diversos factores que poden facer variar considerablemente os efectos negativos: a orografía submarina que produce diferenzas importantes na transmisión de son, a presenza de correntes, as especies presentes e o uso do hábitat por parte destas, así como factores da propia metodoloxía utilizada nas prospeccións.

A Coordinadora para o Estudo dos Mamíferos Mariños (CEMMA), a través da redacción deste documento pretende establecer uns protocolos de recollida de información xeral antes, durante e despois da realización de campañas de prospección submarina que se realicen utilizando métodos sísmicos, nas augas costeiras de Galicia. O impacto deste tipo de probas engádesse á listaxe de ameazas para a fauna mariña



desta área xeográfica, e deberán terse en conta na redacción dos plans de conservación das especies de cetáceos.

O documento está estruturado de maneira que se describen as especies e hábitats máis vulnerables que poden verse afectados polas prospeccións, os posibles efectos que se describiron noutras zonas sobre os peixes, tartarugas e sobre os cetáceos, e finalmente, inclúense as pautas xerais que a CEMMA porá en funcionamento para tentar monitorizar e minimizar, na medida dos posible, estes efectos.

RECOLLIDA PREVIA DE INFORMACIÓN

Desde o momento que se fai pública unha campaña de prospección sísmica submarina nalgunha zona determinada, debe establecerse un plan de traballo detallado, que inclúa a recollida de información sobre tres aspectos:

Datos propios das campañas de prospección

- Empresa o organismo responsables da campaña
- Localización xeográfica detallada da zona de prospección

- Duración das prospeccións
- Barcos e equipo que se utilizará
- Características dos sons emitidos
- Plans de impacto ambiental
- Medidas preventivas

Especies afectadas

Na costa de Galicia está constatada a presenza de 20 especies de cetáceos, dende as augas costeiras ata as augas oceánicas. Os cetáceos son especies protexidas, molestar intencionadamente a estes animais ou manipular os exemplares ou restos sen autorización constitúe unha infracción administrativa segundo a lei de conservación da natureza e de flora e fauna silvestres (Lei 4/1989) e a lei estatal e de conservación da natureza (Lei 9/2001).

Existen épocas do ano nas que os cetáceos son máis vulnerables, ben sexa polo incremento das actividades humanas, polo ciclo vital dos animais ou tan só polos movementos que realizan preto da costa. A partir do mes de xullo e ata setembro comeza o período de partos para un bo número de especies, polo que, nesta época ao navegar coas crías, as mandas son máis vulnerables. As crías dos arroaces (*Tursiops truncatus*)

durante seis meses dependen estreitamente das nais e viven ata os tres anos con elas, sendo habitual atopar mandas con crías preto da costa, onde exercitan aos xuvenís na alimentación, apréndenlles as rutas, as características dos fondos, etc.

Na definición de especies costeiras podemos incluír aquelas que desenvolven a maior parte da súa vida preto da costa, pero tamén aquelas que, dun xeito natural, puntualmente desenvolven calquera actividade preto da costa, sempre e cando os exemplares non se atopen enfermos ou feridos.

Entre as especies que habitualmente desenvolven a súa vida preto da costa podemos incluír ao arroz, *T. truncatus*, dada a frecuencia coa que utilizan as augas costeiras das Rías, e á toniña, *Phocoena phocoena*, dada a frecuencia con que é observada nas áreas costeiras abertas, nas proximidades das Illas e nas bocas das Rías.

Entre as especies que desenvolven puntualmente calquera actividade preto da costa podemos incluír ao resto das especies rexistradas en Galicia, xa que poden potencialmente achegarse á costa, dun xeito natural, por diferentes motivos. Pero principalmente imos incluír nesta categoría ao golfinho común, *Delphinus delphis*, ao caldeirón, *Globicephala melas*, e ao arroz boto, *Grampus griseus*, que son especies que por motivos de navegación ou alimentación poden achegarse ás augas costeiras dun xeito natural, anque non demasiado habitualmente. O resto das especies, cunha forte compoñente oceánica, podemos considerar que a presenza de animais sans, e realizando actividades de navegación ou alimentación, nas augas costeiras é moi rara ou inusual, aínda que non imposible.



Importancia ecolóxica da zona

Previamente a unha actividade de prospección acústica, resulta necesario catalogar a proximidade de áreas protexidas ou ameazadas, lugares de interese especial, reservas mariñas, áreas con hábitats especialmente vulnerables, áreas especialmente importantes para a alimentación de especies, áreas e épocas especialmente importantes para algunhas pesqueiras, así como os niveis de contaminación acústica previos ás prospeccións, outros impactos negativos con efectos acumulativos no ecosistema, etc.

Toda esta información debería estar contida nos estudos de impacto ambiental que as empresas que realizan as prospeccións deben realizar, pero a realidade indícanos que estes estudos son, cando os hai, pouco sensibles e escasamente rigorosos.

Así mesmo, toda esta información debe poñerse en coñecemento das administracións competentes, organismos de investigación, e confrarías de pescadores da zona afectada.

EFFECTOS EN INVERTEBRADOS E PEIXES

Os efectos adversos, causados pola onda vibratoria que producen as detonacións, son máis acusados nos peixes que nos invertebrados mariños, que se



Lura xigante varada en Burela no ano 2002.

ven tamén afectados. Este feito débese a que a maioría dos invertebrados carecen de vexiga natatoria, ou órganos similares. A vexiga é unha estrutura chea de aire, característica dos peixes, e que adoita ser o órgano máis vulnerable ás detonacións submarinas e as súas ondas expansivas.

De todos os xeitos, describíronse lesións claramente atribuíbles ás detonacións nos moluscos, concretamente nas luras xigantes, aparecidas varadas ou aboiando na costa asturiana e galega posteriormente a campañas de prospección sísmica. Segundo datos da asturiana *Coordinadora para el Estudio y Protección de las Especies Marinas-CEPESMA*, desde 1962 rexistráronse 47 luras xigantes na costa asturiana. De todos eles, un 75% foron capturados por arrasteiros que traballaban entre os 400 e os 800 metros de profundidade no caladoiro de Carrandi. As capturas sufriron picos máximos en dúas ocasións: entre o 13 de setembro e o 23 de outubro de 2001 e entre o 13 e o 17 de setembro de 2003. Na primeira ocasión, cinco *Architeuthis dux* apareceron varados preto das áreas onde os barcos *Barracuda* e *Nina Hai 502* usaban dispositivos de canóns de aire comprimido para prospeccións xeofísicas. E en 2003, o achado de catro exemplares desta mesma especie coincidiu coa campaña *Marconi I* do buque oceanográfico *Hespérides*, na que se utilizaron dez canóns de aire comprimido para producir ondas acústicas de baixa frecuencia e de alta intensidade.

Os resultados das necropsias achegaron información que establecía un vínculo directo entre as prospeccións e as lesións atopadas nos animais. Todos os exemplares estudados, de entre 60 e 140 quilos de peso, presentaban a maioría dos órganos internos desfeitos, formando unha masa de tecidos, con rotura de vísceras e de tecidos musculares, e acompañado de hemorraxias masivas por rotura de vasos sanguíneos. A todo isto cabe engadir que todos os exemplares tiñan danos importantes no seu sistema receptor do equilibrio ou estatocistos, o que podería terlles provocado unha importante desorientación (Guerra et al. 2004).

Neste mesmo episodio, apareceron aboiando catro enormes cardumes de lirio, que tamén presentaron lesións macroscópicas (rotura das vexigas natatorias, hemorraxias e rotura de músculos e vísceras),



atribuíbles ás detonacións. Pero os efectos nos peixes non só son pola rotura desta estrutura chea de aire situada na cavidade visceral, senón que tamén foron descritas lesións nos ollos, o oído interno e na liña lateral (McCauley et ao 2003; Hastings e Popper 2005).

A **liña lateral** que posúen a maioría dos peixes é o principal órgano sensorial, que proporciona información acerca da súa posición respecto dos compañeiros do cardume. Externamente pode identificarse como unha prominencia delgada que percorre todo o costado do peixe desde a cabeza ata o pedúndulo caudal, formando nesta, diversas ramificacións ao redor do ollo e a boca. Internamente está formada por unhas canles recheas dunha sustancia xelatinosa, que están comunicados co exterior mediante diminutos poros. As canles están revestidas de miles de células sensibles ás vibracións, moi parecidas ás células receptoras do son que tapizan o oído humano. Mediante este mecanismo, un peixe pode captar as vibracións que produce na auga a natación do veciño ao desprazarse, e xa que logo controlar a velocidade e a dirección dos seus veciños no cardume. A información provinte da liña lateral e dos ollos, permite a perfecta coordinación de movementos dos bancos de peixes no seu conxunto. Así mesmo, o oído proporciona información de **propiocepción**, mecanismo corporal que rexistra a posición muscular, e o equilibrio.

As detonacións emitidas durante as prospeccións e a súa onda expansiva poden danar a estas tres estruturas (liña lateral, ollos e oído) con diferente intensidade, dependendo da distancia dos peixes á fonte sonora. As lesións poden ser temporais, pero, en ocasións, tamén poden resultar incompatibles coa vida dos peixes. Estudos realizados nos USA, Australia e Noruega, demostraron unha grande dispersión dos bancos de peixes ao redor das zonas onde levan a cabo as prospeccións. A parte da disgregación dos cardumes, que leva unha diminución considerable das posibilidades de supervivencia dos compoñentes, as consecuencias dunha rápida evasión producen unha utilización de reservas enerxéticas, tensións e inmunodepresión, que poden provocar diminucións da saúde dos peixes, facéndoo máis vulnerables, e ata podendo producir desordes reprodutoras como infertilidade e diminución no crecemento (Simmonds e Dolman 2003).



As alteracións producidas na comunicación dalgunhas especies que utilizan sons para chamadas de alerta, para a defensa, ou para diferentes aspectos relacionados co apareamento, a reprodución, etc. deben ser tidas en conta, aínda que non existen estudos a este respecto. Así mesmo, tampouco existen estudos a longo prazo do efecto acumulativo de niveis altos de contaminación acústica nos peixes.

Os efectos das prospeccións na pesca tamén foron demostrados (Skalski et ao 1992). McCauley (1994) realizou unha recompilación de casos nos que se describiron reducións moi importantes nas capturas en diversas especies estudadas (40-75%). De todos os xeitos, os datos dunha zona non poden extrapolarse a outra, xa que as variacións temporais e espaciais son moi acusadas neste sentido, e xa que logo, faise necesario realizar estudos detallados da afectación das pesqueiras en cada zona. Os efectos negativos prodúcense por unha afectación dos animais adultos, así como polas dispersións e alteracións no comportamento que os fan máis difíciles de pescar. Tamén cabe destacar a afectación de organismos planctónicos: larvas, alevíns de multitude de especies, o que producirá a medio prazo, unha diminución nas poboacións explotables.

EFFECTOS NAS TARTARUGAS MARIÑAS

A sensibilidade acústica das tartarugas mariñas sitúase entre os 100-700 HZ (Wever 1978, citado en McCauley 1994), e xa que logo é moi probable que se vexan afectadas polas detonacións.

Descríronse comportamentos erráticos sen especificar, nas tartarugas mariñas que se atopaban nas proximidades (ata 3 km da fonte sonora) dos barcos de



prospección, durante e despois das detonacións (Auger e Désilets, 2003).

Nas augas ao redor da Illa do Carmen en México, atopáronse en 2004, máis de 100 tartarugas mariñas varadas nas praias con lesións características de afectación por onda expansiva (*blast-injuries*) no interior da cabeza e cuncha. Unha grande parte dos animais necropsados presentaba hemorraxias en tecidos brandos e un estalamento das estruturas internas do cranio, así como dos pulmóns. Os varamentos producíronse coincidindo con campañas de prospección petrolífera co sistema de canóns de aire comprimido, na mesma zona.

EFFECTOS NOS CETÁCEOS

Pola utilización de baixas e medianas frecuencias, semellaba que os misticetos deberían ser máis sensibles que os odontocetos ás ondas sonoras emitidas polos canóns de aire comprimido. Pero existen evidencias de que algúns odontocetos poden captar baixas frecuencias e xa que logo son sensibles a estas fontes de son. Por exemplo, o cachalote ademais de captar baixas frecuencias, mergúllase a grandes profundidades en busca de alimento, onde se concentra o son procedente das ondas sísmicas. Outras especies, como os cifios (Familia *Ziphiidae*), que adoitan realizar inmersiones profundas e que teñen unha especial conformación anatómica da rexión do oído medio e interno, tamén son especialmente sensibles por estes feitos (Ketten et al. 2004). En xeral, pódese considerar que as especies máis susceptibles de sufrir as consecuencias das ondas sonoras producidas durante as prospeccións serán aquelas que adoiten realizar actividades vitais a maior profundidade.

Aínda que existen relativamente poucos estudos dos niveis de tolerancia máxima e de produción de lesións por efecto dun son mantido, a maioría coincide en situar en 180 dB o máximo absoluto de exposición para estes animais, para evitar a produción de lesións irreversibles, valor que adoita superarse nas campañas de prospección sísmica que poden chegar aos 250 dB.

Desgraciadamente, nos mamíferos mariños tampouco existen estudos a longo prazo que permitan extraer conclusións definitivas sobre os efectos da



contaminación acústica en períodos longos de tempo.

A parte dos efectos indirectos derivados da degradación do seu ecosistema, os efectos adversos das ondas sonoras producidas durante as prospeccións poden afectar aos cetáceos de diversos xeitos, que adoitan agruparse en 4 grandes bloques: efectos polo impacto físico, impactos na percepción, impactos sobre o comportamento, e impactos producidos pola tensión.

Lesións físicas

As lesións físicas foron descritas en animais que se atopaban a curta e media distancia das fontes sonora de alta intensidade. Non se realizaron estudos sobre impacto a diferentes profundidades, cuestión que podería facer variar en grande medida estes valores, intensificándose as lesións a maior profundidade, onde o son se concentra e pode afectar negativamente a distancias maiores das descritas.

As lesións macroscópicas máis destacables asociadas a exposicións a fontes de son intensas, adoitan concentrarse nos pulmóns, os seos paraóticos, e especialmente nos tecidos relacionados coa transmisión do son, como a graxa das mandíbulas, oído medio en interno, etc.. De todos os xeitos, describíronse hemorraxias e lesións focais noutros órganos, como na zona escleral do globo ocular, nas meninxes, no encéfalo e a espiña dorsal, e ata na cavidade oral (Fernández, 2004).

Confirmáronse todas estas lesións macroscópicas mediante estudos histolóxicos, cos que tamén se observaron lesións dexenerativas a nivel dos nervios vestibulococleares, das células sensoriais da cóclea (Ketten et al., 2004), así como a presenza de abundantes micro-partículas graxas aloxadas en diferentes órganos (Fernández, 2004).



Outro tipo de lesións que foron atribuídas aos danos acústicos son a formación e o crecemento de burbullas de gas (principalmente nitróxeno) en diferentes órganos como consecuencia dun proceso patolóxico parecido á enfermidade por descompresión (Crum e Mao 1996; Jepson et al., 2003). De todos os xeitos, outros autores indican a necesidade de realizar estudos máis en profundidade sobre o mecanismo de formación de bochas en órganos parenquimatosos, que permitan relacionar directamente este tipo de lesións con danos acústicos (Piantadosi e Thalmann, 2004).

Os danos nos órganos involucrados na percepción do son poden producir perdas temporais ou permanentes da capacidade auditiva nos animais afectados. Ademais, calquera alteración física do oído ou das estruturas involucradas na percepción dos sons terán unha influencia directa nas capacidades vitais (disturbios na ecolocalización, incapacidade de relación co medio, perdas de equilibrio, etc) dos animais afectados.

Finalmente, un nivel continuado de ruído ambiental produce niveis de tensións nos animais afectados que verán aumentadas as secrecións de catecolaminas, e se a situación mantense, as glándulas produtoras (adrenais) atoparanse claramente engrosadas nestes animais.

Alteracións na percepción

A presenza de ruído antropoxénico no medio mariño pode alterar a detección e emisión dos sinais acústicos dos cetáceos odontocetos, reducindo unha parte fundamental do comportamento social destes mamíferos mariños (comunicación) e de interacción co seu medio natural (ecolocalización). Este feito será especialmente preocupante en especies como os mysticetos, e no cachalote, que utilizan baixas frecuencias para comunicarse a grandes distancias.

As consecuencias directas deste enmascaramento dos sinais de comunicación e relación poden ser de diversos tipos: disgregación de grupos, imposibilidade de alimentación, perdas de nais e crías que adoitan rematar cun fatal resultado para as últimas, etc.

As respostas de diferentes especies a esta presenza de ruído ambiental son tamén diversas e describí-

ronse nalgunhas especies concretas. Por exemplo, observouse que os cachalotes e os caldeiróns paralizaron as súas vocalizacións durante a exposición a fontes intensas de son, coas alteracións que iso pode levar. Pero tamén se pode producir o caso contrario, xa que se estudou o caso da resposta das belugas, que aumentan a intensidade e a frecuencia das vocalizacións para compensar a presenza de ruído ambiental.

Alteracións no comportamento

Durante, ou despois, das prospeccións sísmicas, os cetáceos parecen modificar certas pautas de comportamento por un certo período de tempo. Os comportamentos máis frecuentemente observados son a fuxida da fonte sonora, cambios nas migracións, cambios no uso de hábitat, alteracións nas pautas fisiolóxicas de mergullo, e alteracións nas interaccións sociais.

O afastamento das fontes sonoras é o comportamento observado con máis frecuencia. Ata o 80% dos cetáceos afástanse de fontes sonoras de 180 dB. O radio no que ocorre este cambio de comportamento é dunha media de 25 km, aínda que nalgunhas especies de baleas pode chegar a exceder os 50 km (Simmonds e Dolman 2003).

Aínda que a solución de afastarse da fonte sonora pode ser levado a cabo con relativa facilidade polos cetáceos, existen unha serie de condicionantes para este comportamento de fuxida. En primeiro lugar, pode chegar a ocorrer que cetáceos en inmersións profundas (cachalotes ou cifiños), ao detectar unha concentración de son, respondan cunha fuxida rápida que os leve cara a unha zona máis próxima á fonte de son, ben sexa pola imposibilidade de captar o epicentro da fonte debido ao ruído ambiental, ou ben pola presenza



de correntes que fagan variar a direccionalidade do feixe sonoro, e que desorienten aos animais.

Tamén cabe destacar que o afastamento de zonas normalmente utilizadas para actividades vitais será normalmente temporal, ata que desapareza a fonte de ruído. Pero a posibilidade de que as prospeccións teñan éxito, e que xa que logo pásese a unha fase extractiva cunha presenza permanente de ruído antropoxénico, fai aumentar o impacto negativo para esa poboación residente, producindo ademais, alteracións no ecosistema, difíciles de prever.

As alteracións nas pautas fisiolóxicas de natación e mergullo máis frecuentemente observadas, que cabería agardar nos animais que se atopen nas proximidades de fontes sonoras procedentes de prospeccións sísmicas, serían: unha natación máis rápida, un incremento do tempo en superficie, unha diminución dos tempos de inmersión, un maior intervalo entre inmersións sucesivas e alteracións (incrementos por tensións ou diminucións por estar máis tempo en superficie) da frecuencia respiratoria.

Alteracións por efecto da tensión

Finalmente, o aumento de ruído ambiental e as alteracións anteriormente mencionadas, crean nos animais afectados un nivel mantido de tensión que á súa vez pode desembocar en procesos patolóxicos de diversa natureza.

Un estado de tensión mantido por longo tempo pode provocar desde simples incrementos da frecuencia respiratoria ata conductas agresivas anormais. Pero as situacións de tensións tamén crean estados de inmunodepresión nos animais afectados, que facilitarán a entrada de patóxenos externos e o establecemento de enfermidades, ou ben, a reactivación de enfermidades latentes ou subclínicas que xa estivesen presentes no propio animal.

MONITORIZACIÓN E MINIMIZACIÓN DOS EFECTOS

Desde o momento que se fai pública unha campaña de prospección sísmica submarina nalgunha zona determinada, debe establecerse un plan de traballo detallado, que inclúa as accións pertinentes para a monitorización dos efectos negativos das prospeccións, e no seu caso que estableza as posibles reco-

mendacións para mitigar estes efectos adversos.

Existen diversos documentos que describen actuacións para minimizar os efectos das prospeccións e no Reino Unido, por exemplo, utilízase o documento redactado en 2004 polo *Join Nature Conservation Committee: Guidelines for minimizing acoustic disturbance to marine mammals from seismic surveys*, que pode servir como guía vinculante de boas prácticas para as empresas que propoñan a realización deste tipo de traballos.

A formulación previa realizada coa información existente sobre a campaña, as áreas máis sensibles e as especies que poden verse afectadas, debe completarse tendo en conta os seguintes apartados:

Información sobre a campaña de prospección

1. Esixirase a máxima transparencia á empresa que vaia realizar as prospeccións no achegamento de información sobre as características da campaña de prospección.

2. Establecer as potencias máximas das detonacións, que non deberán exceder os 180 dB, para evitar a produción de lesións irreversibles, aínda que se recomenda o establecemento dun límite de 160 dB, tal e como estableceu as campañas realizadas no Reino Unido. Así mesmo, deberán planificarse as campañas co menor número de detonacións posibles.

3. Establecer distancias da costa e profundidades mínimas, nas que non poderán realizarse prospeccións.

4. Destacar a importancia de embarcar observadores específicos de mamíferos mariños cualificados, obxectivos e imparciais, con coñecemento do hábitat e do comportamento das especies.

5. Establecer un inicio suave das prospeccións para permitir que os cetáceos que estean nas inmediacións das fontes sonoras poidan afastarse delas con tempo suficiente, asegurándose e contrastando a información.

Información sobre as especies

1. Realizar unha revisión exhaustiva da literatura científica referida ás especies da zona.





Necropsia dunha toniña varada morta, CEMMA 2009.

2. Contactar con investigadores e grupos de traballo que teñan o seu campo de actuación na zona de prospección. Deberán identificarse especialmente as especies en estados de conservación máis ameazados.

3. Contactar cos pescadores e usuarios do mar (empresas de observación comercial de cetáceos ou actividades de educación ambiental mariña) que traballen na zona, para que acheguen información respecto da presenza de especies na zona e a época coincidente coas prospeccións programadas.

No caso de Galicia, a CEMMA poderá achegar a información xeral sobre as poboacións presentes e os contactos necesarios, tanto a nivel de investigadores, como para achegar observadores cualificados.

Información sobre a zona de prospección.

1. Contactar coas administracións responsables da xestión de reservas mariñas próximas á zona de prospección.

2. Contactar con investigadores e grupos de traballo que teñan o seu campo de actuación na zona de prospección, para que indiquen as zonas máis sensibles dos hábitats afectados. Deberán identificarse as épocas de migración, épocas de partos de cetáceos, épocas de desove en peixes, etc.

3. Contactar cos pescadores que traballen na zona,

para que indiquen as zonas máis sensibles en canto a capturas de especies comerciais. Deberán identificarse as épocas máis sensibles (migracións de especies comerciais, tempadas de explotación de recursos concretos, etc.).

Toda esta información dispoñible, redactada nun formato de informe técnico, formará parte do estudo de impacto ambiental das prospeccións, imprescindible como paso previo á realización destas.

Campaña de seguimento

Para o seguimento sería desexable dispoñer dun comité multidisciplinar de monitorización, formado por diferentes persoas que representen a todas as partes interesadas, e que poida asesorar a toma de decisión, tendo claro o obxecto da prospección, a afección potencial da actividade e o principio de precaución.

Así mesmo, deseñarase unha campaña de seguimento das prospeccións cunha embarcación non vinculada aos barcos que as leven a cabo. Nela deberían embarcarse observadores cualificados, tanto nas metodoloxías de observación de cetáceos, como de gravacións e seguimento acústico de cetáceos, que incrementan a eficacia no seguimento dos animais, ata de noite. Para iso, a embarcación será dotada dun dispositivo pasivo de monitorización acústica, como é o sistema hidrófono. Resulta moi recomendable que a embarcación poida propulsarse exclusivamente a vela durante os percorridos que se realicen dentro do radio



de acción das prospeccións, co obxecto de non interferir nelas.

Outro dos obxectivos deste seguimento sería a realización dunha busca exhaustiva de animais afectados, o que queda imposibilitado para os observadores a bordo do barco que realiza as prospeccións, que segue o seu rumbo sen deterse. Ademais, existiría deste xeito, a posibilidade de recoller os animais atopados mortos para levarlos a terra e poder realizar estudos patolóxicos completos, se se dera o caso.

Os observadores do barco que realiza as prospeccións, así como os que están a bordo da embarcación independente, deberán poñer especial atención a:

1. Presenza de animais mortos aboiando na superficie.
2. Observacións de tartarugas con comportamentos erráticos anómalos.
3. Disgregación de grupos, presenza de individuos solitarios pertencentes a especies sociais.
4. Alteracións nas vocalizacións das diferentes especies de cetáceos presentes na zona (mediante o uso de hidrófonos).
5. Afastamento dos animais das fontes de son.
6. Comportamentos de agresividade dentro do grupo.
7. Incrementos na velocidade de natación.
8. Incrementos do tempo en superficie e diminución dos tempos de inmersión.
9. Maiores intervalos entre inmersións sucesivas.
10. Posibles alteracións (incrementos por tensións ou diminucións por estar máis tempo en superficie) da frecuencia respiratoria.

Necropsias e atención a animais vivos

Finalmente, deberá poñerse especial interese na realización das necropsias dos animais que aparezan aboiando na zona onde se realizaron as prospeccións, ou ben dos animais que aparezan varados costas próximas. A CEMMA ten un protocolo especial de asistencia dos animais varados, especialmente os vivos, así como de necropsia e recollida de mostras dos animais que aparezan varados mortos nas costas de Galicia, durante ou despois das campañas.

Para os estudos de patoloxías acústicas é necesaria a presenza de persoal cualificado e con experien-

cia neste campo de traballo durante a necropsia. A complicada avaliación de lesións *in situ* asociadas a traumas acústicos, así como a dificultade en realizar unha correcta recollida de mostras para o seu estudo no laboratorio, fan necesaria unha alta especialización do persoal involucrado.

Se non se pode realizar unha exploración da rexión dos oídos e das estruturas relacionadas coa emisión e recepción de sons, no momento da necropsia, por falta de tempo ou de persoal cualificado, debe extraerse e refrixerarse ou conxelarse a cabeza enteira do cetáceo para o seu posterior estudo no laboratorio. Cunha cabeza conxelada, é posible ata un estudo da rexión dos oídos, e das estruturas adxacentes, mediante tomografía computerizada e resonancia magnética (Alonso et al. 2003). Se o persoal que realiza a necropsia pode extraer os oídos, deberá inxectarse formol ao 10% mediante unha xiringa e á menor presión posible, a través da ventá redonda, para permitir a fixación dos tecidos internos. Unha vez realizada a operación todo o oído mergúllase igualmente nunha solución de formol ao 10%. Os estudos a realizar a partir da extracción dos oídos son diversos e inclúen resonancias en campos magnéticos de alta intensidade, e cortes histolóxicos dos oídos.

Así mesmo, porase especial atención durante a necropsia á presenza de hemorraxias difusas e bochas en diferentes órganos, así como ao estado das glándulas adrenais. Deberán **recollerse mostras de todos os tecidos** e colocarse en formol ao 10%, para o seu posterior estudo histolóxico.

As mesmas pautas poden aplicarse para a necropsia de peixes, poñendo especial atención no exame da vexiga natatoria, da zona do oído, do estado xeral dos órganos e da presenza de hemorraxias internas. Deberán recollerse e colocarse en formol ao 10% mostras de todos os tecidos para o seu exame microscópico.

A CEMMA derivará os casos, as mostras e a información específica aos especialistas solicitando a súa participación e o asesoramento segundo o caso. Nesta liña, contactárase cos especialistas do *Laboratorio de Aplicacións Bioacústicas da Universidade Politécnica de Catalunya*, entidade adicada ao estudo patolóxico dos traumas acústicos



en cetáceos. Os investigadores encargaríanse de asesorar, e en caso necesario coordinar, os traballos post-mortem, e ata facilitarían o traslado de exemplares ou cabezas ao laboratorio de Vilanova i la Geltrú para o seu estudo completo. Tamén resultaría moi conveniente contar con estes especialistas se se producen varamentos de animais vivos, xa que é posible realizar estudos da capacidade auditiva dos cetáceos a través da medición das respostas auditivas do cerebro mediante o estudo dos potenciais evocados (André et al, 2003).

No caso da aparición de luras xigantes ou outros cefalopodes, resulta conveniente contar co asesoramento e as investigacións do especialista malacólogo Dr. Angel Guerra, do *Instituto de Investigacións Mariñas-CISC* de Vigo.

No caso da costa asturiana, Luís Laria de CEPESMA será quen de asumir a coordinación dos casos xa que conta con sobrada experiencia e co apoio da Aula do Mar onde conta con varios dos exemplares de cefalopodes recollidos en Asturias.

CONCLUSIÓN

A inmensa riqueza biolóxica das augas costeiras españolas vese ameazada periodicamente, por diversas campañas de prospección sísmica na busca de recursos naturais explotables. Nos últimos anos, diversas organizacións ambientais, e algúns organismos oficiais de investigación, manifestaron a súa preocupación polos efectos que estas operacións poidan causar ao ecosistema mariño. A Coordinadora para o Estudo dos Mamíferos Mariños (CEMMA) tamén comparte esta preocupación, e é por iso que adica esforzos a achegar información rigorosa e contrastada, así como a establecer metodoloxías de monitorización dos efectos das prospeccións na fauna mariña, e especialmente nos cetáceos.

Os efectos negativos descritos para as diferentes especies mariñas como consecuencia das prospeccións sísmicas na busca de recursos naturais do subsolo mariño están ben documentadas na bibliografía. De todos os xeitos, observáronse diferenzas importantes nos efectos descritos en estudos precedentes, debidas principalmente a factores temporais (época das prospeccións e coincidencia con migracións, épocas de reprodución, etc.), espaciais (distribu-

ción de especies e uso do hábitat, posibilidade de migración, etc.), así como a factores propios das especies afectadas (capacidades auditivas, uso do son para a súa relación e comunicación, maior tolerancia ao ruído continuado, etc.).

COMPETICIÓN POWERBOAT P1

Nos últimos anos a celebración das competicións de embarcacións rápidas está collendo un forte pulo. Son mostras de destreza dos pilotos así como de exhibición de potentes máquinas que acadan grandes velocidades sobre a superficie do mar. Para levar a cabo estas actividades require dunhas condicións determinadas de estado do mar, ondaxe e superficie despexada, que se dan nas Rías Baixas, mais, normalmente non se ten en conta a posibilidade de irrupción de fauna no campo de probas o que, ademais de poñer en perigo a integridade dos animais, pon tamén en perigo a integridade física dos propios pilotos introducindo un elemento de inseguridade na mesma, independentemente do impacto acústico que poida producir a proba no medio mariño no momento da súa celebración.

Obxectivo

O obxectivo de intervir neste tipo de actividade é o de garantir a seguridade dos pilotos e conseguir levar a cabo unha actividade marítima co menor impacto posible para a fauna mariña ameazada (aves e cetáceos). Para cumprir este obxectivo resulta necesario integrar a un especialista en monitorización de mamíferos mariños no dispositivo de seguridade da proba e que este dispositivo teña capacidade de reacción para o movemento de persoal e medios no caso de poñer en marcha algunha acción.

Protocolo

Informar á Administración competente en materia de conservación, actualmente a Dirección Xeral de Conservación da Natureza da Xunta de Galicia, do



acto, percorrido e situación de seguimento prevista.

Estudar o campo da proba e contrastalo coa información de paso habitual dos cetáceos e aves, contar para iso coa colaboración de entidades ambientais, como a CEMMA.

Realizar medidas de control antes, ou durante das competicións, no espazo do campo da proba.

Realizar un recoñecemento mediante medios aéreos, mediante un helicóptero é unha prospección rápida e permite abarcar zonas contiguas de seguridade. O obxectivo sería detectar mandas de arroaces para prever o seu desprazamento, ou balsas de aves mariñas.

A realización de recoñecementos en embarcacións permitiría actuacións rápidas durante a proba.

Actuación 1.- no caso de detectar cetáceos en calquera lugar da Ría, dende aire ou mar, poderíase manter unha embarcación de seguimento ao seu carón informando cada pouco, aos responsables da seguridade da proba, da posición e traxectoria dos animais.

Actuación 2.- no caso de detectar bancos de aves sería cuestión de levantalas, según a especie de que se trate, antes do paso das embarcacións e seguir a súa traxectoria.

Actuación 3.- no caso de detectar cetáceos nas proximidades do campo de proba habería que agardar a que pasaran os animais mantendo unha vixilancia continua da manda cunha embarcación e comprobando que saían da súa influencia a unha distancia prudencial.

Actuación 4.- no caso de detectar cetáceos no campo de proba e non existir a posibilidade de que saíran, tería que verse atrasada a competición.

Manterase atención sobre calquera comunicación da presenza de arroaces por parte das embarcacións das proximidades, prestando atención especial ao arroaz solitario coñecido como GASPAN. Se fora localizado aplicaríase o protocolo xeral.

Este protocolo debe ser acatado e respectado polo equipo de seguridade e manter un seguimento por parte de especialistas en observación. É unha actuación que pode ser perfectamente integrada nos labores rutineiros dos equipos de seguridade cos medios disponibles nese momento.



Evento deportivo de embarcacións rápidas Powerboat.
Porto de Vigo 2008.



5. INVESTIGACIÓN ACÚSTICA EN GALICIA

O estado de conservación das poboacións de mamíferos mariños é un dos mellores indicadores da saúde dos nosos océanos. Estas especies atópanse distribuídas polos mares e océanos do planeta, teñen ciclos de vida longos, intégranse en grupos sociais complexos e sitúanse nas posicións máis altas da rede trófica mariña, polo que padecen as consecuencias das actividades humanas mediante a concentración das substancias contaminantes e están expostos a organismos patóxenos e permiten visualizar moitas das interaccións entre o medio mariño e os organismos que o habitan (López et al., 2003).

Ao longo de millóns de anos de evolución e adaptación ao medio mariño, os cetáceos desenvolveron os órganos necesarios para utilizar as ondas sonoras que atopan nas augas salgadas un medio idóneo para súa propagación.

Os estudos de **bioacústica** de cetáceos amosan aspectos tan sorprendentes como as cancións das xibartes, os asubíos de comunicación das candorcas, a utilización de ondas de baixa frecuencia das baleas para orientarse e comunicarse a escala transoceánica ou o incluso a utilización de ondas acústicas polos diversos odontocetos como método de captura das súas presas.

Desafortunadamente, desde mediados do século XX, a proliferación de motores, hélices, sonares e explosións convierten aos océanos nun medio ruidoso que dificulta a vida dos cetáceos (López et al., 2003).

A pesar do extraordinario sistema de ecolocalización dos cetáceos identifícanse periodicamente varamentos individuais e colectivos destes animais relacionados con erros de navegación. Existen moitas incógnitas de como animais tan intelixentes, cun enorme dominio da navegación, de súpeto perden o sentido da orientación e varan na costa ou en bancos de area onde non poden liberarse.

Dous factores primordiais son críticos para as poboacións de especies mariñas ameazadas: a dispoñibilidade de hábitats adecuados para a reprodución e o alimento suficiente. Na actualidade, hai poucos motivos para ser optimistas en canto á posibilidade de



que a situación mellore, porque cada día xorden novas ameazas sobre as especies mariñas, como novos procesos industriais situados no litoral, un aumento da tecnoloxía pesqueira, novas infraestruturas portuarias, así como o aumento do tráfico marítimo e da contaminación mariña.

Para tratar de abordar esta situación resulta imprescindible contar con mecanismos que aporten información para a toma de medidas de protección e conservación do medio ambiente mariño. Non é posible a posta en marcha de accións de xestión e conservación en base á unha información parcial ou chea de lagoas, precísase dispoñer de series de datos temporais sistemáticos e fiables, tanto a respecto da información sobre as especies mariñas capturadas de interese comercial, como dos impactos sobre as especies non obxectivo. Tamén sería precisa unha rede de monitorización continua sobre as especies mariñas ameazadas.

No relativo aos efectos da pesca sobre especies distintas ás de captura, por exemplo organismos bentónicos, seláceos, tartarugas, aves e mamíferos mariños,



ect. así como sobre os hábitats bentónicos, incluído as augas profundas, sábese que existen, mais, descoñécese o seu alcance e o impacto sobre as poboacións. O mesmo sucede coa información sobre as variacións de tamaño e de estrutura poboacional das especies mariñas, e sobre os transtornos nos niveis tróficos.

O uso intensivo do litoral na costa galega, e principalmente nas Rías, da lugar a situacións de perda da calidade do hábitat e polo tanto a "conflito de intereses" con outras especies que desde tempo inmemorial levan facendo uso desas mesmas áreas. A alteración do litoral e dos fondos mariños leva a unha situación de diminución da biodiversidade dado que esas áreas son simplemente evitadas polas especies máis móbiles.

Diante desta delicada situación ambiental compoñer en marcha mecanismos de investigación non intrusivos, é dicir, que nos permitan recoller información para a xestión das especies pero que non teñan influencia negativa directa sobre as mesmas. A **investigación acústica** é unha metodoloxía de traballo que ten en conta eses criterios e permite traballar na liña da conservación.

Antecedentes en Galicia

Desde o ano 2003, a CEMMA comezou a desenvolver os primeiros estudos de acústica de cetáceos en Galicia, mediante o proxecto *Variacións poboacionais do arroz e a toniña despois do verquido do Prestige no ámbito do Parque Nacional das Illas Atlánticas e augas exteriores*, financiado polo Ministerio de Medio Ambiente. Incorporáronse os primeiros **hidrófonos fixos pasivos** T-POD (Passive Porpoise Detector), e procedeuse a súa colocación nas bateas da Ría de Vigo e da enseada de Baiona. O estudo proposto tiña como principal obxectivo mellorar o coñecemento actual sobre as poboacións de arroz (*T. truncatus*) e toniña (*P. phocoena*).

Máis concretamente, tratábase de obxectivar a súa distribución temporal, grao de residencia e uso do hábitat nas áreas das Illas Estelas, enseadas de San Simón e Baiona así como nas áreas contiguas do Parque Nacional das Illas Atlánticas (Costa da Vela e enseada de Cangas). Basicamente tratábase de establecer de xeito experimental a idoneidade da metodo-

loxía acústica pasiva e omnidireccional no seguimento dos cetáceos da costa galega. Así obtivéronse os primeiros rexistros acústicos, non sonoros, de arroaces e toniñas na zona de Moaña, nas bateas de Panxón e da enseada de Baiona. Estes rexistros utilizáronse como indicativo da presenza dos animais nas diferentes áreas establecidas para o estudo.

PROXECTO "OS SON DO MAR"

Este proxecto tratou de dar continuidade ás investigacións acústicas a partir do ano 2005, foi financiado pola *Fundación Pedro Barrié de la Maza* e consistiu no deseño, elaboración e posta a punto de novos hidrófonos fixos pasivos, realización de probas e posta a punto dos SEDRA. Durante este proxecto procedeuse tamén á colocación de T-POD's nas bateas das Rías de Arousa, Pontevedra, Vigo e Enseada de Baiona. Así mesmo incorporouse un **hidrófono pasivo de arrastre** como ferramenta de estudo nas campañas de prospección nas augas da plataforma de Galicia e realizouse unha análise do ruído ambiental das Rías.

Obtivéronse os seguintes resultados:

- A presenza de arroaces é máis frecuente no interior das Rías, mentres que a presenza de toniñas é máis frecuente no exterior das Rías, o que permitiu aventurar a formulación da hipótese da posible segregación espacial entre as dúas especies.

- A marxe Sur das Rías atópase máis degradada dada a presenza nula de cetáceos, posiblemente debido á elevada contaminación acústica causada polo tráfico marítimo e a presenza de portos de importancia: Vigo, Marín e Vilagarcía. Identificándose unha maior presenza de cetáceos na marxe Norte das Rías.

- Déronse os primeiros pasos para a elaboración dun mapa acústico das Rías.



- Levouse a cabo o deseño, construción e posta a punto dos SEDRA, que permiten o rexistro acústico gráfico e sonoro, cunha maior autonomía e maior capacidade de almacenaxe de datos en formato dixital.

- Recolléronse os primeiros rexistros acústicos de golfinho común (*Delphinus delphis*) nas augas da plataforma de Galicia mediante o uso do hidrófono de arrastre nas campañas de prospección marítima.

PROXECTO AMIGOS DO MAR DO SÉCULO XXI

A partir do ano 2008, e dentro do marco de actuación deseñado pola CEMMA e denominado *Amigos do mar século XXI*, púxose en marcha o proxecto bianual financiado pola Consellería de Medio Ambiente da Xunta de Galicia. O obxectivo final deste proxecto foi contribuír a aportar información sobre os cetáceos, tanto mediante a dotación de medios para o funcionamento da CEMMA como coa posta en marcha de novas técnicas de estudo.

Como obxectivos específicos contaba con:

- Dotar aos equipos da CEMMA de medios e materiais necesarios para o traballo de estudo do medio e das especies, coordinación de equipos e garantía de medios para o voluntariado.

- Establecer materiais e métodos de avaliación das poboacións e estudo do seu comportamento dun xeito non intrusivo.

Contexto xeográfico

O proxecto realízase na Ría de Arousa dado que nesta área costeira está presente dun xeito residente o arroaz, complementariamente serían recollidos rexistros acústicos doutras especies de cetáceos presentes na zona. Tamén nesta área costeira están presentes grande parte das ameazas sobre as especies con: tráfico marítimo, turismo marítimo, forte presión pesqueira, núcleos de poboación, industrias, etc.



Dispositivo interno do hidrófono fixo.

Interesa especialmente recoller o rexistro acústico da presenza de cetáceos no entorno do Parque Nacional Marítimo Terrestre das Illas Atlánticas, e especialmente nas Illas de Ons e Sálvora, pola presenza nesta área da toniña, así como na áreas Rede Natura que engloban augas costeiras da Ría. Para a realización deste proxecto a CEMMA propón como métodos dous mecanismos de investigación non intrusivos xa experimentados anteriormente, como son o: detector de cetáceos: T-POD, e os novos C-POD que cunha metodoloxía semellante aos anteriores recollen rexistros sonoros, e o hidrófono de arrastre.

DETECTOR DE CETÁCEOS POD

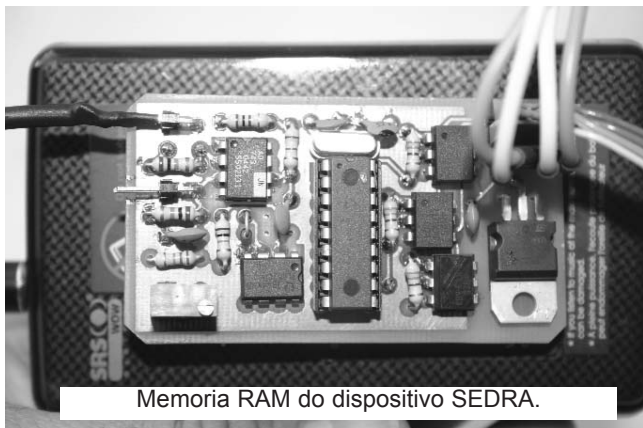
O detector de cetáceos (Porpoise Detector-POD) é un hidrófono que grava sinais de curta duración. É programable e pode colocarse para gravar os sinais de ecolocalización específicos de toniñas e de delfinidos durante a orientación e alimentación. Non existe outro método adecuado para proporcionar datos da presenza dos cetáceos nun área durante as 24 horas de todo un ano. Nembargantes, este método ten as súas limitacións dado que non existen datos relativo a á estacionalidade, distribución diúrna, relación entre sinais e densidade dos animais ou uso da área específicos baseados na ecolocalización pero asúmese que é o sentido primario dos cetáceos odontocetos.

Está provisto de 8 MB de memoria RAM e a enerxía é aportada por seis baterías alcalinas de 1.5V. As baterías alcalinas normais aportan enerxía para un período máximo de 30 días. A memoria RAM normalmente encherase totalmente aos dous meses de funcionamento continuo, aínda que depende da actividade de sinais dos cetáceos e do medio, as Rías galegas son especialmente ruidosas.



Dispositivos CPOD e redes de suxección.





Lectura e interpretación da información

Os arquivos foron descargados e almacenados (.pdt o .pdc) en cada momento co programa *T-pod* deseñado por Nick Tregenza, UK. Este programa extrae a información acústica contida nos arquivos e procede a súa análise. Cada minuto, o POD efectúa 6 sucesivos escaneos de 9,3 segundos cada un. A configuración destes escaneos permite filtrar selectivamente os sinais detectados e atribuílos a unha ou outra especie, en función das súas características físicas (frecuencias e duración). Os filtros de frecuencias aplicados nos escaneos 2, 4 e 6 exclúen as frecuencias máis altas (típicas de toniña, por enriba de 100 kHz) e favorecen a detección de sinais de delfinidos (enerxía central 50 kHz). Ao contrario, os escaneos 1, 3 e 5 rechazan selectivamente todas os sinais acústicos de frecuencias por baixo de 90 kHz (enerxía central 130 kHz), cunha sensibilidade variable de detección ás frecuencias consideradas (ratio enerxía filtro A/ filtro B: 3 para o scan 1 e ratio: 6 para os scans 3 e 5). No caso de detectar a presenza de toniñas os seus trens de estralos aparecerían unicamente nos escaneos 1, 3 e 5 e NON simultaneamente nos escaneos 2, 4 e 6.

Cuestións metodolóxicas

Considéranse sinal único os rexistros producidos nun intervalo menor de 10 minutos, é dicir, dous eventos que se producen con nove minutos de diferenza son considerados o mesmo. O programa presenta dous indicadores de actividade dos cetáceos, por unha banda a duración do sinal (frecuencia de repetición de pulso: pulse frecuencia repetition-PRF) e o tempo de repouso (intervalo entre pulsos ICI, é dicir o silencio) entre dous sinais.

Ruído ambiental

A idade dun animal ou a exposición continuada a

niveis de ruído ambiental poden ocasionar alteracións da audición nos mamíferos. As alteracións auditivas poden ser temporais (Cambio de umbral temporal-TTS) ou permanentes (Cambio de umbral permanente-PTS), segundo a sensibilidade do animal respecto do ruído ou á gravidade das lesións producidas. Actualmente descoñécese o impacto do ruído mariño nas habilidades dos cetáceos, que viven nun mundo relativamente silencioso, pero as colisións de grandes cetáceos e grandes buques de transporte fan pensar que a persistencia do ruído ambiental poida diminuír a capacidade auditiva dalgúns cetáceos.

No bienio 2008-2009 a CEMMA contou cun total de 5 T-POD que se utilizaron nos estudos de acústica. Neste proxecto pretendíase a incorporación de novos equipos co ánimo de contar coa tecnoloxía máis avanzada neste ámbito, deste xeito adquiríronse dous novos dispositivos C-POD. Son os hidrófonos máis modernos dispoñibles no mercado, e contan con grandes mellorías no dispositivo e no programa para despois poder interpretar os rexistros obtidos. Mentres que os antigos T-POD gravan só rexistros de presenza/ausencia, os modernos C-POD recollen ademais dos rexistros sons dos cetáceos, polo que desenvolven o obxectivo perseguido pola CEMMA co deseño dos SEDRA, no ano 2006, a un menor custe.

En xeral, os T-POD son sistemas de monitorización acústica pasiva, estáticos e totalmente automatizados, que detectan toniñas, arroaces e outros cetáceos odontocetos a través do recoñecemento dos trens de estralos de ecolocalización que levan a cabo para orientarse, interactuar e detectar as súas presas.

Durante a configuración dos T-POD grávanse os parámetros preestablecidos nun ou varios arquivos almacenados na súa memoria. Os parámetros da configuración pódense ver cando accedemos a información recollida a través do programa específico *T-pod software*. Deste xeito, o dispositivo pode configurarse para que o rexistro se faga de forma continua ou intermitente. No modo intermitente, o T-POD pódese apagar durante un tempo determinado antes de activarse durante un minuto. Este modo pódese empregar para prolongar a vida da memoria e das baterías. Un aparato con baterías de litio, pode durar un ano funcionando se monitoriza só un de cada dous minutos. Cando o T-POD non está rexistrando (en



sleep mode) consume unha cuarta parte do total da enerxía.

O sistema de recoñecemento dos trens de estralos do programa específico permite obter unha información moi acertada e completa sobre a identificación e o comportamento das especies de cetáceos estudadas.

Cada minuto, o hidrófono leva a cabo 6 varridos sucesivos de 9,3 segundos, e en cada un deles pode seleccionar estralos utilizando diferentes criterios, pódese configurar para detectar una frecuencia determinada en cada varrido, e dicir, quérese detectar tanto toniñas como arroaces, ambas especies móvense en rangos de frecuencia diferentes, pódese configurar para que detecte ambos rangos de frecuencia de xeito intermitente, etc. Nos restantes 4,2 segundos, colócase en repouso, o que permite un aforro enerxético importante.

Cada minuto o hidrófono tamén rexistra os seguintes datos:

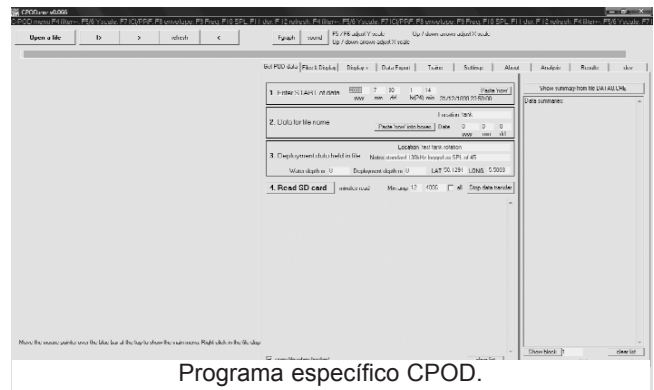
- Nivel das baterías.
- Avaliación do ángulo do sensor, o que nos da o ángulo do hidrófono na columna de auga con respecto ao eixo vertical.
- Ruído do sistema.
- Temperatura.

A configuración descrita permite que o aparello tamén capte o sinal do sonar emitido polos barcos, así como sinais das súas hélices. É contaminación acústica que afecta aos T-POD, mais, con todo, estes sinais poden ser discriminados á hora do procesado dos datos grazas ao programa específico.

Este tipo de hidrófonos teñen unha autonomía de aproximadamente uns 15 días, tras este período procédese á súa recollida do punto de fixación na batea, e ao envorcado dos datos no ordenador a través do programa específico. Cámbianse as baterías, baléirase a memoria e reconfigurase o aparello para colocalo novamente no seu lugar.

O C-POD

Do mesmo xeito o T-POD, o C-POD é un sistema de monitorización acústica pasiva, estático e totalmente automatizado, que detecta toniñas, arroaces e outros cetáceos odontocetos a través do recoñecemento dos



Programa específico CPOD.

trens de estralos de ecolocalización que levan a cabo para orientarse, interactuar e detectar as súas presas. Este dispositivo é o resultado da mellora da tecnoloxía e dos diferentes parámetros directamente relacionados coa detección e recoñecemento dos sinais acústicos das principais especies de cetáceos odontocetos.

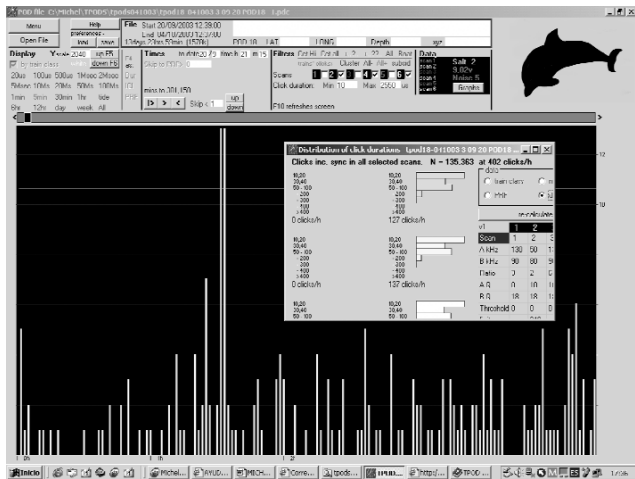
Rexistra o tempo de ocorrencia, a frecuencia central, a intensidade, a duración, o ancho de banda e a tendencia da frecuencia dos estralos tonais, dentro do rango que vai dos 20 kHz ata os 150 kHz. Isto lle permite monitorizar estralos de todas as especies de cetáceos odontocetos a excepción dos cachalotes.

Os datos son almacenados nunha tarxeta *Flash Secure Digital* (SD), e son analizados posteriormente nun ordenador para identificar a presenza de cetáceos detectando os estralos ultrasónicos de ecolocalización que producen. A posibilidade de captar estralos dun grande ancho de banda implica o seguinte:

- A configuración de diferentes filtros de frecuencia e totalmente innecesaria, permitindo que a configuración do C-POD sexa moi sinxela.
- A detección entre varios dispositivos no marco dun mesmo proxecto é moi uniforme.
- Cabe a posibilidade de integrar os datos de diferentes proxectos ao longo de moitas áreas xeográficas.

Todas as características e parámetros utilizados durante o rexistro son almacenados nas tarxetas SD. Estes parámetros pódense consultar a través do programa específico *C-pod software*, de Chelonia Limited, cando se accede a información recollida, sendo o último en avances tecnolóxicos sobre esta materia.





Registros de son no programa TPOD.

Metodoloxía do traballo

Unha vez definida a área xeográfica e axustado instrumental procédese á colocación periódica dos equipos. Un dos principais problemas que se suscitaron foi a colocación dos aparatos, para isto deseñáronse unhas redes nas que aloxar o tubo e engadirille cun contrapeso de chumbo de 2 kg, dado que o aire contido no interior fai que o aparato flote.

Orixinalmente os dispositivos están deseñados para ser ancorados no fondo e que funcionen aboian-do. Unha das aplicacións destes aparatos no norte de Europa é a colocación en lugares intermareais nos que coa marea baixa quedan no chan inactivos e vólvense a activar ao colocarse en posición vertical unha vez de novo a flote coa preamar. No Mar do Norte estes instrumentos son utilizados para a monitorización de cetáceos no estudo de impacto das estacións de aeroxeneradores mariñas.

Na parte superior da rede colocouse un autopeche e uns compoñentes de aceiro inoxidable xiratorios que unen esta estrutura co cabo que o ata á batea. Para a colocación, contamos con a autorización dos propietarios das bateas ubicadas nesta zona, en concreto dúas bateas, as súas ubicacións reúnen as características máis adecuadas para a realización do estudo.

A colocación na batea foi no lado externo, que da ao centro da Ría, para evitar o apantallamento das propias cordas da batea. O fondeado permitía que o aparato se situara a oito metros de profundidade para garantir certa equidistancia ente o fondo e a superficie, a profundidade total neses lugares podería oscilar entre os 15 e os 20 metros.

Os PODs foron identificados con rotulador indeleble indicando o número de referencia de cada un, ademais foi colocado material gráfico identificativo de CEMMA cun teléfono para procurar a súa recuperación no caso hipotético de extravió ou rotura do cabo.

Para a colocación dos equipos, escollemos o área da costa NW da Illa de Arousa debido aos seguintes criterios:

Estudos anteriores demostran que é unha zona importante de paso e movemento de grupos de arroaces, ademais, as entrevistas levadas a cabo a mariñeiros, pescadores e traballadores da zona indican que é moi frecuente a presenza de grupos, a veces dun elevado número de individuos.

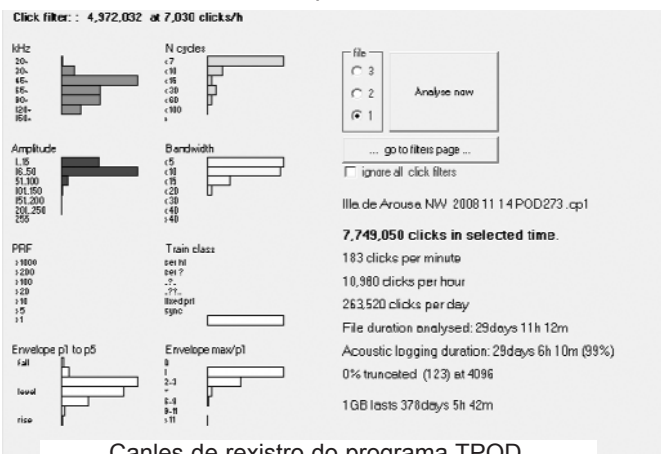
Debido a razóns de loxística, o amarre da embarcación empregada para a colocación e recollida dos equipos ten que nos permitir acceder aos equipos de xeito rápido e eficaz.

Establecemento das Campañas

En total realizáronse 14 campañas, 6 campañas durante o 2008 e 9 campañas durante o 2009. En cada campaña colocáronse 2 T-POD o C-POD.

En total realizáronse 419 días de gravacións, é dicir, 10056 horas. Todas estas horas de gravacións pasan por un proceso longo de análise de datos nos que obtemos os números de estralos gravados e as posibles especies de cetáceos obtidas.

En xeral, o uso dos sistemas de hidrófonos pasivos fixos trátanse de sistemas non invasivos, que son utilizados nun amplo rango de ambientes e hábitats, e unha ferramenta moi útil para o estudo continuo das



Canles de rexistro do programa TPOD.



diferentes especies de cetáceos. O desenvolvemento destes equipos foi de suma importancia, xa que permitiron abrir unha nova vía de investigación que nos pode brindar novos aspectos do comportamento das especies, aos que ata o de agora non se tiña acceso.

HIDRÓFONO DE ARRASTRE

É unha ferramenta fundamental para levar a cabo censos acústicos, que permiten a detección da presenza dos animais a través do son, aínda que non sexan avistados. Ademais permite a gravación e creación de arquivos e bancos destes sons que permitan catalogar e caracterizar de xeito máis doado as especies de cetáceos que sexan obxecto do estudo.

O sistema consiste nun hidrófono suxeito a un cable dunha lonxitude determinada, neste caso 100 m, que se leva en arrastre pola popa da embarcación utilizada para os embarques. No barco, o extremo do cable vai conectado a toda a electrónica necesaria para a recollida e rexistro das sinais.

Recollida dos sinais

O funcionamento do hidrófono axústase aos principios básicos de traballo destes aparatos. Trátase dun **transductor piezoeléctrico** (hidrófono propiamente dito) que recolle as variacións das ondas de presión que se desprazan por un medio elástico, neste caso o medio acuático. O transductor vai protexido nunha carcasa práctica que fai as veces de illante, este dispositivo, xunto coa carcasa protectora conforman o que

sería a peza do hidrófono que vai ao final do cable. Este tipo de hidrófonos soen ser multidireccionais, o que quere dicir, que son capaces de recibir sinais acústicas desde calquera dirección.

O extremo do cable vai conectado a unha interfase analóxica-dixital, que transforma a sinal acústica analóxica recollida polo hidrófono, a formato dixital. Seguidamente, a interfase conéctase con unha gravadora dixital que rexistra o son. Grazas a que podemos conectar uns auriculares a gravadora, pódese escoitar o son rexistrado polo hidrófono en tempo real.

Metodoloxía de traballo

A metodoloxía de traballo co hidrófono de arrastre é moi específica. Pasa polo establecemento dunha área xeográfica de estudo, o deseño da temporalización das mostraxes, a loxística e preparación da instalación no barco para levar a cabo o traballo, a adecuación do dispositivo ao mesmo, o desenvolvemento das probas que sexan necesarias, e finalmente a realización das mostraxes con todo listo.

Deseño das mostraxes

Para levar a cabo o censo acústico co hidrófono de arrastre, deseñáronse unha serie de transectos definidos pola Ría de Arousa. No momento do deseño tentouse cubrir a maior superficie posible. No momento de levar a cabo as saídas ao mar, os diferentes transectos deseñados foron escollidos ao azar ou dependendo das condicións ambientais (vento, mar de fondo,



Cable do hidrófono de arrastre.



Hidrófono de arrastre.



ondaxe, etc.) nas datas sinaladas para as saídas.

É moi importante ter conta dos factores ambientais, xa que se decidiu seguir a mesma metodoloxía empregada nos censos visuais. Esta establece unha marxe definida nas variables ambientais determinadas para que os resultados sexan significativos (a partir de vento e mar forza 4, pois os datos non se consideran estatisticamente significativos polo que non hai esforzo de mostraxe).

Materiais, plataforma de traballo, e loxística

Para a realización dos censos acústicos utilizouse un hidrófono de arrastre omnidireccional. Trátase dun hidrófono modelo C54XRS, fabricado por *Cetacean Research Technology*. Permite rexistrar frecuencias entre 0,006 e 203 kHz, e ten unha gañancia de 20 dB e unha gañancia efectiva de -165 dB (re 1V/ μ Pa) (diferencia entre a ganancia e a sensibilidade do transductor).

O hidrófono vai conectado a un cable de 110 metros de lonxitude, especialmente preparado para o traballo submarino na auga salgada. Para o traballo no interior da Ría non se larga toda a lonxitude do cable, fundamentalmente por razóns de seguridade, como a pouca profundidade en certas zonas, a presenza das bateas e a elevada frecuencia de tráfico marítimo no interior das Rías.

O extremo do cable conéctase a unha caixa interfase analóxico-dixital, que funciona cunha pila de 9 V, que é a fonte de enerxía do hidrófono. Para o noso traballo foi adquirido un filtro de alto paso de 500 Hz, que vai colocado entre a interfase e a gravadora dixital. Este filtro permite eliminar todas as frecuencias por debaixo dos 500 Hz, o que evita a captación no rexistro dos ruídos de fondo que poden interferir no obxectivo do traballo.

De seguido, o filtro conéctase a unha gravadora dixital. Trátase dunha gravadora dixital profesional compacta, modelo *M-AUDIO Microtrack II 24/96*, con soporte para gravar sons de elevada frecuencia, de ata 96 kHz. Esta gravadora almacena as gravacións nunha tarxeta *Compact Flash*, que pode ser descargada nun ordenador cun lector de tarxetas ou a través dunha conexión USB. Utilizáronse dúas tarxetas deste soporte, unha de 8 GB e outra de 2 GB.



Auriculares na cuberta do Nauja.

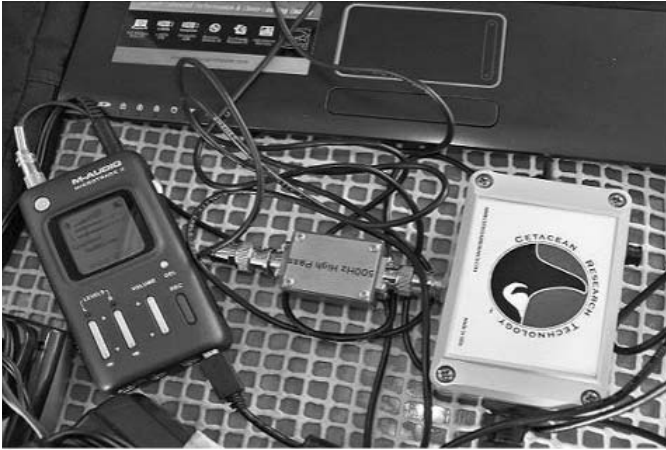
Conectado a gravadora, vai un xogo de auriculares Panasonic de alta fidelidade, para poder escoitar a gravación rexistrada en tempo real.

Para a fixación do sistema a plataforma de traballo, ideouse un sistema de costuras de cabos e mosquetóns, que ademais de ancorar o conxunto do cable e o hidrófono á embarcación, permitiu protexer o cable e aliviar as tensións que sofre o mesmo debido a resistencia xerada pola auga durante a navegación.

A velocidade máxima a que pode traballar o hidrófono é de 7 nós. A partir desta velocidade xérase moita tensión, e o hidrófono non se afunde, polo que iría rebotando pola superficie da auga. Pódese traballar a velocidades menores, e incluso coa embarcación totalmente parada, so habería que vixiar a profundidade da zona pola que se está a navegar.

Finalmente, elaborouse un sistema para lastrar o cable desde a popa da embarcación. A medida favoreceu o afundimento do propio cable desde o comezo, e polo tanto un maior afundimento do hidrófono. Isto permite evitar en maior medida as turbulencias provo-





Caixa interfase analóxico-dixital e gravadora dixital.

cadras polo motor da embarcación, e o ruído de fondo asociado a mesma. O sistema consiste nunha líña de cabo lastrada, á que se lle colocan unhas guías polas que se introduce o cable. É un sistema similar a o utilizado nas artes de pesca da cacea do bonito, para afundir as liñas, e os anzois co cebo.

Ademais do hidrófono, sempre se levaron a bordo varios prismáticos para realizar observacións durante a navegación. Tamén se contaba cunha cámara fotográfica réflex dixital para documentar os avistamentos e o traballo a bordo, e mesmo levar a cabo labores de fotoidentificación se as condicións o permitían.

A plataforma de traballo foi a embarcación *TONIÑA UN* pertencente á CEMMA, con porto base no Grove. Ten unha eslora de 5,92 metros, e unha manga de 2,20 metros. Conta cun motor Suzuki de 90 CV de potencia. Está equipada con Ecosonda, Plotter GPS Garmin e radio VHF.

Desenvolvemento das mostraxes

Desde un primeiro momento, tentouse facer o maior número posible de campañas no mar. Os transectos tiveron unha duración aproximada de 4 horas, debido a que esta e a autonomía da embarcación. De todo os xeitos, as saídas podían ter unha maior duración, xa que se levaron a cabo outras actividades sen a necesidade de navegar (recollida da información e mantemento dos T-pod e C-pod colocados nas bateas, mergullo e gravación de imaxe submarina, e mesmo seguimento e fotoidentificación de grupos de arroaces que se atopan estáticos nunha posición).

Resultados obtidos

En total leváronse a cabo 7 campañas no mar, percorréronse un total de 255 km, obtendo un total de

58 horas de gravación e rexistrando un total de 6 avistamentos, observándose as seguintes especies: arroaz (*T. truncatus*), golfiño común (*D. delphis*) e arroaz boto (*Grampus griseus*).

Nome	Nº avist.	Individuos
Arroaz	4	27
Golfiño común	1	12
Arroaz boto	1	4

A excepción de dous dos avistamentos de arroaz, no resto de avistamentos o rexistro acústico foi positivo. Obtivéronse gravacións de asubíos de arroaz e golfiño común, así coma de estralos de ecolocalización de arroaz e arroaz boto.

Data	Especie	Rexistro	Tipo de son
29/05/2009	Arroaz	NON	-
06/07/2009	Arroaz	NON	-
20/07/2009	Golfiño	SI	asubíos
18/08/2009	A. boto	SI	estralos
25/09/2009	Arroaz	SI	estralos
27/09/2009	Arroaz	SI	asubíos/estralos

Análise dos sinais acústicos rexistrados

Os sinais acústicos rexistrados permiten obter unha grande cantidade de información a través do seu análise. Os cetáceos, sobre todo os odontocetos, emiten un amplo espectro de sinais acústicos, se ben as máis recoñecidas son dúas: os asubíos, como medio fundamental de comunicación dentro dun contexto social; e os estralos de ecolocalización, que utilizan para recoñecer e controlar o seu entorno. Neste caso, tamén son o tipo de sinais máis sinxelos de identificar á hora de levar a cabo o rexistro acústico mediante a gravación cun hidrófono.

No caso dos asubíos, a súa importancia no contexto social a hora da comunicación, permitiría, cunha análise exhaustiva, complementar os estudos da estrutura social dunha especie determinada. Existen varias teorías que afirman a existencia de **asubíos sinatura** (*signature whistles*), o que implicaría a existencia de pequenas variacións no patrón xeral dos asubíos a nivel individual, o que podería ser unha especie de *sinatura* ou sinal de recoñecemento individual dentro da estrutura social do grupo ou a manda en cuestión. De ser certa, a análise exhaustiva, e a caracterización dos asubíos, serían unha ferramenta fundamental que podería complementar os estudos da estrutura social



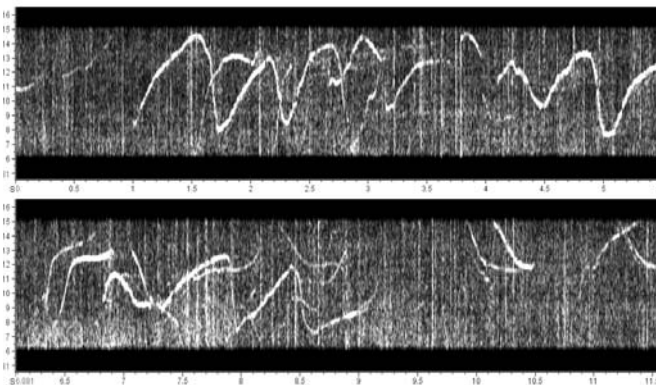
dunha especie determinada. No noso caso, a análise preliminar non é tan exhaustivo, se ben, mediante a utilización dun programa específico, podemos chegar a caracterizar de xeito moi específico os asubíos rexistrados, non só de xeito xeral, se non tamén de xeito individual.

O programa *Whistle detector*, desenvolvido pola IFAW, permite levar a cabo a detección en tempo real dos asubíos durante a gravación do hidrófono, ou ben levar a cabo a detección reproducindo as gravacións despois de descargalas nun ordenador. Unha vez detectados os asubíos, o programa xera un arquivo de texto onde se recolle a caracterización de cada un dos asubíos detectados. Esta análise pódese facer de xeito xeral (de todos os asubíos rexistrados) ou de xeito individual (de cada asubío).

O seguinte paso a levar a cabo é o tratamento dos sons, o que permitirá obter unha representación gráfica axeitada dos mesmos. Os sons foron dixitalizados mediante o programa *Raven Lite v1.1*, desenvolvido polo *Laboratorio de Ornitología da Universidade de Cornell*, que permite obter os espectrogramas, nos que se poden identificar, por exemplo, os patróns na modulación das frecuencias dos asubíos, denominados contornos. O análise exhaustivo destes contornos permitiría observar as variacións, que poden ser ínfimas, entre os asubíos de dous individuos diferentes. Se se teñen datos de comportamento, o análise dos contornos permitiría asociar estas modulacións da frecuencia coas pautas de comportamento observadas.

Unha vez realizados estes pasos, os resultados obtidos para cada especie foron os seguintes:

Golfiño común: durante a cuarta saída, levada a cabo o día 20 de xullo de 2009, fíxose o avistamento dun grupo de 12 golfiños, preto a bocana sur da Ría de Arousa. As condicións de mar e vento eran óptimas, polo que o avistamento levouse a cabo a simple vista. En primeiro lugar, obsérvase un grupo de mascatos sobrevoando a mesma zona, detectándose posteriormente movemento en superficie, e logo un grupo de ao menos 12 individuos de golfiño común. Apréciase un claro comportamento de alimentación. Algúns individuos achéganse á embarcación, polo que aproveitamos para recoller fotografías das aletas



Espectrograma acústico de golfiño común.

dorsais. Este achegamento tamén facilita o rexistro acústico dos animais, que neste caso é claramente positivo. Obtéñense 4 minutos de gravacións de asubíos de moi boa calidade, é por iso que foi posible abordar a análise dos asubíos utilizando o programa *Whistle detector*. Neste caso non era necesario levar a cabo a detección, xa que os asubíos escoitábanse claramente en toda a gravación.

Unha vez analizados os datos, obtivéronse as características de cada asubío, e mediante o tratamento dos sons no programa *Raven Lite v1.1*, obtivéronse os seus espectrogramas.

A gráfica permítenos identificar os asubíos de dous individuos diferentes, xa que se aprecian dous perfís que se entrecruzan en varias ocasións. No eixo das



abscisas apréciase claramente o rango de frecuencias no que se desenvolven os asubíos rexistrados neste caso, entre os 6 e os 16 kHz aproximadamente.

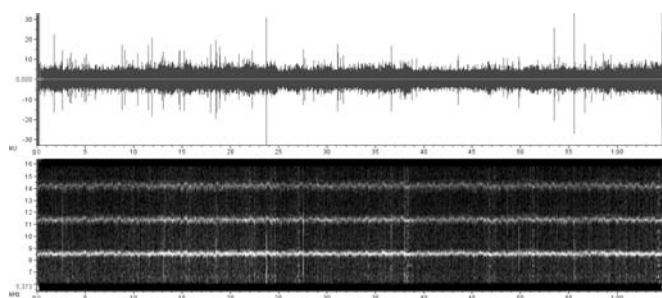
Arroz boto: durante a quinta saída, levada a cabo o día 18 de agosto de 2009, localízase un grupo de catro individuos de arroz boto. Unha vez máis, o avistamento levouse a cabo na bocana sur da Ría de Arousa, entre a zona do Carreiro en San Vicente do Mar, e a Illa de Sálvora. Trátase de tres adultos e unha cría. O rexistro acústico tamén é positivo aínda que só se obtiveron rexistros de estralos de ecolocalización moi febles.

O tratamento dos sons no *Raven Lite v1.1*. amosa que, ademais do espectrograma, temos a representación da forma da onda, onde se pode apreciar a amplitude dos sinais rexistrados, medido en dB. No espectrograma, vemos como xa non observamos o perfil típico que se apreciaba no rexistro acústico dos asubíos. Os pulsos de ecolocalización rexistrados son moi febles, aínda que se aprecian as liñas verticais que representan estes estralos.

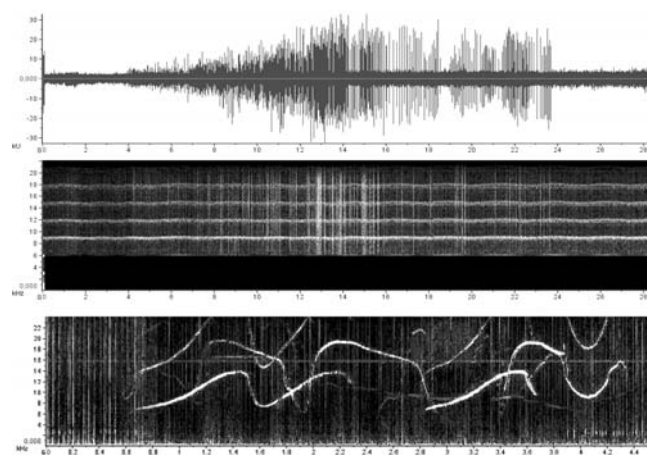
Arroz: en catro das sete saídas tivemos a oportunidade de observar a esta especie. Tratábase dun feito agardado, xa que a elección da Ría de Arousa como

área xeográfica do estudo, viña motivada pola elevada frecuencia de avistamentos desta especie na zona. Das catro ocasións nas que se fixeron avistamentos, só en dúas se obtiveron rexistros acústicos positivos. A grande mobilidade dos grupos avistados nesas ocasións, en zonas moi preto da costa, dificultaron a recollida das sinais acústicos que puideran estar emitindo. Tamén cabe a posibilidade de que non estiveran emitindo sinal algún nese momento. Os avistamentos de arroz coincidiron coas saídas levadas a cabo os días 29 de maio e 6 de xullo, e os días 25 e 27 de setembro de 2009. Os rexistros acústicos positivos obtivéronse nas derradeiras saídas, no mes de setembro. O día 25 de setembro só se obtiveron rexistros de sinais pulsados ou estralos de ecolocalización, mentres que o día 27, obtivéronse tanto asubíos coma trens de estralos.

A curta duración dos rexistros impediu que se puidera levar a cabo a caracterización específica dos asubíos no programa *Whistle detector*. Trátanse os sons no *Raven Lite v1.1*, en primeiro lugar obtense o espectrograma, máis a gráfica da forma de onda dos rexistros de estralos de ecolocalización recollidos o día 25 de setembro de 2009.



Espectrograma acústico de arroz boto.



Espectrograma acústico de arroz.

A



diferenza dos rexistros de ecolocalización obtidos no avistamento de arroaz boto, nesta ocasión apreciase a maior intensidade dos pulsos, tanto na gráfica da forma de onda como no espectrograma. Trátase dun tren de estralos illado, sen moita continuidade. Probablemente ocasionado por un grupo que se atopaba na procura de alimento. Noutros traballos se teñen asociado este tipo de pulsos a esta pauta de comportamento.

Destaca a elevada intensidade do sinal recollido, tanto dos pulsos de ecolocalización como dos asubíos. Observando a intersección entre varios dos perfís, podemos constatar o rexistro dos asubíos de ata 5 individuos diferentes. Tamén se aprecian as diferenzas entre os diferentes perfís de individuos distintos, aínda que as similitudes tamén son apreciáveis.

Este tipo de tratamento vai a permitir caracterizar e clasificar os perfís dos asubíos. Noutros traballos levados a cabo sobre o arroaz, a clasificación destes perfís, destácase coma unha parte primordial á hora de observar as diferenzas entre os rexistros acústicos de varios individuos. Trátase da base da teoría dos asubíos *sinatura* (Caldwell et al., 1990 e Janik et al., 2006). Dacordo cos traballos levados a cabo por varios autores sobre as vocalizacións do arroaz, defínese unha clasificación visual dos asubíos en seis categorías, segundo a forma do perfil (Azevedo et al., 2007): ascendentes, descendentes, ascendentes - descendentes, descendentes - ascendentes, constantes (cun cambio menor a 1 kHz en máis do 90% da súa duración), e múltiples (con varios picos ou puntos de inflexión).

Se observamos o espectrograma, apréciase que a maioría dos asubíos rexistrados son de tipo múltiple, xa que na súa maioría obsérvanse varios picos ou puntos de inflexión. A falta dunha análise máis exhaustiva dos rexistros obtidos, faise evidente o interese de continuar con esta liña de investigación debido a elevada cantidade de información que pode aportar de cara o maior coñecemento das especies ameazadas, especialmente o arroaz.

O feito de contar cunha das poboacións de arroaz máis importantes do Atlántico europeo, fai evidente a necesidade de continuar traballando co mesmo entusiasmo sobre esta falta de coñecemento, coñecemen-

to que é fundamental para a súa conservación.

MÉTODOS COMPLEMENTARIOS

A acústica pode complementarse doutras metodoloxías de investigación para tirarlle a máxima rendibilidade científica posible, deste xeito resulta útil combinar esta metodoloxía coa metodoloxía de recollida de rexistro gráfico: fotografía e vídeo.

A **fotoidentificación** é unha técnica que consiste en fotografar as aletas dorsais dos cetáceos, facer un catálogo e tratar de conseguir recapturas posteriores. Estas aletas amosan un perfil característico, que permite distinguir aos animais entre si, considerando as aletas como o rexistro individual de cada individuo, semellante á nosa pegada dactilar, isto nos permite estudar os movementos dese individuo ao longo do tempo.

A **videografía** é unha técnica de recollida de imaxes mediante vídeo, aéreo ou submarino, coa finalidade de identificar o sexo dos individuos e o seu comportamento.



Recollida de material fotográfico.



Ambas técnicas poden aportar información que permitan comprender os datos dos rexistros acústicos e complementar a información no complexo puzzle da ecobioloxía dos cetáceos.

CONCLUSIÓN

A acúsica destácase como un adecuado método de investigación mariña. A posibilidade de realización de mostraxes non invasivas para os cetáceos e sen limitación horaria ou visual presenta grandes vantaxes no deseño das campañas e, sobre todo, nos recursos económicos para abordar un proceso de monitorización continuo dunha poboación de cara a aportar datos para a implantación de mecanismos de conservación.

As metodoloxías acústicas adaptadas pola CEMMA á costa galega semellan ser adecuadas, tendo en conta a limitación e características de cada unha delas. A dotación dos modernos hidrófonos fixos CPOD permite a recollida de rexistros e gravación de sons, obxectivo perseguido pola CEMMA desde hai anos, con diferente éxito. A disponibilidad do equipo de hidrófono de arrastre permite a instalación tanto en pequenas embarcacións como a *TONIÑA UN*, como en barcos de grande porte como o *NAUJA* ou o *SANTIAGO APÓSTOLO*, embarcacións utilizadas pola CEMMA nas campañas marítimas, nas Rías, na plataforma galega e en mar aberto, respectivamente, nos últimos anos.

As investigacións na anatomía dos pequenos cetáceos levadas a cabo polo Dr. Josep M^a Alonso e polo equipo do *Laboratorio de Aplicacións Bioacústicas da Universidade Politécnica de Catalunya*, de Vilanova i la Geltrú, así como as investigacións nos danos causados polos LFAS polo equipo da Universidade da Laguna, aínda insuficientes para esclarecer todas as circunstancias relativas á acústica dos cetáceos e ao impacto acústico mariño, aportan unha valiosísima información sobre a cal hai que seguir incidindo.

É por iso que a acústica debe pasar a ser un alicerce da investigación e conservación dos cetáceos, así como unha liña chave do traballo a desenvolver pola CEMMA nos vindeiros anos. Para a detección de grupos de arroaces e toniñas resulta interesante a combinación de tres técnicas complementarias: a acústica, a fotoidentificación e a videografía. Deste xeito, no momento de localizar unha manda de cetáceos

mediante observación directa farase un seguimento, respectando sempre os criterios de protección da lexislación vixente, pasando á recollida de rexistros acústicos e gráficos mediante o hidrófono de arrastre e as cámaras fotográfica e de vídeo. Con esta triple metodoloxía poderase obter rexistros dos individuos mediante fotoidentificación e conseguirase un achegamento ao comportamento das mandas mediante a acústica e a videografía.

EQUIPO ESPECIALISTA

Resulta necesaria facer unha especial mención ao equipo humano. Os primeiros proxectos foron deseñados polo Dr. Alfredo López Fernández, responsable de proxectos de investigación da CEMMA, estes baseáronse nos coñecementos transmitidos nos cursos de acústica de cetáceos dirixidos polo Dr. Josep M^a Alonso Farré na *Universidade Politécnica de Catalunya* en Vilanova i la Geltrú, contando cos especialistas Dr. Michel André e Dr. Eduard Degollada. Os primeiros proxectos de acústica foron realizados cos hidrófonos TPOD cedidos polo Dr. Graham Pierce e foron coordinados tecnicamente por Rebeca Lago Garza.

Nos anos 2008 e 2009, para levar a cabo todos estes labores, sempre se contou con ao menos dúas



Luz Santos colocando un hidrófono na batea.





Juan José Dios colocando un hidrófono na batea.

persoas experimentadas coa metodoloxía de acústica. Na maior parte das ocasións o traballo foi desenvolvido por Luz Santos Morais, coordinadora do proxecto, e por Juan José Dios, asistente no proxecto e patrón habitual da TONIÑA UN.

Tamén se contou coa colaboración de Natalia García no tratamento dos datos, José Martínez Cedeira no mergullo e gravación de imaxe submarina, Paula Pérez na gravación de video, Ángela Llavona, na fotoidentificación, Pablo Covelo e Xesús Morales no mantemento da embarcación. Agradecer así mesmo ao resto do voluntariado que participou neste proxecto.

BIBLIOGRAFÍA

Auger e Désilets, (2003). Les impacts environnementaux de l'exploration pétrolière et gazière dans le Golf du Saint-Laurent. Mémoire de l'Union Québécoise por la Conservation de la Naure, decembre 2003. 59p.

Aguilar, N. e Brito, A. (2002). Cetáceos, pesca e prospeccións petrolíferas en las Islas Canarias. Informe de la Universidad de La Laguna, Tenerife. 7pp.

Alonso, JM, E. Degollada, M. André and E. Delory

(2003). "Odontocete ear analysis by imaging techniques" 17th annual conference ECS, Las Palmas de Gran Canaria, 8-12 of March, 2003.

André, M, A. Supin, E. Delory, C. Kamminga, E. Degollada e JM. Alonso, (2002). "Auditory evoked potentials of a rehabilitated striped dolphin, *Stenella coreuleoalba*: an assessment of the sonar system functionality" 16th annual conference ECS, Liège, Belgium, 7-11 of April, 2002.

Azevedo, A. F., Oliveira, A. M., Dalla Rosa, L., e Lailson Brito, J. 2007. Characteristics of whistles from resident bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in southern Brazil. *Acoustical Society of America*, 121, 2978-2983.

Caldwell, M. C., Caldwell, D. K., e Tyack, P. L.. 1990. Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin. En *The Bottlenose Dolphin*. Leatherwood, S., e Reeves, R. R. (Eds.). San Diego e New York, pp 245-266.

Crum, L. A. e Mao, Y. (1996). Acoustically enhanced bubbles growth at low frequencies and its implications for human diver and marine mammals safety. *J. Acoust. Soc. Am.* 99: 2898-2907.

Degollada E. 1998. Anatomía e Histología funcionales del sistema de sacos nasales en los odontocetos. Tese de Doutoramento da *Facultade de Veterinaria da Universidade Autònoma de Barcelona (UAB)*.

Fernández, A. (2004). Pathological findings in stranded beaked whales during the the naval military manoeuvres near the Canary Islands. *Proceedings of the workshop on Active Sonar and Cetaceans, ECS Newsletter n. 42, Special Issue, feb.2004: 37-40.*

Janik, V. M., Sayigh, L. S., e Wells, R. S. 2006. Signature whistle shape conveys identity information to bottlenose dolphins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 103, 8293-8297.

Jepson, P.D, M.Arbelo, R. Deaville, I. A. P. Patterson, P. Castro, J. R. Baker, E. Degollada, H.M. Ross, P.Herráez, A. M. Pocknell, F. Rodríguez, F. E.Howiel, A. Espinosa, R. J. Reid, J. R. Jaber, V. Martin, A. A. Cunningham, e A. Fernández (2003). Gas bubble lesions in stranded cetaceans. *Nature* 424: 575-576.

Gordon J, Gillespie D, Potter J, Frantzis A, Simmonds M e Swift R (1998). The effects of seismic surveys on marine mammals. Chapter 6 from: Tasker ML and C Weir (eds), *Proceedings of the seismic and marine mammals workshop*, London, 23-25 June 1998.

Guerra A, González, A, Gracia, J, e Rocha, F. (2004). Calamares gigantes varados: víctimas de exploraciones acústicas. *Investigación y Ciencia*, julio 2004, nº334: 35-37.

Join Nature Conservation Committee (2004). Guidelines



for minimizing acoustic disturbance to marine mammals from seismic surveys. Non published report. 9 pp. Se puede bajar de: www.jncc.gov.uk/marine

Ketten DR, Rowles T, Cramer S, O'Malley J, Arruda J and Evans PGH (2004). Cranial Trauma in Beaked Whales. Proceedings of the workshop on Active Sonar and Cetaceans, ECS Newsletter n. 42, Special Issue, feb.2004: 21-27.

López, A., Sagarminaga, R., Losada, S. 2003. Cetáceos en un océano degradado. Greenpeace. 30 pp.

McCauley RD (1994). Seismic surveys. In: Environmental implications of off-shore oil and gas development in Australia - the findings of an independent scientific review. Edited by: JM Swan, JM Neff and PC Young, Australian Petroleum Exploration Association, Sydney, pp: 19-122.

McCauley RD, Fewtrell J, e Popper AN (2003). Effects of anthropogenic sounds on fish eras. J. Acous. Soc. Am. 113 (1): 638-642.

Potter, J. and Delory, E. (1998) Noise Sources in the Sea & the Impact for Those Who Live There. Acoustics & Vibration Asia 1998 Conference Proceedings pp. 56-71.

Piantadosi CA e Thalmann ED (2004). Comment on: Pathology: whales, sonar and decompression sickness. Nature. 2004 Apr 15;428(6984):1 p following 716; discussion 2 p following 716.

Simmonds M e Dolman S (2003). Oceans of Noise: A Whale and Dolphin Conservation Society science report. Chippenham, 164p. Se puede bajar de: www.wdcs.org

Skalski JR, Pearson WH, e Malme CI (1992). Effects of sounds from geophysical survey device on catch-per-unit effort in a hook-and-line fishery for Rockfish (Sebastes). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 49: 1357-1365.

Zacharias, M. e Gregr, E. 2005. Sensitivity and Vulnerability in Marine Environments: an Approach to Identifying Vulnerable Marine Areas. Conservation Biology. Vol. 19 N° 1. 86 - 97.

OUTROS DOCUMENTOS

Join Nature Conservation Committee: Guidelines for minimizing acoustic disturbance to marine mammals from seismic surveys: www.jncc.gov.uk/marine

Zacharias, et al. Sensitivity and Vulnerability in Marine Environments: an Approach to Identifying Vulnerable Marine Areas: <http://office.geog.uvic.ca/MPARG/index/researchers/markzacharias/2005ConsBio.pdf>

Bibliografía específica:

Ocean of Noise. A WDCS Science Report, 2003

Ocean Noise and Marine Mammals. National Research Council of the National Academies, Division on Earth and Life Studies. The National Academy Press, 2003.

Ketten, D.R., 1998. Marine mammal auditory systems: A summary of audiometrics and anatomical data and its implications for underwater acoustic impacts. NOAA Technical Memorandum. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-256.

Gordon, J.C.D., Gillespie, D., Potter J., Frantzis, A., Simmonds, M.P. and Swift, . 1998. The effects of Seismic Surveys on Marine Mammals. In: Seismic and Marine Mammals Workshop, London, UK.

Swan J., Neff J. & Young P. 1994. Environmental implications of offshore oil and gas development in australia: findings of an independent scientific review, Australian Petroleum Exploration Association, Sydney.

Todd, S., Stevick, P., Lien, J., Marques, F. Ad Ketten, D., 1996. Behavioural effects of exposure to underwater explosions in humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). Can. J. Zool. 74: 1661-1672.

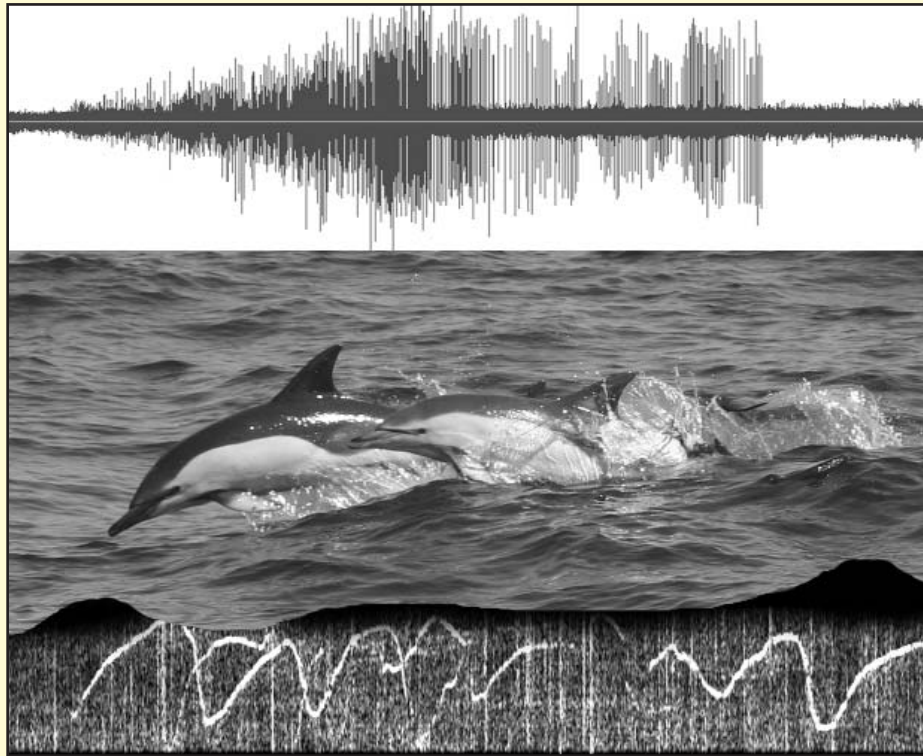






Cada día tratamos de aportar unha peza máis ao complexo quebracabezas da información sobre a ecobioloxía das especies mariñas, co obxectivo da súa conservación.....

.... aínda que sexa unha peza de mar azul uniforme que non saibamos onde colocar.



A ACÚSTICA NO MEDIO MARIÑO E NOS CETÁCEOS



*Publicación do departamento educativo
da Coordinadora para o Estudo dos
Mamíferos Mariños*

*Novembro 2009
Nº 8*