

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Licenciado en Ciencias Ambientales



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Estudio de patrones temporales para la emisión acústica de los cangrejos pistola (Orden Decápoda) en la Reserva Marina de las Islas Columbretes mediante la utilización de unidades de detección de acústica pasiva (T-POD).”

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Autor/es:
Mónica Pastor Mut

Director/es:

Tutor:
Francisco Javier Redondo Pastor

Co-Tutor:
Jose Antonio Esteban Simón

GANDIA, 2011



**A mi familia, por apostar al caballo más lento,
al fin y al cabo siempre llega a la meta.**

Agradecimientos

Muchas gracias a:

Ciudad de las Artes y las Ciencias S.A., Generalitat Valenciana.

Parques Reunidos Valencia S.A. operador de Gestión del Oceanográfico.

Personal de la Reserva Marina de la islas Columbretes perteneciente a la Consellería de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda y al Servicio de Biodiversidad de dicha Consellería.

Personal de la Reserva Marina de la islas Columbretes perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, en especial a Diego Kurt por sus comentarios sobre las especies de cangrejo pistola detectadas.

Por todo la ayuda brindada para la realización de este estudio.

También a todas aquellas personas que han estado cerca de mí y que han hecho posible que llegue hasta aquí, en especial a Jose Antonio Esteban por esta gran oportunidad y a Javier Redondo por su gran apoyo y comprensión.

Índice

<u>Abstract</u>	<u>4</u>
<u>Introducción</u>	<u>5</u>
<u>1.- Características biológicas del cangrejo pistola</u>	<u>7</u>
<u>2.- Características acústicas del cangrejo pistola</u>	<u>10</u>
<u>3.- Unidad de detección acústica T-POD</u>	<u>15</u>
<u>Materiales y Métodos</u>	<u>16</u>
<u>1.- Zona de estudio</u>	<u>16</u>
<u>2.- Instrumentos</u>	<u>18</u>
<u>3.- Software</u>	<u>21</u>
<u>Resultados y Discusiones</u>	<u>23</u>
<u>1.- Datos</u>	<u>23</u>
<u>2.- Zonas de estudio</u>	<u>26</u>
<u>3.- Emisión acústica del cangrejo pistola</u>	<u>27</u>
<u>4.- Patrones temporales</u>	<u>28</u>
<u>4.1.- Patrón diario</u>	<u>28</u>
<u>4.2.- Patrón estacional</u>	<u>30</u>
<u>4.3.- Influencia de la Temperatura</u>	<u>32</u>
<u>4.4.- Influencia de ciclos lunares</u>	<u>33</u>
<u>Conclusiones</u>	<u>34</u>
<u>Bibliografía</u>	<u>35</u>
<u>Anejo</u>	<u>38</u>

Abstract

Se fondearon tres unidades de detección acústica pasiva, T-POD, durante el período de 1 año, en la Reserva Marina de Islas Columbretes (Castellón, España) con el objetivo inicial de estudiar el uso del hábitat de los delfines mulares (*Tursiops truncatus*). Los resultados de ese estudio demostraron que la mayoría de los clicks registrados (99,96%) no fueron clasificados como trenes de clicks de ecolocación de los delfines. La cantidad de registros obtenidos, junto con el estudio de ruido de la zona realizado anteriormente reflejó la presencia de crustáceos decápodos de los géneros *Alpheus* y *Synalpheus* (orden Decápoda). Con los resultados obtenidos se realiza, en el presente trabajo, el estudio de patrones temporales, patrón diario y patrón estacional, en base a tres parámetros físico-químicos y oceanográficos: Tº del agua, Fase lunar y luz. Se observa un patrón diario muy marcado pero no se han encontrado influencias de la temperatura y de la fase lunar en la emisión acústica del cangrejo pistola. Es la primera vez que se utilizan estos aparatos sobre decápodos constituyendo una herramienta muy potente para el estudio de las tasas de producción de pulsos y patrones estacionales de los cangrejos pistola.

Introducción

El presente trabajo se plantea con el objeto de obtener parámetros temporales en la emisión acústica de los cangrejos pistola (Orden: Decápoda) y relacionarlo con diferentes parámetros ambientales en aguas costeras de la Reserva Marina de las Islas Columbretes (Castellón, España) mediante la utilización de unidades de detección acústica pasiva (T-PODs).

Es el resultado de un estudio realizado con anterioridad por el departamento de investigación de l'Oceanogràfic, que lleva como título "*Análisis de la presencia estacional de delfín mular (Tursiops truncatus) en la Reserva Marina de las Islas Columbretes*", que está englobado dentro de un proyecto más amplio titulado "*Análisis de la presencia estacional de delfín mular (Tursiops truncatus) en las Reservas Marinas de la Comunidad Valenciana*", realizado en colaboración con la Generalitat Valenciana; y cuyos resultados y conclusiones dan forma al presente trabajo.

En sus estudios preliminares Esteban y Castellote (2006) obtuvieron un nivel muy elevado de ruido en las frecuencias medias en las que se dan los clicks de ecolocación de los delfines¹ e identificaron este ruido como de origen biológico principalmente generado por la presencia de crustáceos decápodos de los géneros *Alpheus* y *Synalpheus* (pers. Comm. D.Kurt). Los pulsos producidos por estos animales reducían la eficacia del T-POD en la detección de delfín mular en el área de estudio, fundamentalmente por enmascaramiento y reducción del periodo de fondeo por saturación de la memoria y mayor consumo de baterías.

Al final de la campaña obtuvieron una cantidad muy elevada de datos registrados por el T-POD como presuponían, debido a la poca distancia de los PODs respecto al fondo y a la isla, tanto que el disco duro quedó completo, y muchos de los días previstos en el cronograma original quedaron sin ser analizados. Extracciones posteriores de los resultados mediante el software especializado identificaron unos 68.279 registros como parte de tren de pulsos y de éstos, 11.728 registros como clicks de ecolocación de delfín frente a los 164.554.311 pulsos totales detectados.

Como conclusión final se dedujo que la presencia de pulsos de decápodos en las detecciones acústicas en un 99,96% implicaba que los detectores habían sufrido saturación debido al continuo almacenamiento de este tipo de pulsos en la memoria, y además la elevada abundancia de estos pulsos podía provocar un efecto de enmascaramiento, es decir que realmente el ruido registrado con anterioridad causaba una importante interferencia en la detección acústica del delfín mular. En todo caso, los análisis de los pulsos almacenados mediante el programa T-POD.exe evidenciaban que el programa era capaz de discriminar entre los pulsos de los decápodos y de los delfines.

¹ Au & Hastings (2008) describen la ecolocación un como el proceso en el cual organismo proyecta señales acústicas y obtiene un sentido de su entorno a partir de los ecos que recibe. La ecolocación se especifica para un animal el cual tiene una capacidad muy especializada de determinar la presencia de objetos considerablemente más pequeños que ellos mismos, de discriminar entre varios objetos, de reconocer objetos específicos y de localizar objetos en un espacio tridimensional.

Por todo ello, se decidió realizar las investigaciones oportunas sobre estos invertebrados, donde el estudio de patrones temporales en su emisión acústica es uno de los puntos menos desarrollados hasta la fecha. Lammers y Whitlow (2006) en el artículo "*Temporal, geographic, and density variations in the acoustic activity of snapping shrimp*" estudian patrones temporales y espaciales de los cangrejos pistola mediante la utilización de EARs (ecological acoustic recorder) en lugares de Hawaii y en la Samoa Americana.

Las grabaciones realizadas con MARU² (Marine Autonomous Acoustic Recording) y EAR (Ecological Acoustic Recorder) por el Departamento de Investigación del Oceanográfico, no registraron pulsos de decápodos puesto que fueron fondeadas a una profundidad en las que no se localizan estos animales (entre 70 y 1200m.). Tan solo las realizadas con los T-PODs (fondeados a 15m. de profundidad y cerca de la pared rocosa) registraron los pulsos de los cangrejos pistola.

² Más información: <http://www.birds.cornell.edu/brp/hardware/pop-ups>

1.- Características biológicas del cangrejo pistola

Cangrejo pistola (camarón pistola traducido literalmente del inglés “snapping shrimp”) es el nombre común español que reciben los crustáceos de los géneros *Alpheus* y *Synalpheus* del orden Decápoda, cuyos individuos presentan un crecimiento desmesurado en una de sus pinzas del primer par de pereiópodos, y que, característica de la que recibe el nombre, es capaz de generar una corta señal acústica transitoria cuando se cierra fuertemente (Ferguson and Cleary 2000). De las numerosas especies de la familia Alpheidae, solo las especies de éstos géneros son capaces de generar un chasquido tan vigoroso (Au and Banks 1998).

La pinza o quelípodo mayor, responsable de la señal acústica, es generalmente casi el doble de la longitud del caparazón, pudiendo llegar a ser en algunas especies (el pereiópodo completo) más largo que la longitud del propio animal. Como se puede ver en la imagen, está formada por un dedo móvil, dátilo, provisto de una prominencia o tubérculo anguloso, “plunger”, que encaja en una cavidad “socket” del dedo fijo, prolongación del propodio (Zariquiey, 1968).

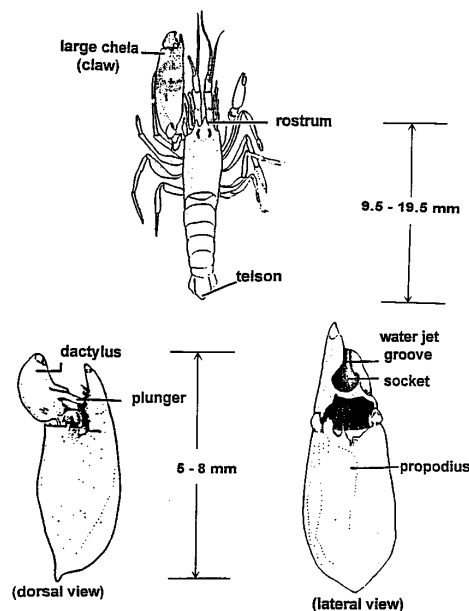


Fig.1. Dibujo de un cangrejo pistola que muestra la vista desde arriba y la vista dorsal y lateral de la pinza grande. En la vista lateral el dátilo es retirado para mostrar la ranura de chorro de agua.
Las dimensiones son de las muestras utilizadas en este estudio
(Knowlton y Moulton, 1963; Au& Hastings, 2008)

Son invertebrados frecuentemente menores de 3 cm de longitud (especímenes adultos) pudiendo llegar a encontrar individuos de más de 5 cm en función de la especie. Generalmente viven en colonias muy numerosas sobre fondos rocosos, cavidades de algunas esponjas y corales de bahías, puertos y otras zonas, donde los incontables intersticios les confieren refugio (Everest et al. 1948).

El hábito del chasquido está asociado con actividades defensivas y ofensivas. Cuando se cierra la pinza, se produce un vigoroso chorro de agua, por medio del émbolo que se lanza repentinamente. Este chorro sirve para asustar a los enemigos que se acercan demasiado. El contrincante puede ser

normalmente lanzado lejos e incluso muerto por un golpe directo de un pequeño martillo (Johnson et al, 1947); el significado biológico del sonido que lo acompaña juega un papel importante en la comunicación intraespecífica (Verslius, 2000).

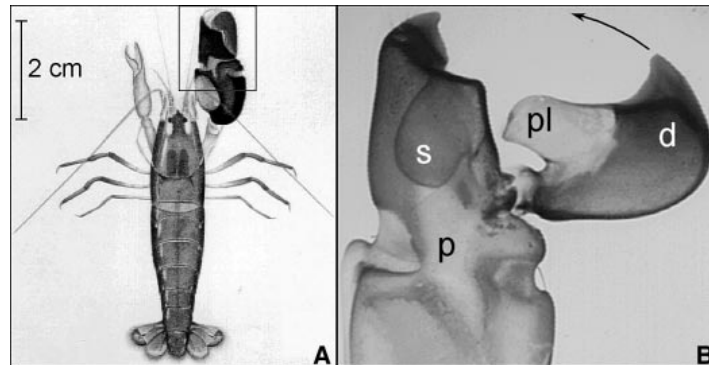


Fig. 2. (A) *Alpheus heterochaelis*, uno de los cangrejos pistola más grandes. (B) Cierre de la pinza en posición. La pinza tiene un prominente émbolo “plunger” (pl) en el dácilo (d) y un hueco coincidente “socket” (s) en el propodio inmóvil (p) (photograph by B. Seibel). Fotografía de la pinza transparente por proceso químico especial. (Verslius, 2004)

Se trata del organismo marino más extensamente distribuido (Everest et al. 1948) entre las latitudes $\pm 35^\circ$ (Au and Hastings 2008), encontrándose en aguas costeras tropicales y subtropicales de más de 11°C y hasta profundidades por encima de los 55m (Everest et al. 1948; Au and Banks 1998).

En la zona de estudio que nos ocupa, la Reserva Marina de la islas Columbretes, y a lo largo de la costa valenciana, se encuentran varios representantes de los géneros *Alpheus* y *Synalpheus* (Mediterránea, 2011)

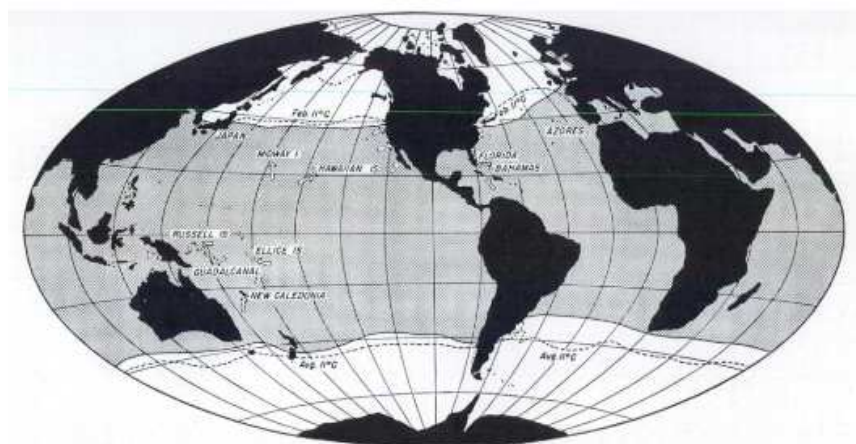


Fig. 3. Rango geográfico del cangrejo pistola (*Alpheus* y *Synalpheus*). Estos géneros se encuentran en el área sombreada donde la profundidad y las condiciones del fondo son favorables. (M. W. Johnson et al, 1947).

En cuanto a la clasificación taxonómica Zariquiey (1968) plantea la siguiente en su trabajo "*Crustáceos Decápodos Ibéricos*":

Clase CRUSTACEA

Subclase MALACOSTRACA

Serie EUMALACOSTRACA

Superorden EUCARIDA

Orden DECAPODA

Supersección NATANTIA

Sección CARIDEA

Familia ALPHEIDAE

2.- Características acústicas del cangrejo pistola

El fuerte chasquido producido individualmente por estos animales ha sido conocido durante mucho tiempo por biólogos (Au and Banks, 1998) sin embargo el origen del ruido fue un profundo misterio hasta finales de 1942 cuando la causa fue finalmente determinada, para ello se realizaron numerosos tests de laboratorio de diferentes animales y a través de diferentes campos de estudio en diferentes hábitats y diferentes poblaciones. (Johnson et al, 1947). Aun así, ya en 1887 la primera observación cuidadosa de que la quela del *Alpheus* podía ser la causante del sonido fue por W.S. Kent., pero él lo atribuyó erróneamente a que éste se producía por la apertura del dácilo. Herrick (Brooks and Herrick, 1891) fue probablemente el primero en describir correctamente como el sonido se producía (Knowlton and Moulton, 1963)

Numerosos estudios realizados desde entonces en diferentes partes del mundo describen el sonido del cangrejo pistola como una de las fuentes más penetrantes de ruido ambiental submarino que puede interferir en la medida y la grabación de señales bioacústicas submarinas en aguas poco profundas (Au and Banks 1998). De todos los sonidos producidos por organismos marinos, ninguno excede en importancia debido a la estabilidad y la continuidad, día tras día, durante todo el año del chisporroteo producido por las poblaciones del cangrejo pistola (Everest et al., 1948)

El sonido emitido por un cangrejo individual es un simple chasquido agudo o “crack” producido solo ocasionalmente. Es la combinación de los chasquidos de miembros de una población grande lo que da resultado a un elevado crujido continuo cerca de un fondo dominado por cangrejos (Johnson et al, 1947). Ejemplos del ruido producido por el cangrejo pistola en tres localizaciones distintas del pacifico se muestran en la siguiente figura 4. También se muestra el ruido de las aguas superficiales producido por vientos de 22-27 nudos y 10-17 nudos. Incluso cuando se compara contra el sonido bajo del agua, creado por vientos de 27 nudos, los niveles de sonido del cangrejo pistola son por lo menos 12-22 dB más fuertes (Au and Hastings 2008). El ruido del cangrejo pistola es extremadamente penetrante y muestra solo una pequeña variación diurna (2-5 dB más alta por la noche), (Albers 1965); el crujido está constantemente presente (Au and Banks 1998). Bajo condiciones de quietud, el sonido de crujido de una población de estos crustáceos podría ser oído si ayuda, sobre la superficie del agua, a pesar de la gran pérdida en la transmisión del sonido a lo largo del límite agua-aire; el crujido, ruido como de la quema de ramas secas (Verslius,2000), puede ser oído fácilmente por los bañistas sumergiendo los oídos (Everest et al, 1948).

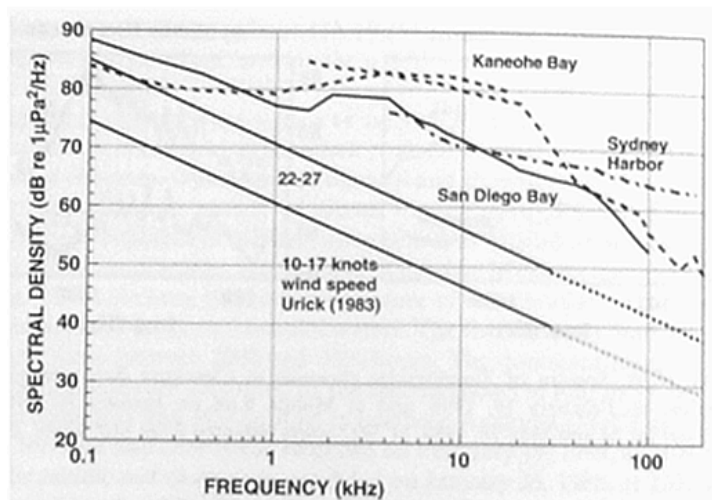


Fig. 4.- Ruido del cangrejo pistola medido en el puerto de Sydey, Australia (Cato and Bell, 1992), bahía Kaneohe, Hawai (Albers, 1965; Au, 2003), y bahía de San Diego, California. También se muestra el ruido submarino producido por vientos superficiales (Urick,1983)

Los sonidos del cangrejo pistola pueden limitar severamente el uso de la acústica submarina por los humanos, tanto en aplicaciones científicas como navieras (Verslius, 2000), y puede también interferir en la transmisión y recepción de sonidos por otros animales como los delfines, ballenas y pinnípedos (Au and Banks 1998).

Au y Hastings, (2008) le confieren, en su libro “Principles of marine bioacoustics” un apartado dentro del capítulo “Emission of Social Sounds by Marine Animals” al cangrejo pistola, en el que hacen una recopilación de diferentes investigadores. En este apartado se ha introducido gran parte de ese texto, ampliando alguna información considerada relevante.

El cierre de la garra produce una corta señal acústica transitoria que tiene un ancho de banda extremadamente ancho, con componentes por encima de los 200 kHz (Au, 1981; Cato 1993). Au y Banks (1998) realizaron medidas detalladas de los sonidos del cangrejo pistola en un tanque, midiendo 10 chasquidos de cada 40 *Synalpheus paraneomeris* diferentes. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la onda de un chasquido, en tiempo y en frecuencia. Puede verse un precursor de baja frecuencia, baja intensidad en la onda temporal precediendo las oscilaciones de alta intensidad en los 275 μs aproximadamente. Ésta componente del chasquido no había sido descrito hasta entonces. Y ya en aquel momento se consideró que podía estar asociado al instante en que el émbolo entra en el surco del apéndice opuesto.

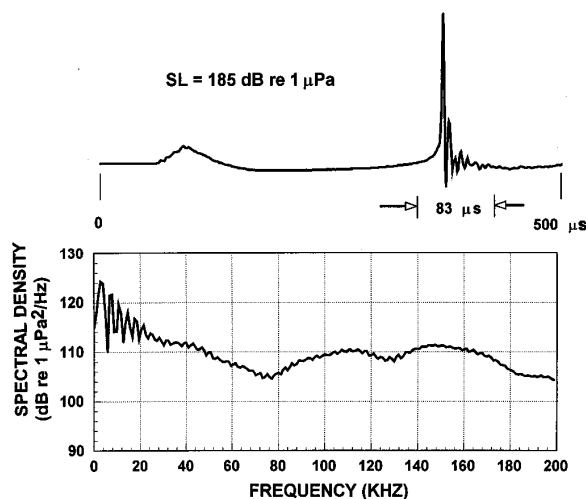


Fig. 5. Un ejemplo de la forma de onda y el espectro de frecuencia de un Chasquido típico de *Synalpheus paraneomeris*. (Au and Banks, 1998).

El espectro de frecuencia se muestra extremadamente amplio, con energía extendiéndose desde los 0 hasta más de 200 kHz. Solo 20 dB separan el pico máximo y el mínimo de densidad espectral sobre el rango de 200 kHz, una señal de ancho de banda extremadamente ancho, quizás el más ancho de cualquier sonido producido por cualquier otro organismo, pues los chasquidos del *Synalpheus* son más amplios que las señales de ecolocación de los murciélagos (Pye, 1980; Fenton, 1995) y los delfines (Au, 1993). El pico de energía se da a relativamente baja frecuencia, 2 kHz, y es debido a la energía en el precursor y al rápido aumento en tiempo del click principal. La energía entre los 80 y los 200 KHz es asociada con el rápido aumento y las componentes oscilatorias de la señal principal (Au and Banks, 1998).

El mecanismo de producción del sonido fue determinado recientemente por Verslius et al. (2000)³, quien usó un sistema de video de alta velocidad y un sistema de detección acústico simultáneamente para examinar el mecanismo de producción del sonido del cangrejo pistola de la especie *Alpheus heterochaelis*. Sus descubrimientos pueden discutirse mejor con ayuda de la figura 6.b donde se muestra una secuencia de imágenes de alta velocidad, mostrando la garra y la secuencia del chasquido (Verslius, 2000), se muestran puntos en la onda del chasquido y la imagen del video correspondiente de la garra grande.

³ El trabajo de Verslius se puede consultar en la siguiente página: <http://stilton.tnw.utwente.nl/shrimp/>

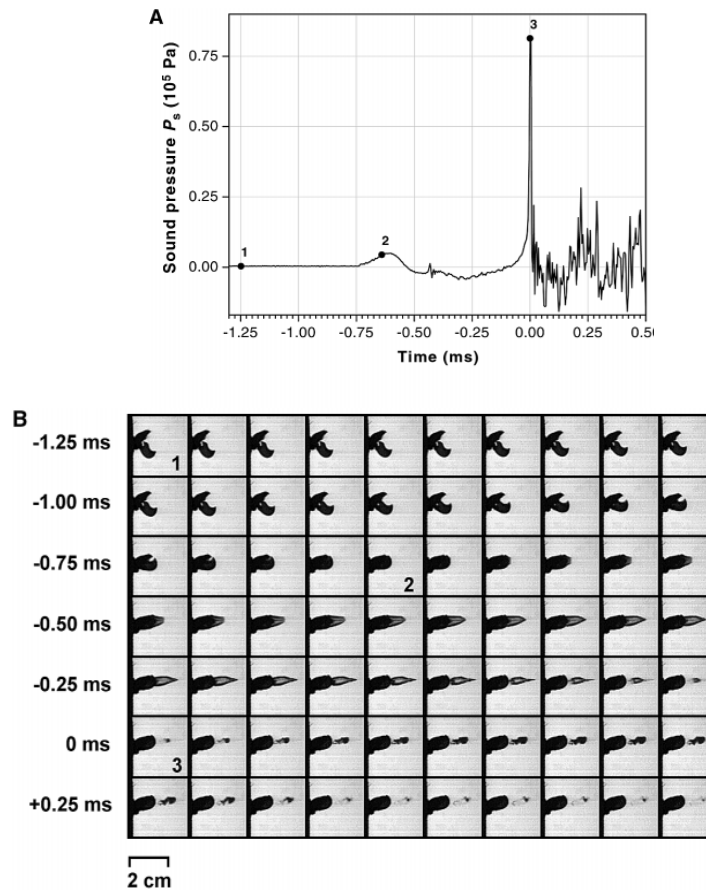


Fig. 6. (A) Señal acústica de un chasquido de una hembra de *A. heterochaelis* medida a una distancia de 54cm. Los puntos numerados corresponden con las imágenes respectivas en (B).
 (B) Secuencia en imágenes de alta velocidad mostrando el chasquido completa. (Verslius, 2000).

En la figura 5 puede apreciarse en el punto 1 que la garra está completamente abierta, preparada para el chasquido. En el punto 2 está completamente cerrada, el émbolo ha entra en el surco de la cara opuesta de la garra (puede verse en los 5 pasos anteriores) y el chorro está en proceso de ser generado. La primera señal precursora observada por Au y Banks (1998) parece estar asociada con este punto. Una región de presión negativa se genera mientras el agua es empujada a través del orificio generando el chorro. La presión negativa permite a la burbuja formarse y crecer, hasta un máximo de 3.5 mm de promedio (Verslius, 2000), en los pasos siguientes. Finalmente la burbuja cavita creando el pico en la presión acústica en el punto 3. Verslius (2000) concluyo qué el pico principal de la señal acústica siempre coincidía, en el transcurso de sus experimentos, con el colapso de la burbuja de cavitación⁴.

⁴ Verslius describe: La cavitación se produce cuando la velocidad del agua es muy alta, en cuyo caso la presión disminuye considerablemente debido al principio de Bernoulli. La presión disminuye hasta por debajo de la presión de vapor de agua y el agua se evapora (o hierve por así decirlo) a temperatura ambiente. Debido a la baja presión de la burbuja de vapor que se forma crecerá a alrededor de 1 cm. Pero cuando la presión sube de nuevo esta burbuja va a experimentar un colapso muy fuerte.

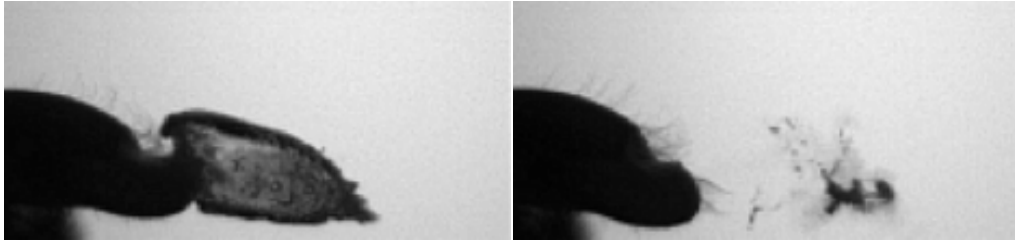


Fig. 7. Dos imágenes concretas del colapso de la burbuja de cavitación. (Verslius, 2000)

Lohse, Schmitz y Verslius (2001) determinaron que el proceso de cavitación de la burbuja creada por el chasquido del cangrejo pistola es tan energético que se crea un fotón de luz (Au and Hastings, 2008). En el momento de colapso de la burbuja de cavitación se alcanzan extremados valores de presión y temperatura alcanzando los 5000 K, conociendo esto investigaron el proceso de emisión de luz del cangrejo pistola. Para detectar esto usaron un fotodetector calibrado, en la completa oscuridad. Definieron que el total de fotones emitidos por el interior de la burbuja caliente es mayor de 5×10^4 , que es de uno a dos órdenes de magnitud menos que la sonoluminiscencia típica del colapso de una burbuja simple.

Así, como indican Au y Hastings (2008) cada investigador de los mencionados estudia un espécimen diferente, que a niveles de presión sonora se traduce en ligeras variaciones en la firma acústica del cangrejo pistola tanto en los niveles acústicos, como en el tiempo de duración de cada señal, sin embargo, lo que queda claramente establecido es la forma de la onda de esa señal acústica.

3.- Unidad de detección acústica T-POD

El T-POD (Chelonia Ltd, Long Rock, Plymouth, UK; www.chelonia.com.uk) es un sistema de control acústico pasivo, estático y completamente automatizado (“a fully automated, static, passive acoustic monitoring system”), que detecta distintos mamíferos marinos por reconocimiento de los trenes de clicks de ecolocación característicos de cada especie.

Las técnicas de monitoreo acústico pasivo (PAM) permiten la obtención continua de registros acústicos. El hecho de que se puedan obtener registros durante varias semanas, todo el tiempo, en cualquier condición climática y de luz proporciona una mayor continuidad de los registros de la presencia de determinados animales durante largos periodos (Simon et al, 2010) frente a las observaciones visuales que hasta hace relativamente poco tiempo era el único modo de poder detectar la presencia de determinados animales en el medio. Existen numerosos instrumentos para la monitorización acústica pasiva, de los cuales, los más usados son MARUs, EARs y los PODs, siendo este último el instrumento que nosotros hemos utilizado para nuestro estudio.

Los T-POD fueron desarrollados principalmente para la monitorización acústica de marsopas de ahí su nombre “Porpoise detector” en inglés; la “T” representa el tiempo (Chelonia Ltd.) El T-POD se ha utilizado para evaluaciones de impacto ambiental, investigación de las interacciones pesqueras, evaluación de métodos de captura accidental, y estudios de distribución, uso de hábitat, comportamiento y repertorio acústico. Algunos ejemplos que destacan los usos principales son, el monitoreo acústico de marsopas (Verfuß et al., 2007) y para estudios de impacto de la construcción y operación de parque eólicos sobre las marsopas (Koschinski et al., 2003; Carstensen et al., 2006). Los T-PODs pueden trabajar en el monitoreo de clicks de ecolocación de otras ballenas dentadas (Senior, 2006; Philpott et al., 2007) y han sido usados para monitorizar el uso del hábitat del delfín mular (Leeney et al., 2007) y el comportamiento acústico del delfín alrededor de las artes de la pesca (Leeney and Tregenza, 2006).

Hasta ahora lo T-PODs no se han utilizado en la detección de crustáceos. Además, debido a que principalmente se han usado en regiones donde la temperatura del agua no es la idónea para los cangrejos pistola, éstos no se habían detectado.

Materiales y Métodos:

1.- Zona de estudio

Este estudio se realizó mediante el empleo de tres unidades T-POD v.5, en tres puntos de la Reserva Marina de las Islas Columbretes. Es importante recalcar que debido a las restricciones de la Reserva Marina para la creación de nuevos puntos de fondeo, se utilizaron los amarres de las boyas de fondeo para embarcaciones ubicadas al sur oeste de L'illa Grossa como plataformas de oportunidad.

Estación	Latitud	Longitud	Profundidad
1 (I. Grossa)	N39 53.808	E0 40.869	49 m
2 (I. Grossa)	N39 53.763	E0 40.893	48 m
3 (I. Grossa)	N39 53.676	E0 40.923	49,5 m

Tabla 1: Latitud, longitud y profundidad de las 3 estaciones en la reserva Columbretes. En todos los casos la profundidad de fondeo de las unidades fue 15m.

Se seleccionaron las 3 boyas de amarre para embarcaciones situadas en la zona SW de Isla Grossa, en la zona denominada "El Rossí". La figura 10 indica la posición de las boyas. Se instaló un T-POD a 15 metros de profundidad en la línea de fondeo de cada una de las boyas, fijado con bridas, abrazaderas y un cabo de seguridad como se muestra en la figura 8. Estas boyas fueron seleccionadas en base a los resultados del estudio de ruido ambiente en el que se identificaban las 3 boyas seleccionadas como las de menor nivel de ruido en comparación con todas las boyas de amarre de la Reserva Marina y se concluía que el ruido ambiente registrado en estas posiciones, a pesar de ser el de menor intensidad, presentaba gran abundancia de pulsos emitidos por los decápodos del género *Alpheus* y *Synalpheus*.

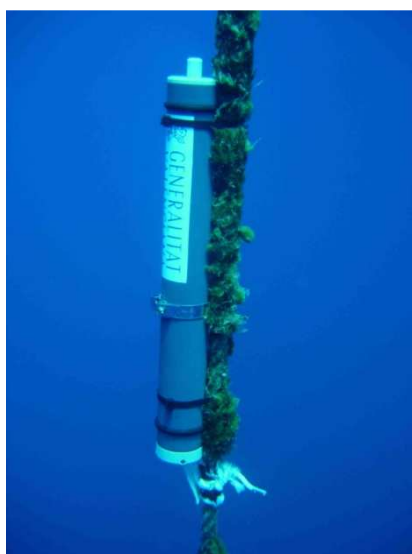


Fig. 8. Imagen de un T-POD fijado en la línea de fondeo de los amarres del Rossí de Isla Grossa mediante bridas, abrazaderas y un cabo de seguridad.

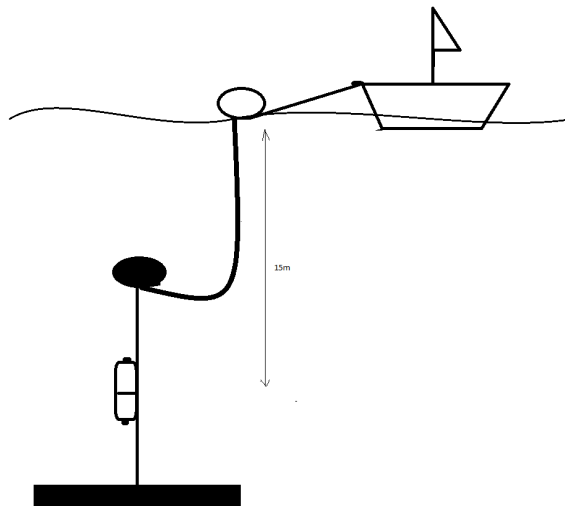


Fig. 9. Esquema de fondeo de una unidad T-POD

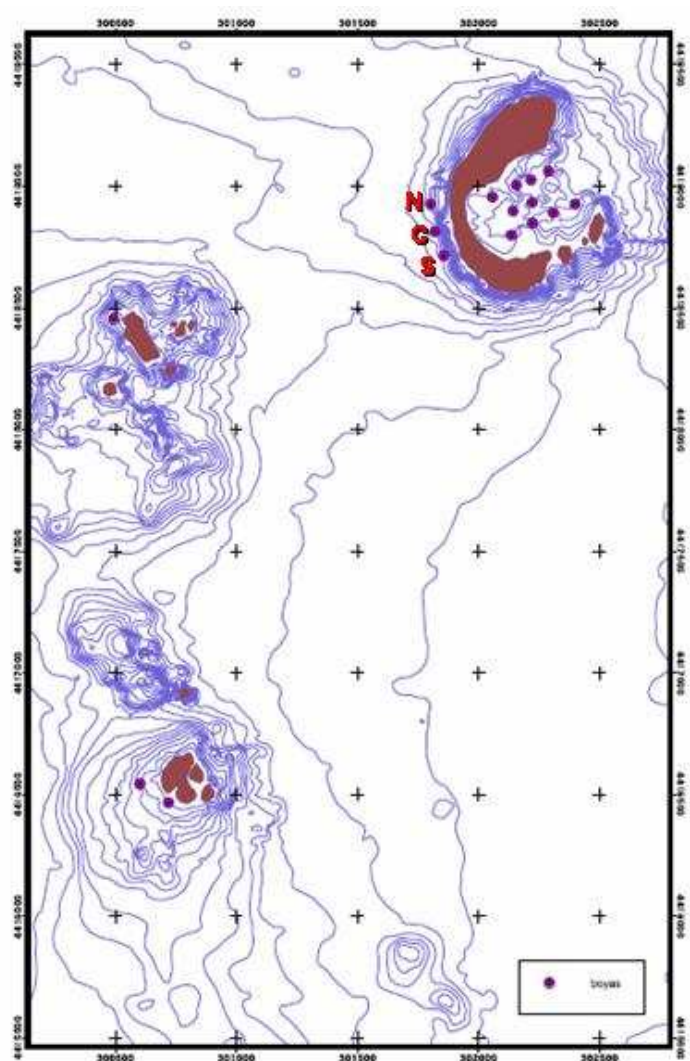


Fig. 10. Posición de los 3 detectores T-POD instalados en las boyas de amarre para embarcaciones de la zona del Ross de Isla Grossa. Las letras N-C-S indican la posición Norte, Centro y Sur de los detectores.

2.- Instrumentos

Para la determinación del ruido presente en la zona se utilizó un hidrófono científico marca RESON modelo TC4033, preamplificador y acondicionador de señal científico marca Briel&Kjaer modelo Nexus 2692 AOS1, una tarjeta de adquisición de señal Marca Edirol FA-101 y un ordenador portátil con procesador Pentium IV a 2,5 GHz. La frecuencia de muestreo utilizada fue 96 kHz a 24 bits de resolución, aplicando un filtro de paso a 10 Hz y a 100 kHz.



Fig. 11. Medición de ruido en el área de estudio. Amplificador acondicionador Briel&Kjaer NEXUS y tarjeta de adquisición externa Edirol FA-101.

T-POD

Los T-PODs son registradores de datos acústicos autónomos que comprenden un hidrófono (transductor piezoeléctrico), un procesador analógico, un sistema digital de registro de tiempo de detección y duración de la secuencia de clicks y un software de análisis, T-POD.exe, que filtra los datos después de haber sido transferidos al ordenador.

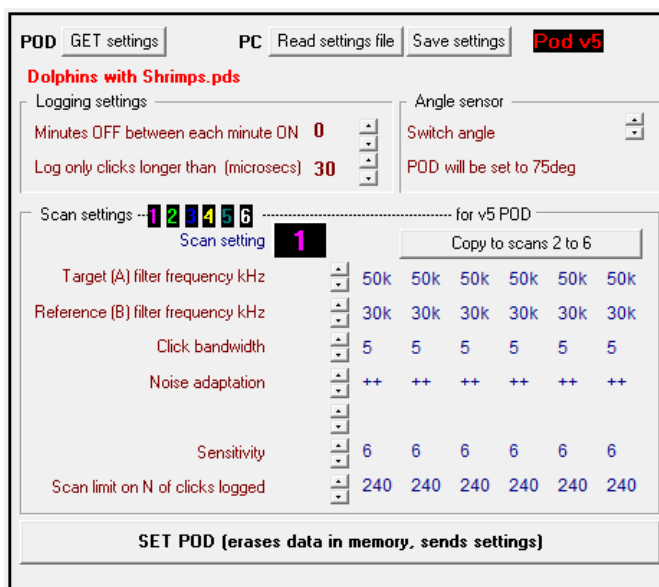
La detección de los pulsos, a nivel de hardware, se realiza por medio de un algoritmo cuyas variables son el reparto de energía y la duración del pulso, quedando registrados únicamente valores de tiempo y la duración de los pulsos de las especies objetivo con una resolución de 10 microsegundos de los que se asemejan a los de las especies de referencia.

Para que el hardware seleccione los clics que se asemejen a la clicks la especie objetivo, marsopas, delfines u otros, el T-POD compara la energía de sonido recogida por un par de filtros paso de banda con un ancho de banda ajustable, uno de los cuales se establece en la frecuencia de los clics de las especies de interés (target). La energía captada por el filtro objetivo tiene que ser “una cierta cantidad superior” a la energía captada por el filtro de referencia (referente) para generar un registro del sonido generado. Se tienen 16 bandas de frecuencia disponibles, centrado de 9 kHz a 170kHz. En cada minuto, el T-POD realiza seis sucesivas exploraciones de 9,3 segundos cada uno, detectando los

pulsos que se encuentran dentro de los parámetros previamente programados. Para cada uno de estos análisis, el usuario puede definir el objetivo y las frecuencias de referencia y el ancho de banda efectivo máximo de clics que se registrarán. En este estudio se definieron los siguientes settings:

Frec. diana (A) kHz	Frec. referencia (B) kHz	Ancho banda	Adaptación al ruido	Sensibilidad	Límite scan
50	30	5	++	6	240

Tabla 2: Valores de las variables que definen la actividad de los algoritmos de clasificación de trenes de clics.



Pantalla del programa T-POD.exe para la selección de las características de los pulsos a detectar por los T-POD (Chelonia Ltd.):

Carcasas: contienen uno o dos paquetes de baterías que permiten que el POD permanezca en el agua uno o dos meses a pleno rendimiento. Pueden ser estándar o profundas; las estándar son de plástico y van hasta a la profundidad de 100m. Son flotantes lo que hace que el despliegue y la recuperación más fácil, son de 88 mm de diámetro y pesan, con pilas incluidas, unos 4,5 kg. Las cajas de aguas profundas son de aluminio anodizado y pueden llegar hasta los 3000m, tienen un mayor espesor, 112mm y pesan 12 kg sin pilas.

Transductores: de frecuencia estándar o baja. El transductor estándar cubre toda la gama de 9 kHz a 70kHz. El transductor de baja frecuencia proporciona una mayor sensibilidad (rango de detección), sólo en frecuencias inferiores a 50 kHz y es más probable que sea útil para los despliegues en aguas profundas de los zifios o similar.

Detección de clics: para cada escáner de 9,4 segundos de cada minuto se pueden modificar los siguientes settings: Objetivo de frecuencia (16 pasos de 9 kHz a 170kHz). Frecuencia de referencia (el mismo). Ancho de banda (8 pasos). Sensibilidad (16 pasos, la normalización es en el paso 8). Ruido de adaptación. Esto reduce el ancho de banda máximo registrado cuando el nivel de ruido (referencia de

salida del filtro) es alto. Dos ajustes + + = gama, + = funciona sólo en los niveles de ruido. El número máximo de clics registrados en cada exploración en cualquier momento. Además de la duración mínima de cada escaneo, y el número de minutos de descanso después de cada minuto.

Memoria: 128 MB de memoria no volátil capaz de almacenar hasta 30 millones de clic y la duración de los mismos.

Baterías: estándar o de litio: cualquier tipo D-cell se puede utilizar siempre y cuando el voltaje de 6 celdas no exceda de 12 voltios. El registro se detiene cuando la tensión cae a 5,2 voltios. Cada par de 6 celdas ofrece aproximadamente 6 semanas el tiempo en funcionamiento.

Otros sensores: un sensor de ángulo de verticalidad por cada minuto que proporciona la verificación de la implementación correcta, y permite el registro para ser activado cuando el ángulo vertical cae dentro rango pre-seleccionado. Esto permite transportar el POD algún tiempo antes del fondeo y por tanto el ahorro de energía y memoria. Un sensor de temperatura proporciona datos de la temperatura cada minuto.



Fig. 12. Unidad T-POD

3.- Software

Para el análisis y la interpretación de los registros obtenidos en el periodo de funcionamiento del T-POD se requiere el T-POD.exe, software especializado que junto con el hardware forman la herramienta completa, pues no se puede usar el uno sin el otro debido a que el T-POD.exe permite la configuración de los settings que tendrá el T-POD, la descarga de los datos y la exportación de los mismos.

Los datos en bruto registrados están en archivos con extensión .pdc (POD Clicks). Estos archivos recogen todos los pulsos que se encuentran dentro de los parámetros previamente programados en el T-POD. Este tipo de archivos no suele ser muy usados de forma directa puesto que realmente es una opción muy simple del propio programa. Sin embargo son el tipo de datos de los que se ha hecho uso para este estudio ya que realmente lo que interesa es conocer el número total de clics obtenidos durante el tiempo de muestreo.

Posteriormente el T-POD selecciona aquellos pulsos que se distribuyen de forma similar a como lo hacen los pulsos de ecolocación de los delfines. Así pues, después de procesar a través del filtro de trenes en T-POD.exe, una porción de clics son identificados como que forman parte de los trenes de delfines, cada uno de los cuales es clasificado en uno de los 5 tipos de clases de trenes:

- CetHi (pertenecen a las especies objetivo)
- CetLow, (con casi toda seguridad pertenecen a las especies objetivo)
- doubtful?, doubtful?? (podrían pertenecer, pero no es nada seguro)
- FixeRate (trenes que pertenecen a barcos cercanos)

Esta clasificación está contenida en archivos de extensión .pdt (POD train) que tiene el mismo tamaño de los clics y contiene toda la información de este archivo. En la siguiente imagen puede observarse como aparecen representados los clics, en este caso CetHi en rojo y doubtful?? en blanco, así como la interfaz del programa.

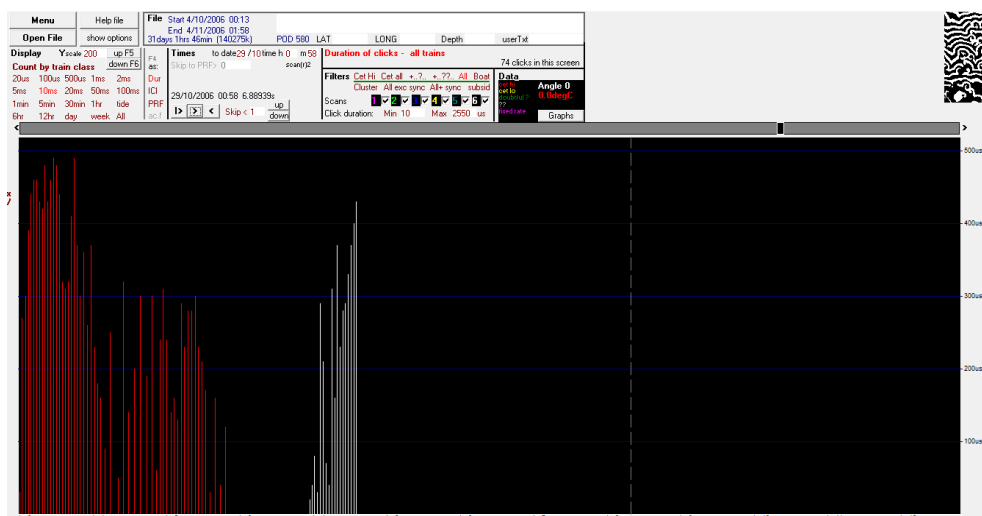


Fig. 13. Pantalla de T-POD.exe mostrando las detecciones de trenes clasificadas según su probabilidad de pertenecer a cetáceos por diferentes colores.

Otro programa utilizado, en este caso para el análisis de ruido de las zonas de muestreo es el Adobe Audition 3.0 mediante el cual se extraen los espectrogramas de los niveles sonoros y permite el procesamiento de los archivos de sonido registrados mediante el hidrófono.

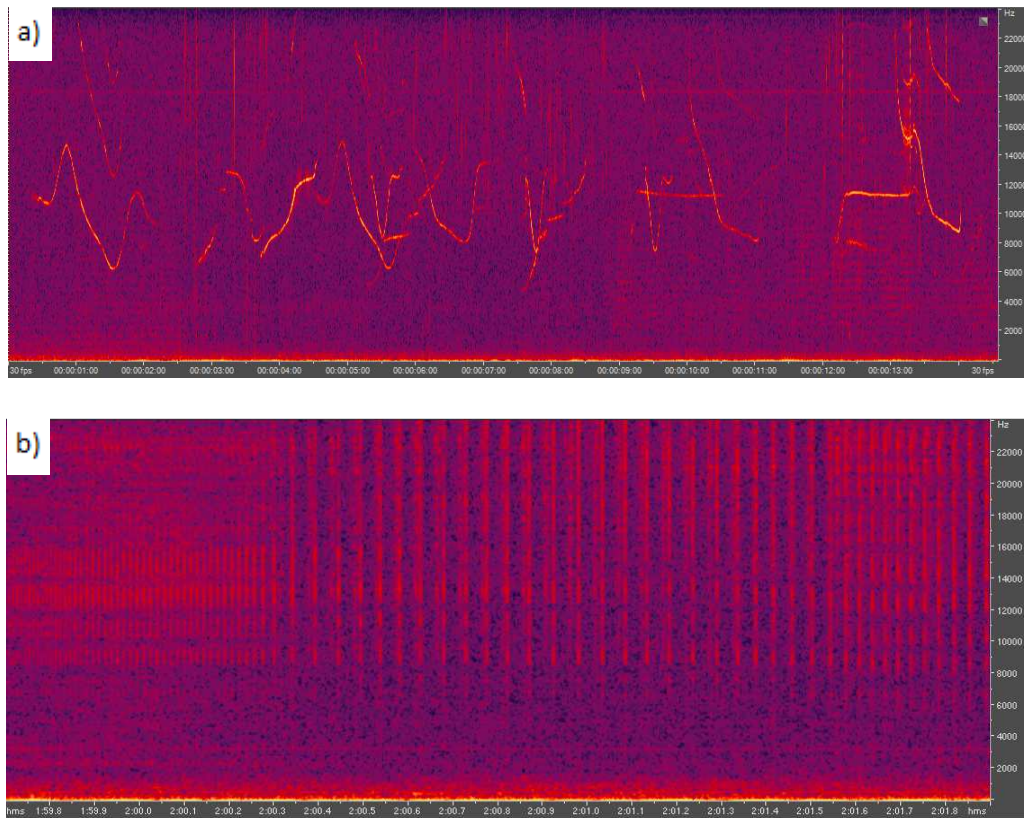


Fig. 14. Pantallas de Adobe Audition mostrando el espectrograma de silbidos de delfín (a) y el espectrograma de los pulsos de ecolocación de los mismos (b).

Resultados y Discusiones

1.- Datos

Las tres unidades T-POD han estado fondeadas durante un periodo de un año (desde el 28 de agosto de 2006 hasta el 21 de septiembre de 2007). El muestreo ha sido discontinuo en este periodo debido a dificultades para realizar el servicio de las unidades por mala meteorología, imposibilidad de uso de la embarcación o del funcionamiento de la propia unidad (baterías agotadas o memoria completa). En la siguiente imagen se representa el periodo de fondeo y muestreo.

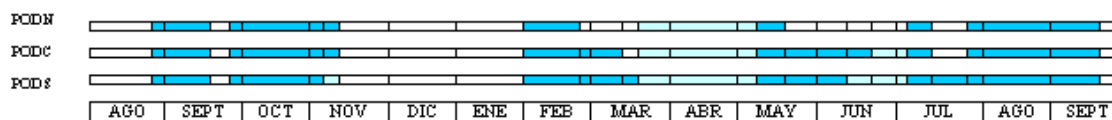


Fig. 15. Periodo de fondeo de los T-POD: en blanco el periodo en que han estado en seco, en azul claro el periodo no operativo (baterías agotadas o memoria completa) y en azul oscuro los periodos de registro de datos.

Hay dos importantes periodos en los que las unidades no fueron operativas, de noviembre de 2006 a febrero de 2007 y de marzo a mayo de 2007. Además, en mayo, junio y julio de 2007 existen periodos en los que los T-PODs no estaban operativos simultáneamente debido a operaciones de mantenimiento de los amarres sobre los que se instalaron las unidades.

La cantidad total de pulsos registrados por los T-POD durante el tiempo en los que las unidades han estado operativas ha sido 164.445.311. De todos éstos pulsos, la cantidad total registrada por cada POD (norte, centro y sur) ha sido: 9676549; 282993182; 126578444 respectivamente.

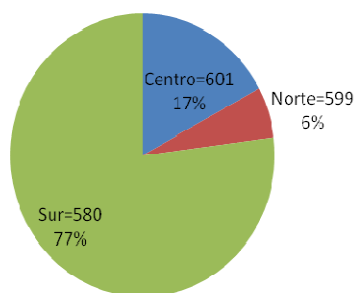


Fig. 16. Porcentaje de pulsos frente al total registrado en cada una de las posiciones.

Se observa claramente que el POD situado en el sur ha registrado una cantidad mucho más alta de pulsos siendo el 77% de los pulsos totales; y que los PODs norte y sur, con porcentajes de 6% y 17% reflejan muchos menos registros. Esto podría ser debido a la cartografía submarina del talud de la isla entre los puntos norte y sur, y a la comunidad bentónica presente en el fondo; confiriendo un refugio idóneo para el cangrejo pistola pudiendo llegar a establecerse con toda posibilidad poblaciones muy grandes.

Para un buen análisis, es muy importante indicar que se han eliminado todos aquellos archivos que contienen muy pocos pulsos y que forman parte de los días en los que se realiza el servicio debido a que muy posiblemente hayan sido detecciones generadas erróneamente por manipulación de T-POD y no por los propios cangrejos pistola. Como se puede observar el número total a quedado reducido en un 2,7% quedando 160.046.815 pulsos registrados, sin embargo debido al tamaño total, esta reducción no afecta en los resultados.

En el análisis mediante el software de todos los registros se han identificado 463.197 (0,3%) clicks pertenecientes a parte de un tren de clicks, de los cuales 404.578 han sido identificados como de trenes de clicks de ecolocación de cetáceos (incluyendo cuatro tipos de clases de trenes diferentes, es decir, CetHi, CetLo, ?doubtful, y ??doubtful) y 58.619 identificados como trenes de sonares de barco.

Esta cantidad se ha restado a la cantidad total (160.046.815), con la finalidad de trabajar con los pulsos que con bastante seguridad pertenecen a pulsos generados por el cangrejo pistola. Así, el número final de datos con los que se ha trabajado en el análisis de patrones temporales es de 159.583.618 pulsos.

Se presenta en la siguiente tabla todos los clicks registrados por meses para poder tener una idea clara de la magnitud de los registros obtenidos.

Año	Mes	Pulsos por mes
2006	Agosto	3.222.805
	Septiembre	30.338.982
	Octubre	37.689.095
	Noviembre	5.588.332
	Diciembre	
2007	Enero	
	Febrero	14.518.954
	Marzo	8.915.356
	Abril	
	Mayo	23.121.125
	Junio	12.373.928
	Julio	9.950.021
	Agosto	9.254.257
	Septiembre	4.610.763
	Total	159583618

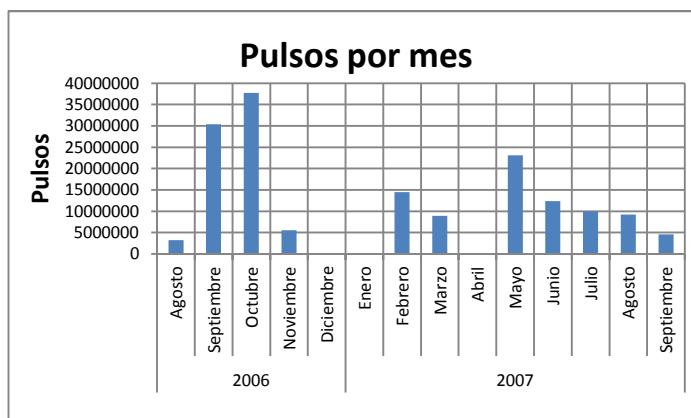


Fig. 17. Cantidad de pulsos registrados cada mes.

La siguiente tabla muestra, a modo de ejemplo⁵, el registro de datos obtenidos para un día. Las columnas de FileN (numero de archivo), POD (localización), Fecha, Hora, minyear (minuto en el año), angle, degC (temperatura), sonar y counts (cliks totales) son extraídas por el software. Las otras: Est, Luna, y Pulsos (en las que se obtiene la resta de sonar y trenes a counts) son columnas añadidas posteriormente para el análisis.

FileN	POD	Fecha	Est	Luna	Hora	minyear	angle	degC	Sonar	Sonar	Sonar	TRENES	counts	PULSOS
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	0:59:00	46139	0	18.8	0	0	0	15	17700	17685
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	1:59:00	46199	0	18.8	0	0	0	22	17260	17238
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	2:59:00	46259	0	18.8	0	0	0	19	16676	16657
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	3:59:00	46319	0	18.8	0	48	0	165	18507	18294
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	4:59:00	46379	0	19.2	0	32	0	337	19336	18967
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	5:59:00	46439	0	19.2	0	2	0	16	15279	15261
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	6:59:00	46499	0	19.2	0	0	0	24	13240	13216
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	7:59:00	46559	0	19.2	0	0	0	49	21302	21253
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	8:59:00	46619	0	19.2	0	0	0	0	18298	18298
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	9:59:00	46679	0	19.2	0	10	0	12	11394	11372
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	10:59:00	46739	0	19.2	0	0	0	0	9866	9866
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	11:59:00	46799	0	18.8	0	0	0	0	7020	7020
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	12:59:00	46859	0	18.8	0	0	0	0	6377	6377
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	13:59:00	46919	0	19.2	0	0	0	0	5918	5918
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	14:59:00	46979	0	19.2	0	0	0	0	5289	5289
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	15:59:00	47039	0	19.2	0	0	0	0	5781	5781
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	16:59:00	47099	0	19.2	0	0	0	0	7942	7942
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	17:59:00	47159	0	19.2	0	6	0	12	11350	11332
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	18:59:00	47219	0	19.2	0	1	0	18	17887	17868
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	19:59:00	47279	0	19.2	0	3	0	14	21608	21591
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	20:59:00	47339	0	19.6	0	0	0	54	21879	21825
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	21:59:00	47399	0	19.6	16	16	0	45	20697	20620
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	22:59:00	47459	0	19.6	0	0	0	57	20253	20196
25	Sur=580	02/02/2007	Inv	L	23:59:00	47519	0	19.6	0	34	0	27	19522	19461

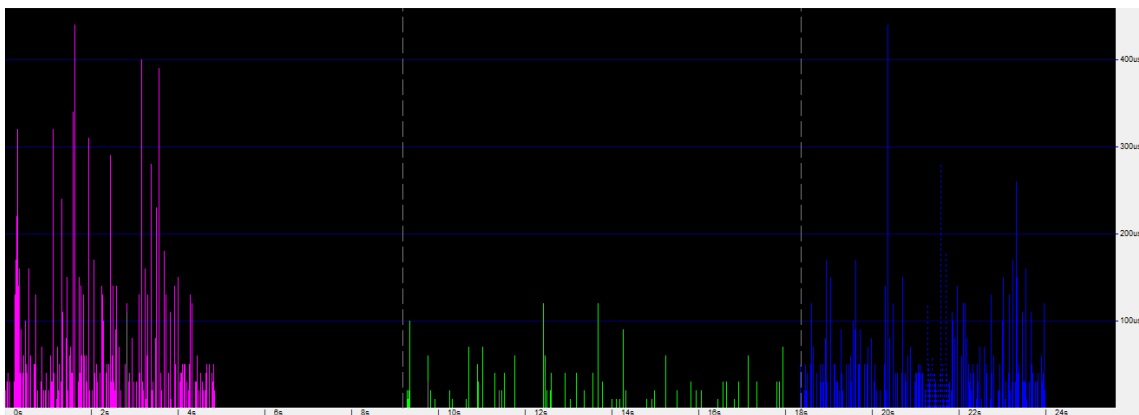
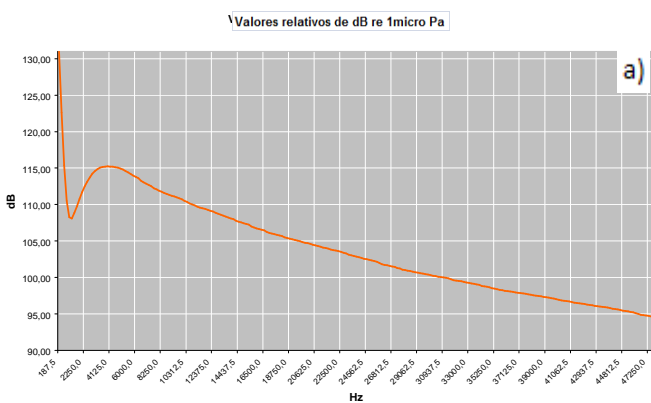


Fig. 18. Ejemplo de la representación gráfica de los pulsos en el programa T-POD.exe. Los diferentes colores representan scanners diferentes. En el eje de ordenadas se representa la duración del pulso en μ segundos y en el de abscisas el tiempo en segundos

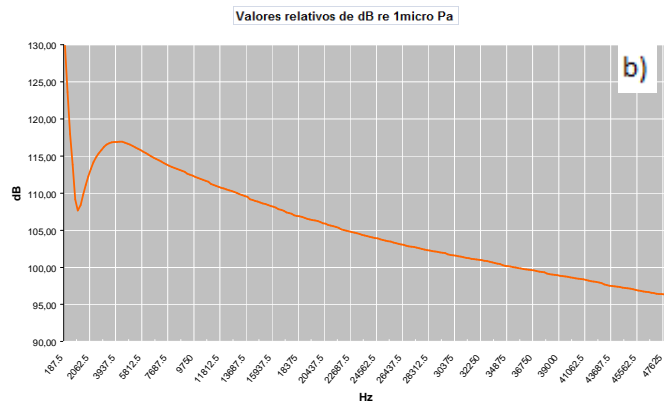
⁵ No se han incluido los registros completos de los datos debido a la gran cantidad de hojas que ocupa.

2.- Zonas de estudio

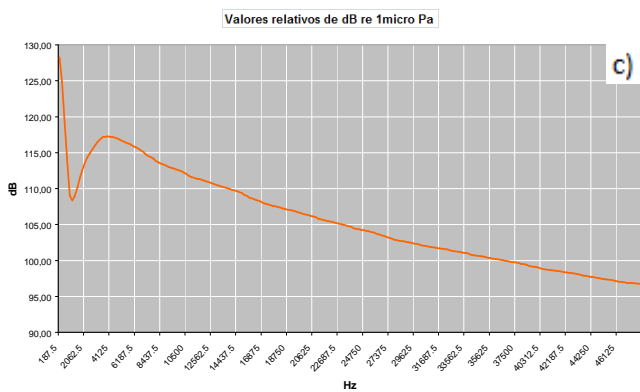
Es importante resaltar, antes de continuar, que los resultados de ruido obtenido mediante los instrumentos mencionados, no son valores absolutos de la zona, puesto que no se pudo realizar una calibración de los mismos. Sin embargo, son valores perfectamente válidos puesto que todos presentan el mismo error sistemático, por ello se califican de valores de presión sonora relativos y son perfectamente validos. Se presentan las graficas obtenidas para una mejor comprensión de la importancia de los valores de ruido obtenidos, y de la elección de las zonas de muestreo en aquellos puntos en que los valores de ruido ambiente eran más bajos y por tanto, tenían menos posibilidad de enmascarar los pulsos de ecolocación de delfines. (Esteban y Castellote, 2007). Como se puede ver, la gráfica (d) de la estación 4 (Islote la Ferrera) muestra valores en dB más elevados que el resto de las zonas con respecto a la estación de referencia.



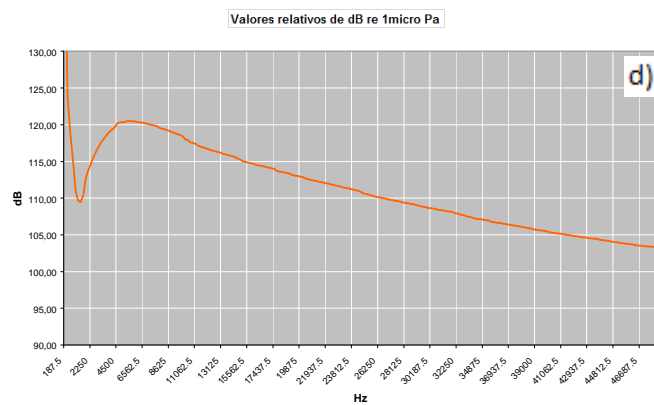
Estación 1 (isla Grossa). Profundidad = 49 m;



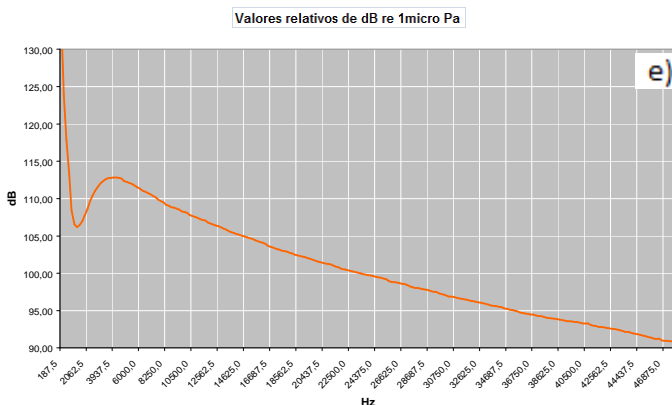
Estación 2 (Isla Grossa). Profundidad = 48 m:



Estación 3 (Isla Grossa). Profundidad = 49,5 m;



Estación 4 (Islote La Ferrera). Profundidad = 30 m:



Estación de referencia (posición R). Profundidad = 58

Fig. 19. Graficas de análisis de frecuencias.

3.- Emisión acústica del cangrejo pistola

Frecuencia espectral:

En la imagen se ve claramente que el sonido generado por el cangrejo pistola tiene un pico de energía que se sitúa a relativamente baja frecuencia, entre los 2kHz y 5kHz. Como se ha comentado ya anteriormente la energía entre los 80 y los 200 KHz es asociada con el rápido aumento y las porciones oscilatorias de la señal principal (Au and Banks, 1998).

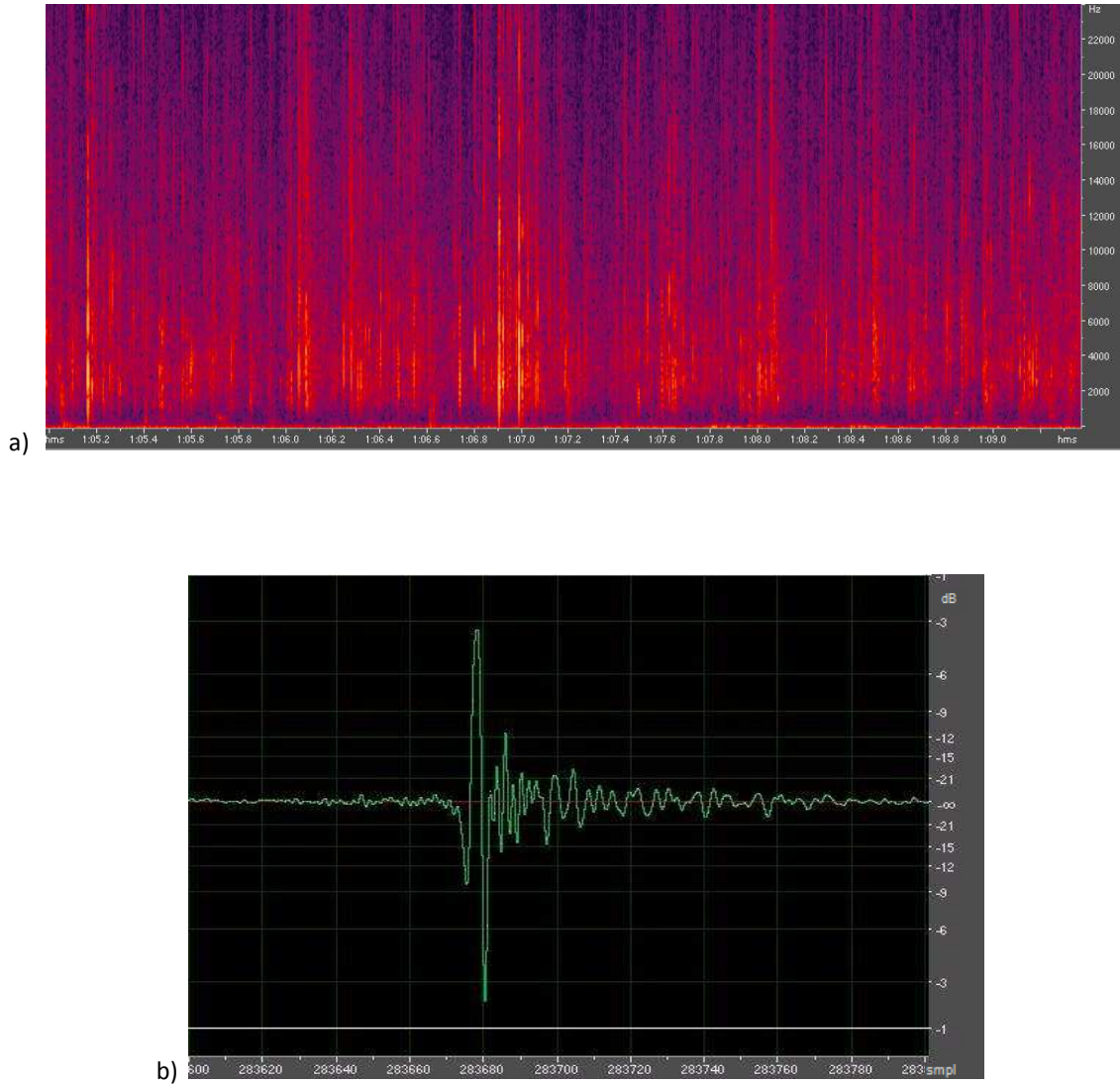


Fig. 29. Representación gráfica de los pulsos de cangrejos pistola mediante la utilización del programa Adobe Audition a) espectrograma de dos segundos de duración de pulsos de cangrejo pistola grabados en la Reserva Marina de las Islas Columbretes (FTT=512 puntos, Hanning window, 75% overlap) b) Forma de onda de un pulso aislado de cangrejo pistola (número de muestras versus nivel de presión acústica relativo en dB)

4.- Patrones temporales

El grueso de este trabajo lo constituye el análisis de datos para la elaboración de patrones temporales, patrón diario y patrón estacional. Además se ha intentado relacionar estos patrones con tres parámetros físico-químicos y oceanográficos: Tº del agua, Fase lunar y luz.

4.1.- PATRÓN DIARIO:

El patrón diario total se ha calculado en base a todas las detecciones de pulsos registrados en el periodo de un año. Como se puede observar se sigue un claro patrón marcado por la luz del día, obteniendo una cantidad de pulsos significativamente mayor en las horas nocturnas. Se observa claramente un aumento y un rápido descenso posterior en las primeras horas de luz. Esto, y el nivel máximo observado a las 22h de la noche (horas posteriores al atardecer) se podría deber a la actividad biológica del cangrejo pistola. Es importante destacar que en este trabajo se han tomado valores horarios UTM, sin modificaciones entre el calendario de verano e invierno.



Fig. 21. Patrón diario encontrado para la emisión acústica del cangrejo pistola. Se refleja en el eje vertical los pulsos obtenidos para cada una de las horas. (Datos en anejo 1)

Con el objeto de identificar si realmente existe un patrón en base a las horas de luz, se ha analizado la tasa de producción de pulsos en invierno y en verano del año 2007. El periodo de invierno abarca hasta el 21 de junio, por lo que realmente se tienen registros de invierno y primavera. El periodo de verano se extiende desde el 21 de junio, hasta el 23 de septiembre.

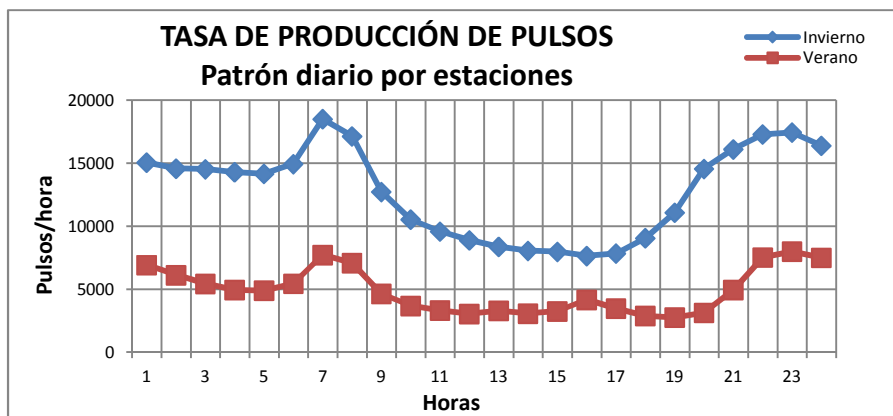


Fig. 22. Tasa de producción de pulsos para las estaciones de invierno y verano. (Datos en anejo 1)

Aunque a simple vista parece que sí que se observa una clara diferencia en la tasa de producción de pulsos por hora entre invierno y verano es importante aclarar que esta diferencia podría deberse a la diferencia del tamaño muestral en cada uno de los dos periodos afectado por las dificultades técnicas encontradas, fundamentalmente al gran volumen de pulsos registrado en invierno de 2006.

Lo que sí que se puede afirmar, observando los perfiles de invierno y verano, y también la gráfica 23 presentada debajo, donde se muestra la tasa de producción de pulsos por meses, es que se ha encontrado un patrón diario en la emisión acústica del cangrejo pistola claramente estable a lo largo del año. Por los datos obtenidos, parece que la producción de pulsos del cangrejo pistola se incrementa unos intervalos de tiempo concretos. Para el amanecer este incremento parece independiente de la hora de la salida del sol, siendo prácticamente igual en verano y en invierno. Para la puesta del sol parece que se produce un retardo en los valores estivales al alargarse el periodo diurno, de tal forma que mientras en invierno este incremento se produce entre las 18 y 19 horas en verano se prolonga hasta las 20-21 horas.

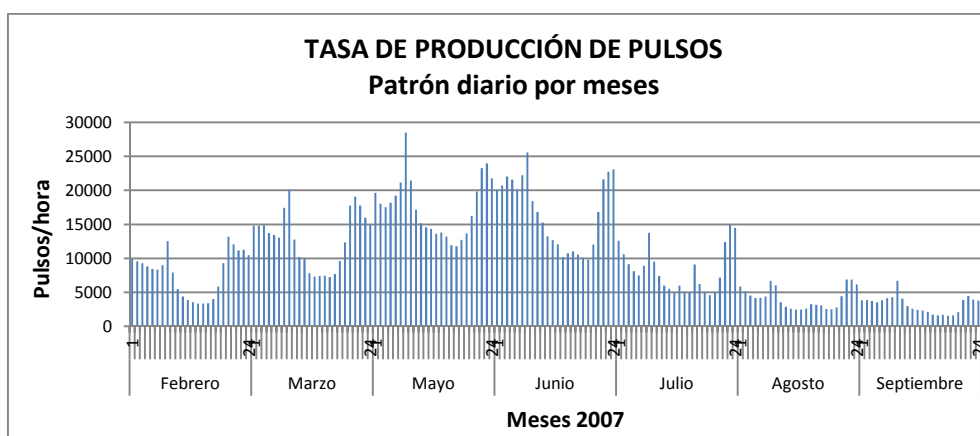


Fig. 23. Patrón diario por meses para el año 2007. (Datos en anejo 1). Obsérvese que todos los meses presentan una distribución diaria similar, con valores máximos en los extremos y una importante reducción de los mismos en la zona central.

4.2.- PATRÓN ESTACIONAL:

El análisis del patrón estacional se ha estudiado en base a las detecciones generadas por meses durante todo el periodo de muestreo. Para ello se ha realizado en análisis de la tasa mensual de pulsos generados.

En primer lugar se presenta la tasa de días muestreados cada mes con objeto de identificar aquellos meses en los que la cantidad de datos registrados es insuficiente para un correcto análisis. Así, se observa que en el mes de noviembre de 2006 la cantidad de días registrados es realmente baja en comparación con los otros meses de estudio; aun así los registros obtenidos este mes se mantienen en el resto de análisis. El mes de agosto de 2006 directamente se ha eliminado debido a que únicamente se registraba los 3 últimos días del mes.

Año	Mes	Días / MES	% (xdías/ndías mes)x100
2006	9	22	73,3
	10	31	100,0
	11	8	26,7
	12	0	
	1	0	
2007	2	27	90,0
	3	17	54,8
	4	0	
	5	23	74,2
	6	20	66,7
	7	28	90,3
	8	31	100,0
	9	20	66,7

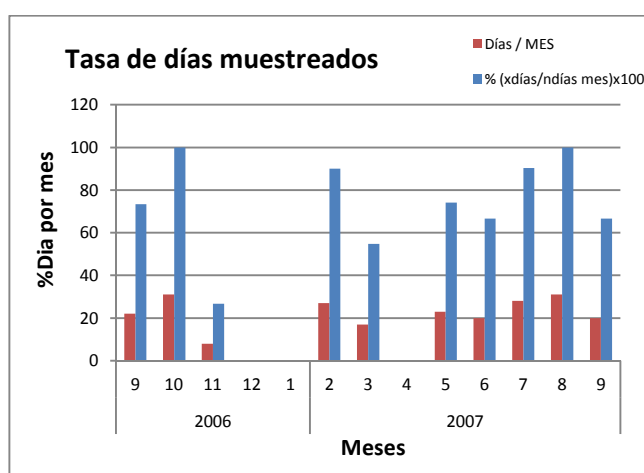


Fig. 24. Tasa de días muestreados por mes

En el análisis de la tasa mensual de pulsos se han tomado los siguientes datos:

Año	Mes	Horas cada mes	Pulsos cada mes	%Pulsos	Pulsos cada hora
2006	8	216	3222805	2,019508669	14920,39352
	9	1584	30338982	19,01133862	19153,39773
	10	2232	37689095	23,61714534	16885,79525
	11	456	5588332	3,501820594	12255,11404
2007	2	1848	14518954	9,098022831	7856,57684
	3	696	8915356	5,586636092	12809,41954
	5	1320	23121125	14,48840758	17516,00379
	6	744	12373928	7,75388361	16631,62366
	7	1200	9950021	6,234988982	8291,684167
	8	2232	9254257	5,799001875	4146,172491
	9	1440	4610763	2,889245812	3201,91875
Total general		13968	159583618		

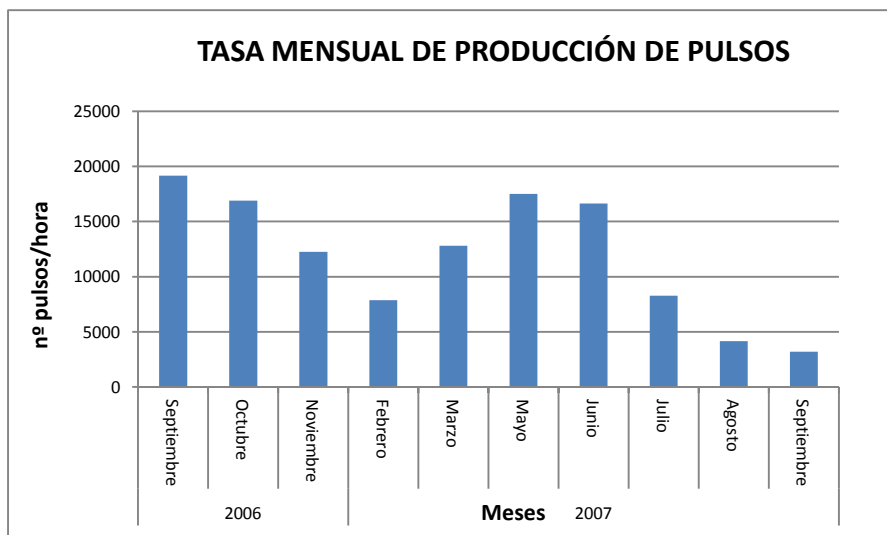


Fig. 25. Tasa mensual de producción de pulsos para todo el periodo de muestreo

Si nos atenemos a los datos de 2007, parece observarse un claro aumento en los meses de mayo y junio y un descenso a partir de julio, lo que podría indicar un posible patrón estacional. Sin embargo comparando el mes de septiembre se observa una gran diferencia entre un año y otro. Por lo que, debido a que no se tienen registros de estos meses en el 2006, y a la discontinuidad en el periodo de muestreo, no se puede indicar que exista ningún patrón estacional claro.

Lo que sí que se puede indicar es que parece ser que los registros de pulsos obtenidos en el mes de septiembre para el año 2006 son mayores que en el 2007, como se puede observar en la grafica 25. Es muy posible que si se tuvieran datos de octubre y noviembre de 2007 observáramos una diferencia de datos similar.

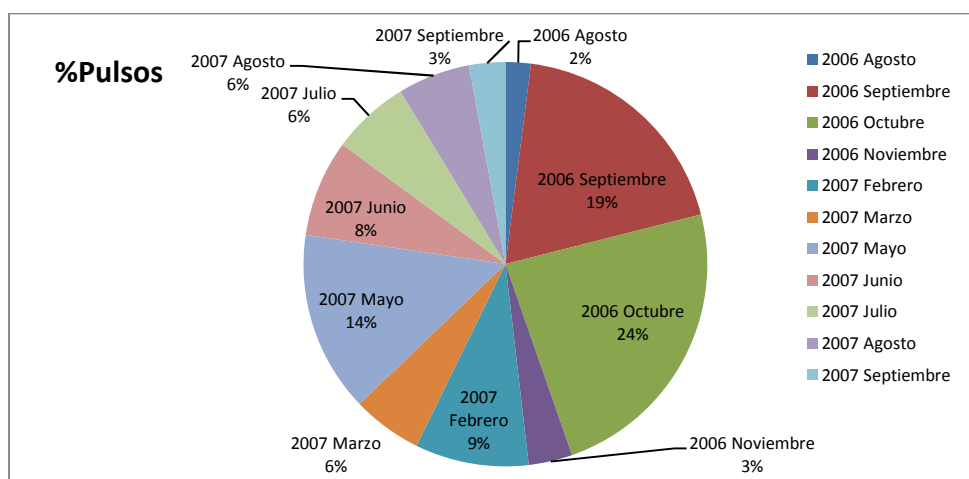


Fig. 26. Porcentaje de pulsos registrados para cada mes. (Datos en la tabla anterior)

4.3.- Influencia de la Temperatura:

Se ha estudiado la influencia de la temperatura en la producción de pulsos de cangrejo pistola. Para ello, se han tomado todos los registros de pulsos y las horas para cada temperatura obtenidos por el software y se han dividido en intervalos como se presenta en la tabla.

degC	Horas	Pulsos	%Pulsos
[13-14]	2380	19896704	12,4678863
[14-15]	20	180814	0,11330361
[15-16]	272	4005607	2,51003646
[16-17]	744	12932189	8,10370711
[17-18]	615	13234174	8,29294019
[18-19]	459	5890053	3,69088825
[19-20]	199	957151	0,59978024
[20-21]	642	5537333	3,46986305
[21-22]	1390	26152131	16,3877291
[22-23]	1057	13391360	8,39143777
[23-24]	3686	26112986	16,3631996
[24-25]	2262	28172082	17,6534925
[25-26]	242	3121034	1,95573583

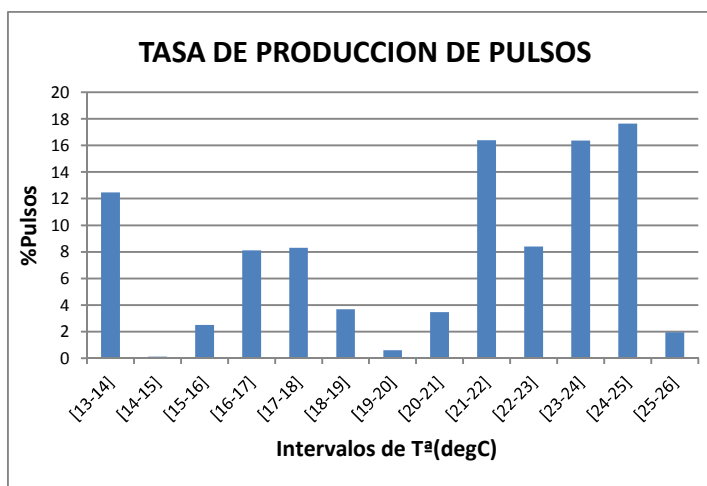


Fig. 27. Tasa de producción de pulsos para cada temperatura

Como se puede observar, aunque se obtengan mayores porcentajes entre los 20° y los 25°, realmente no existe una influencia clara de la temperatura puesto que también se obtiene un elevado porcentaje en los 13°. Lo que sí se ve claramente es que el T-POD no ha registrado datos a temperaturas inferiores a los 13°. Como se ha dicho anteriormente, los cangrejos pistola se distribuyen idealmente en aguas con temperaturas superiores a 11°.

Esto abre un abanico de posibilidades de estudio en las diferentes partes del mundo donde actualmente se registran valores de temperatura superiores a los 11 grados debido al calentamiento del agua, que anteriormente no se habían registrado. Es muy posible que este aumento de la temperatura permita una mayor distribución de las poblaciones de cangrejo pistola.

No se tiene conocimiento de posibles valores máximos para idóneos biológicamente hablando para el cangrejo pistola. Es más que probable que a una temperatura máxima dada se dé una disminución de la actividad biológica. Los posibles estudios de estos aspectos son de vital importancia con objeto de evitar una posible disminución de las poblaciones.

4.-4.- Influencia de ciclos lunares:

Por último se ha estudiado la posible influencia de los ciclos lunares durante todo el periodo de muestreo. Para ello se han tomado los pulsos registrados en cada fase lunar y el número total de horas de cada fase lunar obteniendo los siguientes resultados.

Para identificar los días pertenecientes a cada fase lunar durante el periodo de estudio se han usado los datos astronómicos del Instituto Geográfico Nacional proporcionados en la página del Ministerio de Fomento⁶, que indican los días concretos del mes en los que se da la etapa completa de cada fase lunar. Posteriormente se han seleccionado tres días anteriores y tres días posteriores a la fecha dada, para completar los 7 días de cada fase lunar en un ciclo lunar de 28 días. Debido a que los meses tienen 30 ó 31 días, quedaban algunos días entre fases; éstos se han dividido en dos periodos de 12h perteneciendo las primeras 12h (00:50 a 11:59) del día a una fase y las otras 12h (12:59 a 23:59) a la otra fase

Luna	Hora	PULSOS	Pulsos/hora
Creciente	3396	42448644	12499,6007
Llena	3432	40687220	11855,2506
Menguante	4152	48028013	11567,4405
Nueva	2988	28419741	9511,29217
Total	13968	159583618	11424,944

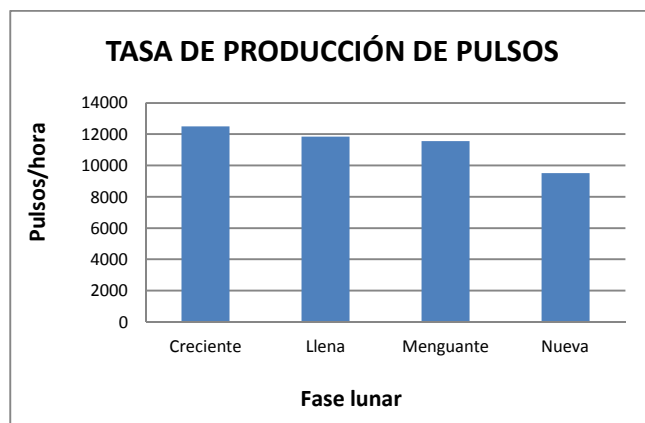


Fig. 28.- Tasa de producción de pulsos por fase lunar.

No se encuentran posibles influencias de los ciclos lunares en la emisión acústica del cangrejo pistola, pues se observa que la tasa de pulsos es muy similar en todos los ciclos.

Sin embargo es importante indicar que en el mar Mediterráneo la influencia de los ciclos lunares en las mareas no es apreciable en comparación con otras partes del mundo.

6

http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Astronomia/publico/efemerides/

Conclusiones

Los cangrejos pistola son la fuente biológica de sonido continuo más importante en ambientes mediterráneos donde se dan las condiciones de establecimiento de estos decápodos, tal y como ocurre en el área de estudio. Las unidades de detección acústica T-POD, aunque construidas para el estudio de los odontocetos, constituyen una herramienta muy potente para el estudio de las tasas de producción de pulsos y patrones estacionales de los cangrejos pistola. Los datos utilizados para el presente informe no son continuos debido a diferentes problemas logísticos durante el período de muestreo.

El patrón diario de emisión de pulsos de estos animales muestra una distribución muy marcada, con mayor tasa de producción durante el periodo nocturno y una disminución acusada durante el diurno, presentando dos importantes picos en la interfase entre ambos periodos. Esta distribución se mantiene si se estudia de forma separada los periodos primavera-verano y otoño-invierno.

El patrón anual no muestra una tendencia clara, aunque si se considera exclusivamente el año 2007 parece existir un incremento en la producción de pulso primaveral que desaparece en verano. Sin embargo, las altas tasas de producción de pulsos del otoño de 2006 no encajan en esta descripción del patrón.

Ninguno de los dos factores con los que se ha intentado relacionar la tasa de producción de pulsos de estos decápodos (temperatura y fase lunar) parece tener una relación directa con los mismos.

Bibliografía

ALBERS, V. M. (1965). "Underwater acoustics Handbook-II" (The Pennsylvania State University Press, University Park, PA).

AU, W. 2000. Echolocation in dolphins. *Hearing by Whales and Dolphins*. Eds. W. Au, A.N. Popper y R.R. Fay. p. 364-408. Springer, NY. 485 p.

AU, W., & HASTINGS, M. 2008. *Principles of marine bioacoustics*. Springer. New York, USA. pp 679

AU, W., & BANKS. K. 1998. "The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay." *Journal of the Acoustical Society of America* 103 (1): pp 41-43

AU, W. W. L., AND PENNER, R. H. (1981). "Target detection in noise by echolocating Atlantic bottlenose dolphins," *J. Acoust. Soc. Am.* 70, 687–693

BROOKS, W.K. AND HERRICK, F.H. (1891) "The embryology and metamorphosis of the *Macrura*." *Mem. Nat. Acad. Sci.* Washington, 5: 321 – 576.

CARTENSEN, J.; HENRIKSEN, O.D.; TIELMANN, J. (2006). "Impacts of offshore wind farm construction on harbour porpoises: acoustic monitoring of echo-location activity using porpoise detectors (T-PODs)." *Marine Ecology Progress Series*, 321: 295-308.

CASTELLOTE, M.; ESTEBAN, J.A. (2007). "Análisis de la presencia estacional de delfín mular (*Tursiops truncatus*) en la Reserva Marina de las islas Columbretes". Parques Reunidos Valencia S.A. Dpto. Investigación. L'Oceanogràfic. Ciudad de las Artes y las Ciencias.

CATO, D. (1993). "The biological contribution to the ambient noise in waters near Australia," *Acoust. Australia* 20, 76–80.

CATO, D. H. & BELL, M. J. (1992). "Ultrasonic ambient noise in Australian shallow waters at frequencies up to 200 kHz," *Material Research Laboratory*. Technical Report MRL-TR-91–23, Ascot Vale, Victoria.

EVEREST, F., ET AL. 1948. "Acoustical characteristics of noise produced by snapping shrimp." *Journal of the Acoustical Society of America* 20 (2), pp 137-142

FENTON, M. B. (1995). Natural history and biosonar signals, in *Hearing by Bats*, edited by A. N. Popper and R. R. Fay. *Springer-Verlag*, New York, pp. 37–86.

FERGUSON, B., & CLEARY, J. 2002. "In situ source level and source position estimates of biological transient signals produced by snapping shrimp in an underwater environment." *Journal of the Acoustical Society of America* 109 (6): pp 3031-3037

JOHNSON, M.W.; EVEREST, F.A.; YOUNG, R.W. (1947) "The role of snapping shrimp (*Crangon* and *Synalpheus*) in the production of underwater noise in the sea." *Bio. Bull.* 93, 122-138.

KNOWLTON, R. E. & MOULTON, J. M. (1963). "Sound production in the snapping shrimp *Alpheus* (*Crangon*) and *Synalpheus*," *Biol. Bull.* 125, 311 – 331

KOSCHINSKI, S.; CULIK, B.M.; HENRIKSEN, O.D.; TREGENZA, N.; ELLIS, G.; JANSEN, C.; KATHE, G. (2003). "Behavioural reactions of free-ranging porpoises and seals to the noise of a simulated 2 MW windpower generator." *Marine Ecology Progress Series Vol. 265: 263–273*

LAMMERS, M.O., STIEB, S., AU, W.W.L, MOONEY, T.A., BRAINARD, R.E. AND WONG, K. (2006). "Temporal, geographic, and density variations in the acoustic activity of snapping shrimp." *J. Acoust. Soc. Am.* 120, 3013 (4rd Joint Meeting of the ASA and ASJ, Honolulu, HI).

LEENEY, R.H.; TREGENZA, N. (2006). "Static Acoustic Monitoring of Cetaceans." *Proceedings of the European Cetacean Society, Gdnyia, Poland. Special Issue, 46.* 20th Annual Meeting, April 2006.

LEENEY, R.H.; BERROW, S.; MCGRATH, D.; O'BRIEN, J.; COSGROVE, R.; GODLEY, B.J. (2007). "Effects of pingers on the behaviour of bottlenose dolphins." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87: pp 129-133

LOHSE, D.; SCHMITZ, B.; VERSLUIS, M. (2001) "Snapping shrimp make flashing bubbles". *Nature* 413, 477-478

MEDITERRANEA. Serie de estudios biológicos. 2011 época II. Número especial

PHILPOTT, E., ENGLUND A.; INGRAM S.; ROGAN E. (2007) "Using T-PODs to investigate the echolocation of coastal bottlenose dolphins." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 87, 11-17.

PYE, J. D. (1980). Echolocation signals and echoes in air, in *Animal Sonar Systems*, edited by R.-G. Busnel and J. F. Fish. *Plenum*, New York, pp. 309–353.

REDHEAD, M. 1996. "Snapping shrimp noise near Gladstone, Queensland." *Journal of the Acoustical Society of America* 101 (3): pp 1718-1722

SENOIR, B. (2006). "Using T-PODs in areas with dolphins and porpoises." *Proceedings of the European Cetacean Society, Gdnyia, Poland. Special Issue, 46: 43-44.* 20th Annual Meeting, April 2006.

SIMON, M., ET AL. 2010. "Passive acoustic monitoring of bottlenose dolphin and harbour porpoise, in Cardigan Bay, Wales, with implications for habitat use and partitioning." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 90, pp 1539-1545, doi: 10.1017/ S0025315409991226

URICK, R. J. (1983). Principles of Underwater Sound. *McGraw-Hill*, New York.

VERFUß, U.K.; MEDING, A.; HONNEF, C.G.; DÄHNE, M.; BENKE, H. (2007). "Geographical and seasonal variation of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) presence in the German Baltic Sea revealed by passive acoustic monitoring". *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 87, 165-176.

VERSLUIS, M.; SCHMITZ, B.; VON DER HEYDT, A.; LOHSE, D. (2000) "How snapping shrimp snap: through cavitating bubbles". *Science* 289, 2114-2117

ZARIQUIEY, R., 1996. *Crustáceos Decápodos Ibéricos*. Inv. Pesq., Barcelona, 32: i-xv + 1-510.

PAGINAS WEB

TREGENZA, N. *Chelonia Ltd, Cetacean Monitoring System*. 2006. <<http://www.chelonia.co.uk>> (15 de noviembre de 2011).

Archivos de video del cangrejo pistol y archivos de audio se pueden encontrar en Science Online (acceso: <http://www.sciencemag.org/site/feature/data/1052273.xhtml>; y también en: <http://stilton.tnw.utwente.nl/shrimp/>) (21 de diciembre de 20011)

Anexo 1: Datos de los análisis

Figura 21: Patrón diario encontrado para la emisión acústica del cangrejo pistola

Hora	Pulsos
0:59:00	7875232
1:59:00	7492580
2:59:00	7230572
3:59:00	6974537
4:59:00	6906012
5:59:00	7191109
6:59:00	8494088
7:59:00	8875972
8:59:00	7264566
9:59:00	5970733
10:59:00	5464947
11:59:00	5190007
12:59:00	5024047
13:59:00	4753959
14:59:00	4625538
15:59:00	4665486
16:59:00	4554781
17:59:00	4822636
18:59:00	5554802
19:59:00	7016621
20:59:00	8033503
21:59:00	8634463
22:59:00	8643808
23:59:00	8323619
Total general	159583618

Figura 22: Tasa de producción de pulsos para las estaciones de invierno y verano

Año	EST	Hora	Hora	PULSOS	nº pulsos/hora
2007	Inv	0:59:00	192	2891654	15060,69792
		1:59:00	192	2800806	14587,53125
		2:59:00	192	2791701	14540,10938
		3:59:00	192	2745533	14299,65104
		4:59:00	192	2720142	14167,40625
		5:59:00	192	2869416	14944,875
		6:59:00	192	3554865	18514,92188
		7:59:00	192	3293422	17153,23958
		8:59:00	192	2445095	12734,86979

9:59:00	192	2023749	10540,35938	
10:59:00	192	1841243	9589,807292	
11:59:00	192	1707292	8892,145833	
12:59:00	192	1607468	8372,229167	
13:59:00	192	1547165	8058,151042	
14:59:00	192	1532346	7980,96875	
15:59:00	192	1468699	7649,473958	
16:59:00	192	1506831	7848,078125	
17:59:00	192	1739623	9060,536458	
18:59:00	192	2128695	11086,95313	
19:59:00	192	2796482	14565,01042	
20:59:00	192	3094315	16116,22396	
21:59:00	192	3322337	17303,83854	
22:59:00	192	3351352	17454,95833	
23:59:00	192	3149132	16401,72917	
<hr/>				
Ver	0:59:00	203	1405522	6923,753695
	1:59:00	203	1243208	6124,17734
	2:59:00	203	1104190	5439,359606
	3:59:00	203	1004521	4948,37931
	4:59:00	203	994161	4897,344828
	5:59:00	203	1105145	5444,064039
	6:59:00	203	1567728	7722,79803
	7:59:00	203	1437619	7081,866995
	8:59:00	203	942989	4645,26601
	9:59:00	203	748269	3686,054187
	10:59:00	203	674094	3320,660099
	11:59:00	203	619093	3049,719212
	12:59:00	203	669207	3296,586207
	13:59:00	203	624277	3075,256158
	14:59:00	203	660053	3251,492611
	15:59:00	203	846010	4167,536946
	16:59:00	203	704385	3469,876847
	17:59:00	203	585523	2884,349754
	18:59:00	203	560803	2762,576355
	19:59:00	203	636276	3134,364532
	20:59:00	203	1005067	4951,068966
	21:59:00	203	1528983	7531,935961
	22:59:00	203	1624226	8001,1133
	23:59:00	203	1523692	7505,871921

Figura 23.- Patrón diario por meses para el año 2007

Año	Mes	Hora	Horas	Pulsos	Pulsos / hora	
2007	Febrero	1	0:59:00	77	761040	9883,636364
			1:59:00	77	737148	9573,350649
			2:59:00	77	714234	9275,766234
			3:59:00	77	680349	8835,701299
			4:59:00	77	651372	8459,376623
			5:59:00	77	641278	8328,285714
			6:59:00	77	692158	8989,064935
			7:59:00	77	964675	12528,24675
			8:59:00	77	610685	7930,974026
			9:59:00	77	422444	5486,285714
			10:59:00	77	339995	4415,519481
			11:59:00	77	299761	3893
			12:59:00	77	274366	3563,194805
			13:59:00	77	258279	3354,272727
			14:59:00	77	258387	3355,675325
			15:59:00	77	261787	3399,831169
			16:59:00	77	310838	4036,857143
			17:59:00	77	449138	5832,961039
			18:59:00	77	713490	9266,103896
			19:59:00	77	1016809	13205,31169
			20:59:00	77	929670	12073,63636
			21:59:00	77	859376	11160,72727
			22:59:00	77	866946	11259,03896
			24	23:59:00	77	804729
Marzo	1	0:59:00	29	428993	14792,86207	
		1:59:00	29	428374	14771,51724	
		2:59:00	29	431785	14889,13793	
		3:59:00	29	396897	13686,10345	
		4:59:00	29	389436	13428,82759	
		5:59:00	29	377855	13029,48276	
		6:59:00	29	505500	17431,03448	
		7:59:00	29	581769	20061	
		8:59:00	29	370780	12785,51724	
		9:59:00	29	294965	10171,2069	
		10:59:00	29	290118	10004,06897	
		11:59:00	29	226480	7809,655172	
		12:59:00	29	211531	7294,172414	
		13:59:00	29	214508	7396,827586	
		14:59:00	29	215668	7436,827586	
		15:59:00	29	210989	7275,482759	
		16:59:00	29	222493	7672,172414	
		17:59:00	29	279075	9623,275862	
		18:59:00	29	358562	12364,2069	
		19:59:00	29	515252	17767,31034	
20:59:00	29	553317	19079,89655			

		21:59:00	29	515425	17773,27586
		22:59:00	29	463103	15969,06897
	24	23:59:00	29	432481	14913,13793
Mayo	1	0:59:00	55	1080007	19636,49091
		1:59:00	55	992613	18047,50909
		2:59:00	55	962930	17507,81818
		3:59:00	55	1000388	18188,87273
		4:59:00	55	1056265	19204,81818
		5:59:00	55	1161583	21119,69091
		6:59:00	55	1565317	28460,30909
		7:59:00	55	1176880	21397,81818
		8:59:00	55	942261	17132,01818
		9:59:00	55	833521	15154,92727
		10:59:00	55	800879	14561,43636
		11:59:00	55	788790	14341,63636
		12:59:00	55	748126	13602,29091
		13:59:00	55	758634	13793,34545
		14:59:00	55	725682	13194,21818
		15:59:00	55	654614	11902,07273
		16:59:00	55	646857	11761,03636
		17:59:00	55	699045	12709,90909
		18:59:00	55	752038	13673,41818
		19:59:00	55	892591	16228,92727
		20:59:00	55	1089492	19808,94545
		21:59:00	55	1277984	23236,07273
		22:59:00	55	1317101	23947,29091
	24	23:59:00	55	1197527	21773,21818
Junio	1	0:59:00	31	621614	20052,06452
		1:59:00	31	642671	20731,32258
		2:59:00	31	682752	22024,25806
		3:59:00	31	667899	21545,12903
		4:59:00	31	623069	20099
		5:59:00	31	688700	22216,12903
		6:59:00	31	791890	25544,83871
		7:59:00	31	570098	18390,25806
		8:59:00	31	521369	16818,35484
		9:59:00	31	472819	15252,22581
		10:59:00	31	410251	13233,90323
		11:59:00	31	392261	12653,58065
		12:59:00	31	373445	12046,6129
		13:59:00	31	315744	10185,29032
		14:59:00	31	332609	10729,32258
		15:59:00	31	341309	11009,96774
		16:59:00	31	326643	10536,87097
		17:59:00	31	312365	10076,29032
		18:59:00	31	304605	9825,967742
		19:59:00	31	371830	11994,51613
		20:59:00	31	521836	16833,41935

		21:59:00	31	669552	21598,45161
		22:59:00	31	704202	22716,19355
	24	23:59:00	31	714395	23045
Julio	1	0:59:00	50	629220	12584,4
		1:59:00	50	531130	10622,6
		2:59:00	50	456783	9135,66
		3:59:00	50	405991	8119,82
		4:59:00	50	374445	7488,9
		5:59:00	50	444357	8887,14
		6:59:00	50	688086	13761,72
		7:59:00	50	475804	9516,08
		8:59:00	50	369098	7381,96
		9:59:00	50	300104	6002,08
		10:59:00	50	276409	5528,18
		11:59:00	50	245423	4908,46
		12:59:00	50	298564	5971,28
		13:59:00	50	253927	5078,54
		14:59:00	50	252305	5046,1
		15:59:00	50	455304	9106,08
		16:59:00	50	312235	6244,7
		17:59:00	50	252983	5059,66
		18:59:00	50	228318	4566,36
		19:59:00	50	250240	5004,8
		20:59:00	50	358533	7170,66
		21:59:00	50	619855	12397,1
		22:59:00	50	748332	14966,64
	24	23:59:00	50	722575	14451,5
Agosto	1	0:59:00	93	546037	5871,365591
		1:59:00	93	479865	5159,83871
		2:59:00	93	422359	4541,494624
		3:59:00	93	386047	4151,043011
		4:59:00	93	390152	4195,182796
		5:59:00	93	410594	4414,989247
		6:59:00	93	621680	6684,731183
		7:59:00	93	561170	6034,086022
		8:59:00	93	329615	3544,247312
		9:59:00	93	269554	2898,430108
		10:59:00	93	242350	2605,913978
		11:59:00	93	228744	2459,612903
		12:59:00	93	230706	2480,709677
		13:59:00	93	243440	2617,634409
		14:59:00	93	304885	3278,333333
		15:59:00	93	294734	3169,182796
		16:59:00	93	288149	3098,376344
		17:59:00	93	238117	2560,397849
		18:59:00	93	235895	2536,505376
		19:59:00	93	260440	2800,430108
		20:59:00	93	415154	4464,021505

		21:59:00	93	640026	6882
		22:59:00	93	640326	6885,225806
	24	23:59:00	93	574218	6174,387097
Septiembre	1	0:59:00	60	230265	3837,75
		1:59:00	60	232213	3870,216667
		2:59:00	60	225048	3750,8
		3:59:00	60	212483	3541,383333
		4:59:00	60	229564	3826,066667
		5:59:00	60	250194	4169,9
		6:59:00	60	257962	4299,366667
		7:59:00	60	400645	6677,416667
		8:59:00	60	244276	4071,266667
		9:59:00	60	178611	2976,85
		10:59:00	60	155335	2588,916667
		11:59:00	60	144926	2415,433333
		12:59:00	60	139937	2332,283333
		13:59:00	60	126910	2115,166667
		14:59:00	60	102863	1714,383333
		15:59:00	60	95972	1599,533333
		16:59:00	60	104001	1733,35
		17:59:00	60	94423	1573,716667
		18:59:00	60	96590	1609,833333
		19:59:00	60	125596	2093,266667
		20:59:00	60	231380	3856,333333
		21:59:00	60	269102	4485,033333
		22:59:00	60	235568	3926,133333
	24	23:59:00	60	226899	3781,65

