



I+D+i **GIZC** GESTIÓ INTEGRADA DE LA ZONA COSTANERA

Investigació per a la Sostenibilitat de la Zona Costanera de les Illes Balears



Avaluar l'aplicabilitat d'un sistema de telemetria acústica a la gestió de la reserva marina de la Badia de Palma

Evaluación de la aplicabilidad de un sistema de telemetría acústica a la gestión de la Reserva Marina de la Bahía de Palma.

ACRONIMO: TRACKING

**INFORME PRELIMINAR A 15/01/2008 Y
SOLICITUD DE PRORROGA A 1/06/2008**

DATOS TÉCNICOS DEL PROYECTO

Título: Evaluación de la aplicabilidad de un sistema de telemetría acústica a la gestión de la Reserva Marina de la Bahía de Palma.

Acrónimo: **TRACKING**

Investigadores Principales:

Antoni Grau y Miguel Palmer

Centros participantes:

Direcció General de Pesca del Govern Balear (DGPGB)

Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA)

Laboratori de Investigacions Marinas i Aquicultura (LIMIA)

ALBATROS

Investigadores participantes:

DGPGB:

Antoni Grau

Francesc Riera

Sergi Martino

Margarita Cerdà

IMEDEA

Miquel Palmer

Beatriz Morales

Alberto Álvarez

Miguel Martínez

David March

Josep Alos

Federico Cardona

Marta Linde

Itziar Alvarez

LIMIA:

Elena Pastor

Amalia Grau

Fecha de inicio: 01/04/2006; **Fecha de finalización:** 31/3/2008

Duración: Dos años.

Resumen

1. Inserción del proyecto TRACKING en la línea de investigación del IMEDEA “Efectos de la pesca recreativa en peces litorales”
2. Resumen de la propuesta
3. Conclusiones
4. Recomendaciones

Memoria

1. Introducción y justificación del proyecto
2. Especies objetivo del proyecto
3. Ámbito geográfico
4. Esquema general de la propuesta y justificación de la solicitud de prórroga
5. Descripción detallada de las diferentes Tareas

Tarea 1: Desarrollo de la técnica de implantación de transmisores

Tarea 2: Desarrollo de un sistema móvil de detección acústica

Tarea 3: Evaluación de la precisión del sistema móvil. Problemas detectados.

Tarea 4: Descripción del patrón de movimiento de *Coris julis* mediante marcas externas.

Tarea 5: Instalación y puesta a punto del sistema fijo de detección acústica.

Tarea 6: Seguimiento continuo mediante una red fija de hidrófonos.

Tarea 7: Análisis de los datos de red fija: Estima del home range de *Serranus scriba*.

Tarea 8: Elaboración de mapas ambientales de detalle.

Tarea 9: Estima del flujo neto de individuos de *Serranus scriba* a través de los límites de la reserva.

6. Transferencia de conocimientos y actividades de divulgación
7. Publicaciones y comunicaciones a congresos

RESUMEN

1. Inserción del proyecto TRACKING en la línea de investigación del IMEDEA “Efectos de la pesca recreativa en peces litorales”

La pesca recreativa es una actividad en auge en las Baleares, donde es practicada por un porcentaje elevado de la población (del orden del 10%). Las consecuencias de esta actividad son poco conocidas, pero probablemente son relevantes.

Debido a su relevancia socioeconómica y ecológica, en el IMEDEA se ha consolidado una línea de investigación dedicada al estudio de los efectos de la pesca recreativa. El proyecto TRACKING forma parte de esta línea que tiene continuidad en otros cuatro proyectos de investigación, finalizados o en curso, entre los que destaca el proyecto ROQUER (<http://www.roquer.org>), financiado por el Plan Nacional de I+D. Los otros proyectos son BADIA (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), DONZELLA (Govern de les Illes Balears) y TALACA (Parques Nacionales). El objetivo general de toda la línea de investigación es poder predecir la evolución de las capturas en diferentes escenarios de presión pesquera y medidas de gestión.

2. Resumen de la propuesta

El análisis del movimiento de los peces es un campo complejo relacionado con el estudio del comportamiento y de la ecología de las especies (Turchin, 1998). El movimiento de los seres vivos repercute en muchos aspectos, entre los que destacan tres.

1) Conocer el rango espacial dentro del que se mueve habitualmente un individuo es esencial para una correcta interpretación de los patrones de distribución espacial, de su variación y de sus posibles causas.

2) Además, sólo en el caso de que un individuo se mantenga relativamente fiel a un área concreta se podrá asumir que experimentará durante un periodo de tiempo relevante unas mismas condiciones ambientales. Sólo en este supuesto cabe preguntarse si la presión pesquera u otras variables ambientales pueden modificar o modular ciertas características de la historia vital individual. Muchas de estas características (por ejemplo, el potencial reproductivo) tienen un fuerte impacto en las variaciones de abundancia y tallas de las especies pescadas.

3) Finalmente, la movilidad es un aspecto clave en la dinámica de las poblaciones (balance emigración-inmigración).

Este proyecto pretende describir los patrones de movimiento a corto y medio plazo de varias especies de peces litorales mediante telemetría acústica. Este método se basa en la detección de la señal acústica emitida por un transmisor que se ha insertado en un pez.

Los objetivos generales inicialmente propuestos (copia textual de la propuesta original) son:

- 1) Evaluar la eficiencia de la telemetría acústica para el posicionamiento espacial en dos dimensiones de peces individuales.
- 2) Determinar el rango de movimiento habitual de dos especies de peces litorales (*Scorpaena porcus* y *Serranus scriba*).

Un tercer objetivo queda supeditado a los resultados obtenidos dentro de los trabajos correspondientes a otros dos proyectos de investigación en curso (proyecto ROQUER [CTM2005-00283/mar] y proyecto DONZELLA [PRIB-2004-9769]).

3) Evaluar si los datos generados mediante este método son adecuados para estimar el flujo neto de individuos desde la Reserva Marina de Cap Enderrocat y las zonas circundantes.

3. Conclusiones

1. La telemetría acústica es una metodología muy adecuada para el estudio de los patrones de movimiento de las especies de peces estudiadas, aunque su uso debe combinarse con otras metodologías. En este caso se han utilizado también marcas externas convencionales.

2. Se ha desarrollado una técnica quirúrgica para la implantación intraperitoneal de transmisores acústicos comerciales. La supervivencia de los individuos intervenidos es prácticamente del 100%.

3. Se han evaluado dos sistemas de telemetría acústica: Un sistema basado en un receptor direccional móvil y una red fija de receptores omnidireccionales. El desarrollo del sistema móvil ha supuesto un gran esfuerzo pero aun presenta una precisión subóptima (error 45 ± 24 metros). La frecuencia de determinaciones también debe mejorarse substancialmente ya que sólo del orden de varias decenas por día de trabajo y depende mucho del estado de la mar. La red fija esta produciendo una gran cantidad de

datos de calidad (mas de 150.000 detecciones solo en aproximadamente la mitad de los experimentos previstos).

4. El rango de movimiento de todas las especies estudiadas es reducido. Los individuos de *Serranus scriba* se mantienen dentro de un área de entre 100 y 486 metros (dependiendo del individuo) de radio durante el 95% del tiempo. *Diplodus annularis* es probablemente más móvil, pero el escaso número de individuos analizados aun no permite precisar el tamaño de su *home range*. *Coris julis* se mantiene (como media de muchos individuos) dentro de un área de 344.6 metros del centro del *home range* durante el 95% del tiempo (en este último caso se ha utilizado un método basado en marcas externas y recapturas).

5. En los casos de *Coris julis* y *Serranus scriba*, los datos se ajustan a un tipo de movimiento con dos componentes. La componente “distancia recorrida por unidad de tiempo” presenta una distribución de tipo exponencial. La componente de “dirección” presenta una distribución normal centrada (= con media) en la dirección definida por el centro del *home range* y sentido hacia este centro.

6. Los datos generados en este proyecto, en combinación con los datos generados por los proyectos BADIA y ROQUER permitirán estimar el flujo neto entre la reserva marina de Cap Enderrocat y las áreas circundantes (caso de que sea concedida la prórroga solicitada).

4. Recomendaciones

La conclusión fundamental del proyecto es que, en contra de lo que se ha venido asumiendo, las especies estudiadas se mantienen durante la mayor parte del tiempo dentro de un *home range* relativamente pequeño. Es plausible que muchas especies litorales semejantes a las estudiadas pasen una parte importante de su vida dentro de un área de pocos km².

Este hecho es muy relevante debido a:

1) Sugiere que las reservas marinas de tamaño pequeño o mediano pueden ser más rentables (en términos de mantenimiento de stocks y flujo neto de adultos) de lo que se viene pensando hasta ahora.

2) Confiere mayor fiabilidad a los mapas de distribución basados en estimas de abundancia por unidad de esfuerzo (<http://www.roquer.org/>).

3) Dado que los individuos encontrados dentro de las zonas de mayor presión pesquera son residentes de esa zona, se confiere justificación teórica a la utilización de diversos índices relacionados con la historia vital (e.g., velocidad de crecimiento) que son indicadores de la presión pesquera (<http://www.roquer.org/>).

Por todo lo anterior, se recomienda potenciar al máximo la utilización de telemetría acústica y otros métodos de descripción del patrón de movimiento para promover una correcta gestión de los recursos de la pesca recreativa. De manera más concreta, se recomienda seguir invirtiendo en el desarrollo tecnológico relacionado con estos métodos, así como en el desarrollo de métodos de análisis de los datos generados.

1. INTRODUCCION Y JUSTIFICACION

La pesca recreativa

Pescar como diversión es una actividad popular en muchas partes del mundo. Esta actividad ha llevado al desarrollo de un sector de sustancial valor económico y social. En el caso del litoral de Mallorca, el volumen de capturas se sitúa entre 1200 y 2700 toneladas/año. Por tanto, la pesca recreativa supone entre un 30 y un 60% del volumen de capturas de la pesca artesanal, cifrada en una media de 4000 t/año (Morales-Nin *et al.*, 2005). No existen estudios globales del retorno económico que genera este sector en Baleares, pero es evidente que el volumen de negocio y en general su relevancia socioeconómica, es muy importante. Un ejemplo: en Baleares hay más de 45.000 licencias de pesca recreativa, pero se estima que, de hecho, el número de pescadores recreativos supone entre el 5 y el 10% de la población (Morales-Nin *et al.*, en revisión). En otros países del Mediterráneo la pesca recreativa es también un sector relevante (Grecia: 96.000 pescadores y 19.000 t/año; Italia: 1.500.000 pescadores y 24.000 t/año; Proyecto Europeo 96/018).

El mantenimiento de este sector depende esencialmente de la capacidad de los ecosistemas de proveer una biomasa suficiente (Post *et al.*, 2002). Típicamente se considera que las pesquerías recreativas son diferentes a las profesionales porque no están controladas por las fuerzas económicas del mercado que, en ciertos casos, las han llevado al colapso. Sin embargo, también es evidente el declive en las capturas de las pesquerías recreativas (Coll *et al.*, 2004) y la desaparición de especies predatoras de gran tamaño (Coll *et al.*, 2004). Esta apreciación objetiva corrobora la impresión subjetiva de la mayoría de los pescadores recreativos de Mallorca, que aseguran que solo hace unas décadas se pescaba más cantidad, más diversidad y peces de mayor talla.

Reservas marinas

En respuesta a este problema se han desarrollado, tanto en otras regiones como en las Baleares, normativas de varios tipos. Por un lado las que tratan de limitar el esfuerzo pesquero (cupos de captura, tallas mínimas, vedas...) y por otro la creación de reservas marinas (áreas de exclusión pesquera). En las Baleares se han establecido seis

reservas marinas. Cada reserva presenta características específicas respecto a su extensión y plan de gestión.

El establecimiento de una reserva marina siempre produce rechazo social por parte de los pescadores recreativos, por tanto es esencial una demostración objetiva y muy cuidadosa de que realmente se producen los resultados esperados. Estos resultados van desde la conservación de la biodiversidad hasta la disminución de la mortalidad producida por la pesca. Además de estos efectos, se supone que las reservas enriquecen las zonas colindantes y mejoran las capturas pesqueras –tanto comerciales como recreativas- por un proceso de exportación de biomasa denominado “spill-over”.

Los dos procesos de exportación de biomasa que se espera impulsar con las reservas son:

1) Que se produzca un flujo neto de individuos desde la reserva a las áreas circundantes. Esto, supone a su vez dos procesos: a) que tras establecimiento de la reserva se produce un incremento en la densidad de la población dentro de la reserva y b) que este incremento se traduce en un flujo neto de exportación de biomasa (adultos).

2) Que se mantenga un pool de individuos reproductores con poca probabilidad de ser pescados, y que esto asegure la producción de un número suficiente de huevos, larvas y reclutas a nivel global (es decir, no solo dentro de la reserva sino en toda su área de influencia).

Análisis del efecto reserva

Lamentablemente, no es fácil evaluar empíricamente la existencia (o en su caso, cuantificar la importancia) del flujo neto de biomasa desde la reserva al exterior. De hecho, los efectos esperables de una reserva marina y sus características idóneas (tamaño, forma, tipo de hábitats incluidos, redes de reservas, procesos biológicos implicados, predicciones demográficas, biología teórica, modelos...) son uno de los tópicos muy relevantes en investigación marina (revisado, por ejemplo, en Lubchenco *et al.*, 2003).

Se diferencian dos aproximaciones posibles al problema:

1) La descripción y análisis de los patrones esperados a nivel de población (cada especie) o comunidad (el conjunto de especies).

2) El análisis a nivel de individuo de los factores correlacionados con los patrones de movimiento, centrado especialmente en la posibilidad de que su movilidad y por tanto salida de la zona de reserva, sea densodependiente.

En el primer caso, se analizan los cambios experimentados por la abundancia y biomasa de una o varias especies objetivo (o incluso del conjunto de la comunidad de peces) entre la reserva y las zonas circundantes (controles) y su evolución temporal. Idealmente debe iniciarse el análisis antes de cerrarse el área a la pesca (Underwood, 1997). Las estimas de abundancia se pueden obtener mediante censos visuales (Coll *et al.*, 1999) o mediante pescas de diferentes tipos (Willis *et al.*, 2000). Se han hecho progresos metodológicos muy significativos en el análisis de los patrones observados, propugnándose actualmente un diseño experimental denominado *multiple before/alter control/impact* (multiple BACI; Underwood, 1997). En otras ocasiones, con el mismo diseño experimental, en lugar de la abundancia, se analizan las diferencias en la estructura demográfica (edades y tallas) dentro y fuera de la reserva.

Esta aproximación metodológica ha sido utilizada ya en tres de las reservas marinas de las Baleares (Proyecto Reservas, IMEDEA), por tanto la presente propuesta se centra exclusivamente en la segunda aproximación: tratar de comprender los patrones y causas del movimiento a nivel de individuo y establecer las consecuencias a nivel de población del conjunto de movimientos individuales. Los métodos en esta segunda aproximación son muy diferentes. Se hace necesario conocer la posición, velocidad y dirección de una muestra de peces individuales. El método más habitual es la implantación de transmisores acústicos (Lucas & Baras, 2000), o para movimientos a una escala mayor, las marcas externas convencionales (Nemeth, 2005).

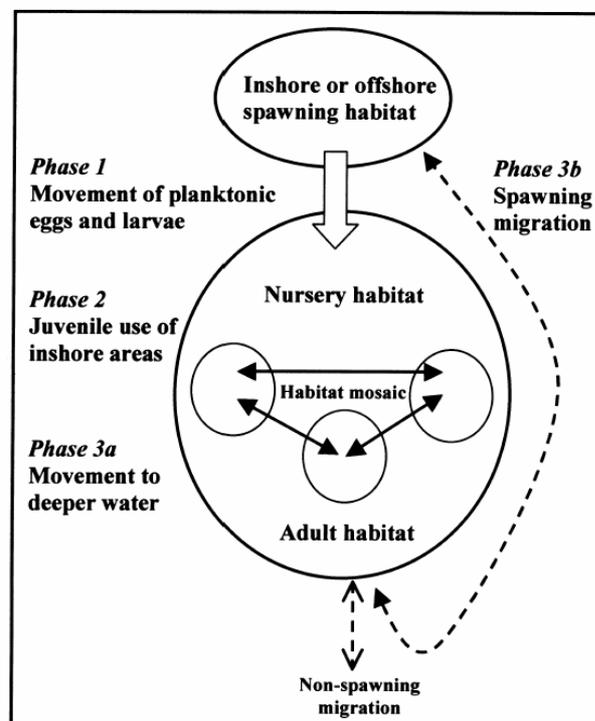
Tipos de movimientos

El estudio de los patrones de movimiento animal puede parecer a primera vista trivial, pero entender la complejidad de los patrones de movimiento en el tiempo y el

espacio es fundamental no solo desde un punto de vista teórico, sino también para diseñar estrategias de gestión efectivas (Pittman & McAlpine, 2001).

El caso de los peces es más complejo que el de otros vertebrados ya que suelen presentar un ciclo vital con tres fases diferenciadas, cada una de ellas con capacidad de dispersión muy diferente (Pittman and McAlpine, 2001):

- 1) Huevos y larvas planctónicas.
- 2) Juveniles (típicamente en aguas someras).
- 3) Adultos (reproductores).

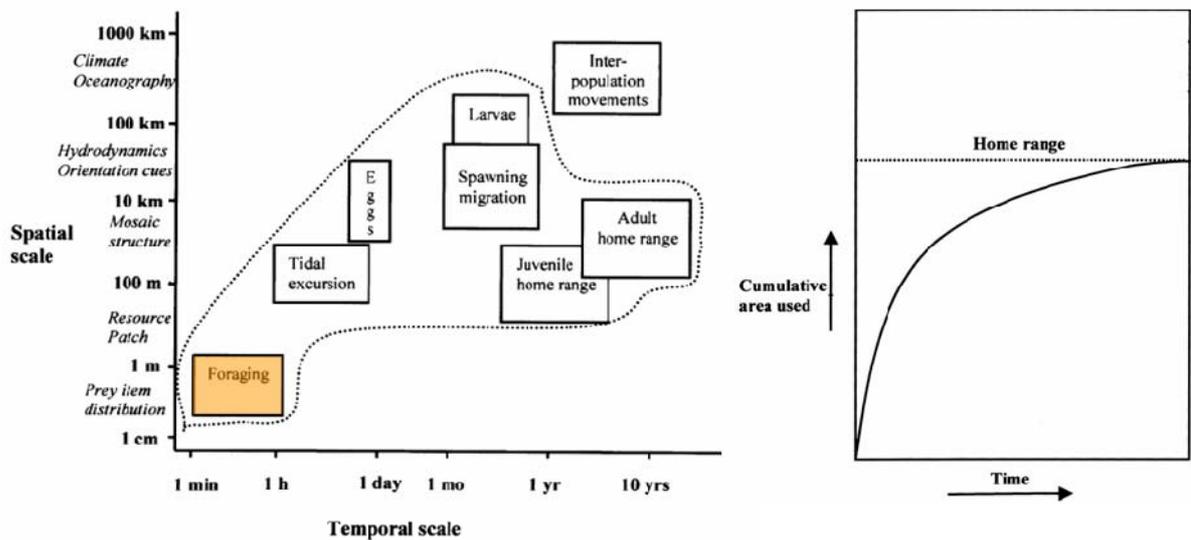


Cada fase implica movimientos a escalas espacio-temporales muy diferentes:

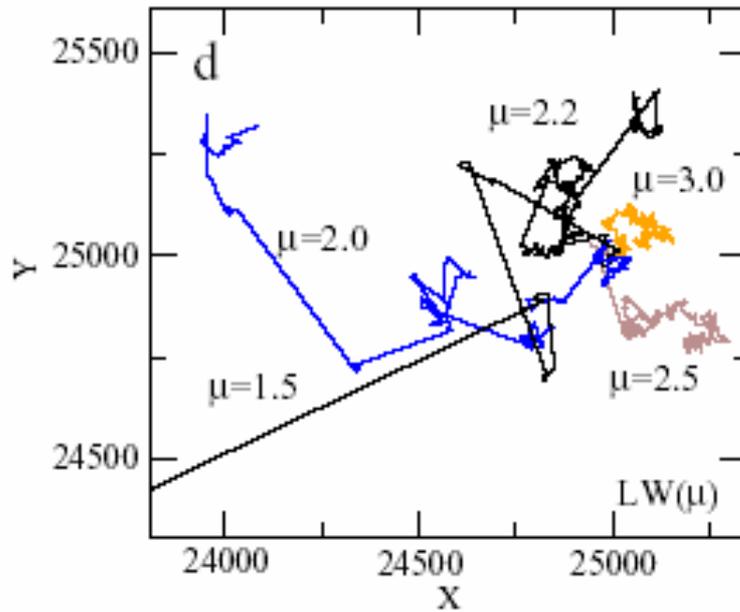
1) **Movimientos de huevos y larvas.** Su característica principal es la influencia que tienen sobre ellos los procesos hidrodinámicos, y la relativamente baja relevancia del comportamiento individual (aunque este último no puede ignorarse). Se trata de movimientos de mesoescala: del orden de 10 y 100 km y del orden de 10 a 100 días.

2) **Movimientos de juveniles y adultos.** Se trata de movimientos muy diversos y que abarcan escalas espacio-temporales muy amplias:

a) Movimientos habituales dentro del home range. Se trata de movimientos de búsqueda de alimento (o de otros recursos, tales como refugios) o defensa de un territorio. En ocasiones se conocen como *forrajeo*. Su importancia radica en el hecho de que a este nivel el individuo toma las decisiones de movimiento, y que estas decisiones pueden determinar (o afectar) los movimientos a mayor escala. Se trata de movimientos en un rango temporal de horas y en un rango espacial de decenas a centenares de metros.



Se han postulado diferentes modelos para explicar los movimientos básicos de *forrajeo*. Uno de los más interesantes es el que explica las propiedades estadísticas de los cambios de dirección y posición mediante una ley de potencias. El interés de este modelo es doble. En primer lugar, variando un parámetro (μ) se generan tipos de movimiento muy variados y que se corresponden con modelos de comportamiento observado en diferentes seres vivos.



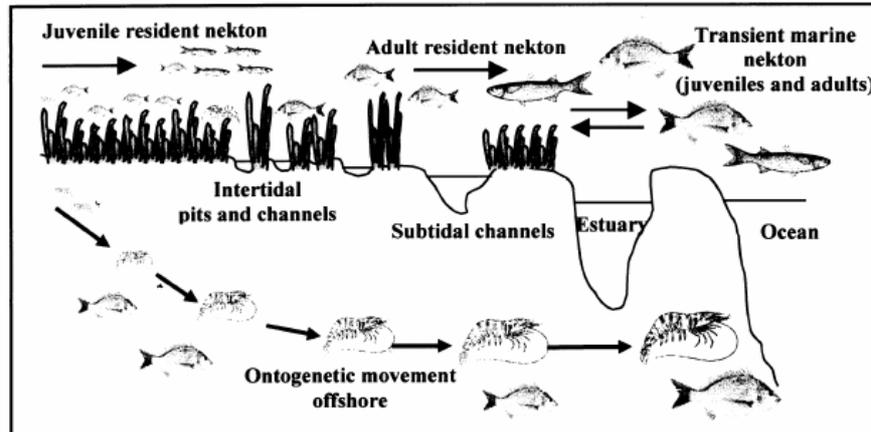
Aquí se presentan algunos ejemplos de *paseos* basados en la *power-law distribution* con diferentes valores del parámetro μ . Para $\mu = 3$ (naranja) se generan paseos al azar de tipo browniano, pero al bajar μ se definen periodos de movimientos a corta distancia separados por pulsos de movimiento mas intenso (e.g., azul). Este tipo de paseos se denominan paseos de Lévy y podrían emular el comportamiento de peces individuales, que ramonean al azar en un área específica, pero que al agotarse el recurso o al enfrentarse a unas condiciones ambientales adversas deciden moverse a otra área, donde permanecerá mas o menos tiempo en función de las nuevas características ambientales (figura y conceptos extraídos de Bartumeus *et al.*, 2006).

La segunda característica que hace que estos modelos sean interesantes es que son independientes de la escala. En consecuencia, si se conocen los factores que determinan la toma de decisiones durante el *forrajeo*, se pueden entender movimientos a mayor escala espacio-temporal (los cuales si pueden ser relevantes en relación al efecto reserva).

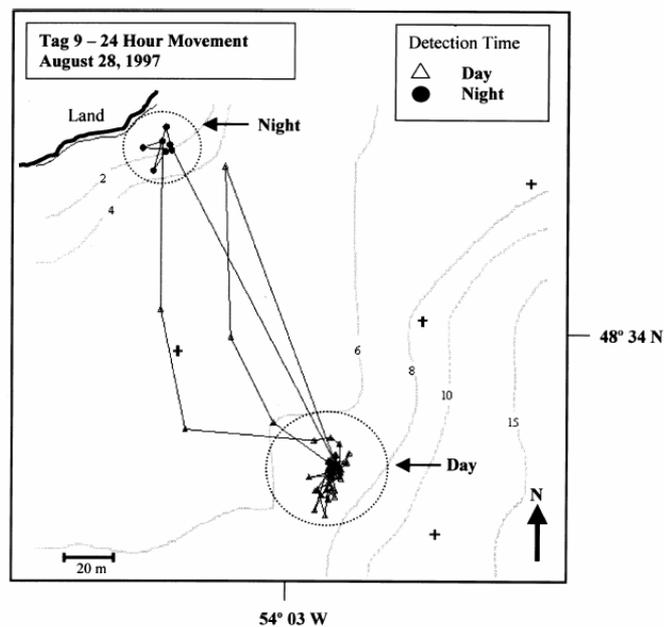
Como consecuencia de los movimientos de forrajeo queda definido el *home range* (Pittman and McAlpine, 2001). Cada individuo no se mueve al azar en la escala que va de 100 metros a 1 km, sino que muestra una cierta fidelidad a un área que se denomina home range.

Se pueden producir variaciones en el home range debidas a:

b) Edad/tamaño (cambios ontogenéticos): al crecer un individuo cambian sus necesidades energéticas (y de recursos en general), lo que suele traducirse en un cambio en la ubicación y tamaño de su home range.



c) Variaciones día/noche. Es habitual que se diferencien zonas de descanso/refugio y zonas de forrajeo propiamente dicho, que pueden estar separadas varios km.



d) Movimientos relacionados con las mareas (no es necesario considerarlos en nuestro entorno geográfico).

e) Migraciones. Pueden ser tanto estacionales (relacionadas con cambios ambientales, como por ejemplo, la ubicación del recurso, temperatura...) o relacionadas con procesos reproductivos (muchas especies se concentran en áreas de reproducción tanto para incrementar la probabilidad de fertilización, como para maximizar la probabilidad de supervivencia de los huevos).

f) Relocaciones. Se trata de cambios en la ubicación del home range no relacionados con los anteriores. Este tipo de movimientos es esencial dentro del contexto de la presente propuesta ya que incluye, por ejemplo, los cambios de home range relacionados con procesos denso-dependientes.

Procesos de movimiento relevantes en relación al efecto reserva

Desde este punto de vista de la exportación de biomasa relacionada con el efecto reserva, los procesos de movimiento relevantes son:

1) **Huevos y larvas.** La reserva mantiene un pool estable de individuos reproductores (adultos) que cada año producen una determinada cantidad de huevos. Estos huevos son arrastrados por las corrientes y las larvas eventualmente pueden asentarse en otras áreas fuera de la reserva. Este proceso es considerado como muy importante para obtener los resultados esperados de una reserva o una red de reservas a mesoescala (del orden de 100 km). (Referencias)

2) **Adultos con home range de la misma magnitud espacial que la reserva.** Cuando los individuos reproductores tienen un *home range* del mismo orden o mayor que las dimensiones de la reserva, pasan proporcionalmente más tiempo fuera de la reserva cuanto mayor sea su home range (asumiendo paseos aleatorios). Por tanto, un pez “residente” en la reserva tiene una probabilidad de ser pescado diferente de cero. El tamaño del home range es por tanto una característica clave, y su determinación es esencial para estimar el papel potencial de una reserva: Si una especie tiene un home range mucho mayor que el tamaño de la reserva, su implementación no supondrá una protección efectiva y muy rápidamente los efectivos de la población residente en la reserva serán diezmados por la pesca. Por el contrario, especies muy territoriales apenas

exportarán (por este proceso) adultos fuera de la reserva. Por otra parte, el tipo de hábitat juega un papel relevante ya que si una determinada especie se alimenta y/o refugia en un tipo de sustrato determinado (i.e. pradera de *Posidonia*), el que la reserva coincida y proteja espacialmente este sustrato, también determinará el tiempo que esa especie se encuentre en zona protegida.

3) **Procesos denso-dependientes** (Relocaciones). El modelo anterior (paseos al azar) es sin duda simplista. El movimiento de un individuo no es un mero paseo al azar, sino que muy probablemente está mediado por factores medioambientales, tales como el recurso disponible, la estructura del hábitat o fenómenos denso-dependientes. El patrón esperado (y en ocasiones observado; referencias) después del establecimiento de una reserva marina es el incremento de densidad de población (e.g., Lubchenco *et al.*, 2003). Por tanto, es esperable que los recursos disponibles sean menores y el home range sea mayor que fuera de la reserva, lo que puede traducirse en relocalaciones de adultos (probablemente, los de menor edad) desde la reserva al exterior.

2. ESPECIES OBJETIVO DE LA PROPUESTA

Las especies que inicialmente fueron seccionadas por: 1) su relevancia para la explotación pesquera y 2) por presentar unas características biológicas que *a priori* eran compatibles con los objetivos del proyecto (por ejemplo, se asume que estas especies son relativamente fieles a un área en comparación con otras especies migratorias).

1) *Serranus scriba* (especie objetivo de la pesca recreativa)



2) *Scorpaena porcus* (escórpora o rascacio, especie objetivo de la pesca comercial)



A lo largo del desarrollo del proyecto se constato que la escórpora presentaba problemas de cicatrización muy severos (se detallan más adelante). Por esta razón esta especie fue substituida por el esparrall (*Diplodus annularis*).

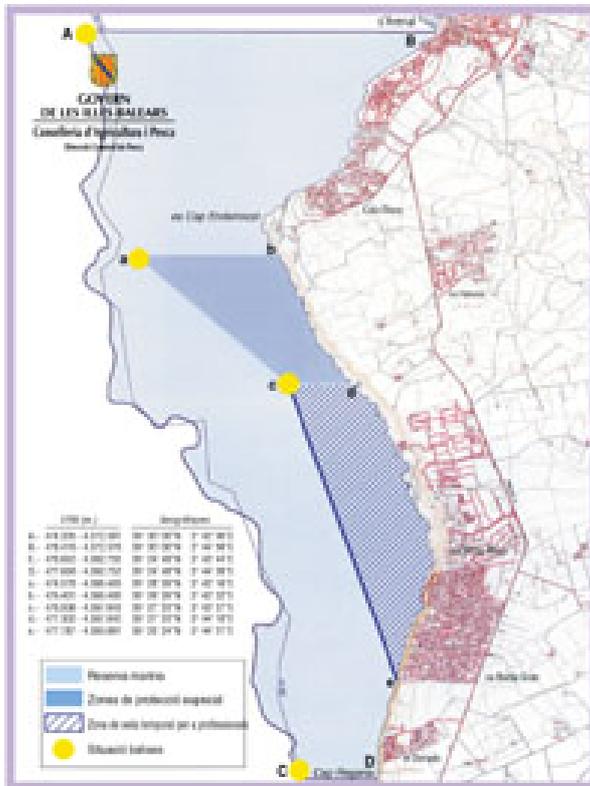
De manera adicional se analizó el patrón de movilidad de *Coris julis* mediante marcas externas convencionales (ver más adelante).



Imagen de las dos especies consideradas: *Coris julis* (izq.) y *Diplodus annularis* (der.)

3. AMBITO GEOGRAFICO

Reserva marina de la Bahía de Palma y áreas circundantes.



4. ESQUEMA GENERAL DE LA PROPUESTA Y JUSTIFICACIÓN DE LA SOLICITUD DE PRÓRROGA

El problema principal de esta propuesta es que se tiene escasa información del patrón de movimiento de las dos especies objetivo en particular y de los peces en general. Solo se tiene cierta información previa de la magnitud de los movimientos de *S. porcus*. Un ejemplar de esta especie marcado y liberado en la zona de reserva integral de la Reserva de la Bahía de Palma fue recapturado al cabo de un año a 9 km, indicando que potencialmente el rango de movilidad de la especie es alto. Sin embargo, esta información no permite determinar las escalas temporales y espaciales del movimiento.

Por tanto, se optó por una estrategia en dos etapas. En primer lugar, desarrollar un sistema de telemetría acústica móvil ya que puede ser utilizado a varias escalas y potencialmente puede cubrir el rango de km en que se supone se mueven las especies objetivo. La limitación de este método es que es necesaria una gran inversión en personal. Por tanto, en una segunda etapa, una vez obtenido una estima de la magnitud del home range con el sistema móvil, se pretendía utilizar una red fija de receptores para obtener grandes cantidades de datos.

En la primera etapa (prevista para 2006) se debían completar varios experimentos pilotos para determinar el rango habitual de movimientos (en orden de magnitud). El primero de los experimentos pilotos se centraba en los movimientos a corta escala e implicaba el seguimiento continuo de un individuo. El segundo de los experimentos piloto pretendía abarcar una escala espacio-temporal mayor e implicaba la detección de la posición de varios individuos (con periodicidad diaria al principio y semanal después), durante un periodo de uno a varios meses. A pesar del gran esfuerzo invertido en el desarrollo del sistema móvil, el grado de precisión alcanzado y el número de posiciones de la diana determinadas por unidad de tiempo han resultado ser insuficientes para los objetivos propuestos.

Debido a ello, se inició un programa complementario de marcado externo de *Serranus scriba*, *Diplodus annularis* y *Coris julis*. Se obtuvieron muy buenos resultados especialmente con *Coris julis*. Los patrones de movimiento detectados fueron analizados y se pudo estimar que el rango de movimiento de esta especie se situaba dentro de un rango menor a 1 km^2 (en orden de magnitud).

En la segunda fase (2007) se ha diseñado una red fija de detectores acústicos (tamaño y forma del área cubierta por la red, tipo de transmisores, alcance, peso, frecuencia de emisión...) en base a los datos anteriores. Esta red fija almacena de manera automática datos continuos de un mayor número de individuos durante un periodo de tiempo mucho mayor. Esta previsto mantener el programa de liberación de individuos con trasmisor unas 10 semanas más para obtener datos de un mayor número de individuos de las especies objetivo. Esta es la justificación de que se solicite una prórroga para la obtención y el análisis de los datos.

La información obtenida permitirá cubrir los objetivos principales de la propuesta.

DESCRIPCION DETALLADA DE LAS TAREAS

Tarea 1: Desarrollo de la técnica de implantación de transmisores.

Estatus actual: Tarea completada según los objetivos previstos. Se ha desarrollado un protocolo quirúrgico para la implantación de transmisores en *Serranus scriba*, *Diplodus annularis* y *Coris julis*.

Centro responsable: LIMIA.

Personal: Amalia Grau (Dra. en Veterinaria; Responsable de la Tarea 1) y Elena Pastor.

Introducción y métodos ensayados

La técnica implica practicar una incisión en el peritoneo del individuo anestesiado, introducir el transmisor, suturar la incisión y reanimar al individuo. Toda la operación se debe realizar en campo estéril, con el fin de minimizar los efectos adversos iatrogénicos que podrían dar lugar a conclusiones inadecuadas (Mulcahy, 2003).

En una primera etapa se implantaron transmisores "dummy" (sin emisor, pero del mismo tamaño y peso que los transmisores) en un total de seis individuos de las dos especies seleccionadas (vaca, *Serranus scriba* y rascacio, *Scorpaena porcus*), dado el elevado coste de los originales, a fin de ensayar y mejorar la técnica de implantación y asegurar la supervivencia de todos los individuos marcados.

Se utilizaron 3 tipos de transmisores "dummy":

1) PT1, de 17 mm de LT y 1g de PT en agua. Es un "picotag", es decir, un transmisor de muy pequeño tamaño, cuya vida útil es de tan sólo 7 días. Puede ser implantado en peces de muy pequeño tamaño, siguiendo la regla recomendada de implantación, que es que el peso del transmisor en agua represente, como máximo, el 1.5-2% del peso total del pez (Lucas & Baras, 2000; Jepsen et al., 2002; Mulcahy, 2003). Se ensayaron inicialmente en vacas y rascacios. Esta regla siempre se cumple en el caso de los rascacios capturados, y en el caso de las vacas implica que los individuos

seleccionadas para la intervención quirúrgica han de tener una LT mínima de 130-140mm. Se disponía de un número inicial de 4 picotags. Todos los ensayos demostraron que los peces presentaban un comportamiento natatorio normal transcurrido los 8-10 minutos de recuperación. Éstos han sido los transmisores de elección.

2) IBT96-1 (LT=25mm, PT en agua=1.5g). Su vida útil es mayor, 21d, pero implica que debe ser implantado en peces de mayor tamaño. Se implantó en una vaca cuya LT era mayor de 190 mm. El ejemplar implantado presentó un comportamiento natatorio normal a la semana de implantación. Es posible su uso en ensayos de campo, pero el peso del transmisor puede influenciar los resultados obtenidos al dificultar la natación, mantenimiento de la flotabilidad, la alimentación, la huida de los depredadores y aumentar las posibilidades de expulsión de la marca (Lucas & Baras, 2000).

3) IBT96-2 (LT=28mm, PT en agua=2.5g). Su vida útil es de 60 días, pero su implantación sólo es posible en individuos mucho mayores. Se implantó en una vaca de más de 200mm. El ejemplar implantado presentó dificultades natatorias y de mantenimiento de la flotabilidad transcurridas una semana de postoperatorio, con lo que se descarta su uso en ensayos de campo.

Debido a los problemas postoperatorios que presentaron las suturas en rascacios (ver resultados), se escogió el esparrrall, *Diplodus annularis*, como nueva especie para realizar ensayos quirúrgicos, ensayándose en esta especie únicamente los picotags PT-1, por imposibilidades físicas de insertar transmisores de mayor tamaño.

El protocolo de intervención se basó en recomendaciones previas (Jadot et al., 2002, 2005; Lucas & Baras, 2000; Bégout Anras et al., 2003; Mulcahy, 2003; Jepsen et al., 2002; Kaunda-Arara & Rose, 2004). Detalladamente, se siguió el procedimiento descrito a continuación:

Captura de ejemplares y estrategia preoperatoria.

Los ejemplares capturados mediante pesca con anzuelo, y una vez comprobado que se encontraban en buenas condiciones físicas, fueron trasladados al LIMIA a la mayor brevedad posible. Todas las intervenciones fueron ejecutadas en las instalaciones del LIMIA. El transporte al citado centro se realizó en furgoneta equipada con nevera y aireador portátil, en agua de mar procedente del mismo lugar de la captura, con el fin de minimizar las perturbaciones ocasionadas (Jadot et al., 2002). La duración del transporte nunca excedió de 45-60 minutos, con el fin de minimizar el estrés de la captura. Los ejemplares fueron capturados con el menor estrés posible y manipulados el mínimo

posible, tal y como se recomienda en las prácticas de implantación quirúrgica de transmisores (Jepsen et al., 2002; Mulcahy, 2003).

Se han ensayado 2 tipos de estrategias preoperatorias:

1. Aclimatación previa de los peces a intervenir en un tanque troncónico de 1000 L en el interior de las instalaciones del LIMIA, dotado de flujo continuo y aireación constante, por un período mínimo de 24h.

2. Intervención posterior a la captura sin aclimatación previa.

Ambas estrategias preoperatorias han dado resultados satisfactorios, con un 100% de supervivencia postoperatoria. Por ello, y con el fin de reducir al mínimo el estrés causado por el manejo (Jepsen et al., 2002; Mulcahy, 2003) y el cautiverio de individuos salvajes, se procede en la actualidad a practicar la estrategia número 2.

Cirugía

Antes de efectuar la implantación quirúrgica de los transmisores, se procedió a la limpieza y desinfección ambiental de la mesa de operaciones y de la cubeta de sujeción de los individuos, mediante desinfección con desinfectante rápido de superficies de ámbito clínico (Instrunet, Meliseptol). El material quirúrgico fue esterilizado en autoclave y los transmisores desinfectados en solución desinfectante de alto nivel en frío (fenoles; Instrunet esporicida 30; 20 minutos antes de la operación), lavados con solución de suero fisiológico estéril y guardados botes de 45ml estériles, con el fin de eliminar los residuos de los desinfectantes que pudieran ocasionar daños tisulares o toxicidad (Mulcahy, 2003). El personal encargado de efectuar las intervenciones llevaba guantes quirúrgicos estériles con el fin de mantener el mayor nivel de asepsia posible.

El campo quirúrgico se preparó con agua de mar filtrada a 1µm y esterilizada por UV. Tanto el balde preoperatorio, como el de recuperación y el de inducción a la anestesia contenían agua de mar filtrada.

La inducción y mantenimiento de la anestesia se realizaron mediante el uso del anestésico de inmersión MS-222 (Tricaína metanosulfonato, Sandoz), único anestésico aprobado por la FDA para su uso quirúrgico en peces (Mulcahy, 2003): La dosis de inducción fue de 100mg/l y la dosis de mantenimiento de 25mg/l.

La intervención se inicia manteniendo al individuo en agua aireada con la solución anestésica de inducción durante aproximadamente 5 minutos antes (el tiempo de inducción y recuperación es temperatura dependiente, y varia, por tanto, con la época

del año en que se practican las intervenciones). Los peces anestesiados son trasladados al campo de operaciones y mantenidos en decúbito supino con las branquias y el cuerpo sumergido en la solución anestésica de mantenimiento, excepto la zona ventral, con el fin de evitar la deshidratación epitelial y de permitir la oxigenación continua de las branquias (Jadot et al., 2002). El auxiliar de la operación mantiene separadas las aletas pectorales. La zona de intervención se desinfecta mediante povidona iodada (Betadine) y después se practica una incisión del menor tamaño posible y adecuada al diámetro del transmisor (10 a 25 mm) en la línea media ventral del pez y próxima a las aletas pélvicas, con el fin de minimizar el riesgo de dañar órganos internos, minimizar el trauma y limitar el riesgo de eliminación del transmisor a través de la incisión (Lucas & Baras, 2000). El transmisor se inserta en dirección dorso craneal sobre el cinturón pélvico para minimizar los riesgos de daños orgánicos causados por el movimiento del transmisor dentro de la cavidad abdominal y con el fin de minimizar la presión ejercida sobre el tejido abdominal y reducir los riesgos de expulsión (Lucas & Baras, 2000). Finalmente, la incisión se cierra con dos puntos simples de sutura y se aplica externamente un spray antiséptico de violeta de genciana (cloramivet spray). La duración de la operación quirúrgica no supera los 4-5 minutos. La recuperación de los peces tiene lugar en un balde con agua filtrada de mar y dotado de aireación continua. El tiempo de recuperación no suele superar los 7-8 minutos y es temperatura dependiente.

Se han ensayado 2 tipos de hilos de sutura:

1. Mersilk; seda trenzada no absorbible estéril.
2. Vicril Rapid; sutura estéril sintética absorbible monofilamento.

Los resultados con ambos tipos de sutura se exponen más adelante.

Recuperación postoperatoria.

Tras la recuperación de los peces en el balde, éstos fueron inicialmente transferidos a un tanque troncocónico de 1000 l de capacidad con flujo continuo de agua y aireación constante para evaluar la curación de las heridas y la eficacia del procedimiento quirúrgico.



Tanque de recuperación postoperatoria

En la actualidad, las pruebas de campo se efectúan sin mantenimiento postoperatorio en las instalaciones del LIMIA, ya que según nuestras observaciones y las recomendaciones de otros autores (Jadot et al, 2002; Jepsen et al., 2002; Mulcahy, 2003) los peces deben ser soltados al medio natural tan pronto como sea posible tras la total recuperación de la anestesia, con el fin de minimizar al máximo el estrés postoperatorio ocasionado por una estancia prolongada en cautividad y evitar los traumas asociados. Los peces son transportados en furgoneta a la zona de suelta (la misma donde se pescaron) en una nevera de transporte equipada con oxígeno y agua de mar filtrada. También, el tiempo de transporte no es superior a los 45-60 minutos.

Resultados

El tipo de anestesia y la dosis empleada de inducción y mantenimiento han sido evaluados muy satisfactoriamente: todos los individuos sobreviven a la operación de implantación, siendo el tiempo de recuperación escaso, de tan sólo 7-8 minutos. Se han testado hilos de sutura de diferentes características, monofilamento reabsorbible y seda multifilamento no reabsorbible, siendo sus resultados diversos dependiendo de la especie:

1. La vaca, *Serranus scriba*, presenta una excelente cicatrización con ambos tipos de sutura, independientemente de la época del año en que se efectúe la operación. Al ser una especie carnívora, su pared abdominal es flexible y presenta una mayor

facilidad de sutura. Además, su vientre presenta pocas escamas y de pequeño tamaño, lo cual facilita la posibilidad de sutura sin deber de eliminar una gran cantidad de escamas abdominales. La curación de las heridas ha resultado ser rápida y completa, siendo de aproximadamente 2 semanas en los meses cálidos y de un mes en los meses fríos.

Serranus scriba se recupera perfectamente y los individuos intervenidos se comportan y se alimentan con normalidad al cabo de pocos días. Ya que la cicatrización es completa y no se ha producido ningún caso de eliminación de transmisores a través de la herida, se recomienda la sutura en esta especie con hilo reabsorbible para eliminar los riesgos asociados de infección debidos a la presencia de cuerpos extraños transcutáneos (Lucas & Baras, 2000; Mulcahy, 2003). Los individuos intervenidos sobreviven sin problemas después de 6 meses. El éxito de las intervenciones fue del 100% transcurrida la plena curación de las heridas en todos los tipos de transmisores implantados.

2. El esparrall, *Diplodus annularis*, presenta mayores problemas de cicatrización y de curación de las heridas. Al ser una especie fundamentalmente herbívora, su pared abdominal no es distensible, es dura y rígida con escamas gruesas, y su cavidad abdominal es mucho más estrecha, lo que dificulta la maniobra de implantación de transmisores. Todo ello implica que la incisión ha de ser, necesariamente, mayor. El tiempo de cicatrización también es mayor que en el caso de las vacas, siendo necesario reintervenir los peces en épocas frías si se han usado hilos reabsorbibles, porque el tiempo de cierre de las heridas supera el tiempo de reabsorción del hilo de sutura, produciéndose la pérdida de sutura tras 10-11 días de postoperatorio, con posibilidades, por tanto, de eliminación del transmisor. En cambio, en meses cálidos, la sutura con hilo reabsorbible permite el cierre de la herida antes de su eliminación, presentando el cierre completo de la herida en un plazo de 8-10 días. Por ello, se recomienda el uso de suturas reabsorbibles en meses cálidos y de suturas no reabsorbibles en meses fríos. El éxito de las operaciones previas fue del 66% de los esparralls operados a los 15 días, 100% de los peces a la semana.

3. El rascacio, *Scorpaena porcus* presenta problemas de cicatrización severos. Se trata, también, de una especie carnívora, de pared abdominal distensible, muscular, gruesa y sin escamas en el vientre, lo que facilita la sutura de las heridas. Todas las intervenciones se realizaron en meses cálidos, lo que al ser la curación de las heridas temperatura-dependiente (Lucas& Baras, 2000) facilita el proceso de cicatrización. Sin

embargo, los ejemplares capturados eran de gran tamaño, de aproximadamente 300mm (lo que implica una mayor edad), y al ser la especie poco activa y bentónica, el tiempo de curación de las heridas es, necesariamente, mayor, ya que la tasa de curación es más rápida en peces jóvenes y de crecimiento rápido (Lucas & Baras, 2000). Además, su comportamiento bentónico dificulta la curación de las heridas, al permanecer los ejemplares apoyados sobre la herida en el fondo del tanque. Se ensayaron tanto suturas reabsorbibles como no reabsorbibles, siendo los resultados exactamente los mismos. La supervivencia postoperatoria fue del 100% a los 4 días de la intervención, observándose fenómenos de reacción de cuerpo extraño tras 3 días de postoperatorio. La mortalidad del 100% de los rascacios fue completa tras los 15 días de postoperatorio por necrosis de la zona de sutura, con pérdida de pared abdominal, y sin observarse fenómenos iniciales de cicatrización, por necrosis asociada a fenómenos de cuerpo extraño. Por ello, se descartó como especie de campo, y fue sustituida en su lugar, por el esparall, con el que posteriormente se realizaron los ensayos de suelta de ejemplares. Como posibilidades de estudio se apunta, en el caso de ensayos con esta especie, su suelta inmediata al mar tras la recuperación de la anestesia, para evitar los problemas derivados de su cautiverio en el postoperatorio, o bien el ensayo de adhesivos tisulares (Dermabond) que permiten una rápida cicatrización de las heridas (Lucas & Baras, 2000; Baras & Jeandrain, 1998), al no presentar fenómenos asociados de cuerpo extraño, que si se presentan en el caso de las suturas trascutáneas.

Material gráfico: Se dispone de gran cantidad de imágenes describiendo el proceso de implantación de transmisores y de evolución de la cicatrización. De entre ellos se presentan las siguientes:

CIRUGIA



Implantación del transmisor en *Sorpaena*

RECUPERACION



Cicatrización en *Diplodus annularis* (cinco días).



Cicatrización en *Serranus scriba* (tres días).



Algunos individuos con un transmisor implantado fueron mantenidos en cautividad para evaluar su recuperación a largo plazo (meses). La tasa de supervivencia es muy satisfactoria (excepto en *Scorpaena porcus*).



Necrosis de la zona intervenida en *Scorpaena* (a una semana de la implantación del trasmisor). La mortalidad en esta especie fue del 100%.

Tarea 2. Desarrollo de un sistema móvil de detección acústica.

Estatus actual: Se han hecho avances muy importantes. Para que el sistema sea útil en el futuro debe mejorarse la precisión de las estimas de posición y el número de posiciones estimadas por unidad de tiempo.

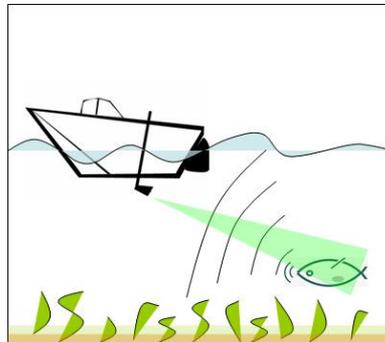
Centro responsable: IMEDEA.

Personal IMEDEA: Alberto Alvarez, (responsable de la Tarea 2), Miguel Palmer, Miguel Martinez, Federico Cardona.

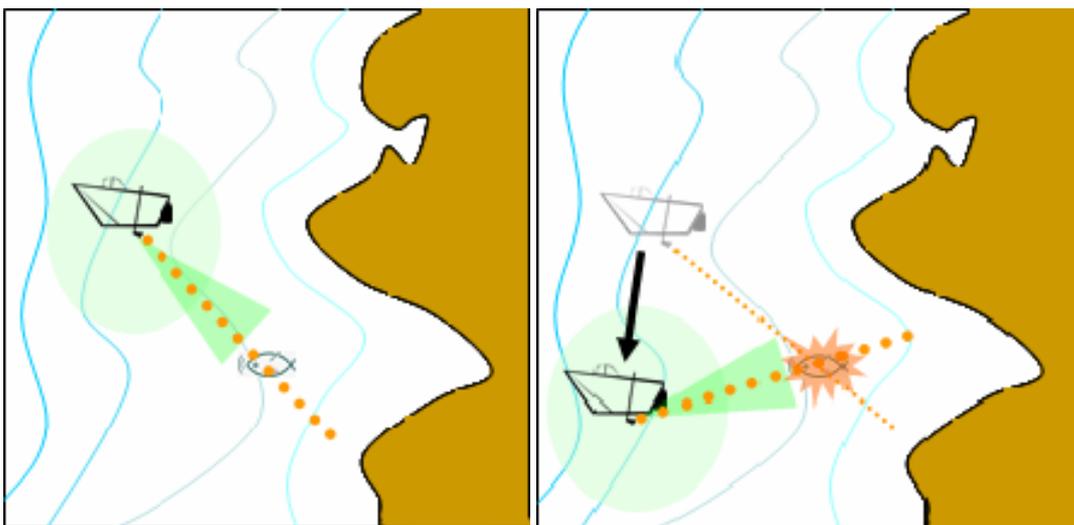
ALBATROS

Introducción.

El objetivo del sistema es detectar la señal emitida por un transmisor acústico implantado en la cavidad abdominal de un pez.



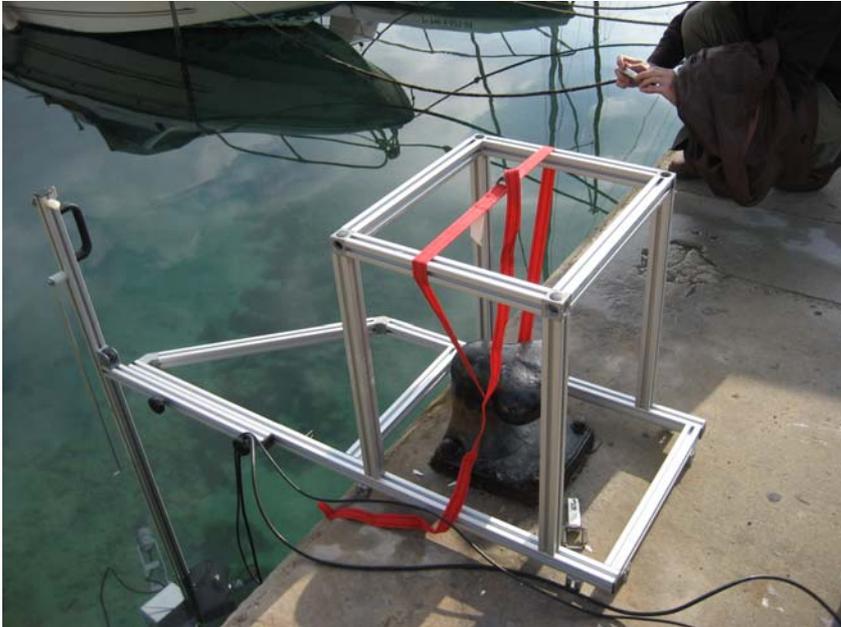
La determinación de la posición del origen de la señal se realiza por triangulación de la dirección de máxima ganancia de señal desde dos posiciones de la embarcación diferentes y separados por un lapso de tiempo suficientemente pequeño como para asegura que el movimiento de la fuente es despreciable.



Componentes del FishFinder.

El sistema esta compuesto por una estructura de fijación a la embarcación, la parte sumergida (hidrófono y compás) y el control (análisis de datos).

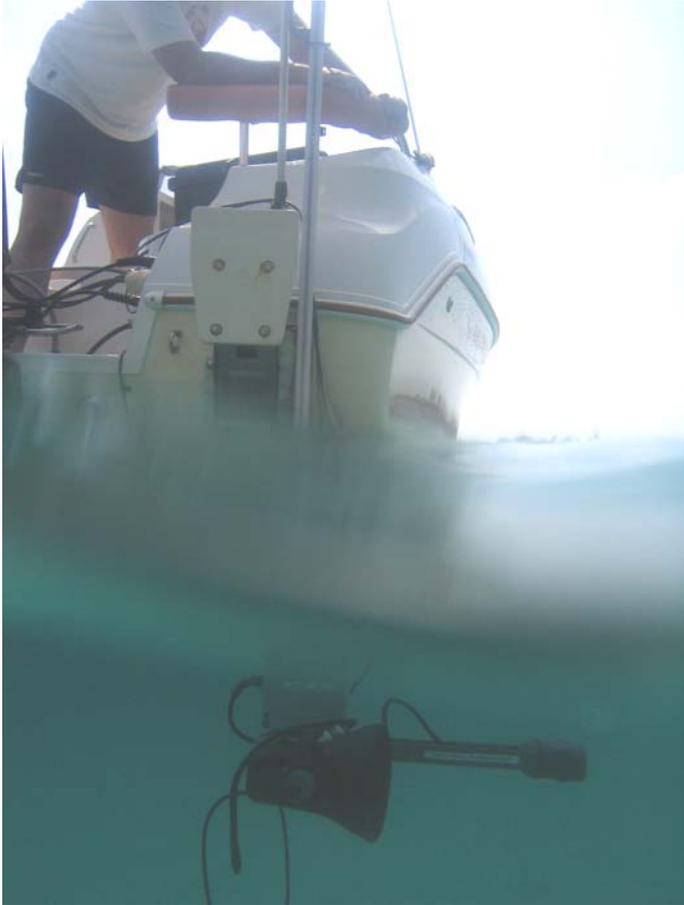
1) Estructura mecánica de sujeción del receptor acústico.



Primer diseño de la estructura mecánica para fijación en la barca.

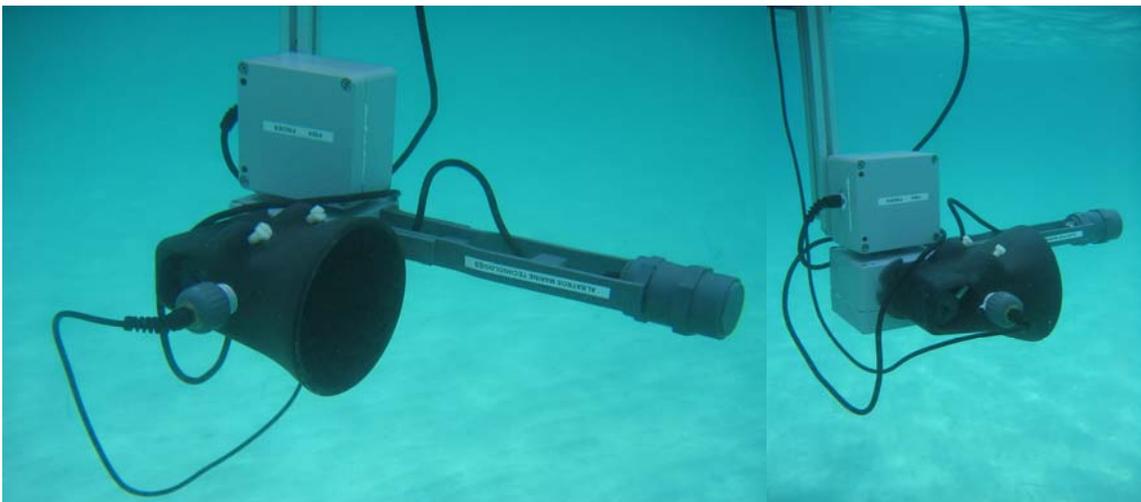


Estructura mecánica sobre una lancha neumática (primer diseño).

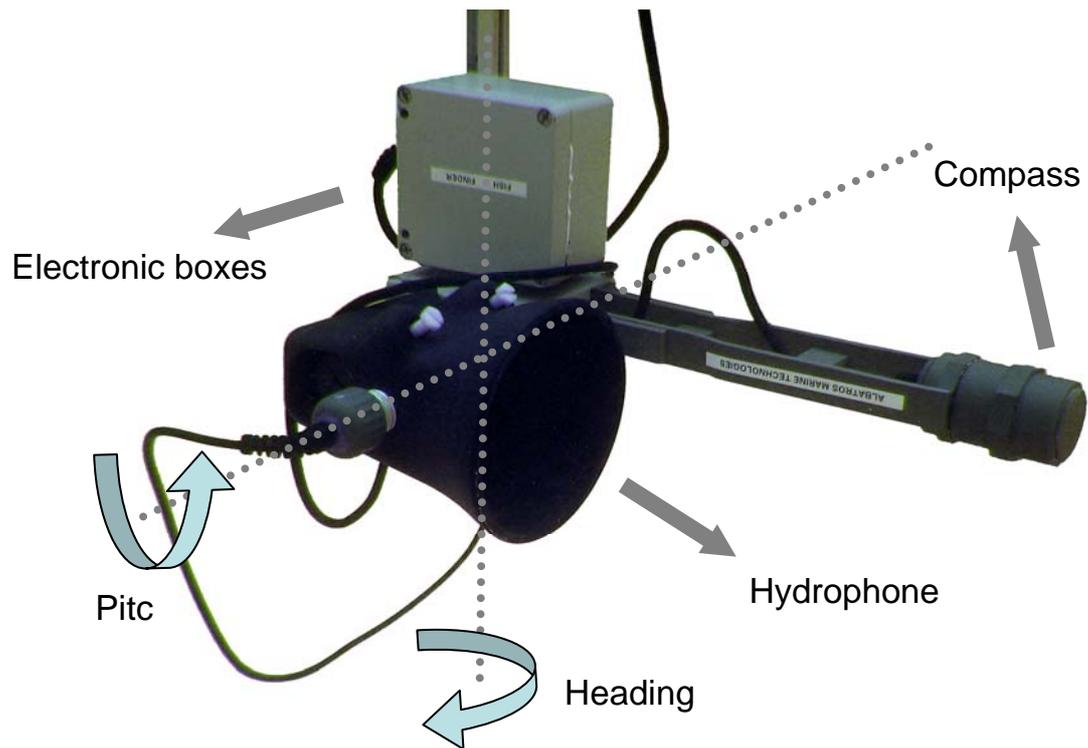


Diseño final de la estructura mecánica (sobre embarcación de casco rígido).

2) Hidrófono



Detalle de la parte sumergida (hidrófono direccional, caja de electrónica y brújula).



Descripción de los componentes y de su movilidad horizontal (360°) y vertical (de 0° a 90°)

3) Control



Maleta de control y recepción, compuesta por el ordenador, receptor GPS, receptor del hidrófobo e inversora. Todo el sistema se alimenta a través de la batería de la embarcación.

Descripción funcional del algoritmo.

El FishFinder se basa en la captura y procesado de una señal acústica para poder determinar la localización del pez (emisor). Esta localización se realiza mediante triangulación. Además se determinan las posiciones más idóneas donde situar la embarcación para mejorar la precisión de las estimas.

La señal acústica procedente del emisor es recogida por el receptor (hidrófono), pretratada por el receptor del hidrófono y posteriormente introducida en el software de control mediante la entrada de audio.

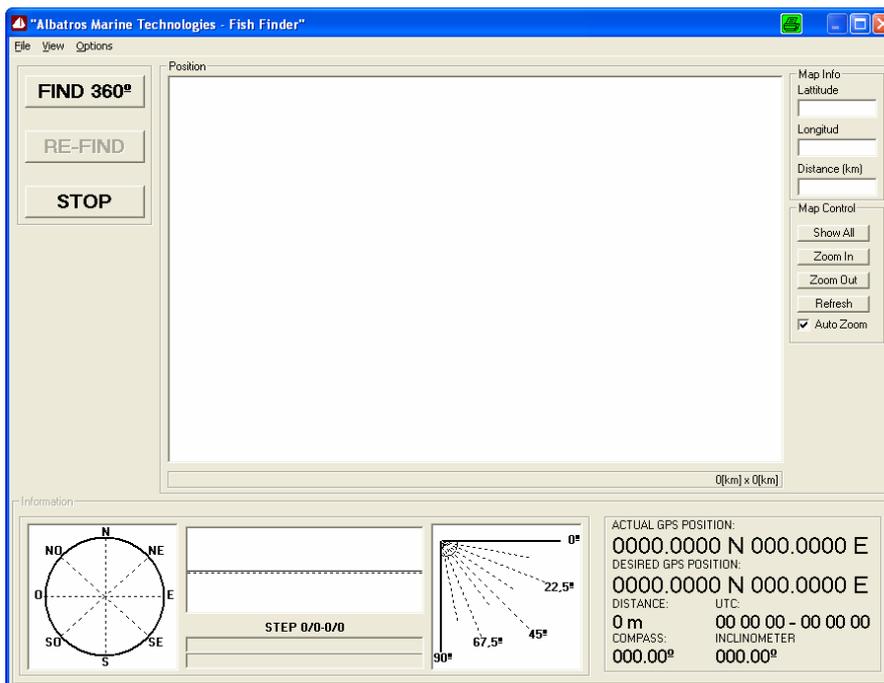
Al ejecutar la aplicación, la primera acción a realizar una vez ajustadas las opciones de configuración, será determinar una primera dirección hacia la posición del pez. Para ello se realiza un primer barrido de 360° en horizontal y un barrido vertical ajustable (por defecto entre 10° y 80°), moviendo el hidrófono y recogiendo señal. El objetivo es disponer de un punto inicial para iniciar la triangulación.

Cuando el sistema ha detectado esta primera dirección de localización del pez, nos indicará en el mapa la siguiente posición (Desired GPS Position) donde debemos resituarse la embarcación y proceder a la siguiente búsqueda.

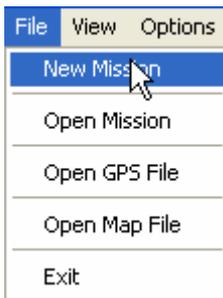
Después de esta segunda búsqueda el sistema ya dispone de información suficiente para estimar una primera localización del pez, que es indicada en el mapa.

Descripción de software.

Pantalla principal



Menu File:



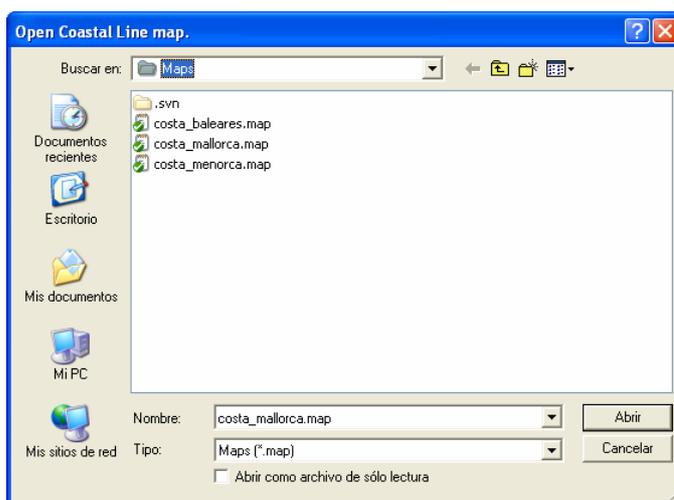
New Mission: Inicio de una nueva misión. El programa solo permite interactuar con los botones cuando estamos dentro de una misión, tenemos dos posibilidades una nueva misión o bien una misión previa ya guardada.

Open Mission: Iniciar el programa con una sesión ya guardada.

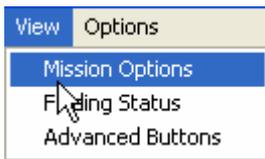
Open GPS File:

Open Map File: Permite cargar un mapa inicial, o cambiar el mapa actual. Los mapas se encuentran en el directorio FishFinder\Maps, y tienen extensión .map

Por defecto, existen tres mapas (costa Baleares, costa Mallorca y costa Menorca) siendo posible añadir nuevos mapas, simplemente añadiéndolos con el formato correcto a este directorio.



Exit: Finaliza el programa. Al finalizar se guardan todas las opciones actuales del programa.

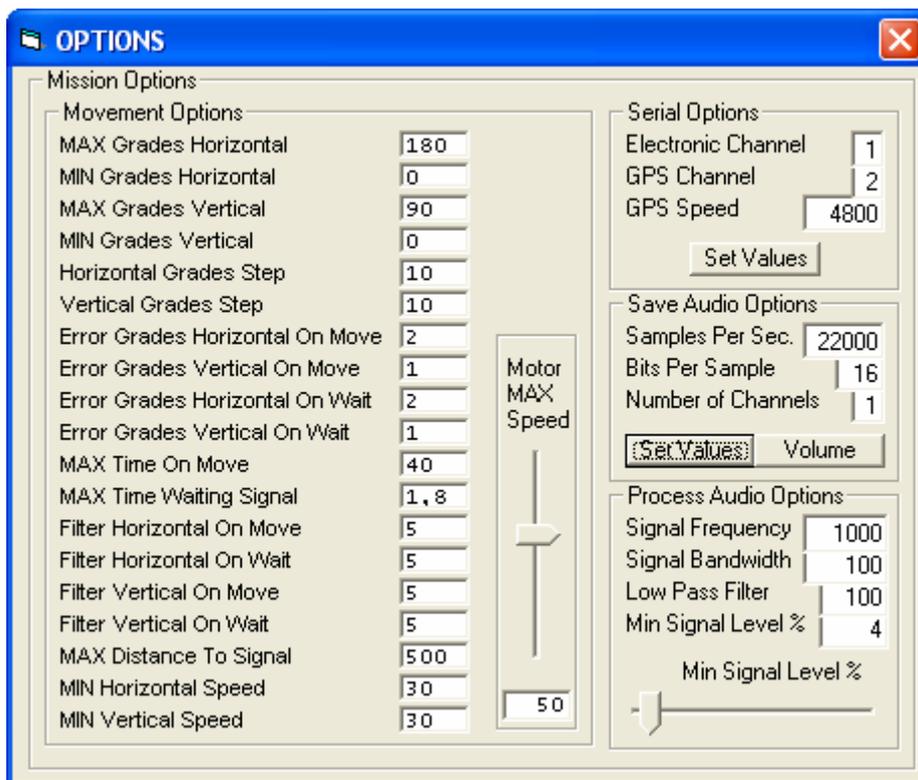


Menu View:

Permite mostrar los menús adicionales (opciones de la misión, estado de la búsqueda, y botones avanzados)

Mission Options: Muestra las opciones actuales de la misión. Para poder modificar alguna opción es necesario activar Change Misión Options dentro del menú Options.

Las opciones de misión son las que se muestran en la figura siguiente:



Las opciones se dividen en 4 categorías principales:

Movement Options: Controlan el movimiento horizontal y vertical del instrumento

Serial Options: Controlan los parámetros de comunicación con los aparatos externos al PC.

Save Audio Options: Permite modificar los parámetros de grabación de la señal procedente del hidrófono.

Process Audio Options: Ajustar las opciones de discriminación de señal en el audio para diferenciar la señal procedente del emisor.

- MAX Grades Horizontal: Numero máximo de grados en horizontal que se utilizará cuando halla que volver a encontrar el emisor.
- MIN Grades Horizontal: Numero mínimo de grados en horizontal que se utilizará cuando halla que volver a localizar el emisor.
- MAX Grades Vertical: Numero máximo de grados en vertical que se utilizará cuando se localiza el emisor, utilizar 80° como máximo para evitar rozaduras mecánicas.
- MIN Grades Vertical: Numero mínimo de grados en vertical que se utilizará cuando se localiza el emisor, utilizar 10° como mínimo para evitar rozaduras mecánicas.
- Horizontal Grades Step: Incremento de grados en el movimiento horizontal, se debe ajustar para el tipo de receptor utilizado. Por defecto y con el hidrófono actual se debe dejar fijado a 10°, para abarcar el ancho de banda a -3dB.
- Vertical Grades Step: Incremento de grados en el movimiento vertical.
- Error Grades Horizontal On Move: Error permitido en grados cuando se posiciona el receptor (hidrófono) en horizontal.
- Error Grades Vertical On Move: Error permitido para posicionar el receptor en el eje vertical.
- Error Grades Horizontal On Wait: Error permitido cuando se esta adquiriendo señal, usado cuando tenemos la opción de autocompensación habilitado (por defecto).
- Error Grades Vertical On Wait: Error permitido cuando se esta adquiriendo señal, usado cuando tenemos la opción de autocompensación habilitado (por defecto).
- MAX Time On Move: Tiempo máximo permitido en segundos para poder posicionar la electrónica. Si trascurrido este tiempo no se alcanza la posición (debido a fallo mecánico o eléctrico) se genera un error y se indica al usuario.

- MAX Time Waiting Signal: Tiempo en segundos de grabación de señal de audio, el ordenador captura una secuencia de audio de esta duración. Este parámetro es dependiente del tipo de emisor (pinger) utilizado.
- Filter Horizontal On Move: Orden del filtro aritmético, utilizado para filtrar la posición horizontal.
- Filter Vertical On Move: Orden del filtro aritmético, utilizado para filtrar la posición vertical.
- Filter Vertical On Wait Orden del filtro aritmético, utilizado para filtrar la posición horizontal y vertical cuando se utiliza la autocompensación.
- MAX Distance To Signal: Máxima distancia posible al emisor (pinger), depende del tipo de emisor y es utilizado en el algoritmo de localización.
- MIN Horizontal Speed: Mínima velocidad para el motor horizontal, magnitud relativa entre 0-128. Utilizada para compensar los rozamientos mecánicos.
- MIN Vertical Speed: Mínima velocidad para el motor vertical, magnitud relativa entre 0-128. Utilizada para compensar los rozamientos mecánicos.
- Motor MAX Speed : Máxima velocidad para el motor horizontal, magnitud relativa entre 0-128.

Finding Status:

Nos permite visualizar en una ventana diferente el estado de la búsqueda que se esta realizando.

Existen dos representaciones, una gráfica y otra en forma de texto del estado.

En la representación gráfica se representan las búsquedas mediante puntos de colores.

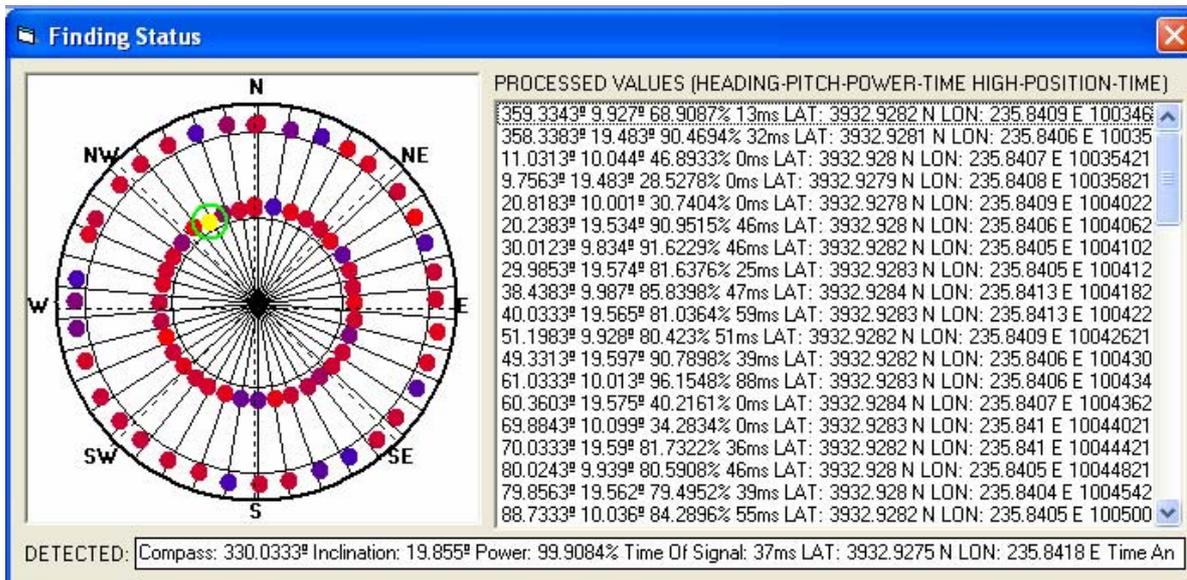
Los colores representados varían desde azul a rojo mediante un gradiente de colores, además del color negro y del color amarillo.

El color negro significa que no tenemos ninguna señal procedente del emisor (la señal recibida se considera solo ruido), el color amarillo representa el punto con la máxima energía de la señal recibida. El gradiente de colores desde azul a rojo indica el máximo relativo, siendo el rojo el mas cercano al máximo de señal.

Al terminar una búsqueda completa se añade un circulo verde señalando donde se localiza el máximo de la señal.

En la representación textual tenemos indicación de los siguientes parámetros para cada captura de señal.

- Heading: Situación horizontal del receptor
- Pitch: Situación vertical del receptor.
- Power: Amplitud relativa de la señal expresada en %.
- Time High: Tiempo de señal, se considera a partir del umbral de ruido.
- Position: Posición GPS en la que se realizó la captura de señal actual.
- Time: Tiempo en que se realizo la captura de señal.



Display al final de una búsqueda completa (dos posiciones verticales y 40 horizontales). El círculo verde indica la dirección con máxima ganancia.

Advanced Buttons

Habilita los botones adicionales para poder realizar tests.

Test: Permite capturar señal de forma continua y representarla gráficamente.

Goto: Permite orientar el receptor hacia una posición determinada.

Wait: Realiza un posicionamiento del receptor y realiza una captura de audio utilizando el algoritmo de autocompensación.



HEADING	<input type="text" value="0"/>
PITCH	<input type="text" value="0"/>
TIME	<input type="text" value="1.8"/>
GOTO	
WAIT	

Options
<input type="checkbox"/> Change Mission Options
<input checked="" type="checkbox"/> Use AutoCompensation

Menu Options:

Habilita o deshabilita opciones del funcionamiento del programa.

Change Missing Options: Habilita la posibilidad para cambiar la ventan de parámetros de la misión.

CONFIRM	
Are you sure to change the Mission Options? This May cause wrong detection or finding system crash!	
<input type="button" value="Aceptar"/>	<input type="button" value="Cancelar"/>

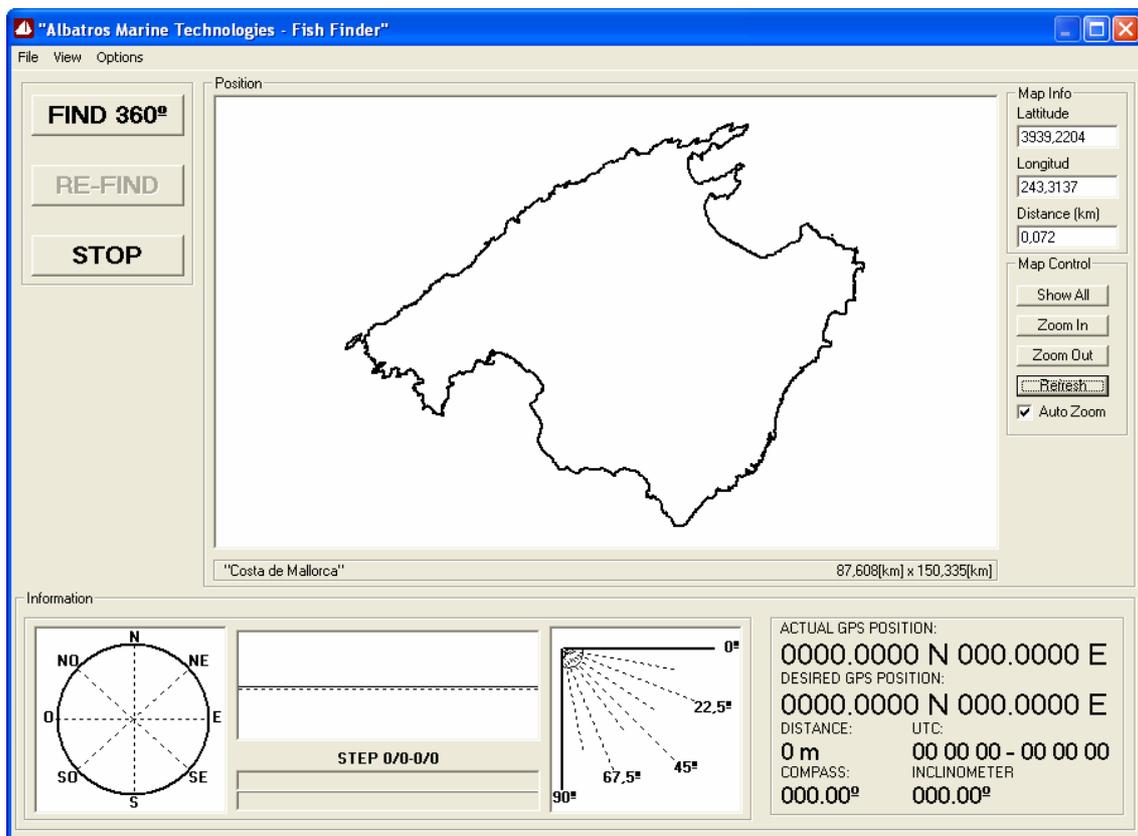
Use AutoCompensation: Habilita/Deshabilita la autocompensación. La autocompesación es un algoritmo que intenta mantener el receptor encarado hacia el emisor, incluso cuando existe movimiento entre capturas consecutivas. Si se detecta que el receptor se ha movido mas del error permitido se reposiciona correctamente antes de capturar la señal.

Funcionamiento del software.

Para el correcto funcionamiento del sistema debemos tener conectado y arrancado el GPS con posición ya detectada. El programa al arrancar lee el GPS para determinar la posición actual. Si esta no está disponible, el software indicará de un error, advirtiendo al usuario de este.



Si no tenemos un mapa inicial se puede cargar uno mediante el menú de File -> Open Map File.



El marco interno de Position contiene la información y botones para poder interactuar con los mapas.

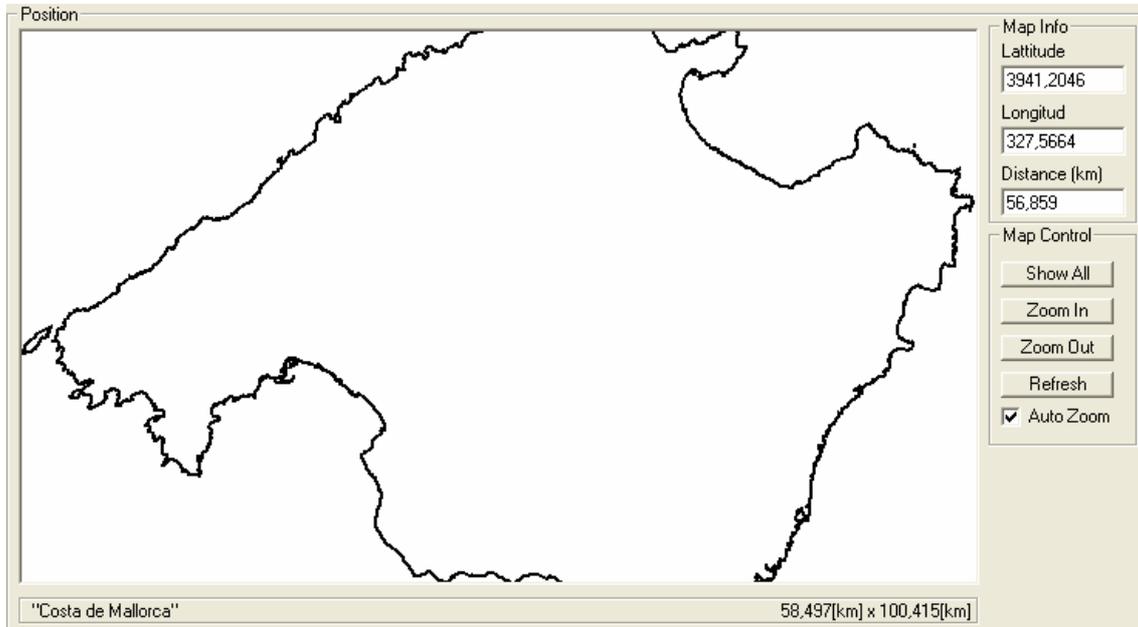
La información que se muestra es la latitud y longitud de la coordenada indicada por el puntero del ratón.

Latitud y longitud están expresados como grados, y minutos decimales (por ejemplo: 3941.2046 → 39° 41' 12'' y 327.5664 → 3° 27' 17'').

La distancia es la distancia en km entre dos puntos marcados en el mapa mediante el botón izquierdo del ratón.

Para poder realizar Zoom se dispone de los botones Zoom In y Zoom Out (acercar/alejar respectivamente), también es posible realizar un Zoom In con el botón derecho del ratón.

Show All muestra todo el mapa posible y Refresh realiza un refresco del mismo.



El siguiente paso a realizar es una configuración de los parámetros de la misión. Existen dos clases de parámetros:

Dependientes del tipo de emisor (“pinger”): tiempo de captura y distancia máxima.

Dependientes del entorno de la misión: Grados en el recorrido horizontal y vertical, precisión del error. Estos son importantes ya que el tiempo de búsqueda dependerá de los mismos.

Existen dos configuraciones adicionales (audio y discriminación de la señal) que se tratan en el apartado de configuraciones.

Una vez que tenemos los parámetros configurados y ajustados se procede a una primera localización del emisor (“pinger”), presionando el botón de “Find 360”.

Al ejecutar esta acción se lanza un proceso de búsqueda del pez moviendo el receptor en el eje horizontal y el eje vertical, actuando con la electrónica.

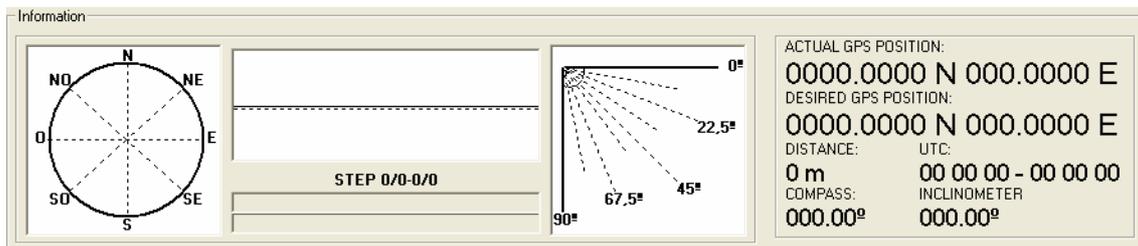
La búsqueda consiste en movimientos horizontales con el número de grados indicado (Horizontal Grades Step) seguidos de un posicionamiento vertical con el

numero y margen de grados indicados (Vertical Grades Step, MAX Vertical Grades, MIN Vertical Grades).

Cuando el receptor esta posicionado (horizontalmente y verticalmente) se realiza la captura y procesado de la señal.

Este tratamiento continúa hasta que se ha realizado los 360° iniciales.

Durante este proceso, la información relativa al mismo, se puede visualizar mediante el marco de información y también mediante la ventana adicional de “Finding Status”.



En el marco de información se muestra el proceso de búsqueda de forma visual. La grafica polar nos indica la situación horizontal del receptor, esta misma se puede leer en la indicación de compass.

El marco de captura de señal tiene dos líneas de referencia, la línea discontinua de referencia cero de señal y la línea continua que discrimina el nivel que se considera de ruido.

El gráfico de 0°-90° nos indica la situación vertical del receptor, junto con la información disponible en el inclinómetro.

La información relativa a la posición de la barca es la posición actual dada por el GPS. La posición deseada es la posición de la barca una vez se ha iniciado el proceso de búsqueda, nos da una idea de la deriva.

Una vez finalizada la búsqueda la posición deseada nos proporciona la nueva ubicación para realizar la siguiente búsqueda.

Cuando nos posicionemos en la nueva ubicación deseada realizamos una nueva búsqueda haciendo clic sobre el botón de “Re-Find”.

El proceso de re-find realiza una búsqueda entre los ángulos “MAX Grades Horizontal”, “MIN Grades Horizontal”, “MAX Grades Vertical” y “MIN Grades Vertical”.

Al finalizar el proceso nos indicará en el mapa la posición del pez.

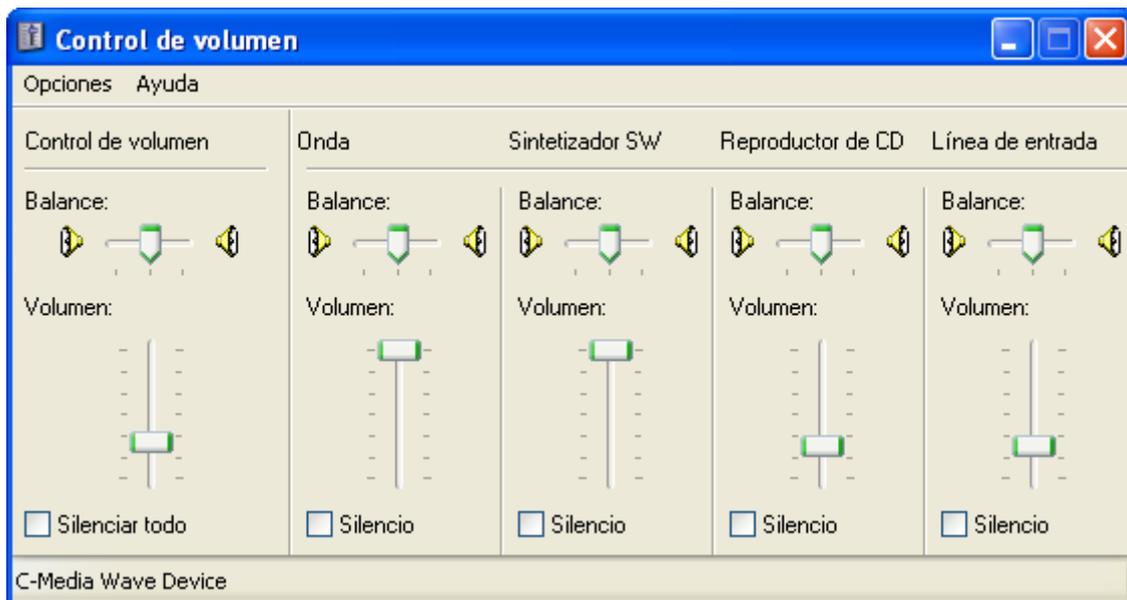
Configuración inicial del audio.

La señal procedente del emisor tiene que ser adaptada para poder capturarla correctamente en el PC.

La señal es tratada por el receptor USR-96 de Sonotronics, el cual posee dos potenciómetros de ajuste “GAIN” e “INPUT”. Estos potenciómetros deben fijarse en un punto fijo.

La salida tratada por el USR-96 se introduce en el PC mediante la entrada de micrófono, el cual también se debe ajustar al máximo de señal.

Para ajustarlo se puede realizar desde el boton Volume de las opciones de mision.



Se debe ajustar el dispositivo de grabación del PC, para ello en propiedades seleccionar grabación.





Configurar al máximo la entrada del micrófono.



Configuración inicial de la señal.

Para poder determinar si tenemos señal o no debemos establecer un nivel inicial de ruido.

El procedimiento correcto para establecer esta referencia es:

1. Ajustar la configuración de audio.
2. En la ventana de opciones establecer el nivel de ruido a cero, para que todo lo que se considere como señal

3. Realizar un búsqueda de 360°, pero solo con dos niveles verticales 10° y 20°.
4. Medir el máximo en la ventana de “Finding Status” y establecer este nivel con un margen de seguridad como nivel mínimo de señal.



Sistema operando en condiciones reales.

Tarea 3: Evaluación de la precisión del sistema móvil. Problemas detectados.

Estatus actual: Se han hecho avances muy importantes pero para que el sistema sea útil en el futuro debe mejorarse la precisión de las estimas de posición y el número de posiciones estimadas por unidad de tiempo.

Se recomienda continuar desarrollando el sistema en estos dos puntos ya que puede ser muy útil en otros proyectos.

Personal:

IMEDEA: Beatriz Morales, Miquel Palmer (responsable de la Tarea 3), Miguel Martinez, Federico Cardona, Marta Linde.

ALBATROS

Introducción.

La evaluación del comportamiento del sistema móvil se ha realizado a lo largo de todo el proyecto. Además se ha diseñado varios experimentos para evaluar formalmente la precisión. En estos experimento se sumergía un trasmisor cerca del fondo (se evaluaron varios tipos de trasmisor) en un punto de coordenadas conocidas y se trataba de recuperar esta posición mediante la ejecución del protocolo completo de localización.



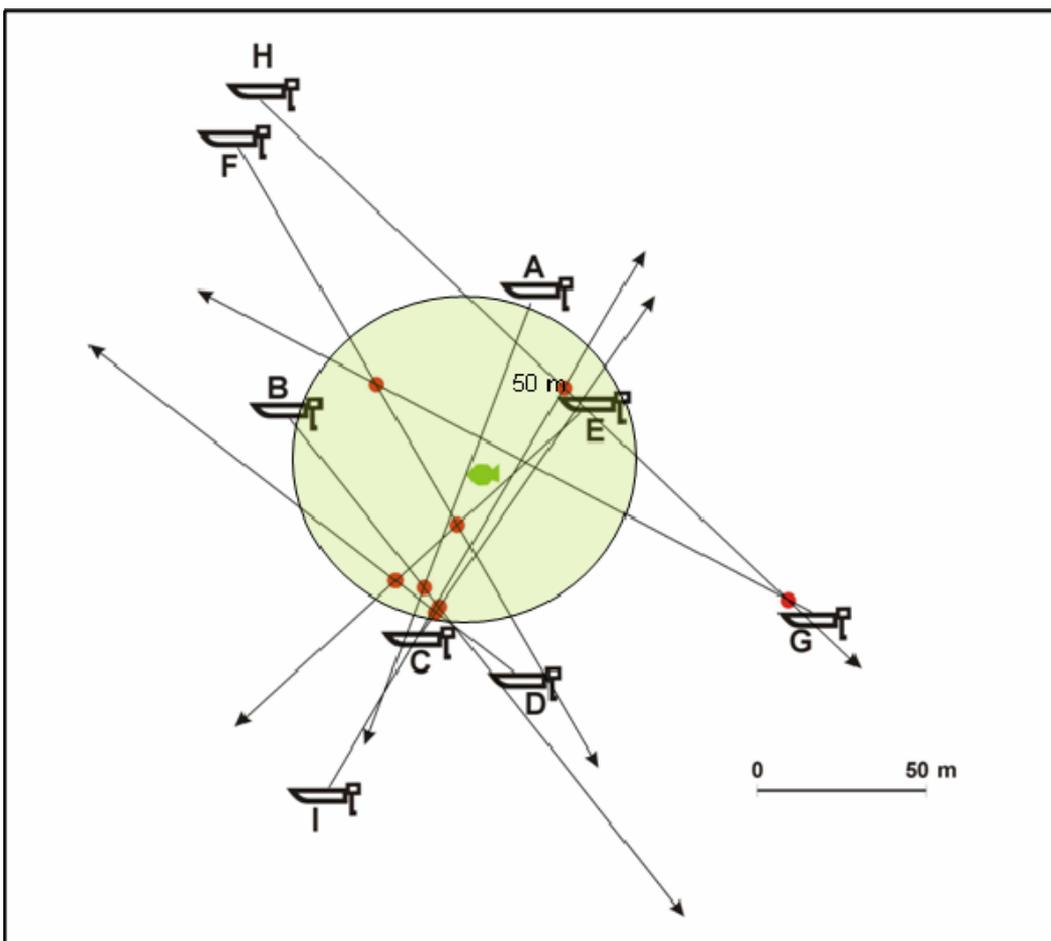
Experimento de estima de posición de in emisor fondeado (boya roja)

Resultados

Se determinó el error absoluto (metros y grados) de un transmisor SIT Sonotronics ® desde 9 posiciones diferentes. La señal dejó de percibirse a distancias mayores de 121 metros, por tanto las posiciones de evaluación están dentro de esta escala espacial.

Errores obtenidos:

LAT	LON	Compass (degrees)	Distance (mts)	Real Compas	ERROR
39°29,657	2°32,609	130,2543	121	147	16,75
39°29,652	2°32,604	147,9813	116	141	6,98
39°29,585	2°32,723	295,3403	103	289	6,34
39°29,558	2°32,622	33,6543	95	30	3,65
39°29,612	2°32,614	139,7163	61	107	32,72
39°29,574	2°32,666	304,5233	55,2	343	38,48
39°29,629	2°32,665	203,5283	51,2	197	6,53
39°29,580	2°32,641	38,0663	47,2	26	12,07
39°29,614	2°32,677	231,9693	37,4	237	5,03

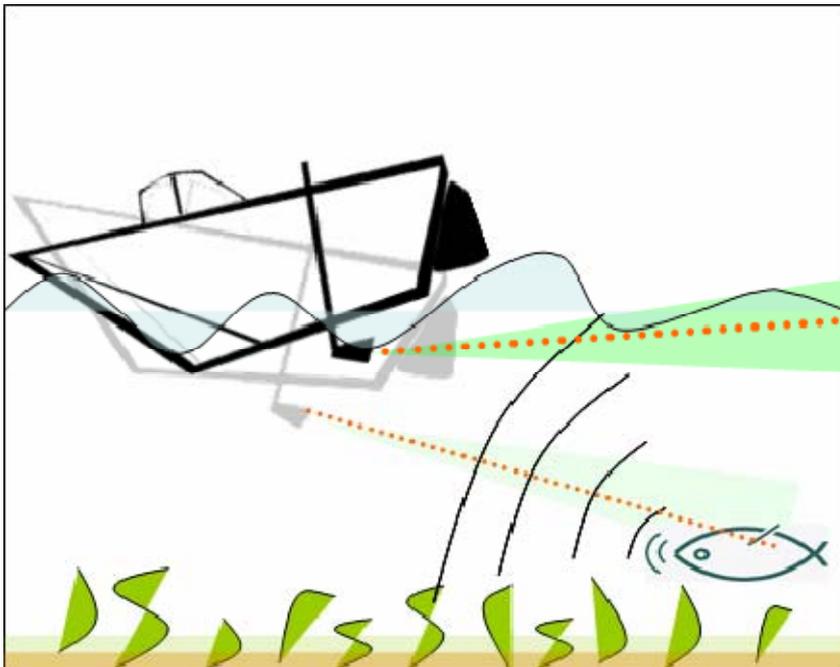


Representación espacial de los errores en el experimento anterior: El símbolo de la barca representa la posición del receptor. El símbolo verde representa la posición real del emisor y los puntos rojos representan la posición estima del emisor.

El error medio (distancia absoluta en metros entre la posición real y la estimada) en este experimento fue de 45.1 metros, con una desviación estándar de 23.9 metros. Además pudo comprobarse que el error en el ángulo es algo menor cuando la distancia entre la embarcación y el emisor aumenta (aunque permaneciendo dentro del rango en que puede detectarse señal). Así, para las posiciones mas alejadas (108 m de media) el error fue de 8.4 ± 5.7 grados, mientras que en posiciones más cercanas fue de 18.9 ± 15.5 grados. Esto es debido a que a poca distancia del objetivo, una pequeña desviación implica un cambio de dirección más acusado que a mayor distancia. Esto indica que la precisión será máxima en un intervalo de distancias lo suficientemente grandes como para minimizar el efecto anteriormente descrito pero al mismo tiempo no tan grandes como para que pueda percibirse la señal del emisor. Este rango, para el modelo utilizado esta en unos 100 metros en orden de magnitud.

Problemas detectados que afectan a la precisión.

a) Efecto del movimiento de la embarcación



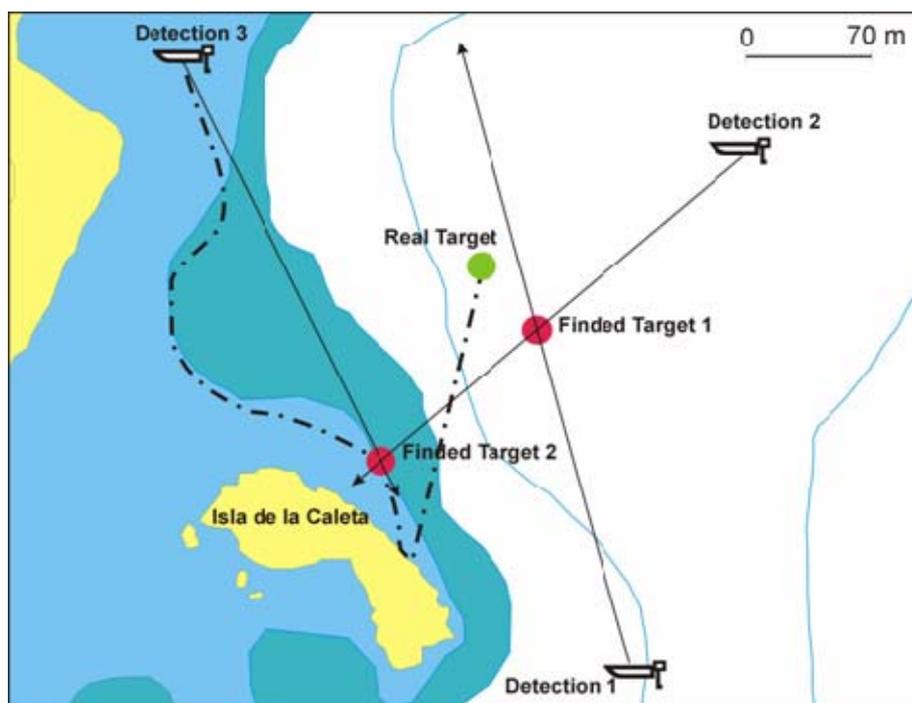
Al moverse la embarcación por el efecto de las olas, va cambiando la dirección de detección. El sistema corrige esta dirección de manera automática esta dirección cuando el error supera un umbral predeterminado. Con oleaje moderado esto sucede muy a menudo y la consecuencia es que el proceso de barrido se hace muy lento. Esto,

además de comprometer la precisión de la estima de Posición afecta muy seriamente al número de detecciones por unidad de tiempo (ya que debe redefinirse la dirección de detección y ser mantenida el tiempo suficiente (al menos durante varios ciclos de emisión del emisor)).

El número de protocolos completos de estima de posición que pueden completarse en un día raramente supera las varias decenas. Dado que la precisión intrínseca del sistema es discreta y con outliers evidentes, es deseable tener un gran número de estimas por unidad de tiempo para detectar estimas erróneas y para aumentar la precisión utilizando medias de varias estimas consecutivas. Además, el objetivo final es describir el patrón de movimiento de un pez, por lo que el sistema debe ser capaz de estimar un número de posiciones elevado. Por tanto, deben introducirse mejoras para aumentar considerablemente el número de estimas de posición por unidad de tiempo.

B) Rebotes de la señal acústica con la costa

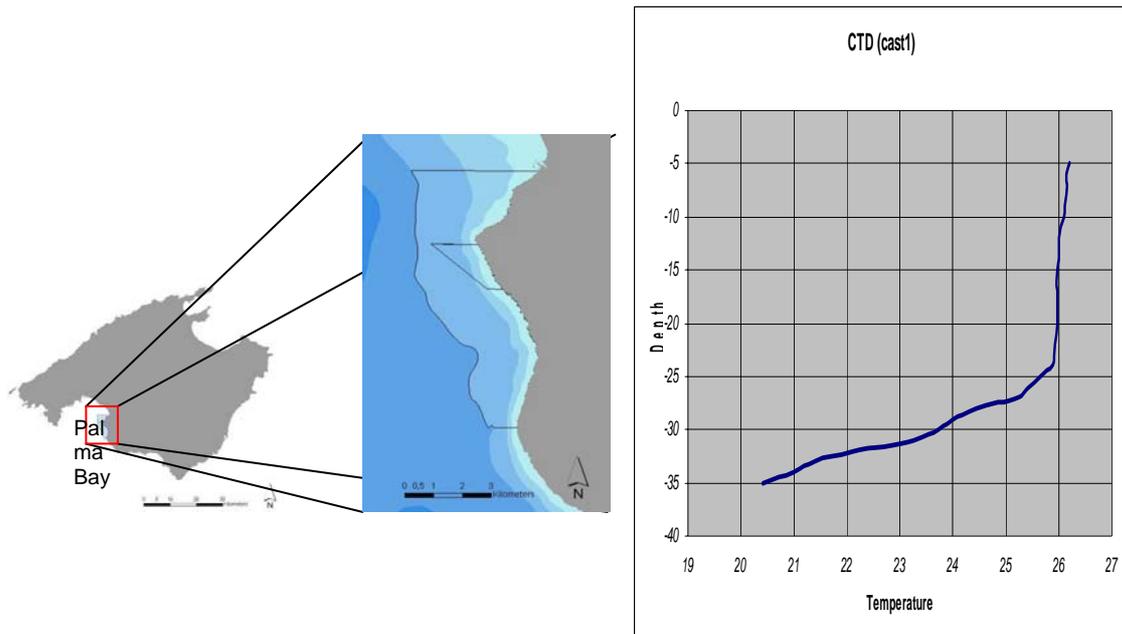
Cerca de la costa pueden producirse rebotes de la señal acústica. Además, en aguas someras, la estructura del fondo puede formar canales por los que las ondas acústicas pueden transmitirse más rápidamente y más fácilmente. Lamentablemente, las especies de interés viven en un escenario en el que pueden darse estos problemas.



Ejemplo de posición errónea debida a un rebote de la señal acústica (datos reales).

C) Problemas relacionados con la termoclina.

En verano la termoclina esta muy bien estructurada en la zona de estudio a unos 20-30 m. La termoclina puede reflejar la señal acústica que viene del fondo (o de cerca del fondo, dados los hábitos bentónicos de las especies consideradas). En verano ha sido imposible detectar la señal acústica de transmisores fondeados por debajo de la termoclina incluso cuando el receptor se situaba prácticamente sobre el emisor.



D) Potencia de la señal.

Obviamente, muchos de los problemas citados anteriormente podrían disminuir si se utilizaran emisores de gran potencia. Lamentablemente, las dimensiones de las especies de interés son relativamente pequeñas, de manera que existe un límite muy bajo en las dimensiones del transmisor. Fijadas estas dimensiones máximas del transmisor, la energía de la batería debe invertirse en un compromiso entre potencia de la señal y duración. Fijada una duración mínima de una o unas pocas decenas de días (por debajo de los cuales no es posible descripción alguna de patrones de movimiento), hoy por hoy no es posible obtener una mejora significativa (varios ordenes de magnitud) en la potencia de emisión.

Recomendaciones para futuros desarrollos del sistema

1) Incrementar substancialmente el número de estimas de posición por unidad de tiempo. Esto podría hacerse con un sistema que no fuese completamente automático. Un operador podría identificar la dirección de máxima ganancia de manera manual. Este proceso podría llegar a ser suficientemente rápido como para que el movimiento de la embarcación afectase poco al proceso.

2) Existen especies comercialmente muy interesantes de tamaño relativamente grande y con movilidad relativamente reducida. Este tipo de especies seria los candidatos ideales para futuros estudios ya que permitirían la utilización de emisores de mayor potencia.

Tarea 4: Descripción del patrón de movimiento de *Coris julis* mediante marcas externas.

Estatus actual: Se ha completado una estima del home range de *Coris julis* mediante el uso de marcas externas (captura, liberación y recaptura).

Personal:

IMEDEA: Miquel Palmer (responsable de la Tarea 4), David March, Josep Alos, Federico Cardona, Marta Linde, Itziar Alavrez.

Introducción y justificación

La secuencia lógica del proyecto implica la estima del rango habitual de movimiento para luego diseñar la distribución espacial de los receptores de una red fija que cubra ese rango habitual de movimiento. Así, para una especie cuyo *home range* es del orden de centenares o miles de km² (por ejemplo un atún), no se obtendría ninguna información con una red fija de receptores que cubriera solo unos cientos de metros cuadrados.

Como se ha comentado anteriormente (TAREA 3), el sistema de detección móvil no ha sido útil para estimar ese rango de movilidad aproximado. Para cubrir este objetivo se ha completado un programa de marcado externo de *Coris julis*, *Diplodus annularis* y *Serranus scriba* (las tres especies más pescadas por los pescadores recreativos). El programa de marcado de peces, además de sus objetivos intrínsecos, ha permitido un acercamiento al mundo de los pescadores recreativos ya que para promover la devolución de peces marcados se ofrecen diferentes incentivos (<http://www.roquer.org/recreativa-sorteos.php>). Se han impartido diversas charlas divulgativas en Clubs de pesca y asociaciones de pescadores que sin duda facilitaran la colaboración entre investigación, pescadores y gestores. Un buen ejemplo ha sido la participación del IMEDEA en el primer trofeo de captura y suelta.



La participación del IMEDEA en actividades organizadas por pescadores recreativas ha tenido repercusión mediática

Métodos

Captura y marcado

El rango de movimiento se ha estimado mediante el método de captura y recaptura, utilizando marcas externas en forma de “T” (Floytag ©). Dichas marcas externas contienen un número de serie y un teléfono de contacto. Su inserción se realizó sobre la zona dorsal, con una pistola provista de una aguja suministrada por el mismo fabricante de las marcas.

El marcado de peces se realizó durante el periodo comprendido entre Febrero de 2006 hasta Mayo de 2007, en diferentes puntos de la Bahía de Palma. Durante dicho periodo, se marcaron un total de 689 individuos de *Coris julis*, 1999 de *Diplodus annularis* y 248 de *Serranus scriba*. Esto supone un total de 2932 individuos marcados. Para una parte importante de las pescas de marcado se contó con la colaboración de pescadores voluntarios. Como ya se ha comentado, durante el primer Campeonato de Captura y Suelta también se marcó un gran número de individuos.

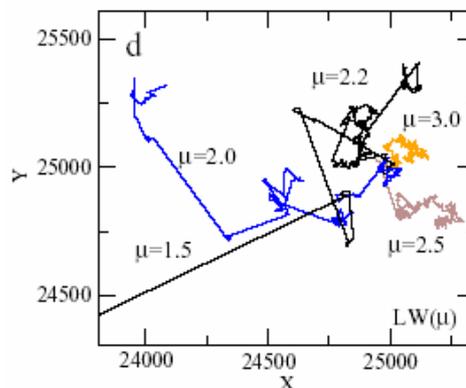
En el momento de notificarse una recaptura, se tomaron datos sobre la posición de recaptura, fecha y datos del pescador. Algunas recapturas contaron con datos precisos de la posición de recaptura si el pescador llevaba un dispositivo GPS o si la pesca se había realizado desde costa. Sin embargo, la precisión de otras recapturas es menor dado que sólo se disponían datos de la zona.



Marcado de la doncella

Análisis de los datos

Para el análisis de los datos de distancia entre el punto de marcado y de recaptura se ha utilizado un método basado en simulaciones matemáticas. Normalmente se asume (por los patrones exhibidos por otras especies; Turquin, 1998) que las distancias recorridas en un intervalo de tiempo prefijado (en nuestro caso, una semana) están distribuidas de forma exponencial (Turquin, 1998). En este caso, la distancia media entre dos posiciones sucesivas viene determinada por un solo parámetro (GEO). Si además se asume que el ángulo entre dos posiciones sucesivas es aleatorio, se obtiene un tipo de movimiento muy característico denominado “paseos de Levins” (Turquin, 1998).



Ejemplos de “Paseos de Levins con diferente valor de GEO ($=\mu$).

Los análisis preliminares sugieren que la distribución de distancias al centro del home range no puede ser generada (o aproximada) por ningún valor de GEO. Por el contrario, los datos sugieren que los individuos tienden a permanecer más tiempo de lo esperado cerca del centro del home range. En consecuencia, en nuestro caso se ha incrementado la complejidad del modelo asumiendo que el ángulo entre dos posiciones sucesivas no es aleatorio sino que tiene como media la dirección a un “centro del área de campeo” (*home range*; Turquin, 1998) y como varianza un segundo parámetro del modelo (SIGMA). Se ha evaluado la verosimilitud de un amplio rango de valores de GEO y SIGMA para determinar la combinación de parámetros que mejor se ajusta a los datos obtenidos.

Para ello se han simulado 10000 iteraciones independientes. En cada caso se ha “liberado” una partícula en el punto de captura, se ha dejado pasar 50 pasos para garantizar que el punto de inicio está seleccionado al azar y se ha evaluado la distribución de distancias al centro para una secuencia de 60 unidades de tiempo (en nuestro caso, semanas), ya que es el periodo para el que se tiene datos de recapturas.

Una vez seleccionados unos valores de GEO y SIGMA máximo verosímiles, se ha completado una simulación con esos valores para determinar el percentil 95% de la distribución obtenida de distancias al centro del home range. Esto es equivalente a determinar el radio del área donde permanece un individuo el 95% del tiempo.

Estas simulaciones se han completado en MATLAB.

Resultados

El número de recapturas de *Serranus scriba* (2) y *Diplodus annularis* (14) es insuficiente para poder abordar una descripción de los patrones de movimiento con los datos disponible hasta ahora. En el caso de *Diplodus annularis* el problema radica en que la mayoría de las 14 recapturas se realizaron al cabo de muy poco tiempo, por tanto sería muy difícil extrapolar predicciones razonables mucho más allá de unas pocas semanas.

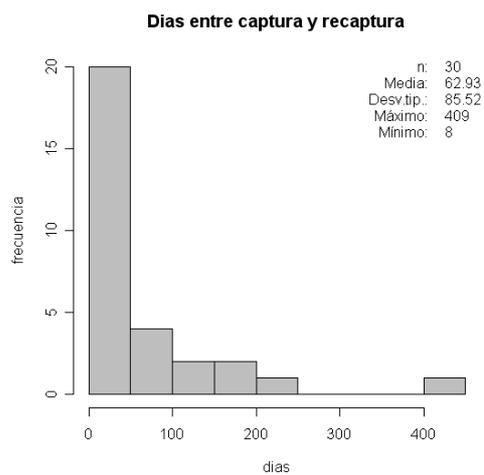
El número total de *Coris julis* recapturadas ha sido de 30. Esto supone una tasa de recaptura del 4,4%. La siguiente tabla muestra los datos de las 30 recapturas. Se presenta el periodo transcurrido entre la captura y recaptura en días, así como la distancia entre la localidad de captura y la de recaptura. Nótese que algunas distancias tienen el valor de 0 dado a que se realizaron en localidades de captura ya conocidas, como la del *Campeonato de Baleares 2007* que se realizó sobre la misma posición que el *Primer Trofeo de Captura y Suelta*. Se estima que el error posicional de la mayoría de

recapturas en las que no se contaba con GPS, pueda llegar a ser del orden de unos 500m.

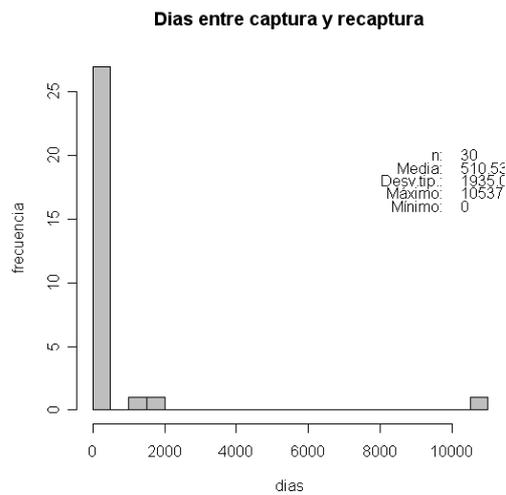


Doncella recapturada

A continuación se presentan los histogramas relacionados con el número de días entre la captura y la recaptura, y con la distancia recorrida por los individuos marcados. El histograma de distancia se ha generado con intervalos de 500 m para reflejar el error posicional que se ha podido cometer en la digitalización de la recaptura.



Histograma de días transcurridos



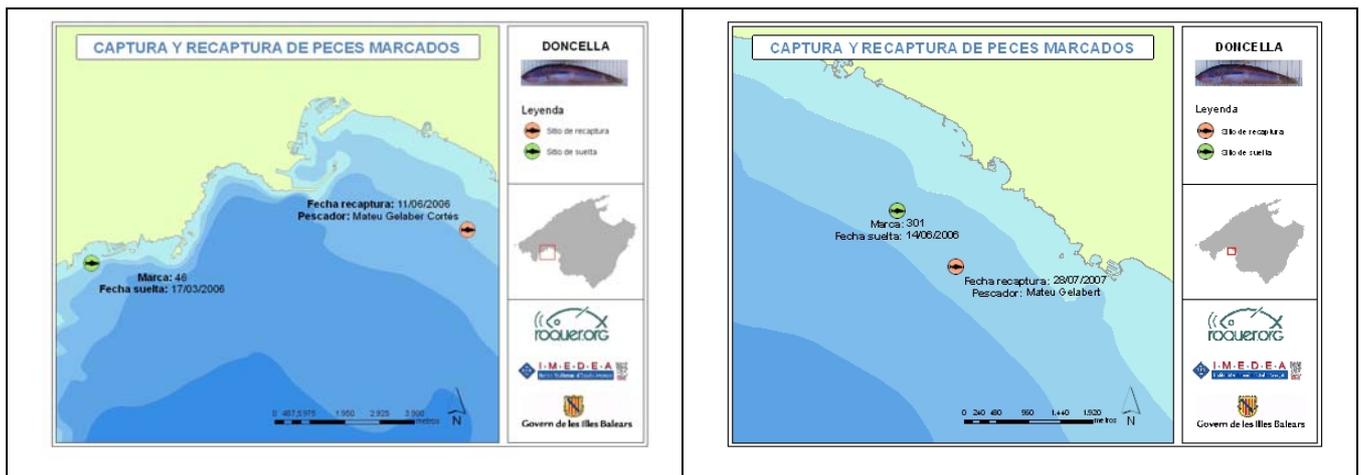
Histograma de distancias

Marca	Tiempo (días)	Distancia (m)	Pescador
46	86	10537	Mateu Gelaber Cortés
1113	24	409	Sr. Salom
433	8	35	Palmer
382	159	153	Damià Grimalt
434	167	121	Damià Grimalt
428	231	302	Damia Mayol Bauza
2259	26	0	Pep Alos
301	409	1226	Mateu Gelabert
4189	71	36	Pep Alos
2418	23	20	Pep Alos
2421	23	19	Pep Alos

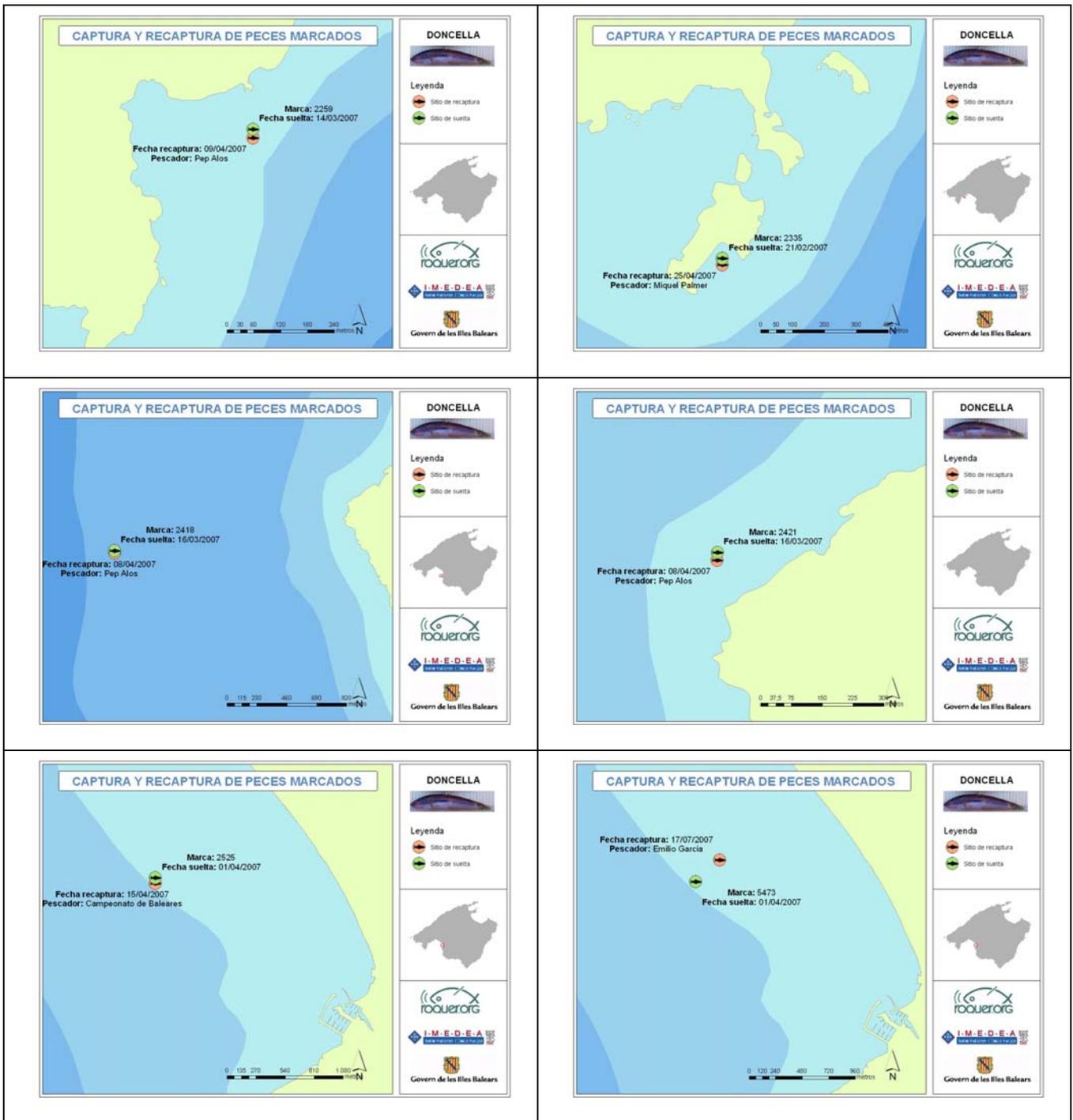
2238	23	1845	Pep Alos
2265	26	0	Pep Alos
2447	26	0	Pep Alos
4193	92	4	Pep Alos
5473	107	292	Emilio Garcia
5369	107	292	Miguel Angel Simo
2621	23	0	Lluis M ^a Segura
4361	50	25	Pep Alos
4136	18	0	Lluis M ^a Segura
2525	14	0	Cto. de Balears
2623	14	0	Cto. de Balears
5378	14	0	Cto. de Balears
4079	14	0 <td Cto. de Balears	
5223	14	0	Cto. de Balears
5204	14	0	Cto. de Balears
2530	14	0	Cto. de Balears
2675	14	0	Cto. de Balears
4099	14	0	Cto. de Balears
2335	63	0	Miquel Palmer

Deben destacarse las dos recapturas con valores extremos. En primer lugar un individuo recapturado tras 409 días a solo 1226 m del punto de suelta y otro individuo recapturado a algo más de 10 km del punto de suelta después de 86 días.

Finalmente, se presentan algunos mapas de las recapturas generadas en el presente proyecto.

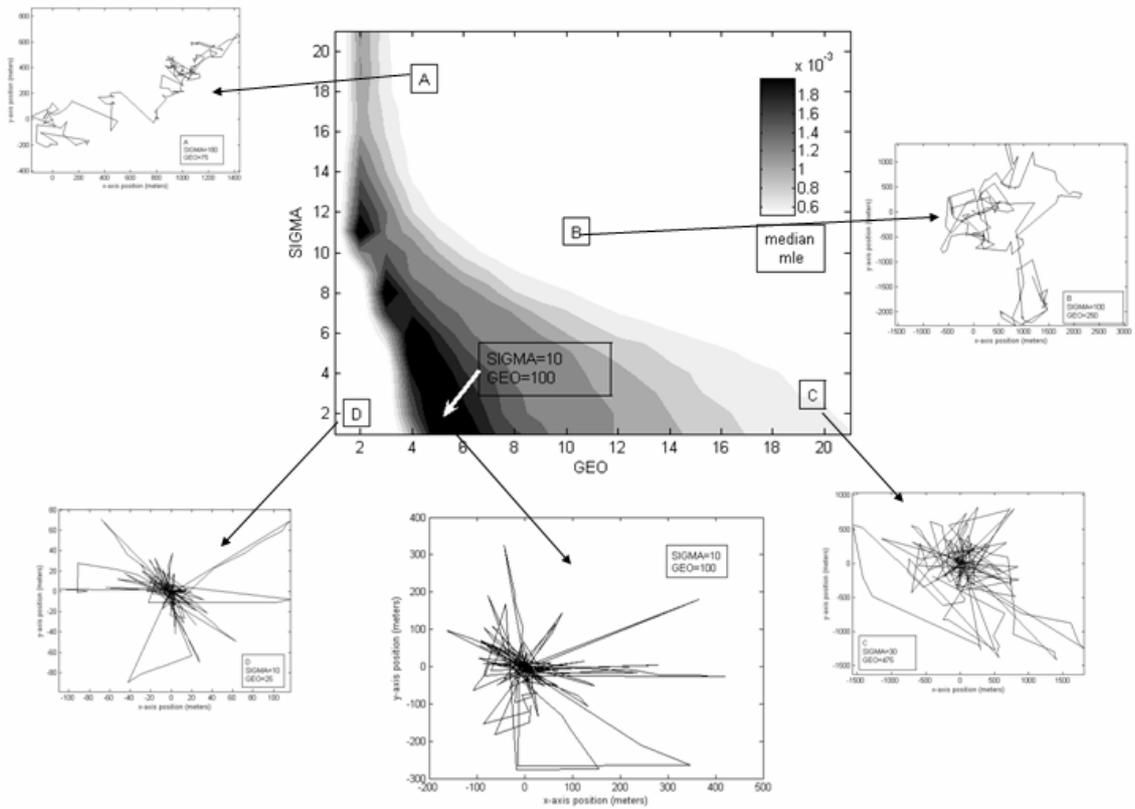




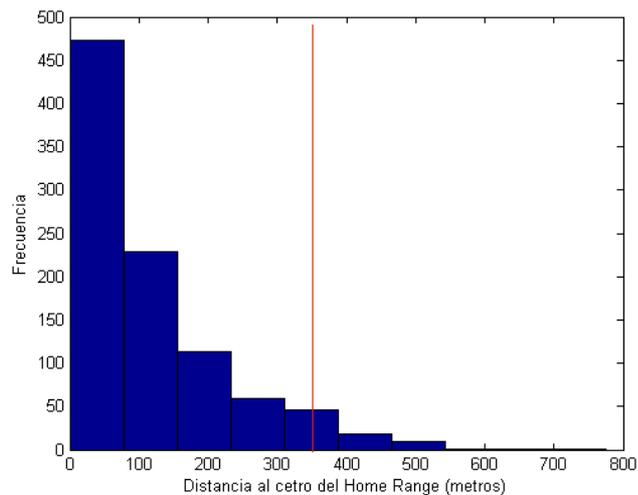


Resultados de las simulaciones

Los valores de GEO y SIGMA que presentan máxima verosimilitud para explicar los datos obtenidos son GEO=100 y SIGMA=10 (Figura 1). Asumiendo, estos parámetros, se ha estimado que *Coris julis* se mantiene dentro de un radio de 344.6 metros del centro del *home range* durante el 95% del tiempo.



Gradiente de verosimilitud de que los datos observados puedan haber sido generados por diferentes combinaciones de GEO y SIGMA (colores oscuros indican mayor verosimilitud). La combinación con máxima verosimilitud se indica con una flecha blanca. Además, se muestra una simulación del movimiento a lo largo de un año para 5 combinaciones de GEO y SIGMA, como ejemplos de diferentes tipos de patrón de movimiento. Es interesante destacar que para valores altos de SIGMA se obtienen “paseos de Levins” convencionales.



Distribución de distancias al centro del Home Range obtenidas a partir de los valores de SIGMA y GEO máximos verosímiles. La línea roja separa el 95% de los valores y se corresponde con una distancia de 344 metros.

Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que la movilidad de *Coris julis* es reducida. La mayor parte de las recapturas se encuentran en el intervalo comprendido entre los 0 y 500m. Es indicativo que el individuo recapturado tras 409 días (el mayor período de tiempo) se hubiese pescado a poco más de 1 km del punto en que fue marcado y liberado.

Las simulaciones indican claramente que los patrones observados no pueden explicarse solo mediante una distribución exponencial de la distancia recorrida por unidad de tiempo. Además es necesario introducir en el modelo un nuevo parámetro relacionado con dirección preferente de estas distancias recorridas por unidad de tiempo. El modelo empleado sugiere que el patrón observado esta determinado por dos procesos complementarios. Por un lado la distribución de la distancia recorrida y por otro, el grado de fidelidad al centro del home range.

Tarea 5: Instalación y puesta a punto del sistema fijo de detección acústica.

Estatus actual: Se ha diseñado e instalado una red de 25 receptores fijos que se encuentra totalmente operativa.

Centro responsable: IMEDEA.

Personal:

ImedeA: Alberto Alvarez, (responsable de la Tarea 5), Miguel Palmer, David March, Josep Alos, Federico Cardona.

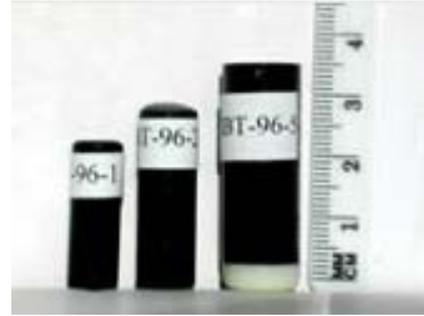
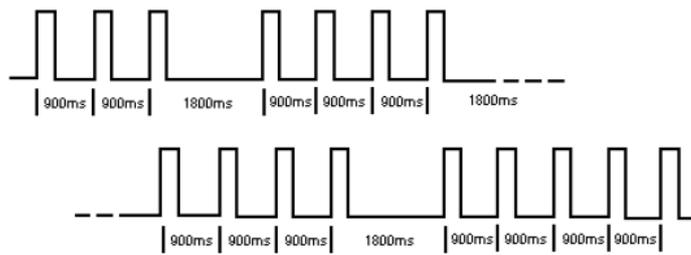
Introducción

Los receptores fijos omnidireccionales archivan automáticamente cada encuentro con el emisor (dentro de su radio de detección) y por tanto pueden llegar a almacenar una gran cantidad de información, pero solo mientras que el emisor se mantenga dentro de ella. Por tanto, solo después de haber estimado la magnitud del home range cabe la posibilidad de diseñar una red de receptores fijos.

Descripción del sistema

El sistema fijo de detección acústica está formado por tres componentes principales: los transmisores (implantados dentro del pez), una red de receptores y un sistema de descarga y almacenamiento de datos.

Los transmisores utilizados son los modelos IBT-96-1 y PT-3 de la marca Sonotronics (www.sonotronics.com). Cada transmisor emite con una frecuencia, código e intervalo de tiempo determinado, permitiendo su identificación individual mediante el sistema de receptores. Los modelos de transmisor utilizados han sido seleccionados de acuerdo con el tamaño de las especies objeto del estudio, procurando que su peso no exceda del 2% del peso total del pez.



A la derecha se muestra el tamaño y forma de la serie de transmisores IBT de Sonotronics. A la izquierda, se presenta el esquema de un transmisor que emite un código 3-4-4-5 y con un intervalo de 900 ms (milisegundos).

Se han adquirido 25 receptores del modelo SUR-1 con doble sistema de batería de la marca Sonotronics. La doble batería aporta al receptor una vida de unos 10 meses, aproximadamente. Dichas batería pueden ser sustituidas, permitiendo la larga duración del sistema de recepción. Los receptores están formados por un tubo de PVC, dentro del cual están alojados las baterías y el sistema electrónico. En la parte superior sobresalen un puerto externo (utilizado para la descarga de datos) y un transductor (por donde se recibe la señal acústica de los transmisores) (Figura 2). Antes de fondear los receptores, éstos deben ser configurados desde un ordenador mediante el software SURsoft5.5 de Sonotronics. Con dicho software, se puede ajustar la hora, frecuencias para escanear y periodo de reposo entre frecuencias.



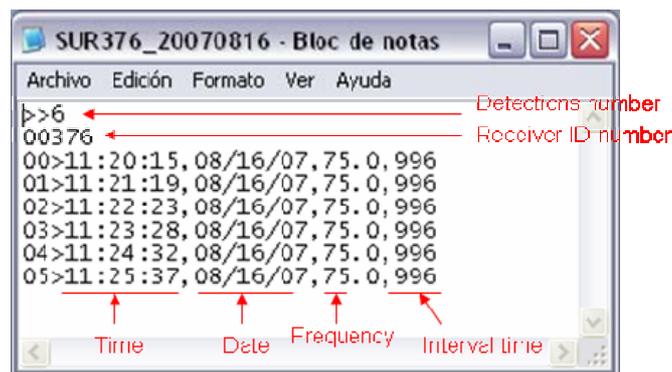
Componentes del receptor SUR-1 de Sonotronics.

El sistema físico utilizado para descargar la información de los receptores consta de una PDA con una carcasa resistente al agua y los golpes, y un cable de conexión de la PDA al puerto externo del receptor. La PDA tiene instalado el software SUR-PPC con el que se puede realizar la descarga de los datos. Para cada receptor se debe

descargar un archivo que contiene información sobre el identificador del receptor, el número de detecciones realizadas y los datos de cada detección (fecha, hora, frecuencia e intervalo de tiempo).



Sistema utilizado para la descarga de datos del receptor.



Ejemplo de un archivo descargado del receptor #376, mostrando 6 detecciones.

Diseño del sistema de instalación de los receptores

El montaje y sistema de anclaje de los receptores depende del tipo de especie que se pretenda analizar y del ambiente de la zona de estudio. Dado que las especies objeto de este estudio son nectobentónicas (nadadores asociados al sustrato) en fondos principalmente dominados por la comunidad de *Posidonia oceanica*, los receptores se han colocado entre 1 y 2 metros de distancia al fondo. Para mantener el receptor a dicha distancia y en posición vertical (óptima para la detección de la señal), se ha diseñado un sistema compuesto por:

- Un bloque de hormigón de aproximadamente 20Kg de peso dentro del agua.

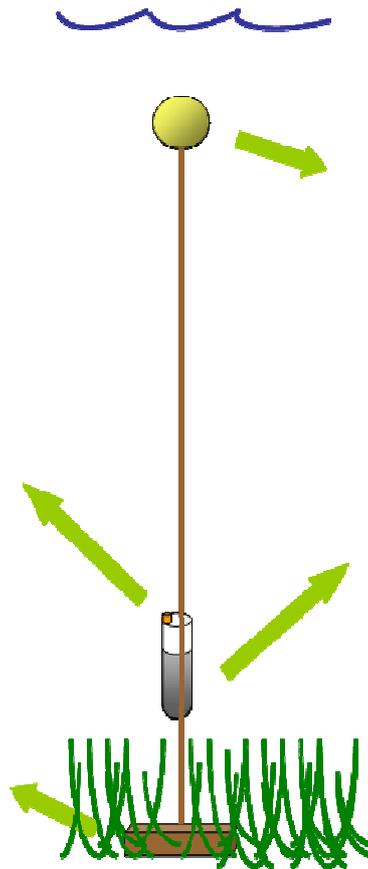
- Un cabo de unos 5 cm de diámetro, de entre 20 y 30 m de longitud, atado al bloque de hormigón mediante una cadena metálica de acero inoxidable.
- Una boya sub-superficial situada entre los 5 y 10 m de profundidad, enganchada al cabo principal mediante un mosquetón.
- El receptor SUR-1 se engancha al cabo mediante un mosquetón, ajustando su posición vertical mediante tres bridas.



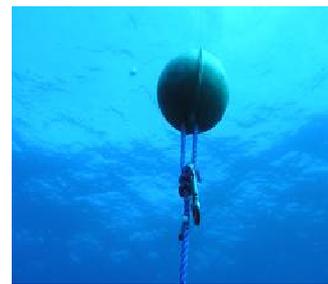
Transducer (orange) pointing up



concrete block (~20Kg in water)



Esquema del sistema de anclaje del receptor.

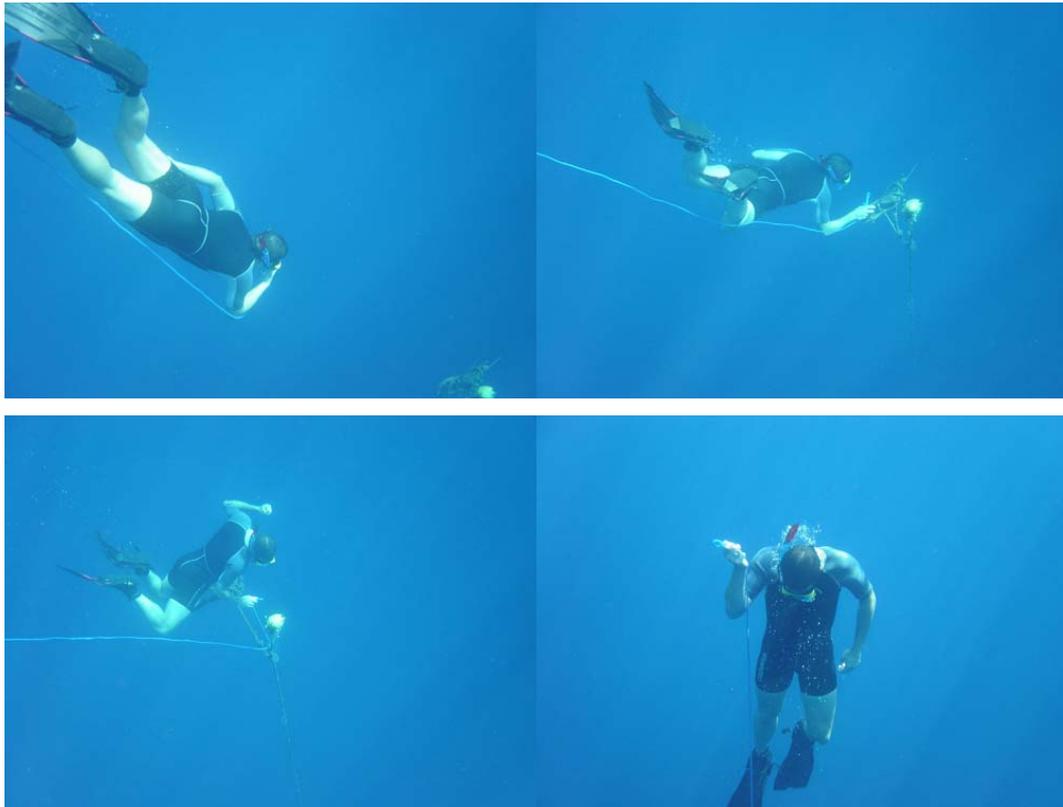


sub-surface buoy (5-10m depth)



receiver near the bottom (1-2m)

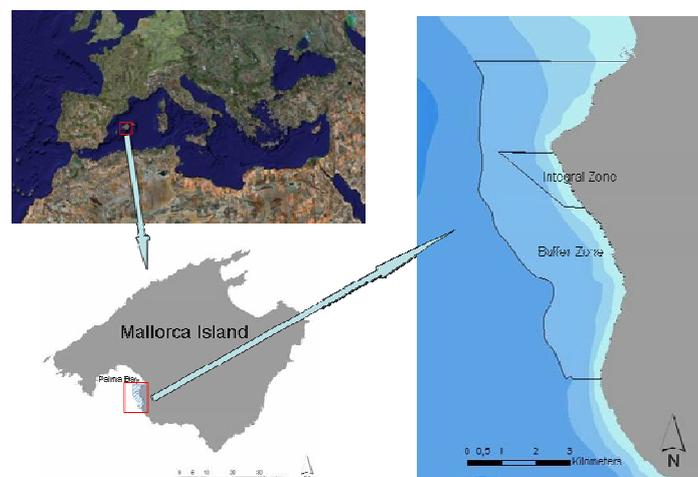
El sistema utilizado permite que pueda ser levado por 2 personas o por un molinete motorizado desde una embarcación. En primer lugar, la recuperación se realiza pasando un cabo por la gaza del cabo sumergido mediante una inmersión en apnea. Después, se leva todo el sistema tirando de los dos extremos del cabo que se ha pasado.



Secuencia de la operación de recuperación del sistema de anclaje.

Diseño de la red de receptores

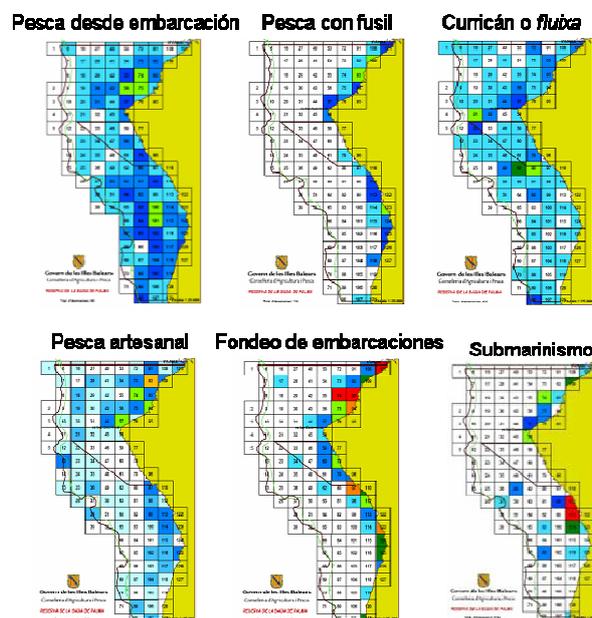
La red de 25 receptores se ha fondeado en la reserva marina de la Bahía de Palma. El desconocimiento de los patrones de movilidad de las especies objeto del estudio, ha sugerido el diseño de una red de receptores sin solapamiento de rangos de detección para maximizar el área de cobertura.



Localización de la reserva marina de la Bahía de Palma.

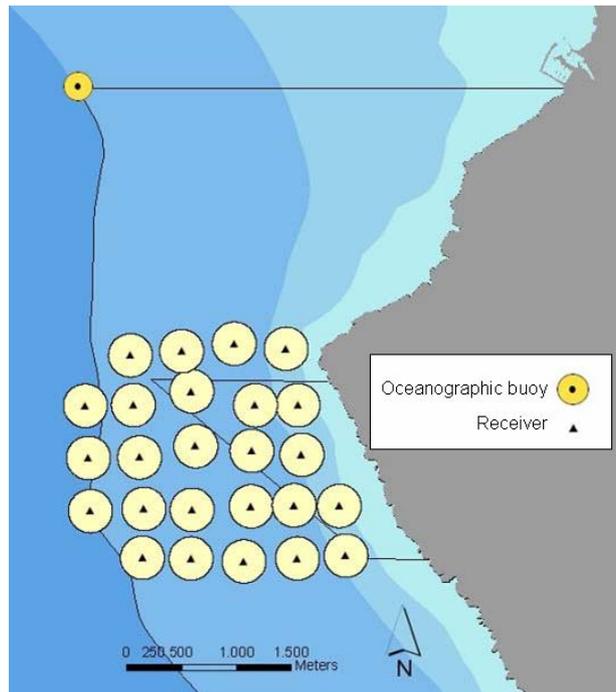
En el mapa de la derecha se muestran la zona de reserva integral, donde está prohibida cualquier actividad pesquera, y la zona ‘buffer’ o tampón donde existe una regulación para las actividades de fondeo, pesca y submarinismo.

Para la colocación de los receptores se han tenido en cuenta diferentes parámetros como la batimetría, la ubicación de la reserva integral, el tipo de fondo o los diferentes tipos de actividad humana desarrolladas en la zona (submarinismo, fondeo de embarcaciones, pesca de recreo, pesca artesanal) y que podrían afectar a la calidad de recepción de los receptores o a su vulnerabilidad. Toda esta información, ha sido almacenada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para visualizar y ayudar en la decisión de la ubicación de los receptores.



Mapas de diferentes actividades humanas en la reserva marina. Fuente: Dirección General de Pesca del Govern Balear.

Por otra parte, para la determinación de la posición de los receptores se ha tenido en cuenta el rango de detección máximo del receptor para los modelos de transmisor utilizados, suministrado por el fabricante.



Posición de la red de receptores. Se muestra también la situación de la boya de observación oceanográfica del IMEDEA.

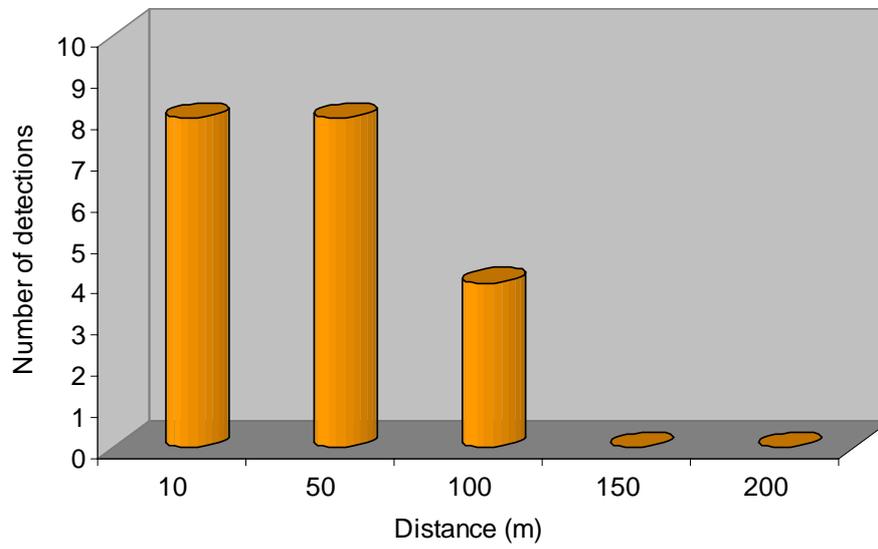
Evaluación de la precisión de las estimas de posición

El rango de detección de los receptores depende principalmente de la potencia del transmisor. Los modelos utilizados en el proyecto, el IBT-96-1 y el PT-3 de Sonotronics, ofrecen un rango teórico de 200m. Sin embargo, el rango de detección puede verse influenciado por diferentes parámetros como la batimetría, el tipo de fondo, la distancia a la costa o la exposición al oleaje. Por otra parte, el número de detecciones disminuye con la distancia al receptor. Así pues, es necesario evaluar el rango de detección dentro de la propia área de estudio.

Para evaluar la precisión del rango de detección, se situó un transmisor PT3 a diferentes distancias de un receptor en una profundidad de 20m. El transmisor se mantuvo durante 10 minutos en cada posición para poder también evaluar la disminución del número de detecciones con la distancia.

El resultado obtenido presentó un rango de 100m de distancia al receptor (Gráfico). Sin embargo, los resultados obtenidos a partir de las detecciones de los peces, en los que un

transmisor a sido detectado por 2 receptores a la vez, sugieren un rango máximo mayor, pudiendo superar los 250m.



Número de detecciones de un transmisor PT-3 colocado a diferentes distancias de un receptor.

Tarea 6: Seguimiento continuo mediante una red fija de hidrófonos.

Estatus actual: La red fija esta completamente operativa y ha generado datos de calidad adecuada. Se han liberado un total de 21 individuos con trasmisor. Esta prevista una nueva liberación de individuos en el plazo de unas 6 semanas. Los transmisores de estos individuos estarán activos durante unas 4 semanas.

Centro responsable: IMEDEA.

Personal: IMEDEA: Alberto Alvarez, Miquel Palmer (responsable de la Tarea 7), David March, Josep Alos, Federico Cardona, Marta Linde, Itziar Alvarez.

DGPGB: Antonio Grau, Francisco Riera, Sergi Martino, Marga Cerdà.

LIMIA: Elena Pastor y Amalia Grau.

Introducción

Resumen del proceso de captura, implantación y liberación

Los peces son capturados dentro de la zona de estudio mediante pescas con anzuelo. Los peces que superan la medida mínima (en función del peso del trasmisor) y no presentan ningún síntoma de estrés traumático son transportados (en un tanque de agua marina con un oxigenador) hasta las instalaciones del Laboratorio de Acuicultura de la Dirección General de Pesca del Govern Balear (LIMIA). Allí, se mantiene en un tanque de agua hasta la implantación del trasmisor, siguiendo el protocolo descrito en la Tarea 1. Se procura que pasen un solo día entre su llegada al centro y la implantación del trasmisor.



Implantación del trasmisor en un individuo de *Diplodus annularis*.

Una vez realizada la implantación, se mantiene al pez dentro del tanque de agua hasta su recuperación. Una vez recuperado, el pez se libera dentro de la zona cubierta por la red de receptores y siempre que es posible el mismo día en que realiza la operación.

Sistema de almacenamiento de datos

Después de cada liberación de individuos marcados, dejando un periodo suficiente que asegure que se han agotado las baterías de los transmisores, se procede a llevar cada uno de los receptores y a vaciar sus memorias.

Hasta el momento se dispone de 165411 detecciones. Se ha diseñado una base de datos en MS Access para gestionar y almacenar este gran volumen de datos generados por el proyecto. Dicho sistema, está compuesto por diferentes tablas, formularios y consultas, ofreciendo las siguientes capacidades:

1) Introducción de datos sobre el pez y el transmisor implantado. Es importante la introducción de las características del transmisor, especialmente la frecuencia y el intervalo, puesto que dichos datos son posteriormente relacionados con los archivos de detección para poder identificar a cada transmisor. En este mismo apartado, se introducen los datos biológicos del pez, así como lugar y fecha de la captura y de la suelta.

PINGER AND SPECIES DATA
SUBMERSIBLE ULTRASONIC RECEIVER DATABASE

SPECIFICATIONS

ID number: Code:
Model: Interval (ms):
Frequency (kHz): Interval tolerance (ms):

COMMENTS

Manufacturer reception date:
Observations: Status:

BIOLOGIC DATA

Species:
External tag:
Total length (mm):
Total weight (g):

CATCH DATA

Date:
UTMx:
UTMy:
Depth (m):

SURGERY DATA

Date:
Observations:

RELEASE DATA

Date:
UTMx:
UTMy:
Depth (m):

Formulario para la introducción de datos del pez y del transmisor.

2) Introducción de datos sobre el fondeo de receptores, sus ajustes, y la descarga de datos. Para cada receptor se introducen datos sobre sus ajustes (mapa de frecuencias, tiempo de espera), así como sus coordenadas geográficas (adjuntando también un archivo de GPS). Por otra parte, se le asocia a cada descarga su archivo y se introducen en la base de datos los registros de las detecciones.

The screenshot shows the SUR web interface with the following data:

SUR DEPLOYMENT

- SUR: 355
- Date: 12/07/2007 14:04:00
- UTMx: 474011
- Depth (m): 31
- UTMy: 4368276
- GPS file: GPSfiles\20070712.qdb

SUR SETTINGS

- Setting ID: 1
- Observations:

DATA DOWNLOAD

- Date: 06/08/2007 7:26:00 UTC+0
- SUR file: SURfiles\SUR_355_20070806.txt
- Excel file: Excelfiles\SUR_355_20070806.xls

DATA

SUR	Date	Frequency	Interval
▶ 355	27/07/2007 18:18:30	69	657
355	26/07/2007 9:44:59	75	546

Registro: 1 de 2

Formulario para la introducción de datos de los receptores y sus descargas

3) Consultas. Se han generado un total de 24 consultas en la base de datos. Se realizan diferentes consultas para el filtrado de datos, permitiendo descartar las falsas detecciones en función de las características de los transmisores introducidos previamente. Por otra parte, se han generado consultas para facilitar la interpretación de los datos y su exportación en otros formatos para ser analizados con posterioridad.

Resultados: Datos de los peces liberados

En la siguiente tabla se presenta un listado con los principales datos de los peces liberados y de los que se han descargado los datos de los receptores.

Para cada individuo se indican datos sobre su longitud total, el transmisor que se le ha implantado, el periodo de seguimiento, así como el número de detecciones y el número de receptores por los cuales ha sido detectado.

En el mes de diciembre, posterior a la última descarga de datos, se realizaron dos nuevas sueltas de peces con transmisor. Puesto que todavía no se ha procedido a la descarga de receptores, no se dispone de información sobre dichos peces.

Especie	Lt (mm)	Código transmisor	Tipo transmisor	Fecha suelta	Primera detección	Última detección	Periodo total (d)	Días detectado	Detecciones totales	Núm. receptores
<i>D.annularis</i>	146	7	PT-3	17 sep 07	17 sep 07	17 sep 07	1	1	28	5
<i>S.scriba</i>	165	17	PT-3	17 sep 07	17 sep 07	2 oct 07	16	16	2947	2
<i>S.scriba</i>	173	18	PT-3	17 sep 07	17 sep 07	22 oct 07	36	35	2188	1
<i>S.scriba</i>	184	2	PT-3	17 sep 07	17 sep 07	13 oct 07	27	25	3364	8
<i>S.scriba</i>	184	5	PT-3	17 sep 07	17 sep 07	22 sep 07	6	6	1178	1
<i>S.scriba</i>	180	16	PT-3	17 sep 07	No detect.	-	-	-	-	-
<i>S.scriba</i>	169	3	PT-3	26 sep 07	26 sep 07	4 oct 07	9	9	1540	1
<i>S.scriba</i>	169	20	PT-3	26 sep 07	26 sep 07	4 oct 07	9	9	490	4
<i>S.scriba</i>	172	19	PT-3	26 sep 07	26 sep 07	19 oct 07	24	7	511	5
<i>S.scriba</i>	179	123	PT-3	26 jul 07	26 jul 07	30 jul 07	5	5	2924	8
<i>S.scriba</i>	180	131	PT-3	30 ago 07	30 ago 07	11 sep 07	13	10	2546	7
<i>S.scriba</i>	193	241	IBT961	17 jul 07	17 jul 07	14 ago 07	29	29	15602	1
<i>S.scriba</i>	172	138	PT-3	15 dic 07	-	-	-	-	-	-
<i>S.scriba</i>	175	200	PT-3	15 dic 07	-	-	-	-	-	-
<i>S.scriba</i>	197	172	PT-3	15 dic 07	-	-	-	-	-	-
<i>S.scriba</i>	217	160	PT-3	17 dic 07	-	-	-	-	-	-
<i>S.scriba</i>	184	71	PT-3	17 dic 07	-	-	-	-	-	-
<i>S.scriba</i>	193	106	PT-3	17 dic 07	-	-	-	-	-	-
<i>S.scriba</i>	183	35	PT-3	17 dic 07	-	-	-	-	-	-
<i>S.scriba</i>	177	180	PT-3	17 dic 07	-	-	-	-	-	-
<i>S.scriba</i>	177	190	PT-3	17 dic 07	-	-	-	-	-	-

Abreviaturas: Lt, longitud total; d, días.

Tarea 7: Análisis de los datos de red fija: Estima del home range de *Serranus scriba*.

Estatus actual: Se están analizando los datos a medida que se van generando. Esta previsto cerrar la parte experimental en 10 semanas, por tanto serán necesarias unas dos semanas más a partir de esta fecha para completar la descripción y el análisis del home range.

Esta previsto incluir también la descripción del home range de *Diplodus annularis*.

Centro responsable: IMEDEA.

Personal: IMEDEA: Alberto Alvarez y Miquel Palmer (responsable de la Tarea 7), David March, Josep Alos, Federico Cardona, Itziar Alvarez.

Introducción

Se han adoptado dos estrategias analíticas. La primera, más descriptiva, consiste en la delimitación de áreas con mayor densidad de detecciones (descripción de patrones). La segunda trata de describir el proceso que de manera más verosímil ha podido generar los datos observados y se basa en simulaciones matemáticas.

Descripción de patrones de densidad de detecciones

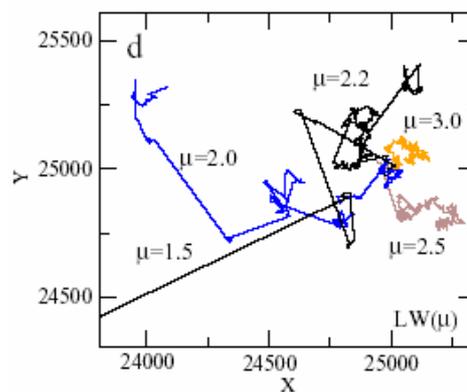
Se ha estimado el *home range* de los peces monitorizados, por una parte, mediante el “minimum convex poligon” (MCP) y por otra mediante el calculo del un kernel. El MCP se limita a describir la extensión del rango espacial ocupado por el pez, mientras que con el kernel suministra información sobre la utilización del espacio (densidad de detecciones). Se han calculado los kernel correspondientes al 50% (área central) y al 95% (que puede interpretarse como el área ocupación más esporádica fuera del área central).

Para realizar los cálculos del MCP y las estimas kernel, se han agrupado las detecciones en intervalos de un hora para cada pez y receptor. La generación de dichos cálculos y su representación gráfica en mapas se ha llevado a cabo con el software R (www.r-project.org), utilizado la librería *adehabitat*.

Descripción del proceso.

Se ha adoptado la misma estrategia analítica que la utilizada para los datos de marcas externas (Tarea 4), pero en este caso todos los datos de cada análisis corresponden al mismo pez.

Para el análisis de los datos de distancia entre el punto de captura y de detección se ha utilizado un método basado en simulaciones matemáticas. Normalmente se asume (por los patrones exhibidos por otras especies; Turquin, 1998) que las distancias recorridas en un intervalo de tiempo prefijado (en este caso, una hora) están distribuidas de forma exponencial (Turquin, 1998). En este caso, la distancia media entre dos posiciones sucesivas viene determinada por un solo parámetro (GEO). Si además se asume que el ángulo entre dos posiciones sucesivas es aleatorio, se obtiene un tipo de movimiento muy característico denominado “paseos de Levins” (Turquin, 1998).



Ejemplos de “Paseos de Levins con diferente valor de GEO (μ).

Los análisis preliminares sugieren que la distribución de distancias al centro del home range no puede ser generada (o aproximada) por ningún valor de GEO. Por el contrario, los datos sugieren que los individuos tienden a permanecer más tiempo de lo esperado cerca del centro del home range. En consecuencia, en nuestro caso se ha incrementado la complejidad del modelo asumiendo que el ángulo entre dos posiciones sucesivas no es aleatorio sino que tiene como media la dirección a un “centro del área de campeo” (*home range*; Turquin, 1998) y como varianza un segundo parámetro del modelo (SIGMA). Se ha evaluado la verosimilitud de un amplio rango de valores de GEO y SIGMA para determinar la combinación de parámetros que mejor se ajusta a los datos obtenidos.

Para ello se han simulado 10000 iteraciones independientes. En cada caso se ha “liberado” una partícula en el punto de captura, se ha dejado pasar 50 pasos para garantizar que el punto de inicio esta seleccionado ala azar y se ha evaluado la distribución de distancias al centro para una secuencia de 600 unidades de tiempo (en nuestro caso, horas), ya que es el periodo para el que se tiene datos de recapturas.

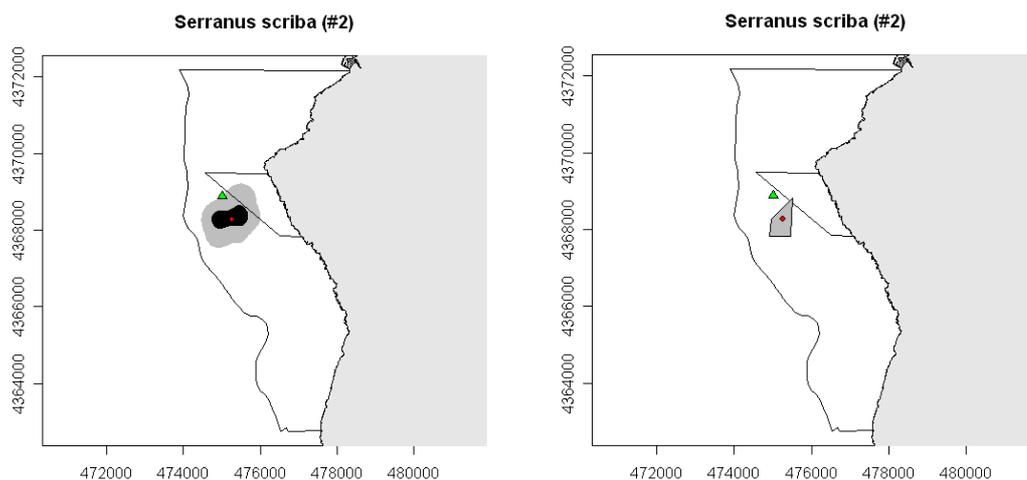
Una vez seleccionados unos valores de GEO y SIGMA máximo verosímiles, se ha completado una simulación con esos valores para determinar el percentil 95% de la distribución obtenida de distancias al centro del home range. Esto es equivalente a determinar el radio del área donde permanece un individuo el 95% del tiempo.

Estas simulaciones se han completado en MATLAB.

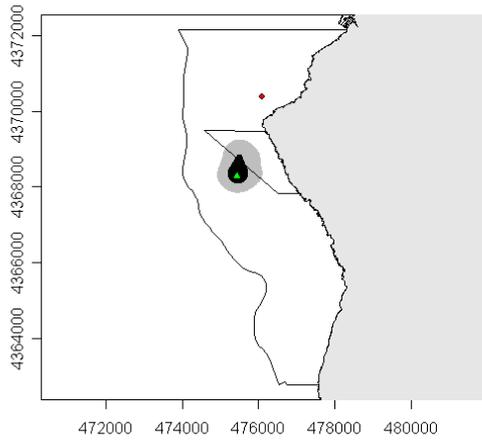
Resultados

Descripción de los patrones de ocupación del espacio

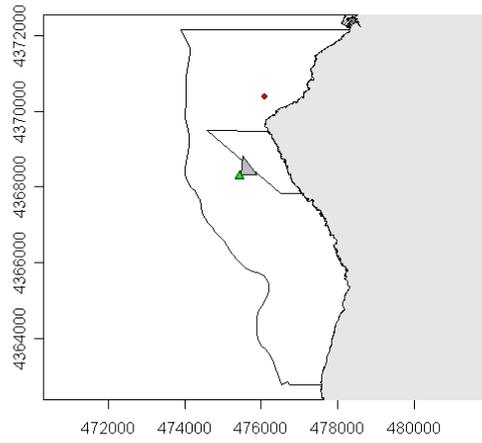
Los siguientes mapas muestran los resultados obtenidos para los individuos en los que se ha detectado movimiento entre dos o más receptores. Para cada individuo se muestra un mapa (izquierda) con los estimadores kernel (50% en negro, 95% en gris), y otro con el MCP del 95% de las observaciones (derecha). En cada mapa, también se ha representado la localización en que se realizó la captura (circulo rojo) y la localización en la que se soltó el pez una vez con el transmisor insertado (triangulo verde).



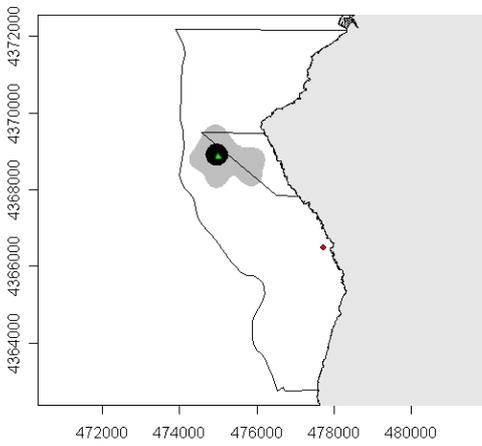
Serranus scriba (#19)



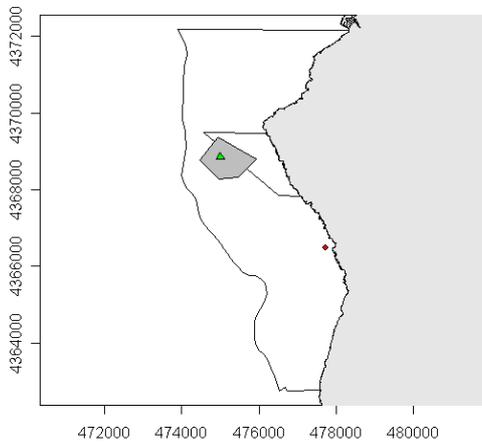
Serranus scriba (#19)



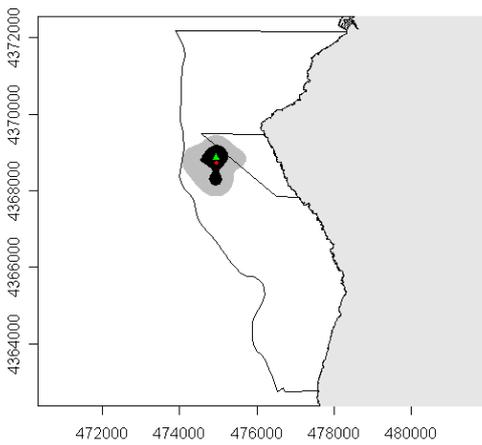
Serranus scriba (#123)



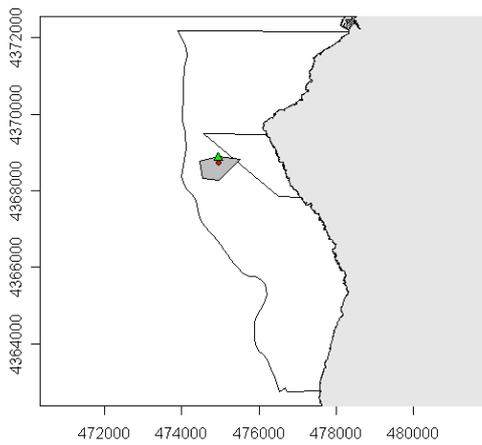
Serranus scriba (#123)

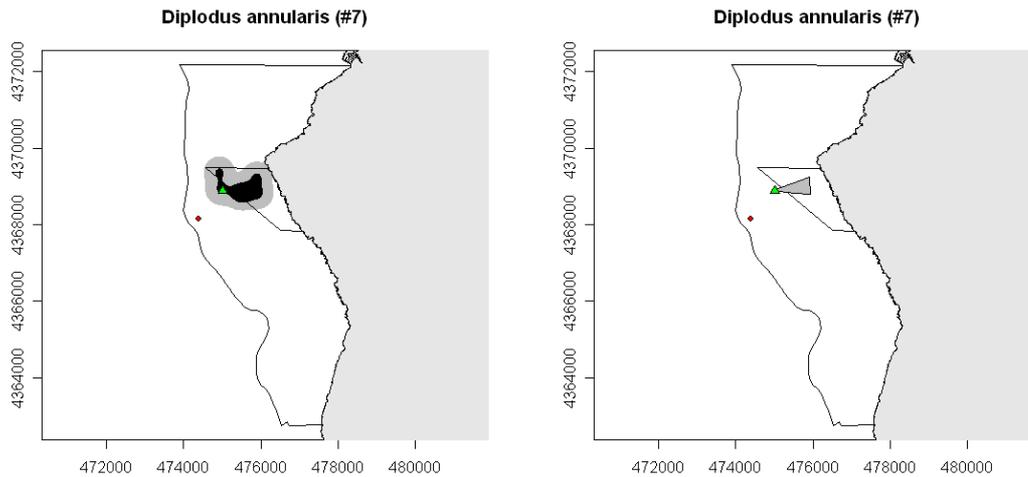


Serranus scriba (#131)



Serranus scriba (#131)

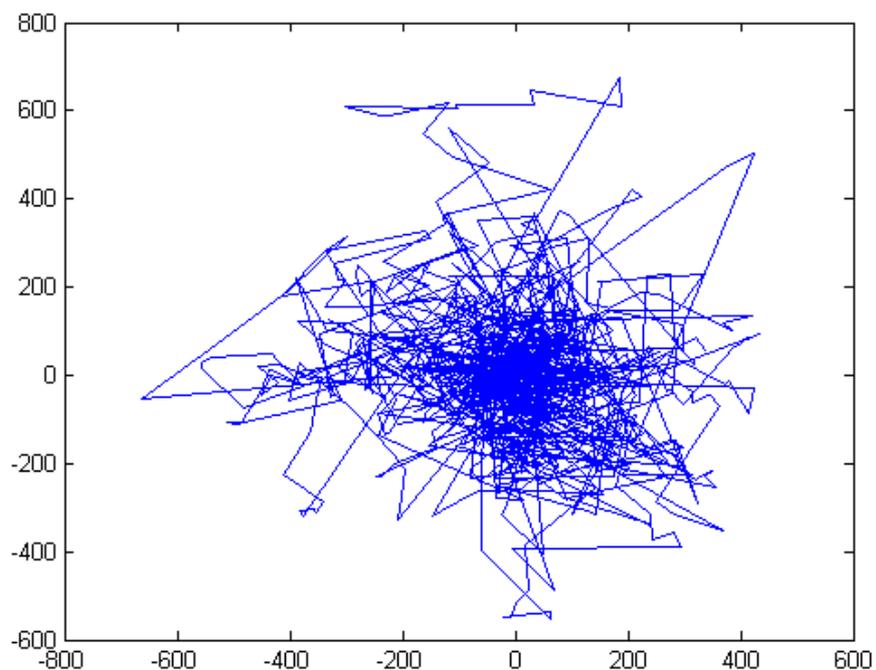




Mapas de ocupación del espacio. Las unidades de los dos ejes están en metros.

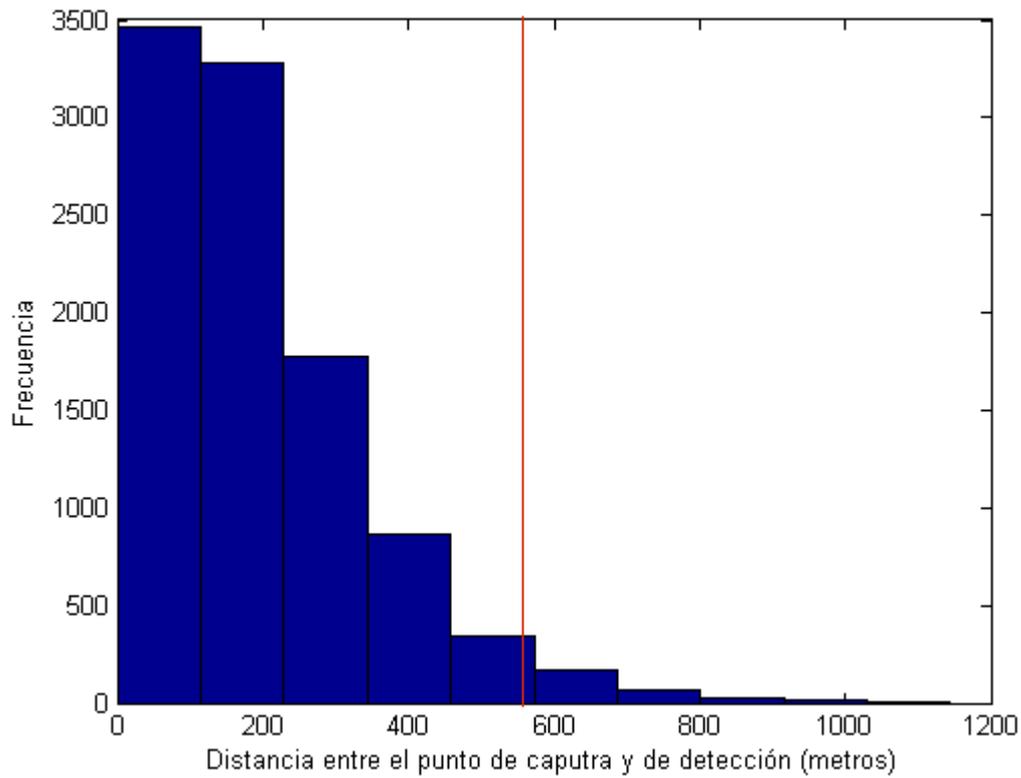
Descripción del proceso: simulaciones

Se presentan los resultados para un solo individuo (trasmisor #2) ya que el resto están aun en elaboración. Para este individuo, los valores de GEO y SIGMA que presentan máxima verosimilitud para explicar los datos obtenidos son GEO=100 y SIGMA=60.



Ejemplo de simulación de paseo con los valores de SIGMA y GEO máximo verosímiles. Se han simulado 1000 pasos de tiempo que suponen 42 días.

Asumiendo, estos parámetros, se ha estimado que *Serranus scriba* se mantiene dentro de un radio de 486 metros del centro del *home range* durante el 95% del tiempo.



Histograma de la distribución de las distancias entre el punto de captura y el punto de detección para los valores de SIGMA y GEO máximo verosímiles. La línea roja separa el 95% de las detecciones.

Conclusiones

Los resultados obtenidos por las dos estrategias analíticas son coincidentes en el hecho de que el área de *home range* de esta especie es relativamente pequeña. Debe tenerse en cuenta que se ha seleccionado para el análisis de simulaciones uno de los individuos que más se ha movido, con lo que la estima del *home range* “medio” para la especie es quizás incluso menor (tal como apuntan los kernel del 95%).

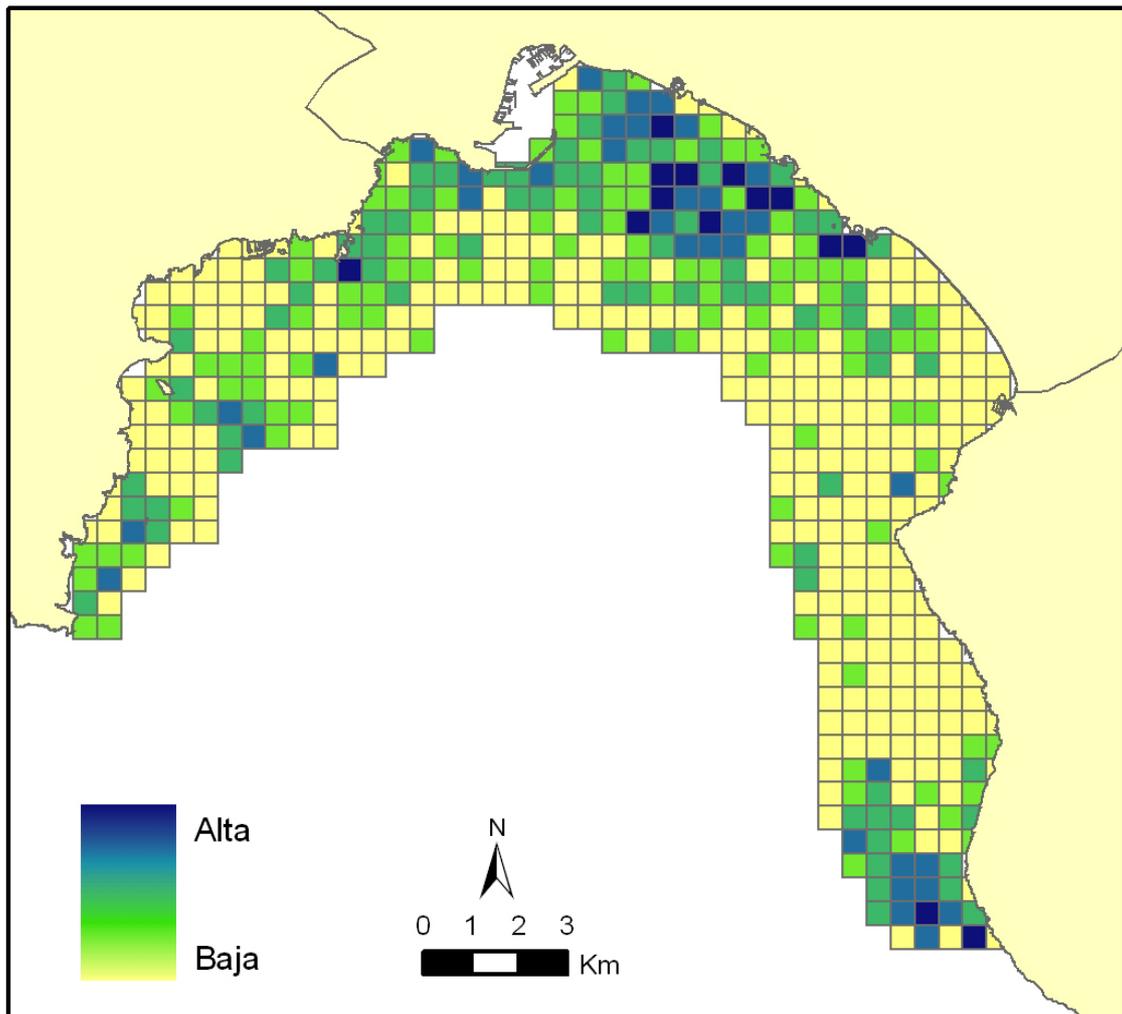
Tarea 8: Elaboración de mapas ambientales de detalle.

Estatus actual: Esta tarea esta supeditada a los resultados obtenidos por los proyectos ROQUER y DONZELLA. Dentro de estos dos proyectos, ya se ha completado prácticamente toda la parte experimental y se están analizando los datos obtenidos. En algunos casos ya se dispone de mapas temáticos.

Introducción

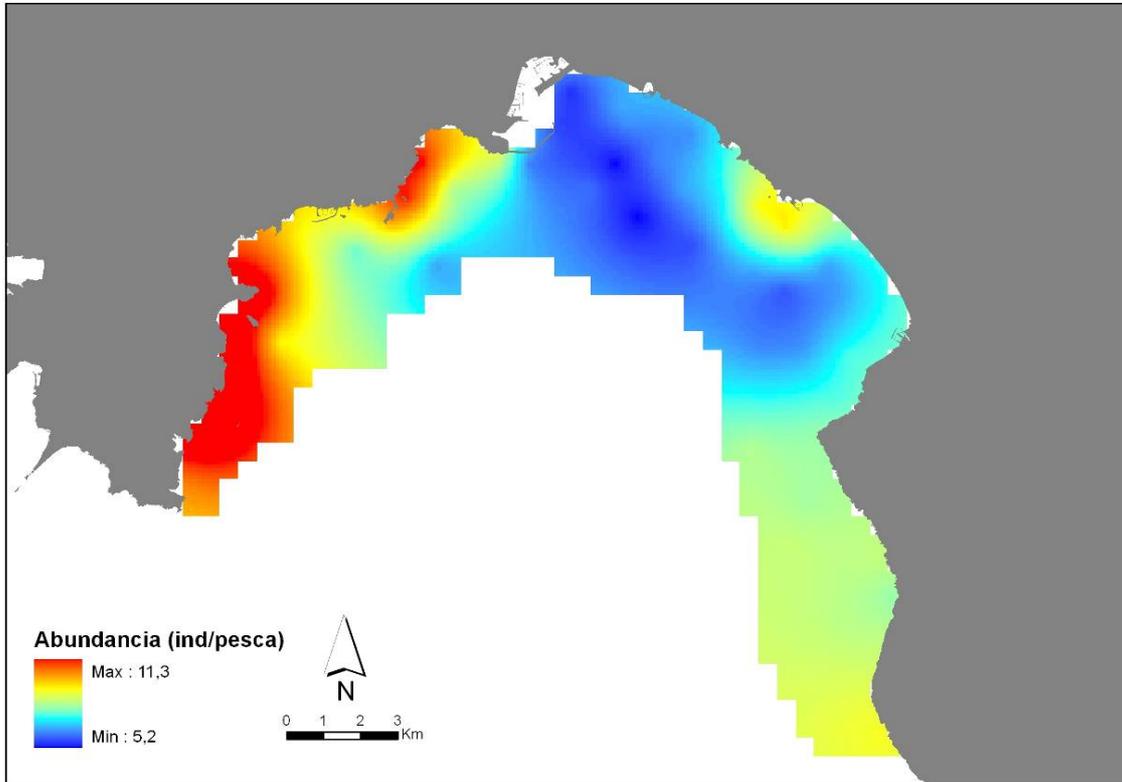
Como se ha indicado en la introducción, uno de los aspectos clave para estimar flujos netos a nivel de población, es conocer los factores que determinan las decisiones de movimiento a nivel de individuo a una escala temporal relativamente corta. Dado que se dispondrá de una información de gran calidad y precisión de los patrones de movimiento, se plantea una gran oportunidad: relacionar estos patrones de movimiento con diferentes características ambientales. Aquí solo se presentan algunos de los mapas temáticos disponible en este momento.

Presión pesquera (pesca recreativa)



Distribución espacial de la presión pesquera (aparejos convencionales desde embarcación). Datos basados en 99 censos.

Abundancia



Distribución espacial de la abundancia de *Coris julis* (numero de individuos pescados en media hora con aparejo y cebo convencionales). Datos basados en 440 pescas experimentales en 55 localidades.

Tarea 9: Estima del flujo neto de individuos de *Serranus scriba* a través de los límites de la reserva.

Status actual: Pendiente de la finalización de otras tareas.

Los objetivos específicos planteados en la propuesta original (y que se mantienen) son:

1: Análisis del patrón de correlación entre movimientos puntuales y factores ambientales. Identificación de las variables ambientales significativas.

2: Desarrollo de un modelo de movimiento individual (esta objetivo ya se ha completado; Tareas 4 y 7).

3: Simulación de movimientos para todos los individuos del área de estudio. Es importante destacar que los valores de abundancia obtenidos son densidades relativas. El tiempo de permanencia en una zona de forrajeo vendrá determinado por las variables ambientales realmente observadas. Se elaborará un modelo estocástico de simulación por pasos, que permitirá obtener un escenario posible de densidad de población espacialmente explícito después de un tiempo t . Este modelo también incluirá explícitamente la probabilidad de ser pescado (gracias a los datos de presión pesquera a los que se refiere la Tarea 8). Se repetirá esta simulación un elevado número de veces para poder estimar (probabilísticamente) el flujo neto de individuos a ambos lados del límite de la reserva.

References

- Baras, E. & Jeandrain, D. (1998). Evaluation of surgery procedures for tagging *Anguilla anguilla* (L.) with biotelemetry transmitters. *Hydrobiologia* 371/372: 107-111.
- Bartumeus, F., Peters, F., Pueyo, S., Marrase, C. & Catalan, I. (2006). Helical Lévy walks: Adjusting searching statistics to resource availability in microzooplankton. *Proceedings of the Royal Society London B* **100** (22), 12771-12775.
- Bégout Anras M.L., Covès, D., Dutto, G., Laffargue, P., Lagardère, F. (2003). Tagging juveniles seabass and sole with telemetry transmitters: medium-term effects on growth. *ICES Journal of Marine Science* 60:1328-1334.
- Bégout-Anras, M.L., Covès, D., Dutto, G., Laffargue, P. & Lagradere, F. (2003). Tagging juvenile seabass and sole with telemetry transmitters: medium-term effects on growth. *ICES Journal of Marine Science* **60**, 1328-1334.
- Coll, J., García-Rubies, A., Moranta, J., Stefanni, S. & Morales-Nin, B. (1999). Efectes de la prohibició de la pesca esportiva sobre l'estructura poblacional de l'anfós (*Epinephelus marginatus* Lowe, 1983. Pisces, serranidae) en el Parc Nacional de Cabrera. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Illes Balears* **42**, 125-138.
- Coll, J., Linde, M., García-Rubies, A., Riera, F. & Grau, A.M. (2004). Spear fishing in the Balearic Islands (west central Mediterranean): species affected and catch evolution during the period 1975-2001. *Fisheries Research* **70**, 97-111.
- Jadot, C., Donnay, A., Ylief, M., Poncin, P. (2005). Impact implantation of a transmitter on *Sarpa salpa* behaviour: study with a computerized video tracking system. *Journal of Fish Biology* 67:589-595.
- Jadot, C., Ovidio, M., Voss, J. (2002). Diel activity of *Sarpa salpa* (Sparidae) by ultrasonic telemetry in a *Posidonia oceanica* meadow of Corsica (Mediterranean Sea). *Aquatic Living Resources* 15: 343-350.
- Jepsen, N., Koed, A., Thorstad, E.B., Baras, E. (2002). Surgical implantation of telemetry transmitters in fish: how much have we learned. *Hydrobiologia* 483: 239-248.
- Kaunda-Arara, B. & Rose, G.A. (2004). Homing and site fidelity in the greasy grouper *Epinephelus tauvina* (Serranidae) within a marine protected area in coastal Kenya. *Marine Ecology Progress Series* 277: 245-251.
- Lubchenco, J., Palumbi, S.R., Gaines, S.D. & Andelman, S. (2003). Plugging a hole in the ocean: the emerging science of Marine reserves. *Ecological Applications* **13**, 3-7.
- Lucas, M.C. & Baras, E. (2000). Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment. *Fish and Fisheries* **1**, 283-316.
- Lucas, M.C. & Baras, E. (2000). Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment. *Fish and Fisheries* 1: 283-316.
- Morales-Nin, B., Moranta, J., García, C., Tugores, M.P., Grau, A.M., Riera, F. & Cerdá, M. (2005). The recreational fishery off Mallorca Island (Western Mediterranean): some implications for coastal resource management. *ICES Journal of Martine Sciences*
- Mulcahy, D.M. (2003). Surgical implantation of transmitters into fish. *ILAR journal* 44: 295-306.
- Nemeth, R.S. (2005). Population characteristics of a recovering US Virgin Islands red hind spawning aggregation following protection. *Marine Ecology Progress Series* **286**, 81-97.

Pittman, S.J. & McAlpine, C.A. (2001). Movements of marine fish and decapod crustaceans: Process, theory and application. *Advances in Marine Biology* **44**, 205-294.

Underwood, A.J. (1997). *Experiments in Ecology: Their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Willis, T.J., Millar, R.B. & Badcock, R.C. (2000). Detection of spatial variability in relative density of fishes: comparison of visual census, angling, and baited underwater video. *Marine Ecology Progress Series* **198**, 249-260.

6. Transferencia de conocimientos y actividades de divulgación

- 1) Efectos de la pesca recreativa: La perspectiva científica. I Jornada de acercamiento de la ciencia a los pescadores recreativos de la Baleares. Marzo 2007
- 2) Programa de TV (IB3) sobre mercado externo, dentro del espacio “Balears directe”. 2007.
- 3) Entrevistas Radiofónicas (IB3 radio). 2006 y 2007 dentro del programa “Mar Blava”
- 4) Estand en la Fira de la Ciencia 2006. Palma de Mallorca.
- 5) Estand en la I Feria de Pesca Recreativa. Port Adriano, 2006.

7. Publicaciones y comunicaciones a congresos

- 1) A gis application for monitoring the spatial distribution of recreational fisheries at Palma bay, balearic islands. March, D., Ruiz, M. and Palmer, M. 2007. CoastGis 2007. Santander.
- 2) Evaluation of an automated acoustic tracking system in a temperate marine protected area. March, D., Alós, J., Cardona, F., Palmer, M., Grau, A., Pastor, E., Linde, M. and Grau, A. 2007. Second International Symposium on Marine Fish Tagging and Tracking with electronic devices. San Sebastián.
- 3) Evaluation of an automatic fish tracking system. Cardona, F., Martínez, M., March, D., Alós, J., Roig, D., Alvarez, A., Palmer, M., Martino, S., Donaire, G., Grau, A.M. 2007. Second International Symposium on Marine Fish Tagging and Tracking with electronic devices. San Sebastián.
- 4) Estima de la mortalidad por pesca (F) de *Coris julis* (L.) a través de la determinación del esfuerzo pesquero y de la abundancia de individuos en la pesquería recreativa de la Bahía de Palma (Mallorca). Alós, J., March, D., Cardona, F., Linde, M., Álvarez, I., Cerdà, M., Morales-Nin, B., Grau, A.M. y Palmer, M. 2008. Jornades del Medi Ambient a les Balears. Palma de Mallorca.
- 5) Movilidad de *Coris julis*: Análisis de datos de mercado externo y recaptura. Palmer, M., Grau, A.M., Alós, J., Martino, S., March, D., Grau, A., Cardona, F., Cerdà, M. y Linde, M. 2008. Jornades del Medi Ambient a les Balears. Palma de Mallorca.