

# MOVIMIENTO Y USO DEL HÁBITAT EN LA CIGARRA DE MAR (*SCYLLARIDES LATUS*): IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA ESPECIE EN EL PARQUE NACIONAL MARÍTIMO TERRESTRE DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA (*SCYTRACK*)

David Díaz<sup>1</sup>, Bernat Hereu<sup>2</sup>, Eneko Aspillaga<sup>3</sup>, Anabel Muñoz<sup>4</sup>, Frederic Bartumeus<sup>5</sup>, Sandra Mallol<sup>6</sup>, Ignacio Baena<sup>7</sup>, Raquel Goñi<sup>8</sup>

## RESUMEN

La cigarra de mar (*Scyllarides latus*) es una especie de crustáceo decápodo altamente conocida en el mar Mediterráneo debido a su valor comercial. No obstante, sus rasgos biológicos y ecológicos han permanecido ocultos a la ciencia hasta finales del siglo XX. Debido a estos dos factores, las poblaciones de la especie se han visto diezmadas en gran medida, quedando pocos entornos naturales en los que encontrarla. El conocimiento de la biología de la especie sigue siendo bajo, por tanto, el objetivo de este trabajo es conocer los patrones de movimiento y su relación con el hábitat a lo largo de un ciclo anual, un aspecto clave para la gestión de la especie.

El estudio se divide en dos fases, en primer lugar, se actualizó la cartografía bionómica de la Península de n'Ensiola en el PNMTAC y, en segundo lugar, se monitorizaron los movimientos de la especie mediante el radio-seguimiento de 10 ejemplares entre agosto de 2015 y diciembre de 2016. A partir de este estudio se ha podido determinar que el rango de movimiento de la cigarra de mar es reducido y no presenta movimientos estacionales de largo alcance. La realización de una cartografía bionómica precisa aporta información del uso del hábitat en especies con baja tasa de movilidad, pudiendo determinar diferencias entre el hábitat utilizado entre las horas diurnas y nocturnas. Se ha concluido que el uso de las cuevas en el periodo de reproduc-

---

<sup>1</sup> Instituto Español de Oceanografía, Centre Oceanogràfic de Balears. Moll de Ponent s/n, 07015 Palma, Illes Balears, España. david.diaz@ieo.es

<sup>2</sup> Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals, Facultat de Biologia, Institut de Recerca de la Biodiversitat (IRBio), Universitat de Barcelona, Avda Diagonal 643, 08028, Barcelona, Spain. hereu@ub.edu

<sup>3</sup> Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados, IMEDEA (CSIC–UIB), c/ Miquel Marqués 21, 07190, Esporles, Illes Balears, España. aspillaga@imedea.uib-csic.es

<sup>4</sup> Instituto Español de Oceanografía, Centre Oceanogràfic de Balears. Moll de Ponent s/n, 07015 Palma, Illes Balears, España. anabel.mcaballero@ieo.es

<sup>5</sup> Centre d'Estudis Avançats de Blanes, CEAB-CSIC. C/ Accés Cala Sant Francesc, 14, 17300 Blanes, Girona, España. fbartu@ceab.csic.es

<sup>6</sup> Instituto Español de Oceanografía, Centre Oceanogràfic de Balears. Moll de Ponent s/n, 07015 Palma, Illes Balears, España. sandra.mallol@ieo.es

<sup>7</sup> Instituto Español de Oceanografía, Centre Oceanogràfic de Balears. Moll de Ponent s/n, 07015 Palma, Illes Balears, España. achobv@gmail.com

<sup>8</sup> Instituto Español de Oceanografía, Centre Oceanogràfic de Balears. Moll de Ponent s/n, 07015 Palma, Illes Balears, España. raquel.goni@ieo.es

ción está íntimamente asociado a una elevada temperatura relativa en el interior, hipotetizando que este es el factor clave que provoca una mejora en el éxito reproductor de la especie. Estos resultados han significado un avance clave para poder aplicar medidas de gestión de mayor efectividad adaptadas al ciclo biológico de la cigarra de mar en el Mediterráneo.

**Palabras clave:** *Scyllarides latus*, radio-seguimiento, hábitat esencial, conservación, dinámica poblacional.

## MOVEMENT PATTERN AND HABITAT USE OF THE SLIPPER LOBSTER *SCYLLARIDES LATUS*: IMPLICATIONS FOR ITS CONSERVATION IN THE CABRERA ARCHIPELAGO NATIONAL PARK

### SUMMARY

The Mediterranean slipper lobster (*Scyllarides latus*) is a species of crustacean decapod highly known in the Mediterranean Sea and in its whole distribution range due to its commercial value. In spite of this, the biological and ecological traits of the species have remained hidden to science until the end of the 20th century. Due to these factors, the species' populations have been notoriously decimated leaving just a few natural areas where it can be found. Even though the knowledge on the biology of the species is currently low, one key aspect towards its management is knowing its movement patterns and habitat use. Thus, this study aims to investigate the habitat usage throughout an annual cycle, which is determined by the reproductive stage.

The research is divided into two parts, first, to update the bionomic cartography of the n'Ensiola peninsula in the PNMTAC and second, to assess the movement patterns of the species by means of the radio-tracking of 10 individuals between August 2015 and December 2016. The findings of the study allow the description of a reduced home range for this species, as well as the absence of long seasonal movements. The development of a precise bionomic cartography adds information on the use of the habitat in low-mobility species, allowing the differentiation of this issue between day and night hours. This study concludes that the usage of caves in the reproduction period is closely associated with a high relative temperature inside, hypothesizing that this is the key factor that leads an improvement of the reproductive fitness in the species. These results represent key information to apply more efficient management measures adapted to the biological cycle of the Mediterranean slipper lobster.

**Keywords:** *Scyllarides latus*, radio-tracking, essential habitat, conservation, populations dynamic.

## INTRODUCCIÓN

La cigarra de mar o «cigala mallorquina», como es conocida en las Islas Baleares, *Scyllarides latus* (LATRAILLE 1803) (Familia: Scyllaridae), es un decápodo bentónico de gran talla (LT max 45 cm), crecimiento lento (Tmax > 20-25 años), con una amplia distribución geográfica en el Mediterráneo y Atlántico nororiental, y un amplio rango batimétrico (1-400 m), pero con preferencia por fondos rocosos someros (< 50 m) (HOLTHUIS 1991; PESSANI & MURA 2007). El impacto de las actividades extractivas sobre la cigarra de mar ha supuesto un enrarecimiento de sus poblaciones tanto en el Atlántico como en el Mediterráneo occidental, hasta el punto de considerarse irrecuperables en algunas regiones (BIANCHINI & RAGONESE 2007). La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) ha clasificado *S. latus* en su Lista Roja como 'Data Deficient' y plantea la necesidad de una estrategia de gestión global que se centre en proteger sus hábitats clave (BUTLER *et al.*, 2011). Así mismo, *S. latus* está recogida en el Anexo V de la Directiva Hábitat del Consejo 92/43/EEC: Plantas y animales de interés comunitario, y en el Anexo III del Protocolo sobre zonas especialmente protegidas y la diversidad biológica en el Mediterráneo del Convenio de Barcelona. La última revisión de la especie en el estado español hace hincapié en la pobre calidad de los datos de estima poblacional y la tendencia de la población, desconocida (GARCÍA & GARCÍA 2012). Además, califican el uso de las técnicas de telemetría acústica pasiva como la mejor aproximación para abordar de manera efectiva el conocimiento de los movimientos de la especie, especialmente en la parte del ciclo más desconocida (GARCÍA & GARCÍA 2012).

Por sus hábitos nocturnos y preferencia por cuevas y refugios complejos, sus movimientos son apenas conocidos. La mayoría de los estudios realizados hasta la fecha se han centrado en identificar las características de los refugios utilizados por la especie y variaciones estacionales de abundancia (SPANIER *et al.*, 1988; SPANIER & ALMONG-SHTAYER 1992), patrones de comportamiento (ALMONG-SHTAYER 1988, citado por LAVALLI *et al.*, 2007; BARSHAW & SPANIER 1994a; SPANIER *et al.*, 1991; SPANIER

& WEIHS 1992, 2004) e interacciones intra e inter-específicas (BARSHAW & SPANIER 1994b; BARSHAW *et al.*, 2003). Todos estos estudios se han realizado en hábitats artificiales (arrecifes contruidos con llantas de coche en fondos someros) o en tanques experimentales. Además, se ha estudiado el ciclo reproductor en el Atlántico (MARTINS 1985) y Mediterráneo oriental (SPANIER & LAVALLI 1998) y se han llevado a cabo experiencias de marcado-recaptura convencional dirigidas a conocer su movilidad y crecimiento (SPANIER & BARSHAW 1993; SPANIER *et al.*, 1988; BIANCHINI *et al.*, 2001). Estos estudios no arrojaron luz sobre el patrón de movimientos de la especie en condiciones naturales al hacerse con ejemplares de repoblación estabulados y en el entorno de arrecifes artificiales. Estudios recientes en dos AMPs del Mediterráneo occidental registraron cigarras en cuevas, paredes y campos de bloques hasta la profundidad máxima de muestreo de 35 m (FRÍAS & LOZANO 2010).

En las Islas Baleares la especie se reproduce en los meses de mayo a junio (Reñones *et al.*, 2010), formando agregaciones de numerosos ejemplares en zonas de cuevas y grietas someras (entre 5 y 25 m), haciendo que la especie sea fácilmente capturada mediante buceo. Después de la época de reproducción, la especie desaparece de los refugios habituales, posiblemente desplazándose a lugares más profundos o reduciendo su actividad y/o *home range* a zonas muy poco accesibles a la observación, esto hace suponer que existe una diapausa invernal. Este proceso se deduce de observaciones obtenidas al recapturar en la misma área ejemplares tras un año en el medio natural y que fueron imposibles de observar durante el periodo de reposo reproductivo (8 meses) (REÑONES *et al.*, 2010). Con relación a los ejemplares juveniles (recién asentados - nisto), cabe mencionar que esta fase vital nunca ha sido observada en el medio natural, y se supone que se podrían encontrar a mayor profundidad (LAVALLI *et al.*, 2007) o permanecer ocultos en grietas de cuevas y solo salir de noche para alimentarse. La única observación en el medio natural de la especie que se tiene constancia es de un juvenil de talla de 50 mm LC, que fue observado en una cueva (D. DÍAZ Observación personal), esta observación apoyaría esa hipótesis.

La problemática que pretende abordarse en este trabajo en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera (PNMTAC) en particular, está motivada por el desconocimiento del uso del hábitat y movimientos de esta especie que puede quedar expuesta a la pesca artesanal fuera de las reservas integrales; esto en particular ocurriría desde el final de la época de reproducción (agregación, puesta y eclosión) a mediados de agosto, hasta la primavera siguiente en que de nuevo se encuentran las agregaciones reproductivas en fondos someros (REÑONES *et al.*, 2010). Con los métodos empleados –marcado-recaptura y censos visuales– los estudios realizados hasta la fecha para conocer el patrón de movimientos de *S. latus* en el medio natural (BIANCHINI *et al.*, 2001; REÑONES *et al.*, 2010; DÍAZ *et al.*, 2010) no han sido concluyentes ni han podido abordar el estudio del *home range*, movimientos habituales, reproductivos, alimentarios o migraciones estacionales.

La finalidad de este trabajo es describir las pautas de movimiento y el uso del hábitat de *S. latus* en el PNMTAC, contribuyendo a su conservación y a la mejora del conocimiento de su biología y ecología. Concretamente se pretende: 1) Determinar el grado de fidelidad de esta especie a un área específica, 2) Determinar sus preferencias en el uso del hábitat (definir sus hábitats esenciales) y 3) Integrar los datos obtenidos (movimiento y hábitat) para que poder realizar una gestión adaptada al ciclo biológico de la especie y que permita su conservación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo entre enero de 2014 y septiembre de 2017, en el Parque Nacional Marítimo-terrestre del Archipiélago de Cabrera (PNMTAC), localizado al sur de la isla de Mallorca (Mediterráneo occidental). El parque protege 8703 hectáreas de fondos marinos entre 0 y 110 m de profundidad. El aspecto más destacable en relación con la especie de estudio es la gran extensión y diversidad de fondos rocosos; cuevas, paredes o amplias zonas de bloques se localizan en todo el archipiélago extendiéndose principalmente hasta los 50 m de profundidad, cota a partir de la cual dominan los substratos blandos de arena y fango.

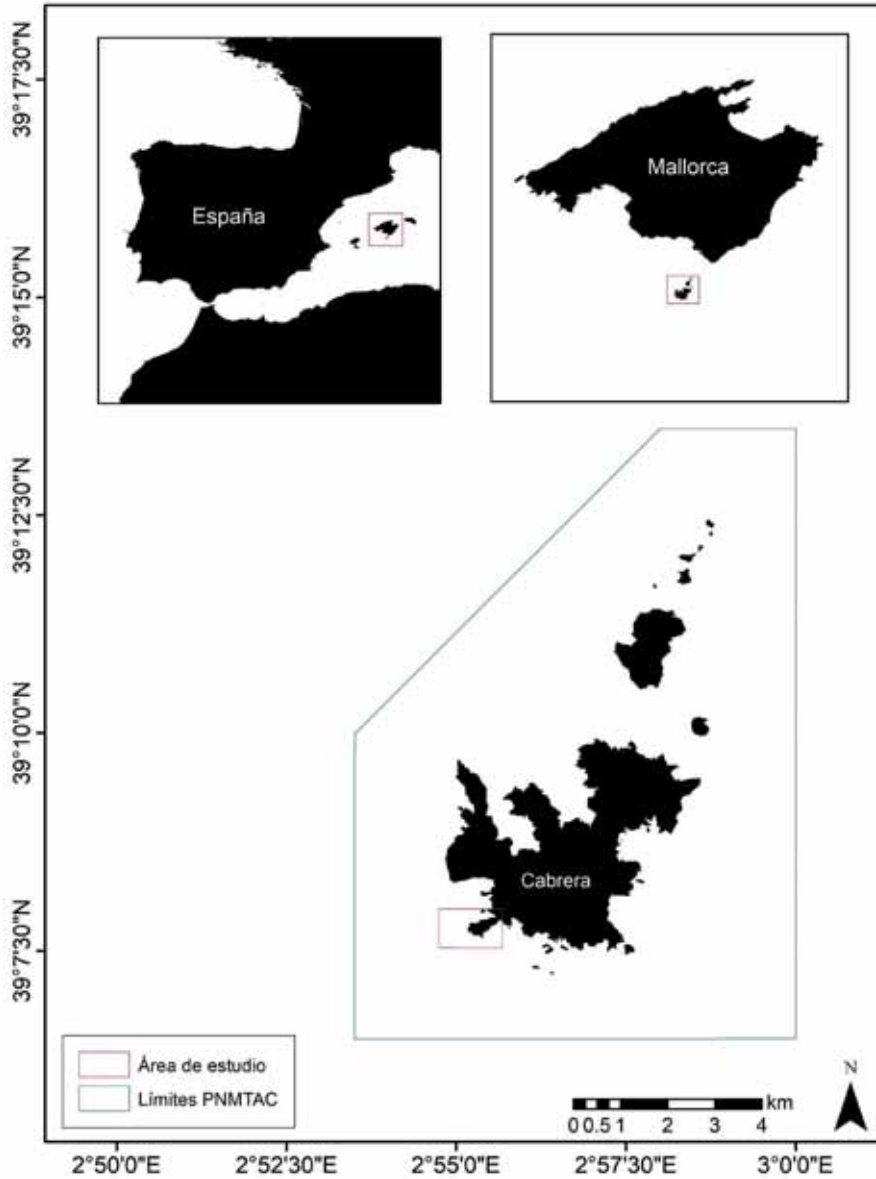
Se seleccionó la Península de n'Ensiola (suroeste de la isla de Cabrera) (Figura 1) como área de estudio por ser una zona con mucha diversidad de hábitats, además de por contar con conocimiento previo de la presencia de cigarras de mar (REÑONES *et al.*, 2010). La zona alberga un total de 200 hectáreas, comprendiendo una parte de la reserva marina al sur de la península y una porción de Uso Restringido Pesquero de la Isla de Ses Rates, al norte.

El estudio del movimiento de la cigarra de mar se abordó mediante el uso de sistemas de monitorización de emisores-receptores de ondas acústicas, que coloquialmente se denomina seguimiento acústico, radio-seguimiento o 'radio-tracking'. Para llevar a cabo este tipo de seguimiento es esencial identificar y caracterizar los hábitats de la zona de estudio.

### Identificación y caracterización de los hábitats

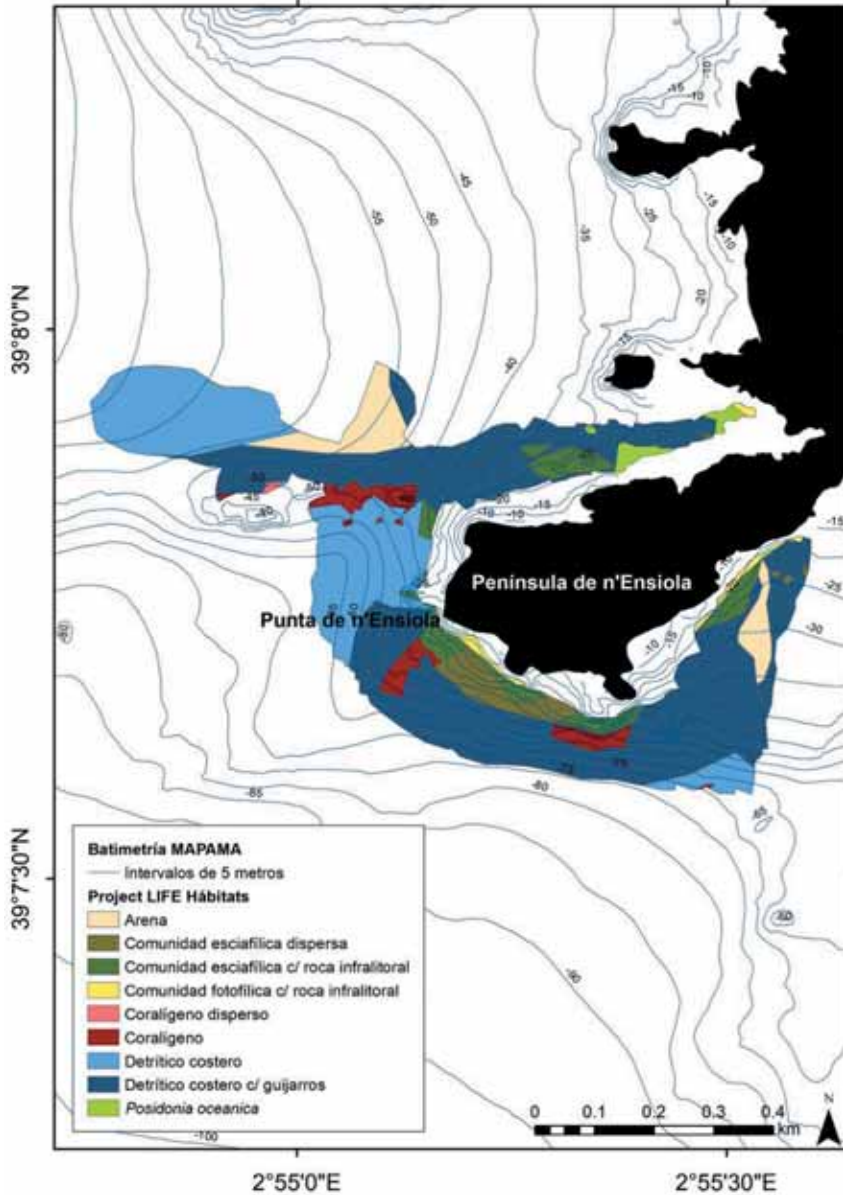
El uso de mapas en los que plasmar el conocimiento sobre el medio en el que habita una especie objetivo se considera una herramienta esencial para la gestión eficaz de los ecosistemas marinos (KENNY *et al.*, 2003). En el estudio de los desplazamientos y los hábitats utilizados por *Scyllarides latus* se utilizó como base un mapa batimétrico detallado (MAPAMA- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) del PNMTAC y la cartografía bionómica (Figura 2) desarrollada en el marco del Proyecto LIFE Posidonia (2001). Adicionalmente, se utilizó la técnica de vídeo de trineo de fondo mediante el uso de un módulo con cámara sumergible (HaTE - Habitat Transect Evaluation, propiedad del COB-IEO) orientada hacia el lecho marino, para la elaboración de una nueva cartografía bionómica detallada de la zona de estudio. Un método continuo de muestreo como este permite una caracterización precisa y definida del fondo ofreciendo una visión realista de los diferentes hábitats que se encuentran en el área de estudio. Este tipo de técnicas está muy extendido en los estudios de áreas marinas protegidas por ser un método no invasivo de muestreo (SHEEHAN *et al.*, 2010, 2015).

En junio de 2016 se realizaron nueve transectos de vídeo en formato digital con trineo remolcado de una longitud aproximada cada uno de 340 metros



**Figura 1.** Situación del Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera y área de estudio de los movimientos de la cigarra de mar *Scyllarides latus*.

**Figure 1.** Location of the Maritime-Terrestrial National Park of the Cabrera Archipelago and study area of the movements of the Mediterranean slipper lobster *Scyllarides latus*.



**Figura 2.** Mapa combinado del área de estudio con la batimetría del MAPAMA y la bionomía elaborada en el proyecto LIFE Posidonia, como base para la identificación y caracterización de los hábitats de *Scyllarides latus*.

**Figure 2.** Combined map of the study area with the bathymetry elaborated by the MAPAMA and the bionomic cartography elaborated in the LIFE Posidonia project, as a basis for the identification and characterization of the habitats of *Scyllarides latus*.

alrededor de la Península de n'Ensiola. El recorrido de los transectos fue registrado mediante el programa MaxSea y exportado a ArcGis para la georreferenciación de las imágenes obtenidas. El contenido de las filmaciones fue visualizado y se procedió a la identificación de los hábitats con una especificidad que no está recogida en la LPRE (Lista Patrón de Hábitats Marinos de España) ya que al tener datos de telemetría acústica en continuo, era necesario obtener un mapa más detallado de los hábitats para conseguir el máximo de información en relación al uso del hábitat. El gran detalle de la LPRE, solo ha permitido obtener diferencias en las coberturas de comunidades fotófilas sobre fondos de arena.

Los hábitats se identificaron como unidades de puntos y posteriormente se transformaron en áreas poligonales mediante las herramientas de edición de ArcMap (ArcGIS 10.1) para la construcción de un nuevo mapa bionómico del área de estudio. Así mismo, se realizaron modelos de pendiente a partir de datos batimétricos para determinar las características, tanto bióticas como abióticas, que determinan el uso del hábitat de las cigarras de mar.

### **Determinación de los patrones de movimientos de la especie**

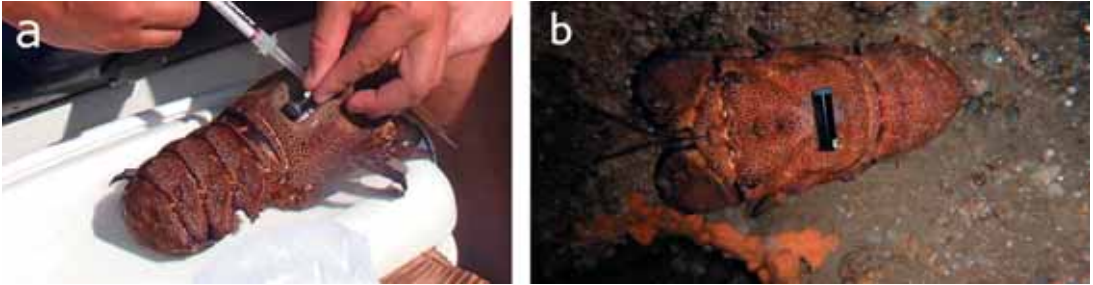
El movimiento de *S. latus* se monitorizó mediante un sistema de seguimiento basado en la telemetría acústica pasiva. La telemetría acústica es la técnica más utilizada a nivel mundial para el estudio del comportamiento y la ecología de movimiento de animales acuáticos en el medio natural (HEUPEL *et al.*; 2005, HUSSEY *et al.*, 2015), ya que permite abarcar grandes extensiones y largos periodos de tiempo.

Los sistemas de telemetría acústica constan de dos componentes: un sistema de emisores acústicos implantados o fijados en los individuos, y un sistema de receptores o hidrófonos, instalados en posiciones fijas en el medio natural. Los emisores son marcas electrónicas que emiten una serie de pulsos de sonido en el agua circundante. Cada emisor posee un código único de identificación para poder realizar un seguimiento individualizado de los ejemplares marcados. Existen diferentes modelos de emisores según su tamaño, duración de la batería, frecuencia

de emisión, etc. Algunos emisores pueden incorporar, además, uno o varios sensores, como por ejemplo de presión (para determinar la profundidad), de temperatura o de aceleración (para determinar la actividad física de los individuos). Cuando los animales marcados se encuentran dentro del rango de detección (normalmente cientos de metros), las señales emitidas son detectadas y almacenadas por los receptores en su memoria interna junto con el código identificador del individuo, la fecha y hora, y la información registrada por los sensores.

En agosto de 2015 (época de post-reproducción) y junio de 2016 (época de reproducción) se llevaron a cabo dos campañas en el área de estudio, en cada una de las cuales se capturaron y marcaron cinco individuos. Para cada individuo se anotó la longitud del cefalotórax (LC) en mm (distancia mínima entre el extremo superior del rostro y la base posterior central del cefalotórax), longitud total (LT) en mm (distancia entre la espina supraorbital y el margen posterior del telson), sexo, presencia de espermátforo, madurez de la puesta (en hembras), dureza del exoesqueleto e incrustaciones (abundancia relativa de epibiontes en el cefalotórax). Posteriormente, cada ejemplar se marcó con un emisor acústico fijándolo en el surco del cefalotórax mediante resina epoxi de secado rápido (Figura 3). Se emplearon emisores acústicos del modelo V13TP de VEMCO® (tamaño: 46 mm de largo x 13 mm de diámetro; peso en el agua: 69 g; duración estimada de la batería: 502 d), equipados con sensores de profundidad y temperatura y programados para emitir señales en intervalos aleatorios comprendidos entre 90 y 150 s, para así reducir la probabilidad de colisión entre señales de diferentes emisores. Una vez fijado el emisor, se mantuvo a los ejemplares sumergidos en agua de mar para comprobar que la resina no presentase ningún defecto y el emisor quedase perfectamente fijado. Los ejemplares fueron devueltos al lugar de su captura a mano mediante escafandra autónoma para evitar el efecto del movimiento por traslocación.

En junio de 2015 se estableció una red de nueve receptores acústicos (modelo VR2W de VEMCO®, www.vemco.com) en la zona de la Península de n'Ensiola. Siete receptores se instalaron en el perímetro de la península, mientras que los dos restantes se colocaron en la entrada de las dos grandes cuevas



**Figura 3.** Ejemplares de *Scyllarides latus* a) durante la operación de fijación del emisor V13TP en el cefalotórax y b) en el medio natural tras su liberación para su seguimiento.

**Figure 3.** Specimens of *Scyllarides latus* a) during the attachment operation of the V13TP transmitter on the cephalothorax and b) in the natural environment after its release for radiotracking.

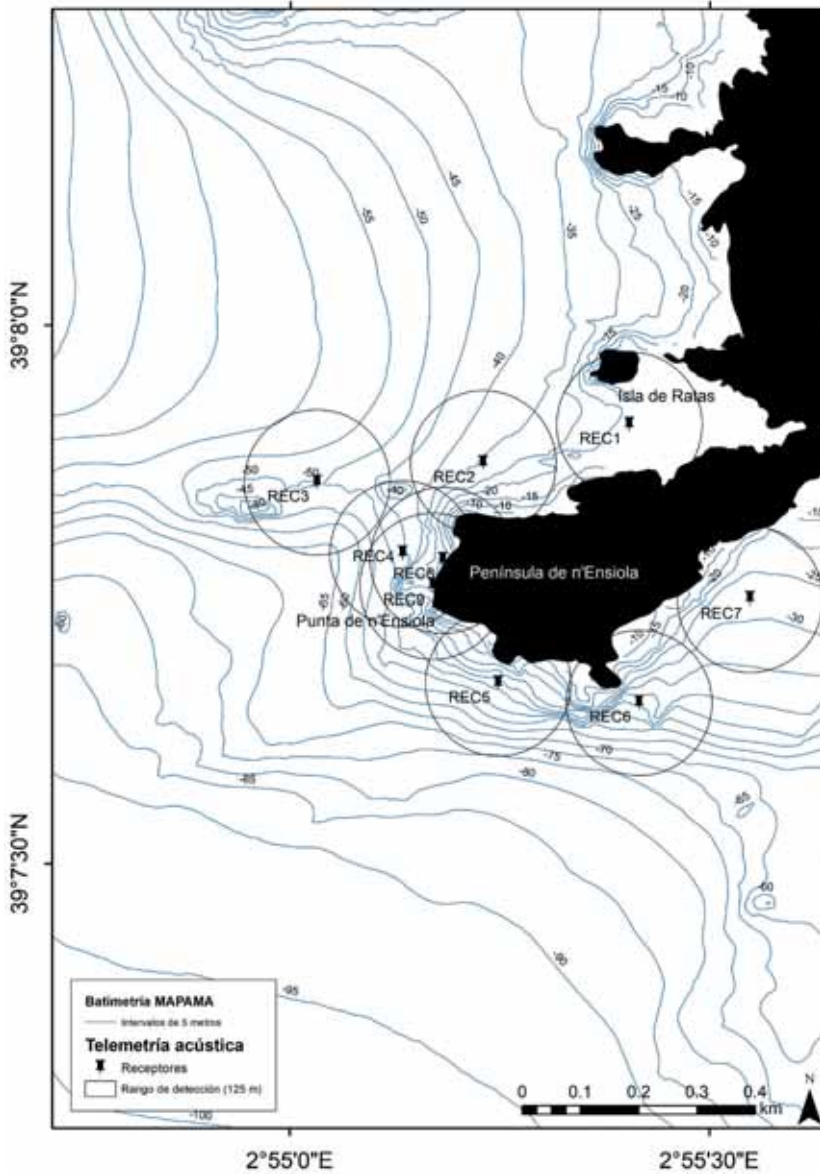
submarinas de la Punta de n’Ensiola (Figura 4). El modelo de fondeo para los receptores en las cuevas constaba de una base sólida de dos bloques de cemento y un vástago de plástico donde se fijaba el receptor. Los fondeos para el resto de los receptores, en cambio, estaban compuestos de una base sólida, una línea en la que se fijaba el receptor (aproximadamente a 15 m del fondo), y una boya sub-superficial que mantenía la línea erguida sin obstaculizar la navegación. La red de receptores se mantuvo operativa hasta su retirada final en septiembre de 2017. Durante el periodo de estudio, todos los receptores fueron llevados a la superficie cada seis meses para realizar las tareas de mantenimiento (descarga de datos, reemplazo de las baterías y eliminación del *fouling*).

Antes de diseñar la red de receptores, se realizó un test de detección en el área de estudio para determinar el rango de distancias en el que los receptores podían detectar las señales acústicas. Para ello, se dispusieron tres receptores y dos emisores a diferentes distancias (entre 50 y 400 m, a intervalos de 50 m), durante periodos de 24 h, para posteriormente calcular el porcentaje promedio de señales que se detectaba a cada distancia. Mediante este experimento, se pudo determinar un rango promedio de 125 m (Figura 5), a partir del cual la probabilidad de detección disminuía por debajo del 50%. Este rango se utilizó tanto para diseñar la red de receptores descrita anteriormente, como para el análisis e interpretación de los datos obtenidos.

Los datos de los receptores fueron regularmente incorporados en una base de datos utilizando el software VUE de VEMCO©. Posteriormente, todos los datos se importaron al entorno de programación R (<https://cran.r-project.org>), en el cual se realizaron todos los cálculos, análisis estadísticos y visualizaciones.

La base de datos fue inicialmente filtrada para eliminar posibles falsas detecciones, es decir, detecciones cuyo código identificador no correspondía con ninguno de los emisores utilizados, normalmente generadas por interferencias acústicas o por la colisión entre las señales de dos emisores presentes en la misma área. A partir de estos datos, se calculó el índice de residencia (IR) para cada individuo dividiendo el número de días en que fueron detectados entre el número total de días transcurridos desde la liberación del individuo hasta la fecha de su última detección. También se calculó el IR de los ejemplares para cada receptor con el fin de estimar el porcentaje de uso de las distintas zonas dentro del área de estudio. Finalmente, también se realizaron diferentes visualizaciones de los patrones de detecciones por receptor y se modeló el uso del hábitat durante el día y durante la noche mediante los datos de presencia en el área de recepción de los diferentes receptores y de la profundidad de cada dato recibido en función de la batimetría de la zona de estudio. Para la elaboración de mapas precisos de los usos del espacio, se calcularon los intervalos de profundidad preferidos por las cigarras de mar (en rangos 5m) como aquellas profundidades cuya frecuentación superaba el 15% del tiempo total de detección del individuo.





**Figura 4.** Mapa de la localización de los receptores VR2W (REC) alrededor de la Península de n'Ensiola. Los receptores del #1 al #7 permitían controlar el área de campeo. Los receptores #8 y #9 están instalados en cuevas para controlar la entrada y salida de individuos.

**Figure 4.** Map of the location of the VR2W (REC) receivers around the Península de n'Ensiola. The receivers from #1 to #7 allowed to control the home range area. Receivers #8 and #9 are installed in caves to control the entry and exit of individuals.

Al inicio del estudio se informó del programa de marcado de cigarras de mar a los pescadores que faenan al sur-este de Mallorca y en aguas del PNM-TAC. Con el fin de incentivar y facilitar su colaboración se ofreció una recompensa de 100 € por cada marca recuperada y se distribuyeron estadillos para anotar los datos de los ejemplares recuperados.

### Identificación de los hábitats esenciales de la especie durante la reproducción y diapausa invernal

Hasta el momento no se ha descrito la existencia de un periodo de diapausa para *S. latus* en el cual los individuos permanezcan en letargo durante los meses de invierno. Se ha comprobado mediante censos con escafandra autónoma que la densidad de cigarras de mar en paredes y cuevas aumenta de forma progresiva en invierno, alcanzando su máximo a finales de primavera cuando tiene lugar la reproducción y disminuye drásticamente a mediados de verano a valores próximos a cero (REÑONES *et al.*, 2010). No obstante, se han postulado varias hipótesis que podrían explicar el hecho de que las tasas de captura por la pesca artesanal durante el invierno sean prácticamente nulas (S. MALLOL: Observación Personal). La primera hipótesis postula que esta especie presenta una movilidad espacial muy reducida y de finales de verano a principios de primavera los individuos permanecen en la misma zona presentando un comportamiento más críptico que los hace difícilmente detectables. La segunda supone que los hábitats rocosos de la zona litoral son hábitats esenciales de reproducción donde se optimiza la maduración de la puesta (en aguas cálidas) y después de ésta, los individuos regresan a mayor profundidad para realizar la eclosión y posterior muda con menor riesgo de depredación, puesto que este es el momento de mayor vulnerabilidad del estado adulto (SPANIER & LAVALLI 2013).

Sabiendo que las cuevas son un hábitat preferencial de reproducción (REÑONES *et al.*, 2010), se monitorizó durante 30 meses la temperatura de la cueva en la que se había instalado el receptor de radio-seguimiento #8. Se colocaron dos sensores de temperatura HOBO Water Temp Pro v2 U22-001 (Onset Comp.Corp.MA, USA) con almacenamiento interno de datos, uno a la entrada y otro al fondo, ambos fijados al techo de la cueva, a una

profundidad de 8 metros. Los sensores fueron previamente programados para almacenar un registro de temperatura cada 60 minutos y los datos fueron descargados cada seis meses mediante el uso de una estación de descarga con base óptica HOBO BASE-U-4 (Onset Comp.Corp.MA, USA). Adicionalmente, se obtuvo la serie temporal de temperatura a 25 m en la isla Foradada (PNMTAC) (T-MedNet temperature observation network, www.t-mednet.org). Esto permitió tener dos patrones de referencia para realizar una interpretación ecológica más completa del conjunto de registros de posición, profundidad y temperatura de los emisores de las cigarras de mar.

Los datos de temperatura de los sensores de las cuevas fueron regularmente incorporados en una base de datos junto con la serie de temperatura de la isla Foradada y posteriormente se importaron al entorno de programación R (<https://cran.r-project.org>), donde los datos fueron trabajados conjuntamente.

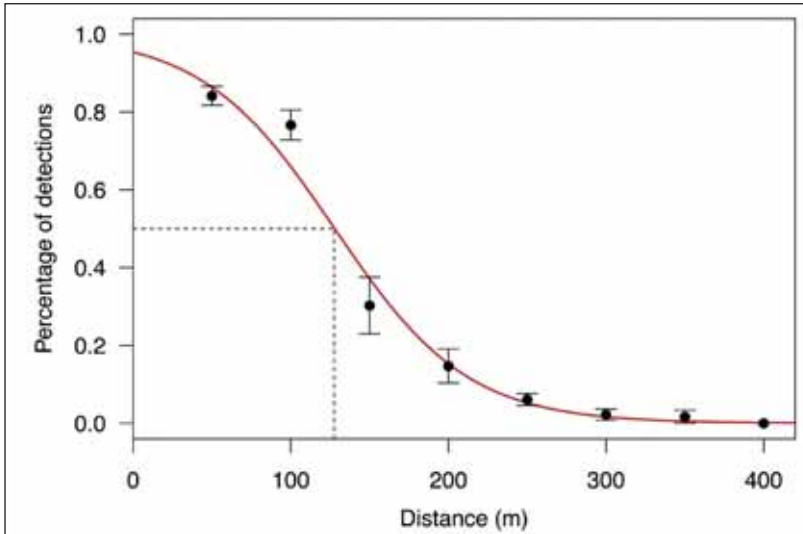
## RESULTADOS

### Identificación y caracterización de los hábitats

La Figura 6 muestra la distribución espacial de los hábitats bentónicos presentes en el área de estudio de la nueva cartografía bionómica elaborada en el presente estudio de investigación realizada en base al sustrato y la comunidad predominante.

La Tabla 1 muestra el área total que ocupa cada uno, según los hábitats bentónicos presentes alrededor de la Península de n'Ensiola. Se identificaron 12 hábitats en un área total de 315043 m<sup>2</sup>, ocupada en un 28,31% de arena con cobertura algal del 60% y un 27,17% de roca. Los hábitats con menor área registrada fueron el fondo de algas fotófilas (0,16%) y el fondo detrítico costero con *Caulerpa prolifera* (0,20%).

En casi toda el área de estudio, el fondo de roca que se extiende entre los 0 y los 30-40 m de profundidad, a excepción de una porción de arena con cobertura algal del 70%, que se localizó en todo el perfil batimétrico al sur de la Península de n'Ensiola. A partir de los 30 m de profundidad encontramos fondos



**Figura 5.** Resultado de las pruebas de detección realizadas en el área de estudio, mostrando el porcentaje de señales detectadas en función de la distancia. La línea de puntos indica la distancia (125 m), a partir de la cual se detecta menos del 50% de las señales.

**Figure 5.** Result of the detection test performed in the study area, showing the percentage of signals detected as a function of distance. The dotted line indicates the distance (125 m) from which less than 50% of the signals were detected.

| Hábitat   | m <sup>2</sup> | %          |
|---|----------------|------------|
| Arena con algas al 60% de cobertura                   | 89191          | 28.31      |
| Roca  | 85587          | 27.17      |
| Arena con algas al 1% de cobertura                    | 51967          | 16.50      |
| Arena con algas al 50% de cobertura                   | 36300          | 11.52      |
| Arena con algas al 10% de cobertura                   | 23733          | 7.53       |
| Fondo detrítico costero con <i>Maërl</i>              | 7589           | 2.41       |
| Pradera de <i>Posidonia oceanica</i>                  | 6733           | 2.14       |
| Fondo detrítico costero                               | 6488           | 2.06       |
| Arena con roca al 70% de cobertura                    | 4577           | 1.45       |
| Rodolitos   | 1755           | 0.56       |
| Fondo detrítico costero con <i>Caulerpa prolifera</i> | 621            | 0.20       |
| Algas fotófilas                                       | 505            | 0.16       |
| <b>Total</b>  | <b>315043</b>  | <b>100</b> |

**Tabla 1.** Área y porcentaje de ocupación de los hábitats presentes en el área de estudio.

**Table 1.** Area and percentage of occupation of the habitats in the study area.

móviles como el detrítico costero, el detrítico costero con Maërl y la arena con diferentes porcentajes de cobertura algal.

La mayor variabilidad de hábitats se encontró en la zona de uso restringido pesquero, entre la Península de n'Ensiola y la isla de Ratas que ocupaba 18654 m<sup>2</sup>, que representaba únicamente el 5,92% de toda el área de estudio. Entre 0 y 30 m de profundidad se encontró un aglomerado de hábitats como el de fondo rocoso, la arena con hasta un 60% de cobertura algal, la pradera de *Posidonia oceanica*, el detrítico costero y el detrítico costero con Maërl.

Durante los censos realizados con escafandra autónoma para la captura y el marcado de individuos de cigarra de mar para su seguimiento, se identificaron dos comunidades recurrentes en las cuevas muestreadas que no han sido incluidas en los mapas generados. Se trata de la comunidad cavernícola dominada por el briozoo *Myriapora truncata* y la comunidad cavernícola dominada por esponjas.

### Determinación del patrón de movimientos de la especie

En total se capturaron y marcaron 10 ejemplares de *S. latus*, 4 machos y 6 hembras, tres de las cuales

estaban ovadas (Tabla 2). El rango de tallas de los ejemplares difería entre hembras y machos, siendo las primeras de mayor tamaño (121-131 mm) que los segundos (104-125 mm).

En total se obtuvieron 902698 detecciones de los ejemplares monitorizados. El periodo medio de detección ( $\pm$ sd) fue de  $356\pm 148$  días, con un promedio ( $\pm$ sd) de  $231\pm 160$  días con datos de actividad. Uno de los ejemplares (#1) dejó de ser detectado a los pocos días de haber sido liberado, pero la naturaleza de los datos no nos permitió determinar si esto fue debido a un posible desprendimiento del emisor o al abandono del área de estudio por parte del individuo. No obstante, sí que se pudo determinar la pérdida del emisor en otro individuo (#8), ya que todas sus detecciones ocurrieron a una profundidad constante y fueron registradas siempre por los mismos receptores. Ambos individuos fueron excluidos de los posteriores análisis.

El IR promedio ( $\pm$ sd) fue de  $0,67\pm 0,32$  (Tabla 2, Figura 7), pero presentó una fuerte variación entre individuos. El individuo de carácter más residente fue el #9, ya que pudo ser detectado en el 95% de los días, mientras que el #3 mostró el valor de IR más bajo, siendo detectado únicamente el 16% de los días. No se detectaron diferencias significativas entre machos y hembras en relación

| ID | Sexo | Talla (mm) | Fecha de marcado | Detecciones totales | Periodo de seguimiento (d) | Índice de residencia (IR) |      |      |      |      |      |    |    |      |      |   |   |
|----|------|------------|------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|----|----|------|------|---|---|
|    |      |            |                  |                     |                            | Total                     | #1   | #2   | #3   | #4   | #5   | #6 | #7 | #8   | #9   |   |   |
| 1* | H    | 121        | 9/8/15           | 2637                | 10                         | —                         | —    | —    | —    | —    | —    | —  | —  | —    | —    | — | — |
| 2  | H*   | 131        | 9/8/15           | 63244               | 420                        | 0,79                      | 0,31 | 0,45 | 0,34 | 0,34 | 0    | 0  | 0  | 0,31 | 0    | — | — |
| 3  | M    | 120        | 10/8/15          | 4765                | 504                        | 0,16                      | 0    | 0    | 0,04 | 0,15 | 0    | 0  | 0  | 0,01 | 0,03 | — | — |
| 4  | M    | 128        | 10/8/15          | 2770                | 315                        | 0,3                       | 0    | 0    | 0,06 | 0,29 | 0    | 0  | 0  | 0,01 | 0,02 | — | — |
| 5  | H    | 125        | 10/8/15          | 134690              | 369                        | 0,78                      | 0    | 0    | 0,49 | 0,69 | 0,07 | 0  | 0  | 0,44 | 0,25 | — | — |
| 6  | H*   | 125        | 15/6/16          | 14315               | 275                        | 0,36                      | 0    | 0,08 | 0,29 | 0,25 | 0    | 0  | 0  | 0,31 | 0,02 | — | — |
| 7  | H    | 121        | 15/6/16          | 44603               | 441                        | 0,74                      | 0    | 0    | 0,22 | 0,54 | 0,44 | 0  | 0  | 0,01 | 0,17 | — | — |
| 8  | M    | 104        | 15/6/16          | 301846              | (462)                      | —                         | 0    | 0    | —    | —    | —    | —  | —  | —    | —    | — | — |
| 9  | H*   | 122        | 18/6/16          | 138306              | 458                        | 0,95                      | 0,14 | 0,6  | 0,7  | 0,38 | 0,01 | 0  | 0  | 0,26 | 0,14 | — | — |
| 10 | M    | 110        | 18/6/16          | 195522              | 416                        | 1                         | 0    | 0    | 0,71 | 0,6  | 0    | 0  | 0  | 0,44 | 0,68 | — | — |

**Tabla 2.** Características de los ejemplares de *S. latus* marcados con emisores acústicos. También se indica el periodo de seguimiento (intervalo de días entre el marcado y la fecha de la última detección) y el índice de residencia total y por receptor. Las hembras marcadas con un H0 corresponden a hembras ovadas. Los individuos marcados con asteriscos no fueron incorporados en análisis posteriores (\* Individuo que dejó de ser detectado a los pocos días después de su liberación y \*\* Individuo que perdió el emisor a los pocos días de haber sido liberado).

**Table 2.** Characteristics of *S. latus* copies tagged with acoustic transmitters. The period of tracking (interval of days between the tagging and the date of the last detection) and the index of total residence and per receiver are also indicated. The females marked with a H0 correspond to ovate females. Individuals marked with asterisks were not incorporated in subsequent analyzes (\* Individual who stopped being detected a few days after his release and \*\* Individual who lost the issuer within a few days of being released).

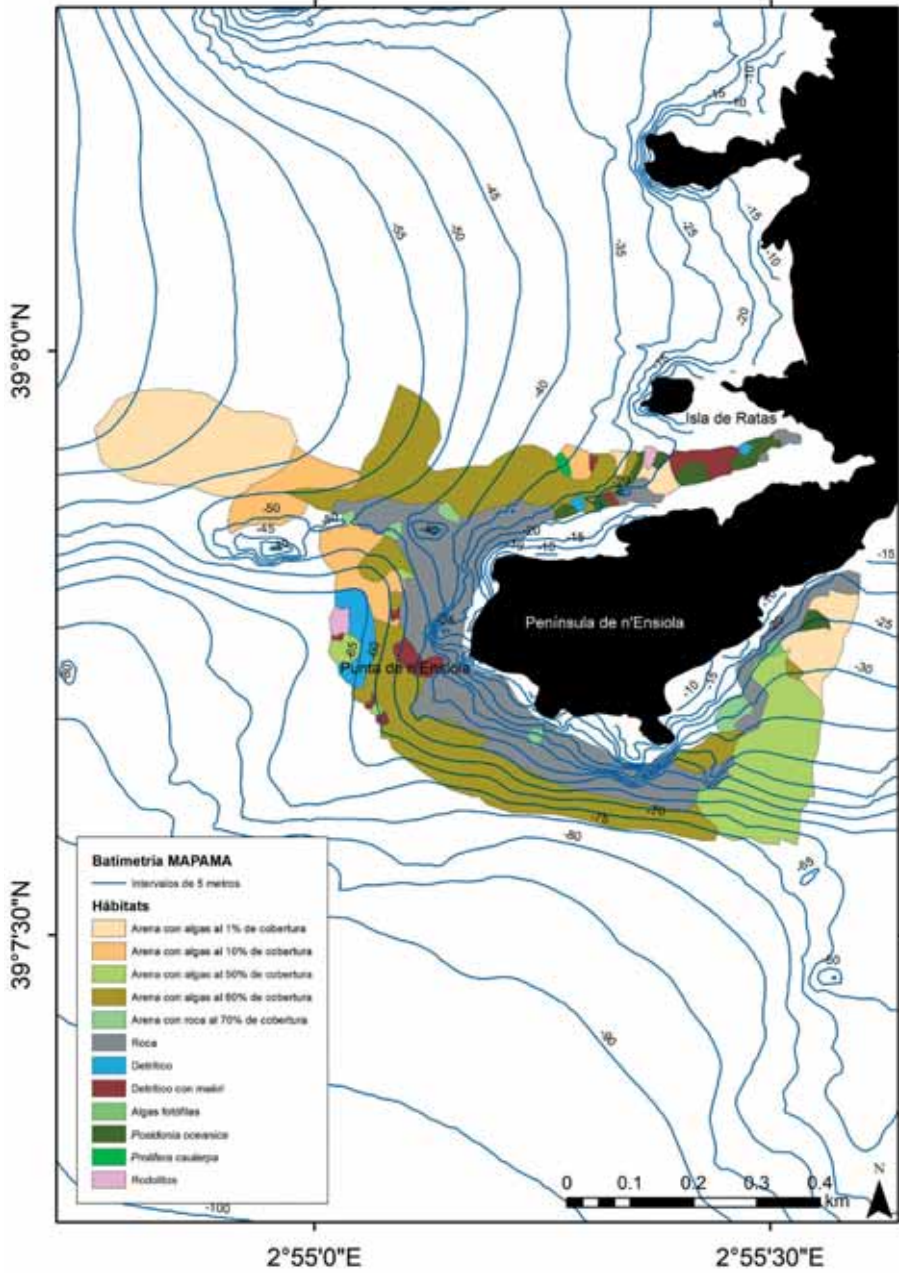
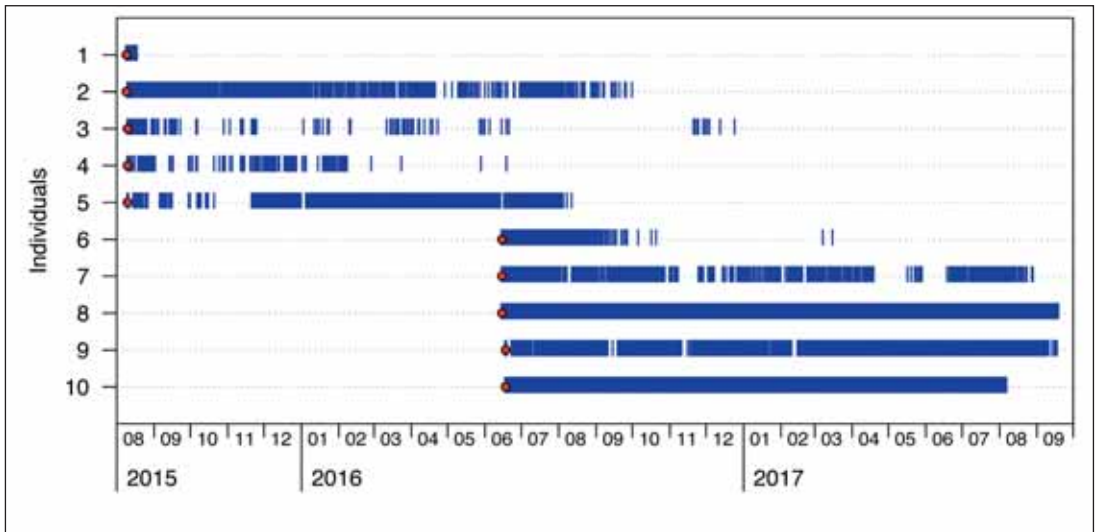


Figura 6. Mapa bionómico del área de estudio elaborado en el marco del proyecto SCYTRACK.

Figure 6. Bionomic map of the study area developed within the framework of the SCYTRACK project.



**Figura 7.** Presencias diarias de los ejemplares de cigarra de mar marcados en el área de estudio. Los puntos rojos indican la fecha de la liberación de cada individuo.

**Figure 7.** Daily occurrences of slipper lobster specimens tagged in the study area. The red dots indicate the date of release of each individual.

a los valores del IR (test t de Student;  $t = 0,85$ ;  $df = 2,6$ ;  $p = 0,46$ ).

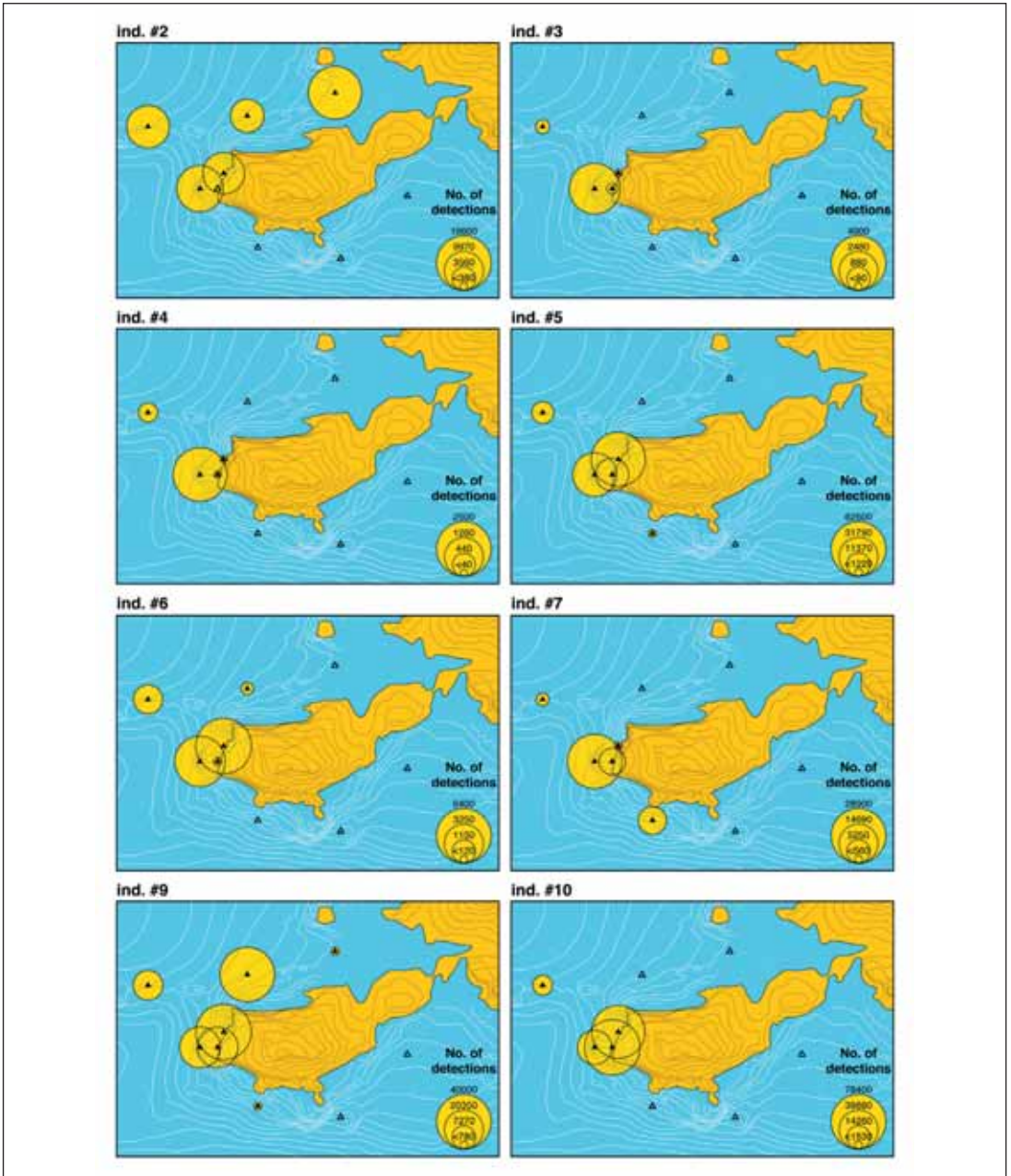
Se observaron diferencias significativas en el uso de las zonas cubiertas por los diferentes receptores. Los receptores más frecuentados fueron el #4, el #3 y el #8, en los cuales los individuos presentaron un IR promedio ( $\pm sd$ ) de  $0,41 \pm 0,19$ ;  $0,36 \pm 0,26$  y  $0,22 \pm 0,19$ , respectivamente (Tabla 2, Figura 8). A partir de estos datos, junto con las profundidades registradas por los emisores de las cigarras de mar, se pudo inferir un *home range* promedio ( $\pm sd$ ) de  $13,7 \pm 4,6$  Ha. Los ejemplares con mayor área explorada fueron los individuos #2 y #9 (dos hembras ovadas) con 18,2 y 22,5 Ha respectivamente (Figura 8). En todo el periodo de estudio, no se detectó a ningún individuo en los receptores situados al sur de la Península de n'Ensiola (receptores #6 y #7).

En la mayoría de los ejemplares de cigarra de mar se pudo observar un patrón de actividad de carácter diario. La mayor parte de las detecciones ocurrieron durante la noche ( $65 \pm 16\%$ ), mientras que únicamente el  $35 \pm 16\%$  de las detecciones ocurrieron

durante las horas diurnas (Figuras 9 y 10). Los hábitats empleados por los ejemplares marcados no difirieron entre el día y la noche, puesto que todas ellas se movieron en hábitat rocoso. No obstante, el área explorada fue mayor por la noche (Figura 11).

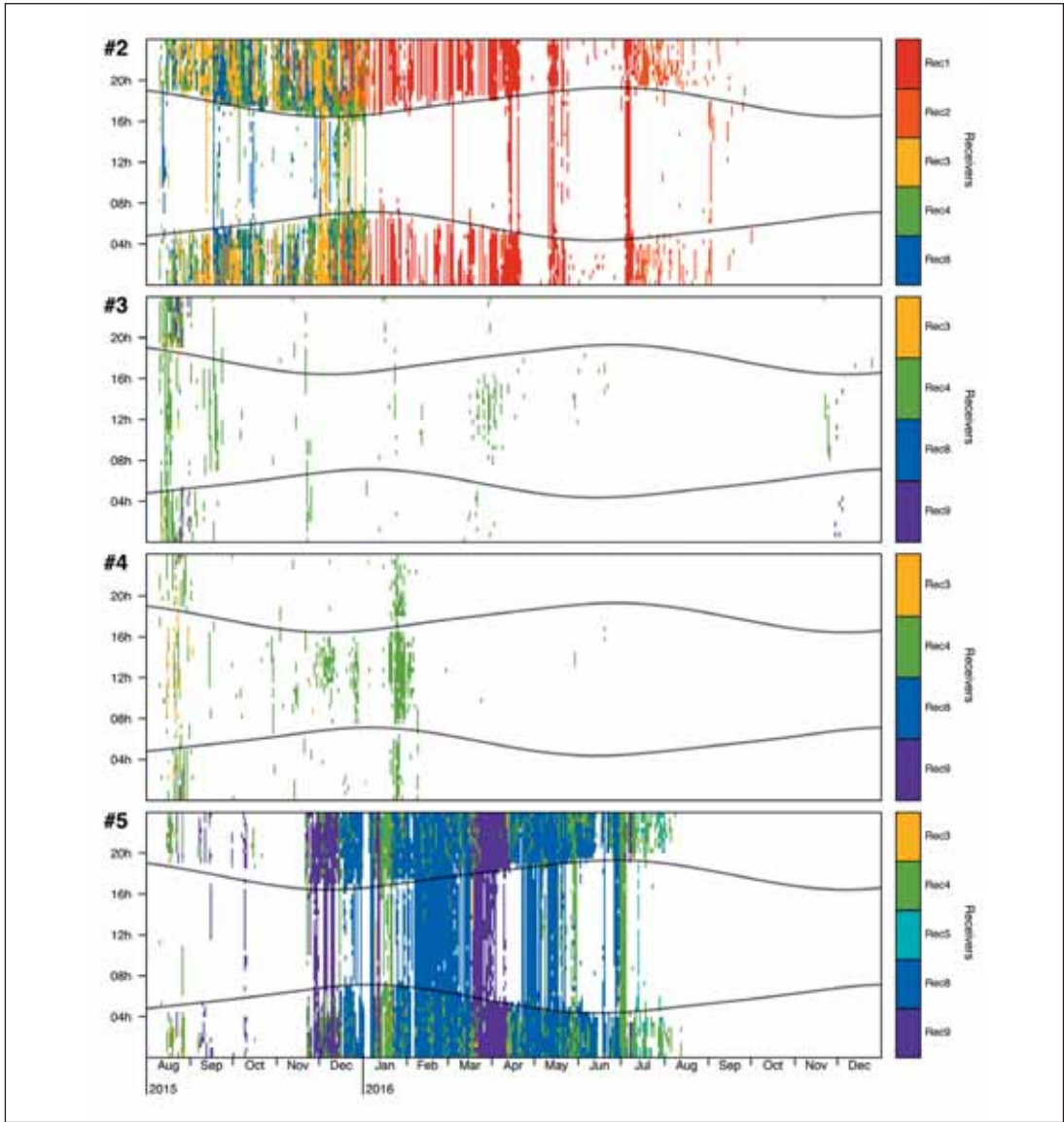
**Identificación de los hábitats esenciales de la especie durante la reproducción y diapausa invernal**

A escala estacional, todos los individuos marcados mostraron una gran variabilidad en cuanto al uso del espacio, ya que se observaron numerosos cambios en los receptores en los que fueron detectados a lo largo del año (Figuras 9 y 10). Durante la época de reproducción, cinco de los ocho individuos analizados (individuos #5, #6, #7, #9 y #10) fueron detectados por los receptores situados en el interior de las cuevas de la Punta de n'Ensiola (receptores #8 y #9), aunque en muchos casos estos individuos ya estaban presentes en las cuevas desde los meses de invierno (Figuras 9 y 10). Los individuos #2 y #7, muestran intervalos sin detecciones extensos durante la época de reproducción de los años 2016



**Figura 8.** Distribución de las detecciones de los ejemplares de cigarra de mar marcados en cada uno de los receptores del área de estudio. El tamaño de los círculos es proporcional al número de detecciones. Los triángulos señalan la localización de los receptores. Los triángulos vacíos indican receptores que no detectaron ninguna señal.

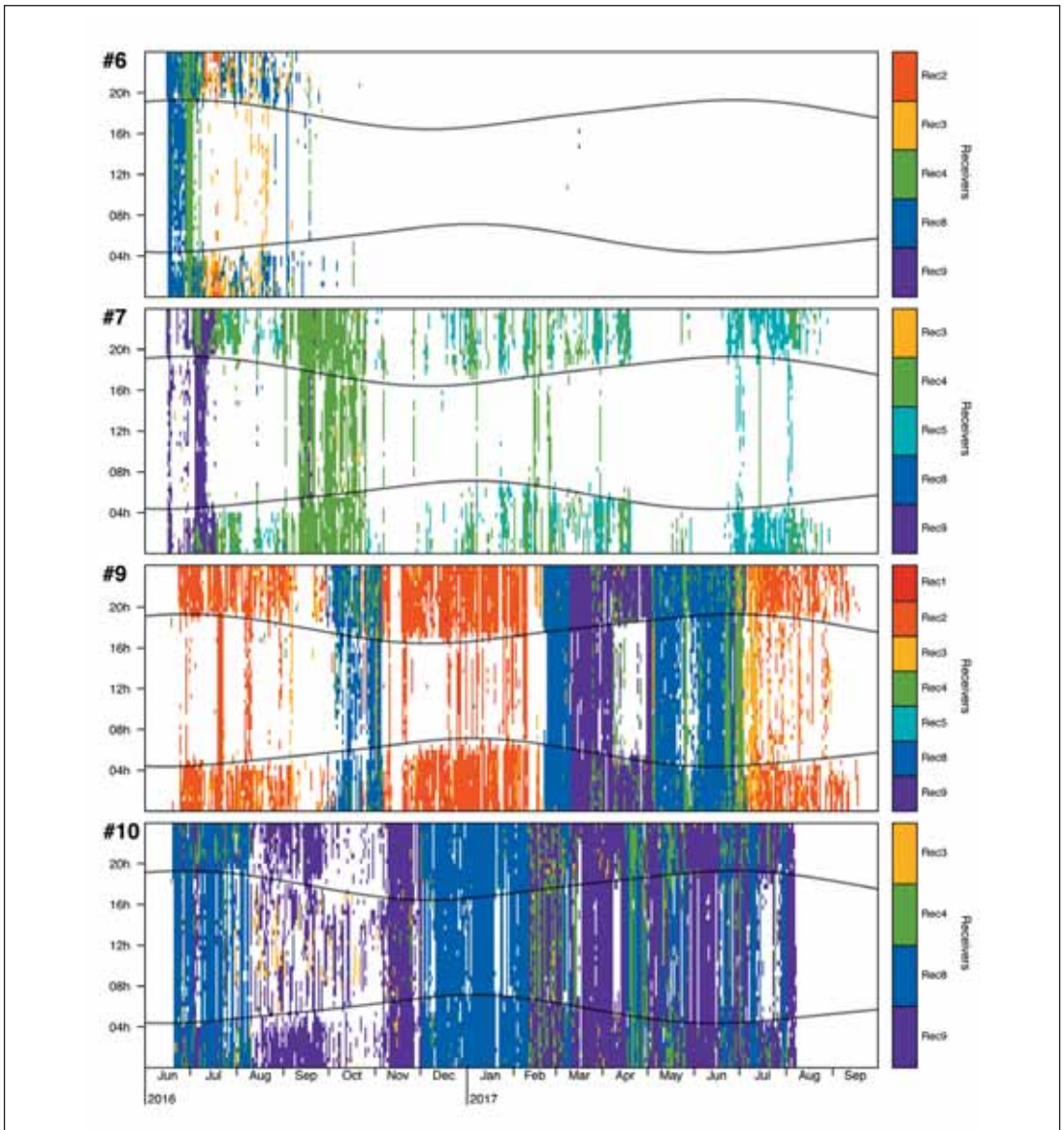
**Figure 8.** Distribution of detections of the slipper lobsters tagged by each receiver in the study area. The size of the circles is proportional to the number of detections. The triangles indicate the location of the receivers. The empty triangles indicate receivers that did not detect any signal.



**Figura 9.** Distribución de las detecciones de las cigarras de mar marcadas en 2015 en función de la fecha y la hora. Los diferentes colores representan los receptores con el mayor número de detecciones en intervalos de 30 minutos. Las áreas en blanco corresponden a periodos sin detecciones. Las líneas continuas horizontales representan la salida (línea inferior) y puesta del sol (línea superior).

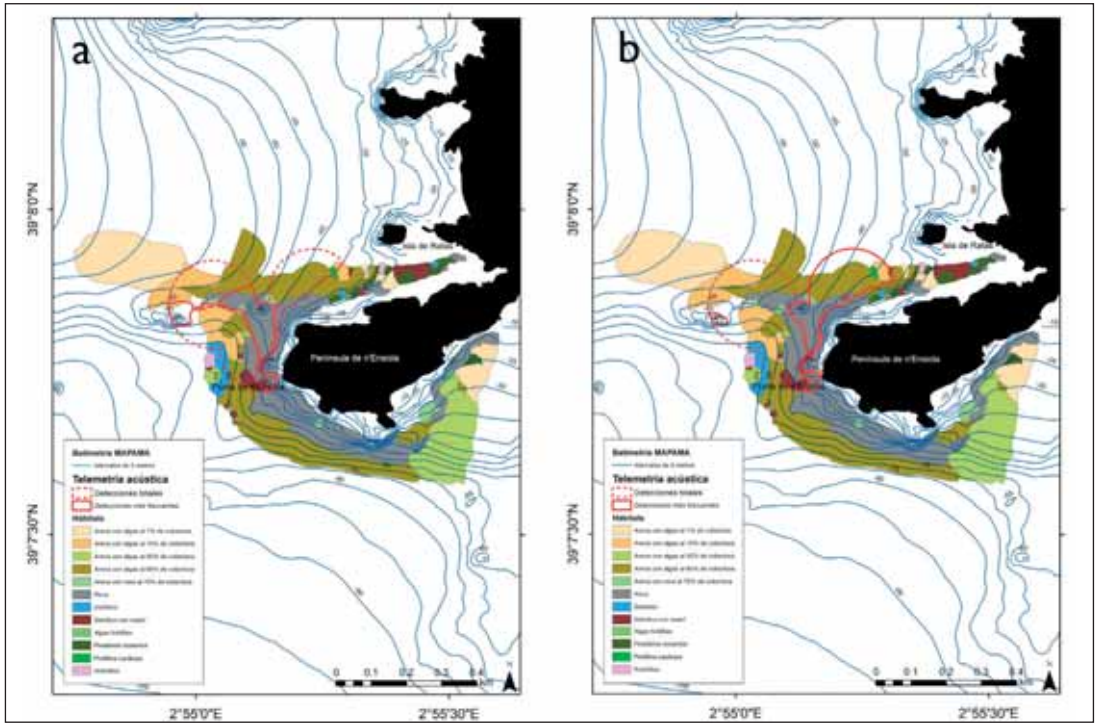
*Figure 9.* Distribution of detections of the slipper lobsters tagged in 2015 throughout the study. The different colors represent the receivers with the highest number of detections in 30-minute intervals. The blank areas correspond to periods without detections. The horizontal solid lines represent the sunrise (lower line) and the sunset (upper line).





**Figura 10.** Distribución de las detecciones de las cigarras de mar marcadas en 2015 en función de la fecha y la hora. Los diferentes colores representan los receptores con el mayor número de detecciones en intervalos de 30 minutos. Las áreas en blanco corresponden a periodos sin detecciones. Las líneas continuas horizontales representan la salida (línea inferior) y puesta del sol (línea superior).

**Figure 10.** Distribution of detections of the slipper lobsters tagged in 201 throughout the study. The different colors represent the receivers with the highest number of detections in 30-minute intervals. The blank areas correspond to periods without detections. The horizontal solid lines represent the sunrise (lower line) and the sunset (upper line).



**Figura 11.** Modelo del uso del espacio por el ejemplar #2 durante el día (a) y durante la noche (b). El área en la que se ha detectado el individuo está indicada en líneas discontinuas de color rojo y el área de mayor frecuentación se ha indicado con línea sólida de color rojo.

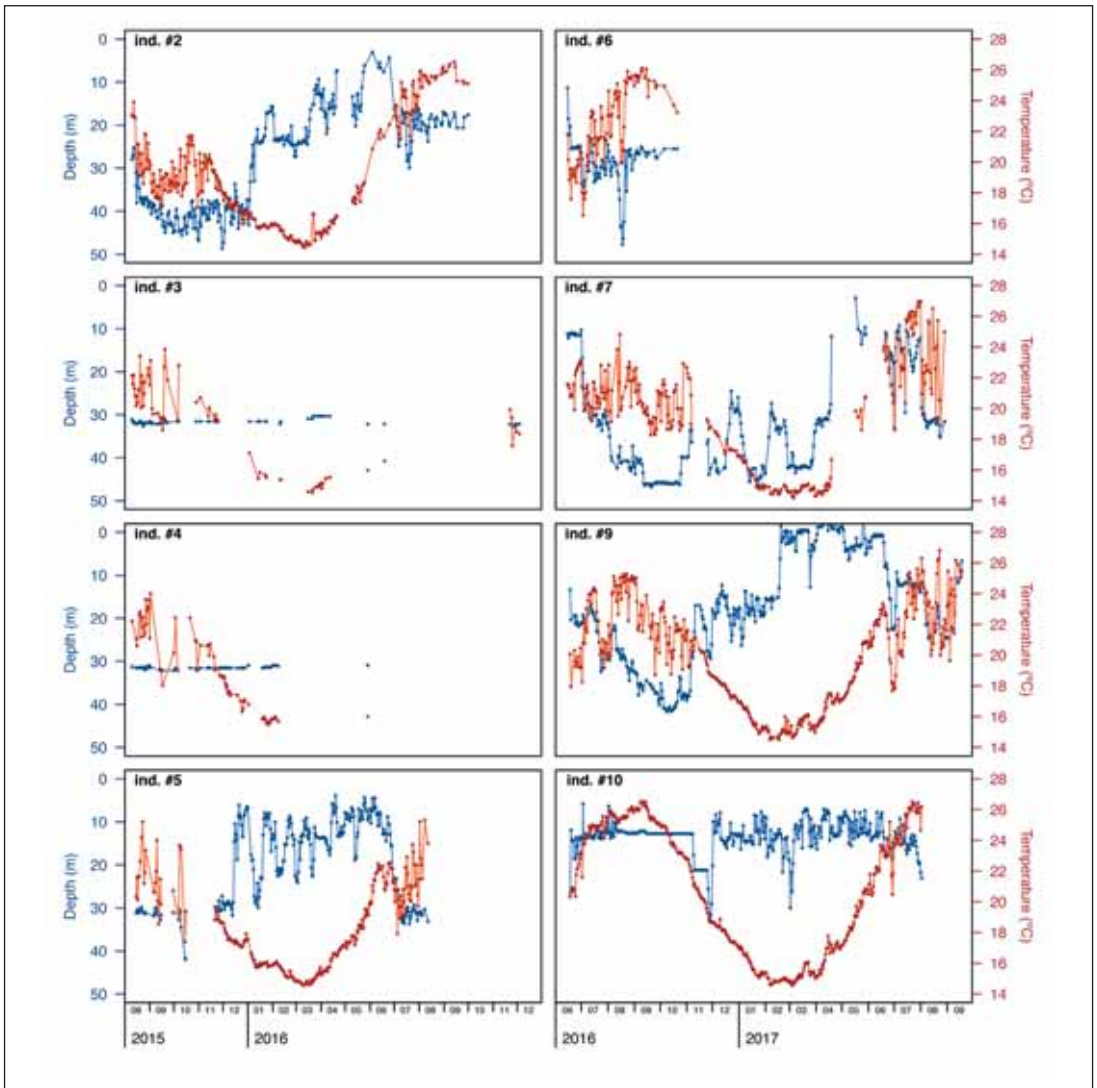
**Figure 11.** Model of the use of space by individual #2 during the day (a) and during the night (b). The area in which the individual has been detected is indicated in dashed red lines and the area of highest frequency is indicated in solid red lines.

y 2017, respectivamente, lo que indica un desplazamiento hacia zonas más resguardadas desde donde no podían ser detectados por los receptores.

La distribución de los ejemplares en profundidad también mostró patrones estacionales similares. En general, las profundidades máximas (>30 m) de los individuos se registraron durante los meses de agosto a diciembre (post-reproducción) (Figura 12). Tras este periodo, cuatro individuos se trasladaron a zonas menos profundas (< 20 m; individuos #2, #5, #7, #9, todos ellos hembras) y tres individuos dejaron de ser detectados (#3, #4, #6; dos machos y una hembra ovada respectivamente). El individuo #10 mostró muy poca actividad

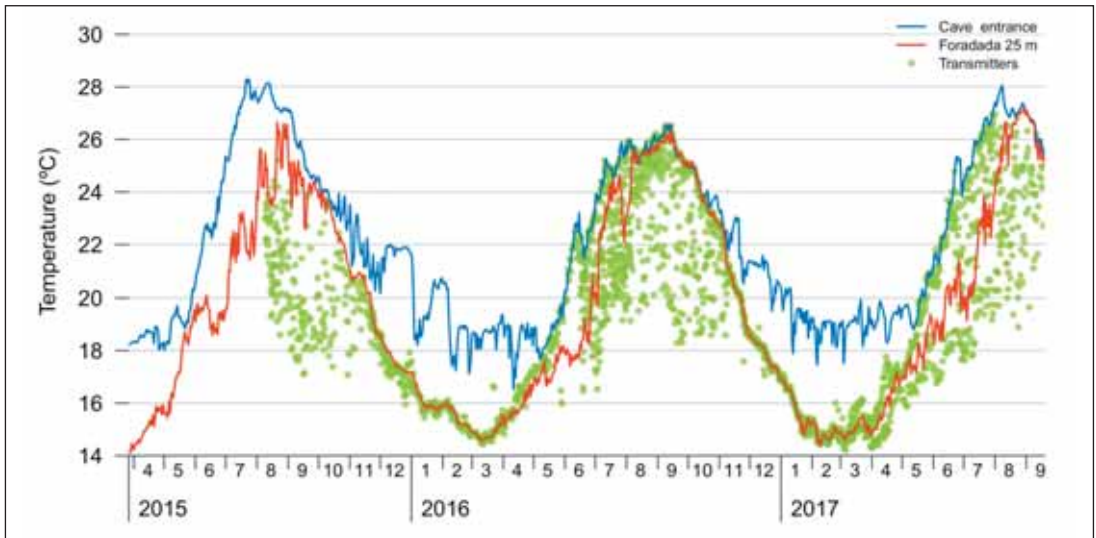
vertical entre los meses de post-reproducción, en los cuales se mantuvo a profundidades constantes, pero empezó a mostrar un mayor rango de movimientos a partir de ese periodo. Las profundidades mínimas (entre 0 y 15 m de profundidad) se registraron en los meses de mayo a junio (reproducción) (individuos #2, #5, #7, #9 y #10), coincidiendo con la presencia de los individuos en las cuevas de la Punta de n’Ensiola.

En términos generales, se puede observar en la Figura 13 que en el interior de la cueva las oscilaciones de temperatura a lo largo del año son menores que las sufridas en el exterior. Durante los meses de verano, la temperatura del interior y el exterior de la



**Figura 12.** Profundidad (azul) y temperatura *in situ* (rojo) registradas por los emisores acústicos fijados en cada uno de los *Scyllarides latus* marcados.

**Figure 12.** Depth (blue) and *in situ* temperature (red) recorded by the acoustic transmitters of each *Scyllarides latus* individual tagged.



**Figura 13.** Temperatura de la entrada de la cueva (línea azul) y temperatura a 25 metros en la Foradada (T-MedNet temperature observation network, [www.t-mednet.org](http://www.t-mednet.org)) (línea roja). Se muestran también las temperaturas obtenidas a partir de los sensores V13TP de las cigarras (círculos verdes).

**Figure 13.** Temperature at the entrance of the cave (blue line) and temperature at 25 meters depth in the Foradada islet (T-MedNet temperature observation network, [www.t-mednet.org](http://www.t-mednet.org)) (red line). Temperatures obtained from the V13TP transmitters of the slipper lobsters (green circles) are also shown.

cueva se igualan (alrededor de 26.5 °C), pero en los meses de invierno, la cueva presenta unas mayores temperaturas, con diferencias entre dentro de fuera de 1,5 a 4 °C.

Se ha observado que a partir del mes de noviembre las cigarras de mar siguen la isoterma de 25 metros (Figura 13) y partir de mayo comienza a observarse una desincronización de ambas señales. Entre junio y noviembre, se observa una gran dispersión de los datos de temperatura proporcionada por los emisores de los ejemplares marcados, llegando a solaparse, entre mayo y agosto, con el registro de temperatura del interior de la cueva de n'Ensiola.

## DISCUSIÓN

La telemetría acústica pasiva ha demostrado ser una herramienta muy útil para describir el comportamiento y patrones de especies marinas (HEUPEL *et al.*, 2006). Su combinación con el mapeo de

tallado del hábitat permite inferir correctamente el uso del hábitat de cualquier especie y, por lo tanto, garantiza un diseño efectivo y completo de áreas marinas protegidas y su entorno (LOWE *et al.*, 2003; MEYER & HOLLAND 2005; TOPPING *et al.*, 2005; MARCH *et al.*, 2010; MASON & LOWE 2010). Aunque, como lo mencionan ALÓS *et al.* (2011), las técnicas de telemetría acústica, aun y teniendo en cuenta el elevado coste del estudio en comparación con las tradicionales técnicas de marcado y recaptura, ofrecen una mayor precisión y calidad de los datos. Habitualmente el número de ejemplares marcados es muy inferior utilizando esta metodología, pero el elevado número de datos que se obtiene, normalmente en continuo, permite inferir procesos de comportamiento y uso del espacio mucho más detallados y robustos. Además, si los ejemplares marcados abarcan un rango de tallas y *sex-ratio* representativo de la población, las conclusiones obtenidas pueden ser utilizadas como una muy buena representación de la dinámica de la población.

## Identificación y caracterización de los hábitats

Integrar espacialmente especies marinas en unidades funcionales es un sistema de agrupación que permite una gestión del espacio más específica y por tanto más efectiva. Dado que el mapeo de la distribución de todas las especies marinas existentes en un entorno determinado es imposible y poco práctico, asociar especies marinas y hábitats es la forma más realista de explicar las características del fondo marino (HERREU *et al.*, 2011). La actualización de los hábitats llevada a cabo en la zona de estudio ha consistido en una clasificación y distribución más detallada de las diferentes áreas ecológicas y ha resultado esencial para profundizar en el conocimiento de los rasgos ecológicos de *S. latus*. Para la zona estudio, el número de hábitats ha aumentado debido a la precisión con la que se ha realizado el muestreo y el uso de un sistema de clasificación jerárquico (TEMPLADO *et al.*, 2012). La obtención de datos en continuo de movimiento de la especie exigía que estos fueran representados sobre una cartografía bionómica con un elevado detalle con el fin de poder obtener un conocimiento del uso del espacio más preciso y reducir el *bias* al solapar las informaciones. Obviamente, la atomización del espacio aporta más información y permite atribuir o descartar detalles que son inabordable en la generalización. No obstante, se entiende que la LPRE (TEMPLADO *et al.*, 2012) resulta un sistema válido para el nivel de catalogación adoptado por España.

## Determinación del patrón de movimientos de la especie

El efecto de la protección junto con la presencia de un hábitat óptimo en Cabrera ha permitido que *S. latus* pueda ser objeto de estudio, hecho prácticamente imposible fuera de los espacios protegidos. La diferencia de densidades anuales observadas está marcada sin duda por el ciclo reproductivo y se han identificado las cuevas como hábitat óptimo y esencial para la especie. Los trabajos de telemetría acústica han sido esenciales para esclarecer la reducida área en la que se mueve cada individuo y la elevada fidelidad de los individuos a un mismo lugar durante todo el año, lo que refuerza la puesta en marcha de medidas de conservación basadas en

una regulación espacial, junto con un incremento de la vigilancia para evitar el furtivismo.

Los patrones de movimiento (día-noche) de la especie son muy claros y por tanto no se distancian de los previamente citados (SPANIER *et al.*, 1988). Se ha podido comprobar que, en términos generales, se acepta la inferencia de que un aumento del movimiento está asociado a un mayor número de señales (GIACALONE *et al.*, 2006), puesto que por la noche se obtuvieron un mayor número de detecciones (SPANIER *et al.*, 1988), pero no se ha de considerar una inferencia universal. Una excepción a esta relación, ocurre durante la época de reproducción en esta especie, puesto que al tener un receptor dentro de las cuevas, el número de señales aumenta ya que los individuos se pasan gran parte del tiempo dentro de la cueva, su movilidad es baja, pero el número de señales es elevado. No se ha observado un elevado *home range*, determinándose un área de campeo promedio de casi 14 Ha., pero se ha podido establecer una fuerte fidelidad del hábitat (índice de residencia), observándose incluso que una zona muestreada no mostró ninguna detección durante el estudio.

La telemetría acústica, usada en un ambiente rocoso y con una especie bentónica, puede causar múltiples interferencias en el número de señales recibidas, por este motivo es necesario realizar un estudio previo (Figura 5) de la distancia de recepción de las señales por parte de los receptores y obtener un mapa de recepción de señales. Los efectos de sombra en la recepción de señales que el fondo rocoso provoca se traducen en muchos casos en interpretaciones erróneas, como pueden ser la muerte de los ejemplares, movimientos de los individuos fuera de la zona de recepción o la pérdida de las marcas (MARCH *et al.*, 2010).

## Uso del hábitat durante la reproducción y diapausa invernal

El periodo de puesta de la cigarra de mar es de cuatro semanas en el medio natural (REÑONES *et al.*, 2006). Este periodo es extraordinariamente corto, lo que posiblemente está relacionado con la elevada temperatura, ya que a elevadas temperaturas se acelera la maduración de los huevos

(MACDIARMID & KITTAKA 2000; COMEAU & SABOYA 2002), lo que supone una ventaja para el éxito reproductivo. Este diferencial de temperatura se encuentra en ambientes muy singulares en el medio natural, como se ha visto, las cuevas presentan esta característica (Figura 13) y hemos podido comprobar que son empleadas en la fase de reproducción y maduración de la puesta. Aunque no podemos generalizar este fenómeno en todas las cuevas de Cabrera, sí podemos afirmar que este fenómeno se debe producir en otras cuevas del archipiélago, ya que el proceso de agregación para la reproducción se ha observado idénticamente en otras islas e islotes, como pueden ser la cueva del Imperial y la cueva de islote de Na Foradada. Esta adaptación ha sido clave para entender la dinámica de la población y nos ha facilitado comprender un proceso adaptativo de la biología de la especie para optimizar la «fitness reproductiva».

Por otra parte, y de manera colateral al objetivo de este estudio, se ha observado que muchas especies de invertebrados que sufren episodios de mortalidad en el medio natural debido a las anomalías térmicas (GARRABOU *et al.*, 2001), no mueren si se encuentran dentro de las cuevas (D. DÍAZ: Observación personal). La elevada temperatura registrada dentro de la cueva durante largo periodo de tiempo no provoca su desaparición y sí su adaptación, por lo que podrían ser genotipos que se hayan adaptado a estas temperaturas. Este hecho abre una puerta al estudio de la adaptación de muchas especies al cambio climático.

### Conclusión

Finalmente, y dado el conocimiento aportado por este estudio pionero en el archipiélago de Cabrera, podemos concluir que se ha producido un considerable progreso respecto al conocimiento de la ecología en la cigarra de mar. El uso de un hábitat específico diferente en relación a la época de reproducción o diapausa invernal es posiblemente común en todo el ámbito de distribución de la especie y por tanto debe de ser adoptado como un criterio para una gestión adecuada. Se ha constado el patrón diario de la

especie y aunque las densidades observadas en los meses de diapausa visualmente son muy bajas (REÑONES *et al.*, 2010), no se produce ningún proceso de migración. Así, la gestión de la especie puede ser llevada a cabo mediante una gestión espacial, posiblemente siempre asociada a una cueva con características que permita su reproducción. El uso de las cuevas como hábitat esencial para la reproducción ha de ser tomado con cautela, ya que este hábitat está considerado por la Directiva Hábitats (Habitat 8330), como un hábitat que requiere una protección especial. Esto conlleva a recomendar una valoración del estado ecológico de las principales cuevas de Cabrera, tanto para cumplir con los requerimientos de la Directiva Marco de Estrategias Marinas (2008/56 / CE) como para establecer un seguimiento de estos ambientes que permitiera valorar en un futuro los impactos antrópicos directos.

### AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todos los organismos de gestión del PNMTAC que nos han facilitado enormemente el desarrollo de este proyecto. A la Federación de Cofradías de Pescadores de las Islas Baleares, con especial mención a la Cofradía de la Colonia Sant Jordi, a todos sus pescadores que han respetado durante todo el periodo de estudio el sistema de receptores en la península de n'Ensiola. Este proyecto no hubiera podido desarrollarse sin el interés y las ayudas en la gestión y tramitación de permisos para investigación de los dos directores durante el estudio (Francesca López y Jorge Moreno) del Parque Nacional y a la Conselleria de Medio Ambiente, Agricultura y Pesca y la dirección de Espacios Naturales Protegidos del Govern de les Illes Balears. Agradecer enormemente a todo el personal de Cabrera el apoyo que nos ha dado durante todo el proyecto, guardas, guías, Agentes del Medio Ambiente, personal de Tragsatec, IBANAT y al personal de la cantina de Cabrera.

Queremos mencionar especialmente y agradecer a Josep Amengual la paciencia que ha tenido tanto en la recepción de este capítulo, como los informes finales del proyecto SCYTRACK financiados por la OAPN.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMONG-SHTAYER, G. 1988. Behavioral ecological aspects of Mediterranean lobsters in the past and of slipper lobster *Scyllarides latus* in the present. MSc Thesis, University of Haifa, Israel (in Hebrew with English abstract).
- BARSHAW, D.E.; SPANIER, E. 1994a. The undiscovered lobster- A first look of the social behavior of the Mediterranean slipper lobster, *Scyllarides latus* Decapoda, Scyllaridae. *Crustaceana* 67: 187-197.
- BARSHAW, D.E.; SPANIER, E. 1994b. Anti-predator behavior of the Mediterranean slipper lobster, *Scyllarides latus*. *Bulletin of Marine Science* 55: 375-382.
- BARSHAW, D.E.; LAVALLI, K.L.; SPANIER, E. 2003. Is offence the best defense: The response of three morphological types of lobster to predation. *Marine Ecology Progress Series* 256: 171-182.
- BIANCHINI, M.L.; BONO, G.; RAGONESE, S. 2001. Long-term recaptures and growth of slipper lobsters, *Scyllarides latus*, in the strait of Sicily. *Crustaceana* 74 (7): 673-680.
- BIANCHINI, M.; RAGONESE, S. 2007. Growth of slipper lobsters of genus *Scyllarides*. En: Lavalli, K.L.; E. Spanier (eds): *The Biology and Fisheries of the slipper lobster*. CRC Press, pp. 199-220.
- BUTTLER, M.; MACDIARMID, A.; COCKROFT, A. 2011. *Scyllarides latus*. In: IUCN 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2 [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). downloaded 7 May 2012.
- COMEAU, M.I.; SAVOIE, F. 2002. Maturity and reproductive cycle of the female American lobster, *Homarus americanus*, in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Journal of Crustacean Biology*, 22: 762-774.
- FRÍAS, A.; LOZANO, F. 2010. Mercado de cigarras de mar (*Scyllarides latus*) en las reservas marinas de la isla de Tabarca y de Cabo de Gata-Níjar: una herramienta para el conocimiento de la especie. SIEBM, Alicante 6-10 septiembre. Libro de Resúmenes p. 105.
- GARCÍA, E. J.; GARCÍA, E. J. 2012. *Scyllarides latus*. En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de las especies de interés comunitario en España: Invertebrados. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 58 pp.
- GARRABOU, J.; COMA, R.; BENSOUSSAN, N.; BALLY, M.; CHEVALDONNÉ, P.; CIGLIANO, M.; DÍAZ, D.; HARMELIN, J.G.; GAMBI, M.C.; KERSTING, D.K.; LEDOUX, J.B.; LEJEUSNE, C.; LINARES, C.; MARSCHAL, C.; PÉREZ, T.; RIBES, M.; ROMANO, J.C.; SERRANO, E.; TEIXIDÓ, N.; TORRENTS, O.; ZABALA, M.; ZUBERER, F. I.; CERRANO, C. 2009. Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave. *Global Change Biology*, 15: 1090-1103.
- GIACALONE, V. M.; D'ANNA, G.; PIPITONE, C.; BADALAMENTI, F. 2006. Movements and residence time of spiny lobsters, *Palinurus elephas* released in a marine protected area: an investigation by ultrasonic telemetry. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, vol. 86, 1101-1106.
- HEUPEL, M. R.; SIMPFENDORFER, C. A.; LOWE, C. 2005. Passive acoustic telemetry technology: current applications and future directions. Mote Marine Laboratory, Sarasota, FL. Mote Technical Report, no. 1066.
- HOLTHUIS, L.B. 1991. Marine Lobsters in the world. An annotated and illustrated catalogue of the species of interest to fisheries known to date. FAO Species Catalogue, no 145, Vol. 13, pp. 1-292.
- HUSSEY, N. E.; KESSEL, S. T.; AARESTRUP, K.; COOKE, S. J.; COWLEY, P. D.; FISK, A. T.; HARCOURT, R. G.; *et al.*, 2015. Aquatic animal telemetry: A panoramic window into the underwater world. *Science* (New York, N.Y.), 348: 1255642-. [http://www.sciencemag.org/content/348/6240/1255642.full?utm\\_campaign=email-sci-toc&utm\\_src=email](http://www.sciencemag.org/content/348/6240/1255642.full?utm_campaign=email-sci-toc&utm_src=email).
- KENNY, A. J.; CATO, I.; DESPREZ, M.; FADER, G.; SCHÜTTENHELM, R. T. E.; SIDE, J. 2003. An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification. *ICES Journal of Marine Science*, 60: 411-418. [https://doi.org/10.1016/S1054-3139\(03\)00006-7](https://doi.org/10.1016/S1054-3139(03)00006-7).

- LAVALLI, K.L.; SPANIER, E.; GRASSO, F. 2007. Behaviour and sensory biology of slipper lobsters. En: Lavalli, K.L.; E. Spanier (eds): *The Biology and fisheries of the slipper lobster*. CRC Press, pp. 133-182.
- MACDIARMID, A.B.; I KITTAKA, J. 2000. Breeding. In: Phillips, B.F. and I. Kittaka J (eds.). *Spiny lobsters: Fisheries and culture*. Backwell Science, Oxford. 485-507.
- MARCH, D.M.; PALMER, J.; ALÓS, A.; GRAU & CARDONA, F. 2010. Short-term residence, home range size and diel patterns of the painted comber *Serranus scriba* in a temperate marine reserve. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 400: 195-206, 2010.
- MARTINS, H.R. 1985. Biological studies of the exploited stock of the Mediterranean locust lobster *Scyllarides latus* (latreille, 1803) (Decapoda: Scyllaridae) in the Azores. *Journal of Crustacean Biology* 5(2): 294-305.
- PESSANI, D.; MURA, M. 2007. The Biology of the Mediterranean Scyllarids. In: Lavalli, K.L. and Spanier, E (eds), *The Biology and Fisheries of the Slipper Lobster*, pp. 263-286. CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida.
- REÑONES, O.; COLL, J.; DÍAZ, D.; MOREY, G.; MARTINO, S.; NAVARRO, O.; STOBART, B.; DEUDERO, S.; GRAU, A.M. 2010. Estudio de la biología y ecología de *Scyllarides latus* en el Parque Nacional Marítimo Terrestre del Archipiélago de Cabrera. Implicaciones para la gestión de la especie en las Islas Baleares. Proyecto «LATUS 2006-2009». COB-IEO, 61 pp.
- SHEEHAN, E. V.; STEVENS, T. F.; ATTRILL, M. J. 2010. A quantitative, non-destructive methodology for habitat characterisation and benthic monitoring at offshore renewable energy developments. *PLoS One*, 5: e14461. Public Library of Science.
- SHEEHAN, E. V.; VAZ, S.; PETTIFER, E.; FOSTER, N. L.; NANCOLLAS, S. J.; COUSENS, S.; HOLMES, L. *et al.*, 2016. An experimental comparison of three towed underwater video systems using species metrics, benthic impact and performance: 843-852.
- SPANIER, E.; ALMONG-SHTAYE, G. 1992. Shelter preferences in the Mediterranean Slipper lobster: Effects of physical properties. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 164: 103-116.
- SPANIER, E.; BARSHAW, D.E. 1993. Tag retention in the Mediterranean slipper lobster. *Israel Journal of Zoology* 39: 29-33.
- SPANIER, E.; LAVALLI, K.L. 1998. Natural history of *Scyllarides latus* (Crustacea: Decapoda): a review on the contemporary biological knowledge of the Mediterranean slipper lobster. *Journal of Natural History* 32: 1769-1786.
- SPANIER, E.; LAVALLI, K. L. 2013. Commercial Scyllarids. In *Lobsters: Biology, Management, Aquaculture & Fisheries*, 2nd edn, pp. 414-466. Ed. by B. F. Phillips.
- SPANIER, E.; WEIHS, D. 1992. Why do shovel-nosed (slipper) lobsters have shovels? *The Lobster Newsletter* 5(1): 8-9.
- SPANIER, E.; WEIHS, D. 2004. Hydrodynamics aspects of locomotion in the Mediterranean slipper lobster, *Scyllarides latus*. In: *Proceedings of the 7th International Conference & Workshop on lobster Biology and management*. Tasmania, Australia, 8-13 February, 2004, p. 61.
- SPANIER, E.; TOM, M.; PISANTY, S.; ALMOG, G. 1988. Seasonality and shelter selection by the slipper lobster *Scyllarides latus* in the southeastern Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, v. 42, p. 247-255.
- SPANIER, E.; WEIHS, D.; ALMONG-SHTAYER, G. 1991. Swimming of the Mediterranean slipper lobster. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 145: 15-31.
- TEMPLADO, J.; BALLESTEROS, E.; GALPARSORO, I.; BORJA, A.; SERRANO, A.; MARÍN, L.; BRITO, A. 2012. Guía interpretativa: Inventario español de hábitats marinos. Inventario español de hábitats y especies marinos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 229 pp.