

# INVESTIGACIONES APLICADAS A LA CONSERVACIÓN DE UNA ESPECIE EN PELIGRO DE EXTINCIÓN (LA PARDELA BALEAR EN EL PARQUE NACIONAL DE CABRERA): REQUERIMIENTOS ECOLÓGICOS, DEMOGRAFÍA Y DINÁMICA DE POBLACIONES

DANIEL ORO<sup>1</sup>, MAITE LOUZAO<sup>1</sup>, MANUELA G. FORERO<sup>1,2</sup>, JOSE MANUEL ARCOS<sup>1,3</sup>, MERITXELL GENOVART<sup>1</sup>, JAVIER JUSTE<sup>2</sup> Y JOSE MANUEL IGUAL<sup>1</sup>

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo ha sido elaborar un diagnóstico de conservación para una especie en peligro de extinción, la pardela Balear (*Puffinus mauretanicus*) en el marco del Parque Nacional de Cabrera. Para completar conocimientos se ha dispuesto de datos históricos y de muestras de otras colonias con las que indirectamente se pueden valorar problemas comunes de conservación de la especie, pues las colonias del Parque son pequeñas y más sensibles pues a los efectos de la investigación. Hemos indagado sobre los siguientes aspectos: a) ecología de poblaciones, b) ecología trófica, c) hábitat oceanográfico y d) concentración de contaminantes (mercurio).

El éxito reproductor y sus determinantes (se encontró una relación con la disponibilidad de alimento) no parecen ser actualmente cuestiones prioritarias para la conservación en colonias de estudio libres de depredadores terrestres. Los valores de éxito reproductor observados en Cabrera y en otras colonias, resultarían buenos para mantener una población sostenible siempre que la supervivencia adulta alcanzara valores por encima del 90% anual (los típicos de especies similares). Sin embargo, la mortalidad adulta es la principal causa del declive poblacional en esta especie. Para el caso concreto de Cabrera, hemos obtenido un valor preliminar de supervivencia media anual muy poco fiable debido al bajo tamaño muestral. Por tanto, no podemos decir que la población de Cabrera tenga una supervivencia anual diferente a la de otras colonias en las que existen estimas más robustas (y que son alarmantemente bajas, 78%).

Con los parámetros demográficos actualmente definidos, nos encontramos ante un escenario de franco declive del número de parejas reproductoras de la especie en Baleares en los próximos años. Los mayores problemas de conservación para la especie parece que se encuentran fuera de las colonias de cría. Las causas directas de mortalidad son difíciles de identificar, porque se producen en el mar, pero entre ellas podrían estar la captura en palangres y la contaminación por tóxicos (de hecho los valores de concentración de mercurio en plumas son muy altos), y no tanto la disponibilidad de alimento (dados los valores de éxito reproductor), aunque el actual descenso de la biomasa de pequeños peces pelágicos (principales presas) y reducción de las tasas de descarte (en aplicación de políticas pesqueras actuales) podrían llegar a afectarla. Se han estudiado algunos aspectos de su ecología trófica y el área de campeo. Durante la reproducción se localiza en aguas costeras de la plataforma continental

<sup>1</sup>Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados, IMEDEA (CSIC-UIB), Miquel Marqués, 21, 07190 Esporles, Mallorca

<sup>2</sup> Estación Biológica de Doñana (CSIC), Avda. María Luisa s/n, Pabellón del Perú, 41013 Sevilla

<sup>3</sup> SEO/BirdLife, c/ Murcia 6-8 local 13, 08026 Barcelona

Teléfono: +34-971611731. Fax: +34-971611761. e-mail: d.oro@uib.es

Ibérica, en aguas muy productivas cercanas al delta del Ebro, el entorno del cabo de la Nao y las aguas cercanas a las colonias de cría en las islas Baleares. Los descartes de pesca pueden ser un recurso trófico importante durante algunos periodos, para completar los requerimientos energéticos, pero es alternativo y no influye en la distribución de las pardelas. Las asociaciones a arrastreros fueron menores en Baleares que en la plataforma del delta del Ebro.

Por tanto, la conservación de la especie depende, además de una buena gestión local (como el control de depredadores terrestres), de acciones coordinadas con otros organismos a nivel nacional e internacional (ej. IBAs/ZEPAs marinas, políticas pesqueras sostenibles, impacto aerogeneradores en la plataforma de Delta del Ebro) tanto en el Mediterráneo occidental como en el Atlántico norte (zona de dispersión postreproductora).

**Palabras clave:** Ecología de poblaciones, Ecología trófica, contaminantes, éxito reproductor, Baleares, Cabrera, *Puffinus mauretanicus*.

## SUMMARY

The goal of the study was a reliable conservation diagnosis for a critically endangered species, the Balearic shearwater (*Puffinus mauretanicus*) at Cabrera Nacional Park. We used historical data sets and samples from other colonies to have a better picture of the conservation concerns of the species, since colonies at the Park are small and more sensitive to investigator disturbances. We investigated here: a) population ecology, b) foraging ecology, c) oceanographic habitats and d) pollutant concentrations (mercury).

Breeding success and its determinants (mainly food availability) does not seem to be a conservation concern at colonies free of alien predators. Values of breeding success at Cabrera and other colonies are high enough to maintain population stability under normal values of adult survival (above 0.90). Nevertheless, adult survival is the main cause of population decline. For Cabrera, we obtained a preliminary value with small robustness due to the small sample size. Thus, we cannot assess whether survival was different than that estimated at other colonies (extremely low, 0.78) where sample sizes were large enough. With the actual demographic parameters we face a scenario of great decline in the Balearic in the forthcoming years. The major conservation concerns seem to occur at sea. Direct causes of mortality are difficult to identify, but long-line mortality and pollutant contamination (Hg values in feathers are very high) are the main candidates, rather than food availability, though increasing harvesting of small pelagics and reduction of discards by incoming fishing policies could negatively influence such supply at the long-term. We also studied some aspects of foraging ecology and range. During breeding the species occurs at inshore waters of the Iberian continental shelf, at productive areas close to the Ebro Delta, around Cape de la Nao and around the Balearic colonies. Fishing discards can be an important foraging resource at some periods to complete the energetic requirements of the species, but this is an alternative resource and did not influence the distribution of shearwaters. Association to trawlers were lower at Balearic than at the Ebro Delta shelf.

In summary, species conservation depends on a proper local management (such as alien predator control), coordinated actions with other agencies at national and international levels (e.g. marine IBA/SPAs, application of sustainable fishing policies, impact of windfarms off the Ebro Delta) in the Mediterranean as well as in the North Atlantic in the post-breeding areas.

**Key words:** Population ecology, foraging ecology, pollutants, breeding success, Balearic Is., Cabrera, *Puffinus mauretanicus*

## INTRODUCCIÓN

La pardela balear (*Puffinus mauretanicus*) es un ave marina perteneciente al orden de los *Procellariiformes*, que se reproduce únicamente en las islas Baleares. La especie está clasificada como "críticamente amenazada" en el nuevo Libro Rojo de las Aves de España (ARCOS & ORO 2004). La reducida localización geográfica de su distribución y las bajas estimas de su población (1.750-2.150 parejas), que marcan un descenso muy brusco en los últimos diez años (ARCOS & ORO 2004), representan una situación crítica para la especie. Urge conocer cuáles son los factores que influyen en este descenso antes de proponer medidas de gestión y conservación, que tendrán como objetivo obvio recuperar esta población. Para elaborar este diagnóstico es imprescindible indagar sobre el conocimiento de la especie en varios aspectos de su ecología, con el fin de que puedan realizarse predicciones acerca de la evolución de la población del archipiélago balear.

La idea inicial era utilizar la población del Parque Nacional de Cabrera como población focal, pero uno de los problemas con los que nos encontramos es que la población del archipiélago de Cabrera accesible al estudio es muy pequeña (78-136 parejas en 1999, AGUILAR 2000, 50-100 parejas en 2001, RUIZ & MARTÍ 2004) y dado que la especie está muy amenazada, se ha evitado la manipulación de los individuos mientras están en el nido. Esta falta de información puntual en algunos casos no ha sido un problema, pues para completar y complementar conocimientos se ha dispuesto de información de otras colonias o de toda la población (en algunos casos, como en el estudio del hábitat de alimentación marino, no es posible discriminar cual es la colonia de la que proceden los individuos observados), con las que indirectamente se pueden valorar aspectos generales de la biología de la especie en el archipiélago balear, así como diferencias o similitudes que se puede presentar entre las distintas poblaciones conocidas, incluyendo la de Cabrera.

Se han desarrollado, por tanto, las siguientes líneas de investigación en relación a los objetivos propuestos:

- 1) Análisis de parámetros reproductores y demográficos. La comparación de rasgos de historia de vida entre poblaciones o colonias de la misma especie puede darnos una idea de las adaptaciones a las condiciones ecológicas locales (GENOVART *et al.* 2003). En primera instancia se ha valorado las posibles diferencias en la productividad de las colonias conocidas, incluyendo las del Parque Nacional de Cabrera, para conocer los factores que pueden afectar a una posible variabilidad espacio-temporal como la presencia de depredadores o la disponibilidad de alimento. Se ha realizado un análisis espacio-temporal de la productividad (éxito de eclosión y reproductor) de la población de Cabrera en un análisis conjunto donde se incluían el resto de las poblaciones locales de pardela balear muestreadas en el archipiélago balear. Se ha analizado el efecto de la disponibilidad de alimento en la productividad de la especie. Por otro lado, hemos analizado los anillamientos históricos llevados a cabo en el Parque Nacional desde los años 70, realizando un análisis exploratorio con el fin de evaluar la supervivencia adulta de la población de Cabrera. Finalmente, conociendo la importancia de la supervivencia adulta para la viabilidad de la especie (ORO *et al.* 2004) poco se sabía acerca de la sensibilidad de la tasa de crecimiento de la población a otros parámetros demográficos potencialmente relevantes como el éxito reproductor (LEBRETON & CLOBERT 1991). Para mejorar pues la diagnosis de conservación se ha analizado la contribución de la supervivencia y el éxito reproductor en la viabilidad de la población.
- 2) Estudio de la ecología trófica de la especie. La dieta de las aves marinas en general y de los *Procellariiformes* en particular es difícil de estudiar, principalmente debido a la transformación en aceites del alimento ingerido y a sus hábitos nocturnos de cebas. Además, los métodos tradicionales contemplan técnicas invasivas (como el lavado de estómago) y, en muchos casos, arrojan resultados sesgados debido a las diferentes tasas de digestión de los alimentos ingeridos. Uno de los objeti-

vos del presente estudio es utilizar la técnica de medición de isótopos estables en cantidades muy pequeñas de sangre extraídas de los individuos (FORERO & HOBSON 2003) para valorar el nivel trófico y la ecología de las presas de las que la pardela balear se alimenta. Por otro lado, el estudio de la ecología trófica de la especie en las zonas de alimentación es imprescindible para conocer con detalle las amenazas a las que se enfrenta, sobre todo en un contexto altamente modificado por el ser humano como es el Mediterráneo occidental (BIANCHI & MORRI 2000, ARCOS *et al.* 2006). La identificación, a través de modelos, de las variables que se correlacionan con el hábitat nos puede ayudar a predecir la distribución de esta especie y la magnitud de determinados impactos. Así, se ha utilizado la asociación al hábitat de la especie para delimitar el área de campeo e identificar áreas de alimentación importantes, caracterizados por altas densidades, y predecir aquellas áreas marinas importantes para la conservación de la especie. Al mismo tiempo, se sabe que la pardela balear se aprovecha de los descartes de pesca en zonas distantes a las colonias de cría, como el delta del Ebro (ARCOS & ORO 2002b), aunque no se conoce con exactitud el grado de aprovechamiento de este recurso en el archipiélago balear. Por tanto, también se ha estudiado la explotación de este recurso por parte de la pardela balear caracterizando los patrones de distribución espacio-temporales.

- 3) Análisis de metales pesados. Uno de los aspectos menos conocidos de la biología de la especie es la carga de contaminantes que almacenan los animales, especialmente la relativa a metales pesados. El Mediterráneo, por sus características oceanográficas y socioeconómicas, soporta cargas muy elevadas de estos contaminantes (PIRRONE *et al.* 2001). Entre ellos el mercurio (Hg) es un metal altamente tóxico, en particular en ecosistemas marinos: aquí, las sulfur-bacterias [bacterias del azufre] son capaces de retransformar el mercurio inorgánico en mercurio orgánico (metilmercurio), incorporándolo

así a la cadena trófica (MONTEIRO *et al.* 1996). En efecto, el metilmercurio se acumula en la biota (bioacumulación) y se incrementa en concentración a medida que se escala en la red trófica (biomagnificación). El vínculo entre contaminación por mercurio y el consumo de peces bentónicos se establece por la tendencia a precipitar que tienen los contaminantes más pesados, que de esta manera tienden a depositarse en el sedimento, aumentando su biodisponibilidad para los organismos bentónicos (FURNESS *et al.* 1995, COSSA *et al.* 1997). Las aves excretan el mercurio en sus plumas durante la muda. Es bien conocida la afinidad del mercurio por las proteínas que constituyen la pluma o el pelo, de modo que durante la formación de estas estructuras se deposita en ellas una cantidad de mercurio proporcional a la concentración circulante en el cuerpo del animal (FURNESS *et al.* 1986). Al tratarse de estructuras muertas, una vez formadas ya no se deposita más mercurio en ellas. Por tanto las plumas son un fiel testimonio de los niveles de contaminación acumulado entre dos mudas. Se ha evaluado el posible impacto de las cargas de mercurio y el papel que juegan las pesquerías comerciales al poner a disposición de las pardelas peces bentónicos en forma de descarte y que llevan una carga mayor de metales pesados que sus presas naturales (ARCOS *et al.* 2002).

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Parámetros reproductores y demografía

- a) Éxito reproductor de la población de estudio y factores que pueden influir.

Uno de los principales objetivos era conocer si la población del Parque Nacional de Cabrera presenta éxitos reproductores distintos a los del resto de las colonias a causa de factores o requerimientos ecológicos particulares. El éxito de eclosión se definió como el número de pollos que eclosionan con respecto al número total de puestas controladas al inicio de la temporada de

cría. El éxito reproductor en cambio como el número de pollos volantones al final de la cría con respecto al número total de puestas controladas al inicio de la temporada de cría. Se recabó toda la información disponible de la productividad de Cabrera, al igual que en otras colonias del archipiélago balear (desde 1987 a 2004, aunque las colonias no están representadas todo el número de años). Las primeras estimas del éxito de eclosión y reproductor en el archipiélago de Cabrera se realizaron en el año 1993 (AGUILAR 1993) siendo el 2000 el último año (en años siguientes no se han controlado para evitar molestias en el inicio de la puesta). Los datos históricos disponibles sobre la biología reproductiva de la pardela balear *Puffinus mauretanicus* en el archipiélago balear (1987-2004) se presentan en la Tabla 1. Se ha realizado un análisis con la serie de años más consistente (entre 1997-2004) para determinar si los parámetros reproductores dependían del año (anotado como 't'), de la colonia (anotado como 'c'), del modelo adi-

tivo de ambos factores (anotado como 't + c') o de la interacción entre ambos factores (anotado como 't + c + t.c'). Todos los modelos fueron testados mediante el procedimiento GENMOD del programa SAS 9.0. Los modelos fueron comparados utilizando el Akaike's Information Criterion (AIC; WILLIAMS *et al.* 2001). El modelo con el AIC más bajo debiera de ser considerado como el mejor compromiso entre la *deviance* (grado de ajuste del modelo) y la complejidad del modelo (número de parámetros).

Otro aspecto que se estudió fue la influencia de la disponibilidad de alimento (tanto natural como antropogénico) en la biología reproductiva de la especie, ya que se sabe que influye en las aves marinas (ORO 1996). Las capturas de pesca pueden ser un buen índice de abundancia de la disponibilidad de alimento. Al ser el delta del Ebro una de las principales zonas de alimentación de la especie (ABELLO *et al.* 2003, ARCOS & ORO 2002a, 2002b) se obtuvieron datos de

Parámetro reproductor	Año	Colonia Cabrera	Conillera	Conills	Malgrats	Maó	Sa Cella
Éxito de eclosión	1987			0.69 (16)			
	1993	0.44 (9)					
	1994	0.60 (5)					
	1995	0.57 (7)					
	1997	0.56 (16)		0.93 (16)			0.7 (54)
	1998	0.75 (16)		0.81 (16)			0.50 (42)
	1999	1.00 (9)		0.55 (20)	0.67 (6)	0.78 (9)	0.71 (24)
	2000	0.80 (10)	0.71 (7)	0.75 (16)	0.93 (15)	0.89 (19)	0.92 (25)
	2001			0.56 (23)	0.62 (21)		0.68 (111)
	2002			0.58 (26)		0.90 (10)	0.61 (94)
	2003			0.74 (23)		0.60 (15)	0.74 (70)
	2004			0.52 (23)		0.5 (10)	0.56 (89)
	Éxito reproductor	1986			0.53 (17)	0.71 (17)	
1987				0.56 (16)	0.33 (18)		
1988				0.67 (18)			
1993		0.44 (9)					
1994		0.6 (5)					
1995		0.57 (7)					
1997		0.56 (16)		0.81 (16)	1.00 (7)		0.65 (54)
1998		0.69 (16)		0.69 (16)			0.45 (42)
1999		0.89 (9)	0.71 (7)	0.45 (20)	0.67 (6)	0.67 (9)	0.68 (24)
2000		0.8 (10)		0.62 (16)	0.93 (15)	0.84 (19)	0.88 (25)
2001				0.56 (23)	0.62 (21)	0.60 (10)	0.67 (110)
2002				0.58 (26)		0.80 (10)	0.53 (94)
2003				0.74 (23)		0.60 (15)	0.73 (70)
2004			0.5 (22)		0.50 (10)	0.52 (86)	

**Tabla 1.** Éxito de eclosión y reproductor de la pardela balear en seis colonias de 1986 a 2004. Los tamaños de muestra (número de nidos muestreados) se señalan entre paréntesis.

**Table 1.** Hatching and breeding success of Balearic shearwaters in six colonies from 1986 to 2004. Sample sizes (number of nests monitored) are shown in brackets.

captura de tres puertos pesqueros: Tarragona, L'Ametlla de Mar y Sant Carles de la Ràpita, todos ellos dentro de la provincia de Tarragona. Los dos primeros puertos se dedican principalmente a la captura de pequeños peces pelágicos mediante cerco y el último a la captura de especies demersales mediante arrastre. Así, los datos de captura se utilizaron como índices de abundancia de pequeños peces pelágicos y descartes de arrastre, respectivamente. Se recabaron datos de captura de pesca, 1997-2004, por meses y se dividieron en función de la fenología de la especie. Así, los meses de enero y febrero se definieron como la época previa a la reproducción, marzo y abril como el periodo de incubación y entre marzo y junio como todo el período reproductor. Se testó el efecto de estos índices de abundancia, divididos por años y periodos, sobre el éxito de eclosión y reproductor utilizando Modelos Lineales Generales.

#### b) Análisis de la Supervivencia de la población reproductora de Cabrera.

Después de filtrar los datos, y teniendo sólo en cuenta los anillamientos de animales en edades apropiadas (es decir, eliminando los animales marcados como pollos y que difícilmente se controlan de nuevo en esta colonia), hemos desechado el seguimiento hecho antes de 1993, pues hay anillamientos y controles en 1973, 1974 y 1975, pero no entre estos años y 1993. No se eliminaron los animales con estatus reproductor dudoso para no comprometer el tamaño muestral, aunque es cierto que podríamos estar analizando animales que estaban visitando las colonias como prospectores. Como siempre en estos casos, realizamos primero un test de bondad de ajuste (GOF) del modelo de Cormack-Jolly-Seber desde 1993 hasta 2000, el último año disponible, para testar su ajuste y las posibles desviaciones tanto a nivel de la supervivencia como a nivel de la probabilidad de recaptura. Este modelo da parámetros específicos de tiempo para cada colonia y puede ser considerado el modelo general de partida (LEBRETON *et al.* 1992). Primero se calcula el ajuste al modelo general usando el programa U-Care (CHOQUET *et al.*

2000). El programa señala posibles violaciones de asunciones inherentes al modelo de CSJ (PRADEL *et al.* 1997). A continuación con el programa MARK (WHITE & BURNHAM 1999) se probaron diferentes modelos (4 en este caso) de supervivencia ( $\rightarrow$ ) dependiendo de si varía ( $t$ ) o no ( $\cdot$ ) con el tiempo o de si la probabilidad de recaptura ( $p$ ) varía o no con el tiempo. Se escoge finalmente el modelo que tiene el criterio de información de AICc menor (LEBRETON *et al.* 1992), un parámetro que tiene en cuenta tanto el número de parámetros como la *deviance*.

#### c) *Fitness landscape*: diagnóstico de la tasa de crecimiento de la población.

Para el diagnóstico de la sensibilidad de los parámetros reproductores en la tasa de crecimiento de la población, se utilizó el "fitness landscape" construido en base a un modelo matricial de población determinista (CASWELL 2001). Esta herramienta muestra cómo las variaciones de un par de parámetros demográficos trazan curvas con una tasa de crecimiento poblacional  $\lambda$  constante (o fitness poblacional). En este caso utilizamos el éxito reproductor (el parámetro de interés) y la supervivencia adulta (el parámetro más sensible para la especie). Utilizamos valores medios (y el intervalo de confianza del 95%) del éxito reproductor de 5 colonias (Cabrera, Conills, Malgrats, Mola de Maó y Sa Cella) de los cuales tuviéramos al menos 5 años de estimas en la base de datos histórica (de 1986 a 2004). El éxito reproductor sería un parámetro demográfico a tener en especial consideración para la conservación de la especie si las distribuciones quedaran por debajo de la curva  $\lambda = 1$ , es decir, la línea de estabilidad poblacional.

### Estudio de la ecología trófica de la especie

#### a) Isótopos estables.

En la naturaleza, encontramos dos isótopos estables de carbono  $^{12}\text{C}$  y  $^{13}\text{C}$  ( $d^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno  $^{14}\text{N}$  y  $^{15}\text{N}$  ( $d^{15}\text{N}$ ) que nos pueden permitir valorar la ecología trófica de la pardela balear. En las cadenas tróficas a cada nivel trófico se produce un

enriquecimiento de los isótopos más pesados de nitrógeno y carbono debido a la eliminación en las heces o urea de los más ligeros. En aves, se sabe que este enriquecimiento es de aproximadamente del 3‰ en nitrógeno y del 1‰ en carbono (HOBSON *et al.* 1994). El periodo sobre el cuál la medición de isótopos estables nos da información de la dieta depende de la tasa metabólica del tejido que estamos midiendo, siendo la sangre un buen tejido para periodos discretos e integrando la dieta aproximadamente ingerida durante el último mes. Los isótopos de nitrógeno proporcionan información a cerca de la posición trófica de las presas directamente asimiladas por los individuos además de una estimación indirecta del nivel trófico que ocupa en la cadena o relativo a otros individuos de la población. Los isótopos de carbono dan más información sobre la ecología de la presa, permitiéndonos discriminar entre dietas más neríticas, pelágicas o bentónicas en sistemas marinos. Este estudio se inició en 2003 en diferentes colonias en Baleares y durante 2004 se ha continuado y extendido a las colonias de Cabrera. Actualmente contamos con un total de 241 muestras de adultos y 111 pollos pertenecientes a las siguientes localidades: Sa Cella (Mallorca), Dragonera, Conills de Malgrats, Conills de Cabrera, Conillera (Pitiusas), Es Bosc (Pitiusas) y Mola de Mao (Menorca). Para el presente estudio, nos hemos centrado principalmente en la comparación de la dieta según el periodo reproductivo en que se muestrearon los individuos para ver si existen diferentes demandas energética.

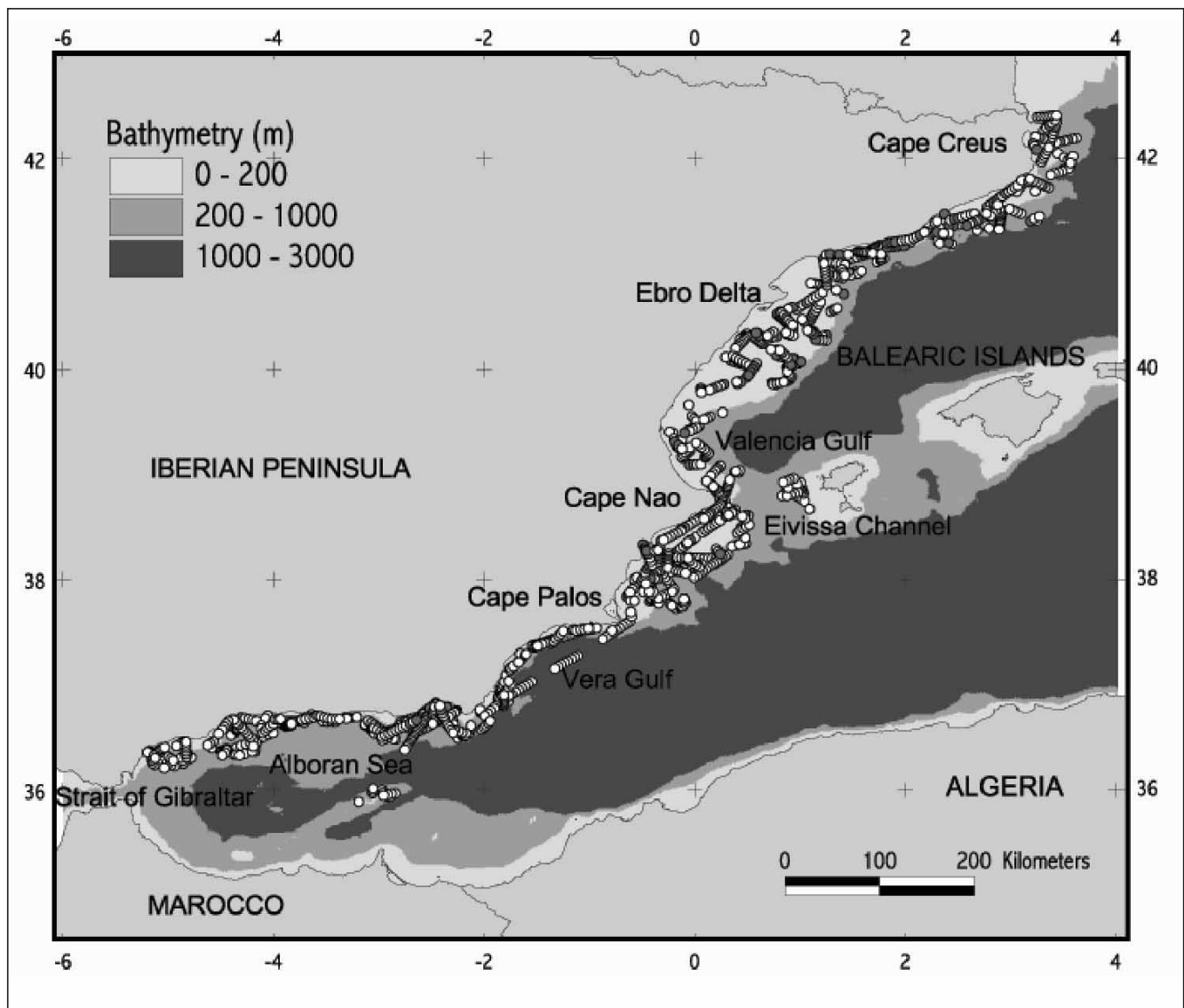
Por otro lado, para evitar molestias en las colonias de cría del Parque Nacional, la captura y recogida de muestras se ha realizado básicamente en pollos durante 2004. Se han recogido muestras de sangre de 16 pollos volantones para testar el efecto del sexo en los dos isótopos estables. Al mismo tiempo, también hemos comparado el contenido isotópico en pollos volantones de Cabrera con datos de otra colonia del archipiélago balear (Sa Cella). En dichos análisis, todas las abundancias de isótopos están expresadas como la desviación en ‰ respecto a estándares de nitrógeno y carbono de concentración isotópica conocida.

## b) Hábitat oceanográfico

Los censos de pardela balear se realizaron desde barcos oceanográficos por lo que la identificación en alta mar de individuos de la población de Cabrera es imposible, aunque creemos que la identificación de las zonas de alimentación del conjunto de la población nos puede ayudar a su conservación. Se han utilizado datos anteriores de 1999, 2000 y 2002 durante la época de crecimiento de los pollos (mayo-junio) a bordo del B/O Cornide de Saavedra durante las campañas anuales MEDITS (Mediterranean International Trawl Survey) a lo largo de la costa Mediterránea de la península Ibérica (BERTRAND *et al.* 2002), desde el estrecho de Gibraltar en el SO hasta el cabo de Creus en el NE (ver Figura 1). El área de estudio abarcó los 2134 km<sup>2</sup>, correspondiendo el 72 % a la plataforma continental (profundidad < 200m) y el resto abarcó el talud hasta una profundidad de 2000 m. En global, la plataforma continental es muy estrecha (~ 3 km) en el mar de Alborán y se ensancha hacia el norte, alcanzando una anchura de 70 km en el área del delta del Ebro-Columbretes. Las observaciones las realizó el mismo observador (JM Arcos) utilizando técnicas estandarizadas de censo de aves marinas (TASKER *et al.* 1984). Se utilizó un ancho de banda de 300 m en condiciones de visibilidad apropiadas y el ancho de banda se chequeaba periódicamente (método "range-finder"). Adicionalmente, se contabilizó el número de arrastreros dentro de una banda de 3 millas náuticas (5.58 km), para tener en cuenta la influencia de los descartes pesqueros en la distribución de la especie. Los datos se agruparon en unidades de censo de 10 minutos.

## c) Asociación a artes de pesca en Baleares.

Las observaciones de pardela y arrastreros se estandarizaron en celdas de 9 x 9 km. Al mismo tiempo se utilizaron variables del hábitat (oceanográficas, distancia a las colonias de cría, etc.) para analizar las variables más importantes que nos ayudarían a explicar la distribución de la pardela balear observada y realizar predicciones sobre su distribución.



**Figura 1.** Mapa del área de estudio mostrando las unidades de muestreo (unidades de censo de 10 minutos; 1999-2002). La posición geográfica está en °N y °E de latitud y longitud. Los puntos rojos y blancos representan presencias y ausencias respectivamente. Las referencias geográficas mencionadas en el texto se indican también.

**Figure 1.** Map of the study area showing all sample units (10-minute survey units; 1999-2002). Geographic location are in °N and °E of latitude and longitude, respectively. Red and white dots represent presence and absence of Balearic shearwaters, respectively. Geographic references mentioned in the text are indicated.

El trabajo de campo se realizó a lo largo de todo el año ya que durante algunos periodos, especialmente fuera de la época de cría, la disponibilidad de recursos tróficos puede ser importante para la supervivencia.

En este segundo caso tampoco se pudo identificar la población de origen de los individuos, aunque gran parte de las pescas observadas se realizaron en las cercanías del Parque Nacional del Cabrera. Los datos se recogieron a bordo de

8 arrastreros pertenecientes a 4 puertos de Mallorca y 2 puertos de Pitiüses. En total, se realizaron 31 jornadas contabilizando un total de 46 operaciones de pesca entre abril de 2002 y septiembre de 2003. Se contó el número de pardelas asociadas al arrastrero durante el proceso de descarte, comenzando cuando la red se encontraba en superficie y acabando cuando todo el descarte se tiraba por la borda. Para cada proceso de descarte, se llevaron a cabo conteos desde popa en un arco de 360° desde la mejor perspectiva.



### **Análisis de metales pesados (contaminación por mercurio Hg)**

Sabemos ya que las pardelas consumen cantidades importantes de descartes de la flote de arrastre (ARCOS & ORO 2002b, ARCOS *et al.* 2006). Nuestra hipótesis es que el consumo de descartes de la flota arrastrera puede ser en parte responsable de altos niveles de mercurio. Sin intervención humana, las presas con mayor contenido de mercurio estarían prácticamente fuera del alcance de las pardelas puesto que éstas depredan naturalmente sobre peces epipelágicos. Sin embargo, los arrastreros suben a la superficie gran cantidad de peces e invertebrados bentónicos, muchos de los cuales (hasta un 70% en ocasiones) no son adecuados para la comercialización y son descartados en los propios barcos. El consumo de éste recurso representa entonces una mayor exposición a los contaminantes atrapados en el sedimento (ARCOS *et al.* 2002). Se han analizado plumas primarias (P1) y del manto (MF) que se seleccionaron como representativas de los niveles de mercurio del periodo reproductor en *Puffinus mauretanicus* (mudan éstas plumas cada año después de la cría, por lo que los niveles son del periodo reproductor anterior a su recolección, en 2002 y 2003) y en otras aves marinas para realizar comparaciones. Los adultos muestreados pertenecen a la colonia de Sa Cella en Mallorca y no de Cabrera, debido a que, al tratarse esta de una pequeña población, se aconseja no manipular los adultos de esta colonia durante la incubación. No obstante los datos son extrapolables, dado que las zonas de alimentación deben ser las mismas (plataforma continental del NW del Mediterráneo). Por otro lado hay que comprobar la hipótesis de que los peces bentónicos presenten mayores concentraciones de Hg que los epipelágicos. Las muestras de pluma y de las presas potenciales (una muestra de peces epipelágicos, bentónicos, demersales y mesopelágicos del Mediterráneo recogidas en viajes en barcos de pesca comercial del Delta del Ebro y Baleares), fueron analizadas mediante espectrofotometría atómica fluorescente (BEARHOP *et al.* 2000) sobre el peso seco del residuo. La concentración de mercurio se expresa en partes por millón (ppm).

## **RESULTADOS**

### **Parámetros reproductores y demografía**

a) Éxito reproductor de la población de estudio y factores que pueden influir.

Los resultados finales sugieren que para ambos parámetros reproductores (éxito de eclosión y éxito reproductor) el modelo que incluye únicamente el año es aquel que presenta un AIC más bajo y explica mejor los datos observados (Tabla 2a). Por tanto, existe un efecto del año de reproducción tanto en el éxito de eclosión como en el éxito reproductor, pero no un efecto de la colonia (Fig.2). Dado que no encontramos diferencias de productividad entre colonias y sí entre años, otro factor que se ha explorado es si la productividad puede depender de la disponibilidad de alimento, utilizando como indicador de dicha disponibilidad los datos de capturas en las pesquerías de sus zonas de alimentación (Tabla 2b). En general, la productividad de la colonia de Cabrera, como la de otras colonias del archipiélago Balear, dependería principalmente de la disponibilidad de alimento en áreas comunes de forrajeo. El análisis de los datos de captura revela que la disponibilidad de alimento, tanto de pequeños peces pelágicos como de descartes de la pesca de arrastre en la zona del delta del Ebro, influyó positivamente en la productividad (Fig.3). Más específicamente durante la época previa a la puesta ambos recursos tróficos fueron importantes para ambos parámetros reproductores. Durante el período de incubación la disponibilidad de pequeños peces pelágicos (alimento natural de las pardelas) influyó en el éxito de eclosión. Para el éxito reproductor también pudieron influir positivamente los descartes de pesca, lo que indicaría un alto aprovechamiento de este recurso trófico por parte de las pardelas.

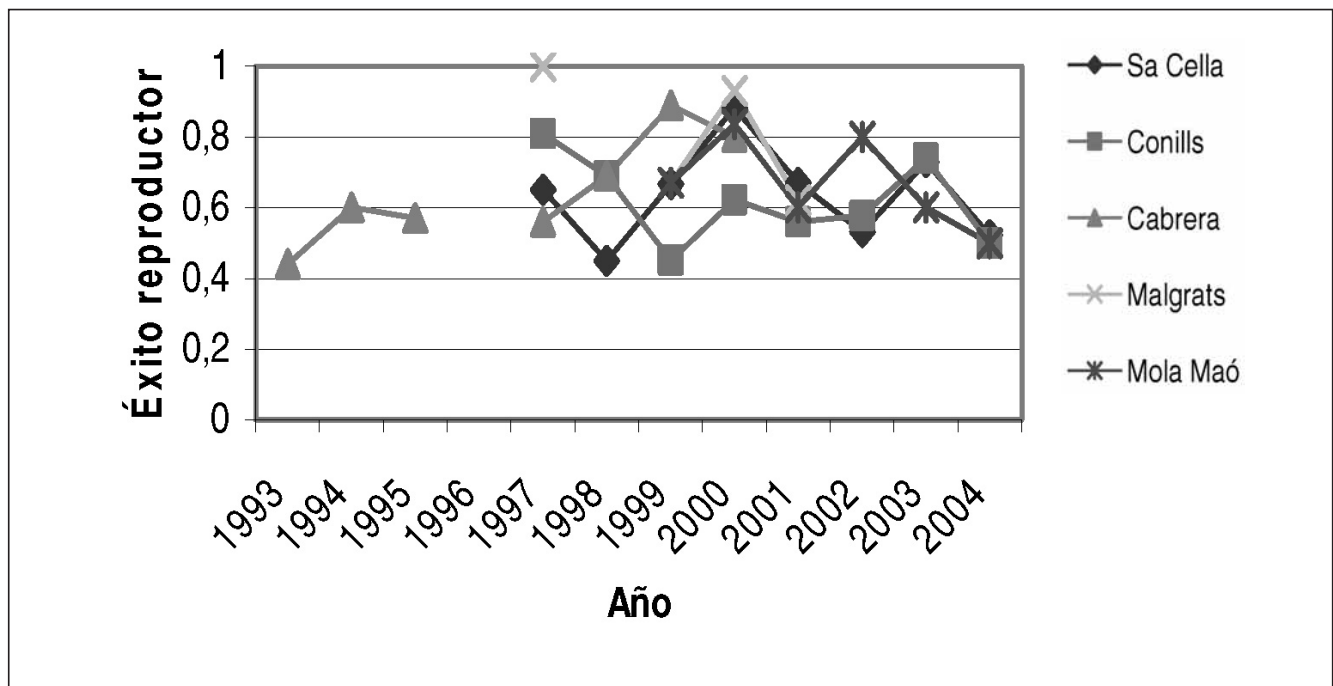
b) Supervivencia de *Puffinus mauretanicus* en Cabrera.

El Test de Bondad de Ajuste (GOF) arrojó los siguientes resultados: el test 3SR muestra que no hay desviaciones apreciables (Overall test  $df = 5$ ,  $\chi^2 = 3.7565$ ,  $P = 0.58498$ ;  $G2 = 3.7565$ ,

A)				
Parámetro Reprodutor	Efecto	Deviance	np	AIC
Éxito Eclosión	<b>t</b>	<b>1016,1081</b>	<b>8</b>	<b>1032,108</b>
	C	1042,417	5	1052,417
	t + c	1015,5284	12	1039,528
	t + c + t.c	983,8064	28	1039,806
	<b>t</b>	<b>1070,0824</b>	<b>8</b>	<b>1086,082</b>
Éxito Reprodutor	c	1093,2357	5	1103,235
	t + c	1067,6416	12	1091,641
	t + c + t.c	1041,0707	30	1101,070
	<b>t</b>	<b>1070,0824</b>	<b>8</b>	<b>1086,082</b>
B)				
Parámetro Reprodutor	Artes de pesca	Período Reprodutor		Reproductor
		Pre-puesta	Incubación	
Éxito de Eclosión	Cerco	p = 0,0388	<b>p = 0,0117</b>	NT
	Arrastre	<b>P = 0,0018</b>	ns	NT
Éxito Reprodutor	Cerco	<b>P = 0,0115</b>	NT	<b>p = 0,0051</b>
	Arrastre	<b>P = 0,0013</b>	NT	p = 0,0292

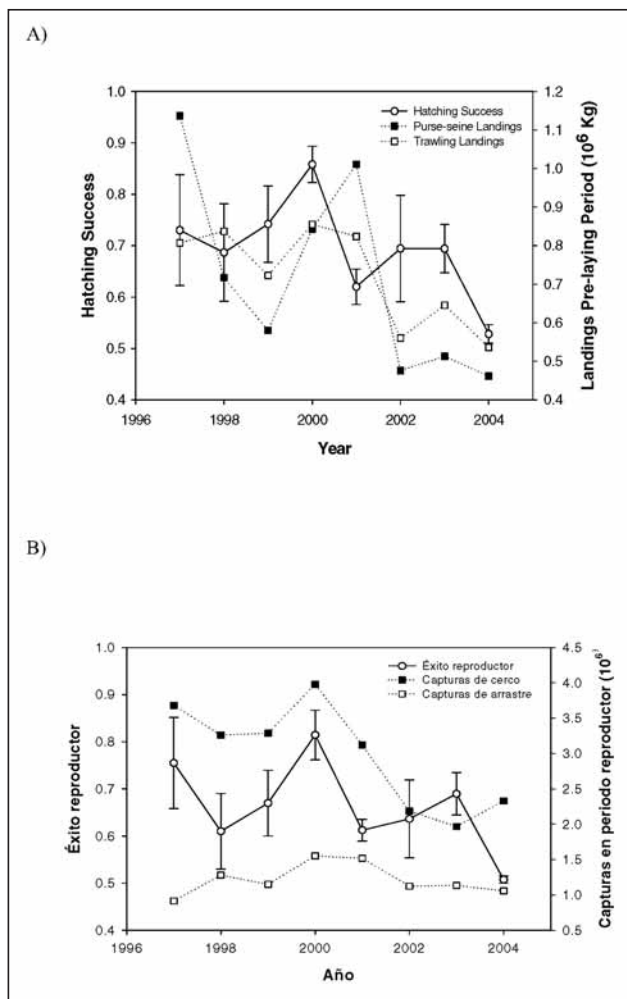
**Tabla 2.** A) Modelos de variabilidad espacio-temporal (C=colonia, t= año) e interacciones en los parámetros reproductores de la Pardela Balear en cinco colonias desde 1997-2004 (AIC: criterio de Akaike, np: número de parámetros estimados en el modelo). Los modelos seleccionados están en negrita. B) Influencia de los recursos tróficos sobre el éxito reproductor de la Pardela Balear. La cantidad de pesca desembarcada procedente de cerqueros y arrastreros se ha utilizado como estima de la abundancia de pequeño pescado pelágico y de la disponibilidad de descarte, respectivamente (las variables fueron transformadas logarítmicamente). En negrita se indican los valores significativos una vez aplicada la corrección de Bonferroni para múltiples tests. (NT = no testado, ns = no significativo).

**Table 2.** A) Modelling spatio-temporal variability in breeding parameters (C=colony, t=year) of the Balearic shearwater in 5 colonies from 1997 through 2004 (AIC: Akaike’s information criterion; np: number of estimable parameters in the model). Selected models are in bold. B) Influence of food resources on breeding performance of Balearic shearwaters. Purse-seine and trawling landings are used as proxies for small pelagic fish and discard availability, respectively. Landings were log-transformed. Significant relationships after applying Bonferroni correction are shown in bold (NT= no tested, ns= no significant).



**Figura 2.** Éxito reproductor de *Puffinus mauretanicus* por colonia y año.

**Figure 2.** Breeding success of the Balearic shearwater by colony and year.



**Figura 3.** Promedio interanual de (A) éxito de eclosión y (B) reproductor (línea continua) con respecto a las capturas de ambas pesquerías (línea discontinua) durante el periodo previo a la reproducción y periodo reproductor, respectivamente. Tener en cuenta la diferencia en escala del eje derecho de ambas gráficas (capturas).

**Figure 3.** Inter-annual average of: (A) hatching and (B) breeding success (solid lines) with respect to landings of both fisheries (dashed lines) during pre-laying and breeding period, respectively. Note scale difference for both graphics on the right axis (landings)

$P=0.58498$ ) del modelo más general  $\{\emptyset_v, p_t\}$ , aunque también señalan que todas las tablas tienen celdas con frecuencias muy bajas, resultado sin duda del escaso número de recapturas que existen y que alcanzan su mínimo en 1999, con una sola captura; el test CT para testar desviaciones de la recaptura, como por ejemplo heterogeneidad de captura o efectos ligados a la edad indica que, una vez más, no se detectan desviaciones  $\text{Quadratic Chi}^2 = 3.936, P = 0.55867; G^2 = 3.936, P = 0.55867$ ), pero tenemos también aquí un problema de tamaño muestral y de potencia que no

es fácil de resolver con los datos disponibles. En cualquier caso, el test global da un valor de chi-cuadrado incluso inferior a los grados de libertad (Global TEST,  $df = 14, \text{Quadratic Chi}^2 = 10.1021, P = 0.75468$ ), señalando una ausencia total de desviaciones respecto al modelo más general, que usaremos como modelo nulo en los análisis posteriores. La Tabla 3a muestra que los modelos 1, 2 y 3 tienen valores de AICc muy próximos, especialmente los dos primeros. Aunque el primer modelo tiene menos parámetros y un valor menor de AICc, hemos decidido seleccionar el segundo modelo, pues es capaz de estimar todos los parámetros del modelo, mientras que el primero sólo estima la mitad (señalar que ambos modelos deberían tener 8 parámetros estimables). El modelo 2) indica una supervivencia constante en el tiempo con una probabilidad de recaptura variable en el tiempo. La supervivencia adulta la estima en 0,88, un valor claramente superior a la estimada en otras colonias (78%, Sa Cella, Conills de Malgrats, ver ORO *et al.* 2004), pero no podemos afirmar que esta diferencia sea estadísticamente significativa, pues si miramos el IC al 95% podemos ver que va de 0.39 a 0.99, indicando una vez más que tenemos problemas de potencia y que debemos considerar este valor sólo como aproximación, o como el valor de referencia para futuros análisis (Tabla 3b).

### c) Fitness Landscape

El objetivo final del estudio demográfico es mejorar la diagnosis de conservación realizado por ORO *et al.* (2004) donde se constató el declive poblacional de la especie. En este caso, incluimos otro parámetro demográfico importante, el éxito reproductor, que podría influir en la tasa de crecimiento poblacional de la Pardela Balear, y en último término en la viabilidad de la especie. El "fitness landscape" sugiere que los valores actuales de éxito reproductor de pardela balear son normales para la especie y que los factores que potencialmente afectan este parámetro (como la disponibilidad de alimento) no son de un especial problema de conservación, al menos en la actualidad y en las colonias de estudio, incluyendo la colonia de Cabrera (Fig. 4).

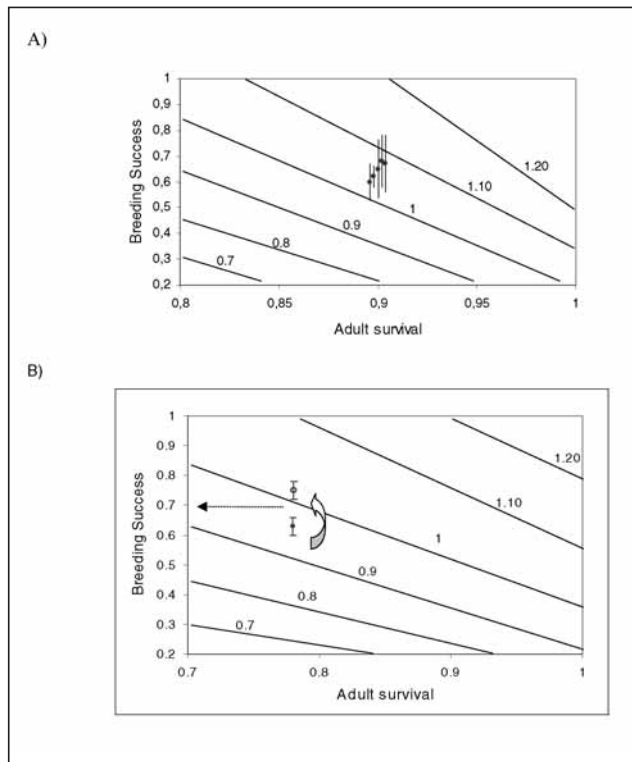
A) Cabrera Puffinus 1993-2000							
Model	Delta AICc	AICc	Weight	Likelihood	#Par	Deviance	
1) $\emptyset_{(t)} P_{(\cdot)}$	248,433	0,00	0,51572	1,0000	4,0	54,906	
2) $\emptyset_{(\cdot)} P_{(t)}$	249,083	0,65	0,37279	0,7228	8,0	46,907	
3) $\emptyset_{(t)} P_{(t)}$	251,514	3,08	0,11051	0,2143	10,0	44,853	
4) $\emptyset_{(\cdot)} P_{(\cdot)}$	260,966	12,53	0,00098	0,0019	2,0	71,608	

B)					
	Parameter Estimate	Standard Error	Lower IC 95%	Upper IC 95%	
1: $\emptyset$		0.8804653	0.1319813	0.3867381	0.9885101
2: p	(1994)	0.2214343	0.1017909	0.0820682	0.4750001
3: p	(1995)	0.0726505	0.0428966	0.0219968	0.2143801
4: p	(1996)	0.2032399	0.0764287	0.0918510	0.3914805
5: p	(1997)	0.0210537	0.0160353	0.0046588	0.0899308
6: p	(1998)	0.0674573	0.0394666	0.0207125	0.1983321
7: p	(1999)	0.0111400	0.0125383	0.0012089	0.0949064
8: p	(2000)	0.0632623	0.0508541	0.0124060	0.2663657

**Tabla 3.** A) Modelos de Supervivencia testados para la población local de Cabrera. Se probaron diferentes modelos (4 en este caso) de supervivencia (→) dependiendo de si varía (t) o no (·) con el tiempo o de si la probabilidad de recaptura (p) varía o no con el tiempo. Se escoge finalmente el modelo que tiene el criterio de información de AICc menor. B) Parámetros estimados para el modelo escogido. Se ha estimado una supervivencia constante y una probabilidad de recaptura que varía con el tiempo.

**Table 3.** A) Survival modelling for the local population of Cabrera. We tested different survival models (4 in this case) depending on if it varies with time (t) or not (·) or if recapture probability (p) varies or not with time. The final model is the one with the lowest AICc value. B) Estimated parameters for the selected model. We have estimated a constant survival and a recapture probability that varies with time.



**Figura 4.** Fitness landscape de supervivencia adulta frente al éxito reproductor, trazados sobre curvas de diferente valor de tasa de crecimiento poblacional  $\lambda$  ( $\lambda = 1$  representa la curva de estabilidad de la población). (a) Se muestran los valores promedio de éxito reproductor (junto al 95% de intervalo de confianza) de 5 colonias de estudio con datos suficientes, asumiendo una supervivencia adulta típica de 0.9 (ver Oro *et al.* 2004). (b) Se representa el valor actual de estima de supervivencia para la especie (0.78 de Oro *et al.* 2004, mostrado por la barra de error con marcador sólido) frente al éxito reproductor medio de 5 colonias de estudio (con su 95% de intervalo de confianza); la flecha señala un valor hipotético de éxito reproductor (mostrado por la barra de error con marcador vacío) necesario para que la población se estabilice o crezca ( $\lambda > 1$ ). Las barras de error son intervalos de confianza del 95%.

**Figure 4.** Fitness landscape of adult survival against breeding success, yielding curves with different values of population growth rate  $\lambda$  ( $\lambda = 1$  represents the curve of population stability). (A) Mean values of breeding success (together with 95% confidence intervals) are shown from the 5 study colonies with sufficient data, assuming an adult survival of 0.9, see Oro *et al.* 2004). These values have been separated slightly in the figure for the sake of clarity; (B) actual value of estimated survival for the species (0.78 from Oro *et al.* 2004, shown by the solid dot) is plotted against the mean breeding success of the 5 study colonies (with its 95% confidence intervals); the arrow points to a hypothetical value of breeding success (shown by the open dot) necessary to exceed the curve of population stability. Error bars are 95% confidence intervals.

## Ecología trófica

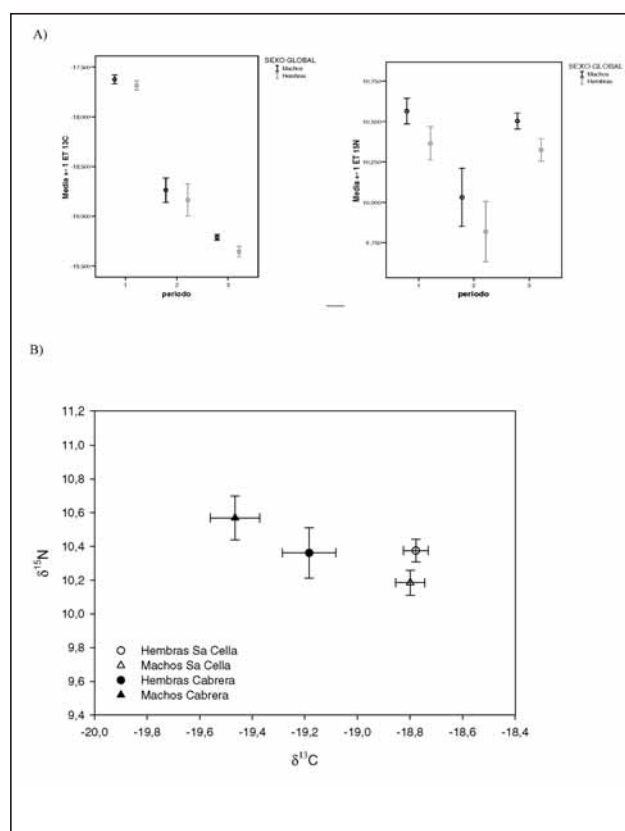
### a) Análisis de Isótopos.

En el caso de los adultos y para todas las colonias de estudio, un ANOVA de dos vías que incluyó sexo y periodo de muestreo, reveló diferencias en  $\delta^{15}\text{N}$  entre sexos ( $F_{(1,141)}=4.10$ ,  $P=0.04$ ) y marginalmente no significativas para el  $\delta^{13}\text{C}$  ( $F_{(1,141)}=3.12$ ,  $P=0.08$ ). Los machos presentan valores de  $\delta^{15}\text{N}$  más elevados y de  $\delta^{13}\text{C}$  más negativos que las hembras, lo que indica que estarían consumiendo presas más pelágicas y de un mayor nivel trófico. Las diferencias son claras entre periodos: pre-reproductor (1), incubación (2) y crianza de pollos (3) ( $F_{(1,141)}=9.8$ ,  $P<0.001$ ) y el carbono ( $F_{(1,141)}=450.5$ ,  $P<0.001$ ) y no se encuentra interacción significativa entre periodos y sexo para el nitrógeno ( $F_{(2,141)}=0.3$ ,  $P=0.76$ ) y para el carbono ( $F_{(2,141)}=0.01$ ,  $P=0.99$ ), lo que indica que las diferencias entre sexos se mantienen a lo largo de toda la estación pre-reproductora y reproductora (Fig.5a).

En relación a la colonia de Cabrera, se obtuvieron resultados de isótopos estables,  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  a partir de muestras de sangre de pollos (12 machos y 4 hembras) de Cabrera (ver valores en Fig. 5b) y no se encontró un efecto del sexo en ninguno de los dos isótopos ( $F_{1,16} = 0.73$ ,  $P = 0.41$ ). Para obtener una visión más global se compararon los resultados de Cabrera con los resultados de la mayor colonia conocida de Mallorca (Sa Cella) testando el efecto sexo, colonia e interacción. Para el  $\delta^{15}\text{N}$  no se encontraron diferencias significativas entre sexo ( $F_{1,36} = 0.05$ ,  $P = 0.94$ ) ni colonia ( $F_{1,36} = 2.40$ ,  $P = 0.13$ ), ni tampoco su interacción ( $F_{1,36} = 2.77$ ,  $P = 0.11$ ). En cambio para el  $\delta^{13}\text{C}$ , se encontró únicamente un efecto de la colonia estadísticamente significativo ( $F_{1,36} = 38.20$ ,  $P < 0.001$ ) no siendo significativos el efecto del sexo ( $F_{1,36} = 3.0$ ,  $P = 0.09$ ) ni la interacción ( $F_{1,36} = 2.26$ ,  $P = 0.143$ ). El  $\delta^{13}\text{C}$  en el medio marino puede ser indicativo de distancia a la costa a la cual se alimenta la pardela balear o de diferentes sistemas de corrientes.

### b) Hábitat oceanográfico y asociación a artes de pesca.

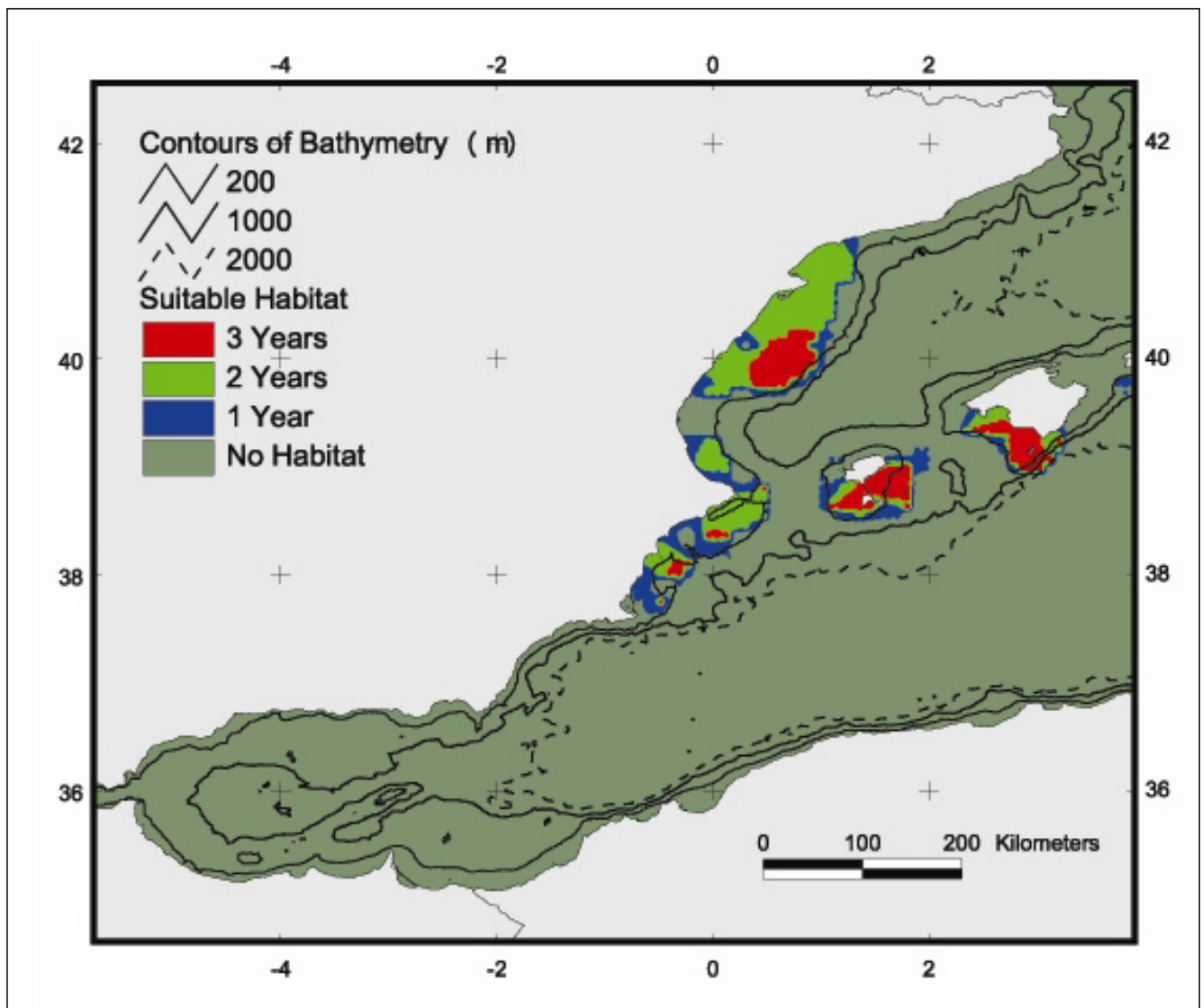
Para la conservación de especies amenazadas es de vital importancia conocer su asociación al



**Figura 5.** A) Segregación trófica según periodo reproductivo. B) Segregación trófica de la colonia de Cabrera con respecto a la colonia de Sa Cella (Mallorca).

**Figure 5** A) Trophic segregation depending on the breeding period. B) Trophic segregation of Cabrera colony with respect to Sa Cella colony (Mallorca).

hábitat e implementar medidas de conservación como las áreas marinas protegidas. El área de campeo de la pardela balear, durante la época reproductora, se localizó en aguas costeras de la plataforma continental Ibérica caracterizadas por sistemas frontales (zonas de agregación de depredadores y presas) en áreas cercanas a las colonias de cría, entre  $38.0^{\circ}$  y  $42.3^{\circ}\text{N}$ . Dentro del área de campeo, se identificaron las zonas de alimentación más importantes, caracterizadas por altas densidades de aves: las aguas muy productivas cercanas al delta del Ebro y el entorno del cabo de la Nao (Fig. 6). Estos resultados sugieren que los patrones de distribución observados, que también mostraron una variabilidad inter-anual sustancial, eran respuesta a diversos procesos oceanográficos como plumas fluviales, fenómenos de mesoescala y cañones submarinos que incrementan la productividad en zonas localizadas y agregan las presas.



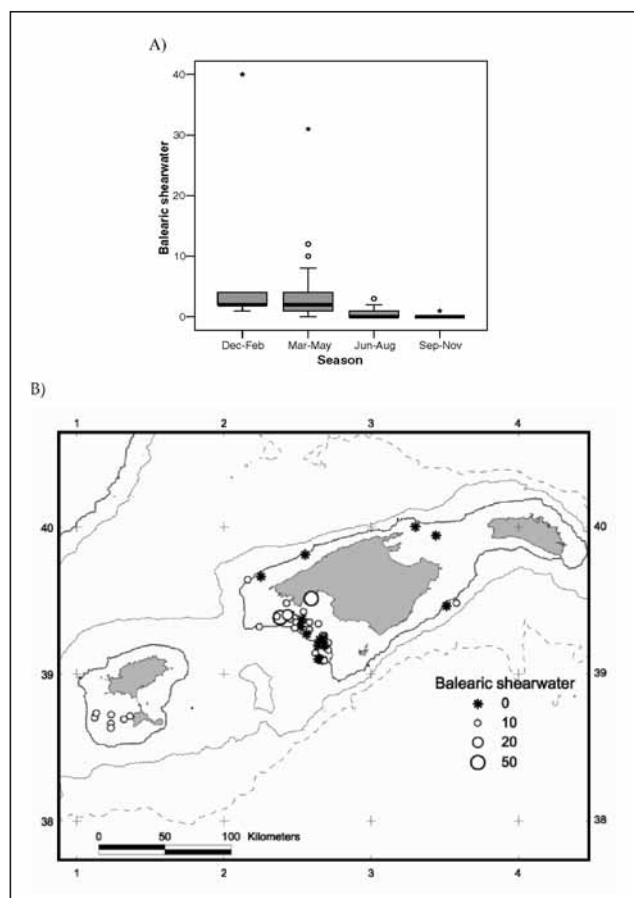
**Figura 6.** Hábitat oceanográfico adecuado de la pardela balear predicho por el modelo utilizando tres años de datos (1999, 2000, 2002). Cada coloración corresponde al número de años que una determinada celda ha sido identificada como adecuada (un año en azul, dos años en verde y tres años en rojo).

**Figure 6.** Predicted suitable oceanographic habitat of the Balearic shearwater modeled using three years of data (1999, 2000, 2002) Each 9-km grid cell is colour coded to show that it was identified as suitable habitat in one year (blue), two years (green) or three years (red).

c) Asociación a las artes de pesca en Baleares.

Por otro lado, la pesca de arrastre demersal genera una gran cantidad de descartes de la cual se aprovechan algunas poblaciones de aves marinas. En el archipiélago balear la actividad de descarte de la flota de arrastre se llevó a cabo, principalmente, en la costa suroeste de Mallorca donde se localiza el 12% de la población reproductora de aves marinas y el principal puerto de arrastre del archipiélago balear. El acoplamiento espacio-temporal de la abundancia de aves marinas de varias

especies asociada a los arrastreros dependía de la compleja interacción de las características de la pesca de arrastre. La abundancia de aves fue mayor en dos situaciones: (1) en el estrato costero y de plataforma durante el invierno y (2) cuando un gran número de arrastreros potentes se encontraba en la misma zona al inicio de la actividad de descarte. Durante el periodo de estudio se descartaron aproximadamente 1050 toneladas anuales en Mallorca. El estrato de pesca influyó en la cantidad de captura descartada y desembarcada, así como en la proporción de descarte (DR), proba-



**Figura 7.** A) Abundancias de pardela balear (mediana, 25%-75% rango intercuartil, rango non-outlier y outliers) asociadas a los arrastreros por estación (invierno  $n = 5$  arrastreros, primavera  $n = 19$ , verano  $n = 16$  y otoño  $n = 6$ ). B) Distribución de la pardela balear por proceso de descarte. Los círculos son proporcionales al número de aves.

**Figure 7.** A) Abundance of Balearic shearwaters (median, 25%-75% interquartile range, non-outlier range, and outliers) attending trawlers in the study area (winter  $n = 5$ , spring  $n = 19$ , summer  $n = 16$  and autumn  $n = 6$ ). (B) Distribution of Balearic shearwaters per discarding process during the study period. Circles are proportional to the number of birds.

blemente relacionado con la situación geográfica, características geomorfológicas y batimétricas de las pescas. Existió una fuerte asociación positiva entre la cantidad de captura descartada y desembarcada, en promedio los descartes correspondían al 74% de las capturas desembarcadas (rango: 9 – 600%). La composición de descarte se caracterizó principalmente por una mayor proporción de peces, seguida de crustáceos, moluscos y otros. En el caso de la pardela balear, la especie parece realizar un aprovechamiento bastante reducido de los descartes. Las abundancias de esta especie en asociación con arrastreros fueron sorprendentemente menores en el archipiélago

que en el delta del Ebro, probablemente debido a diferencias en el número de arrastreros y en la cantidad y composición del descarte en ambas zonas, así como al total de aves alimentándose en cada zona. Encontramos un efecto significativo de la estación (Kruskall-Wallis test,  $H_{3,46} = 19.5$ ,  $P < 0.001$  Fig. 7a). Así las mayores concentraciones se registraron durante el invierno (durante la época pre-reproductora con un máximo de 40 individuos) y primavera (durante la incubación, con máximos de 31 individuos). Las mayores agregaciones de pardela balear se encontraron en las cercanías de Palma, probablemente atraídos por la confluencia de arrastreros volviendo a puerto (Fig. 7b).

### Análisis de metales pesados (contaminación por mercurio Hg)

Los análisis muestran que los niveles de mercurio son inusualmente altos. Los peces bentónicos, en efecto tienen niveles superiores de mercurio a los epipelágicos (Fig. 8a). Algunos peces y sobre todo invertebrados (gambas, Fig. 8b) reflejan niveles muy por encima de los que recomienda la CE como límite para el consumo humano (2 ppm).

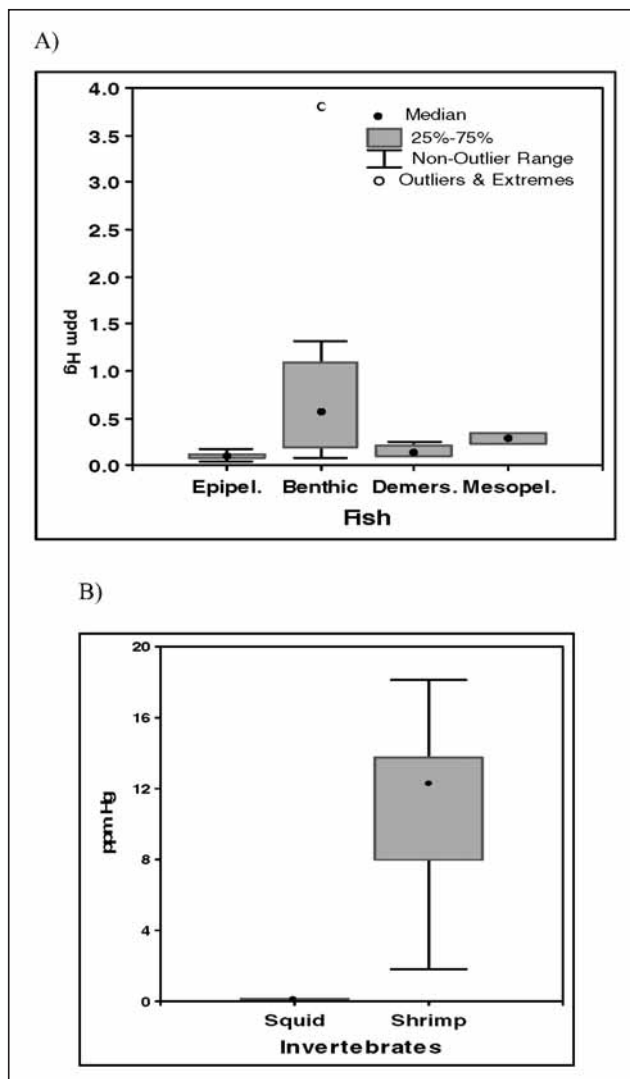
Las aves marinas presentan también altos niveles de mercurio y ello está correlacionado con su consumo de descartes de pesca (Fig. 9a). Entre ellas *Puffinus mauretanicus*, tiene un consumo medio de descartes y unos niveles en plumas intermedios en relación a otras especies, pero altos en valor absoluto.

Los análisis de plumas de 17 individuos de *Puffinus mauretanicus*, para los que se obtuvieron muestras (P1 y/o MF) en 2002 y 2003, muestran un incremento de los niveles de mercurio en dicho periodo (test de Willcoxon,  $P < 0.008$ , Fig. 9b).

## DISCUSIÓN

### Parámetros demográficos

La variabilidad temporal encontrada en los parámetros reproductores de la pardela balear



**Figure 8.** A) Concentraciones de mercurio en peces (epipelágicos, bentónicos, demersales y mesopelágicos). B) Concentraciones de mercurio en dos tipos de invertebrados, potenciales presas de la pardela balear (calamares, y gambas).

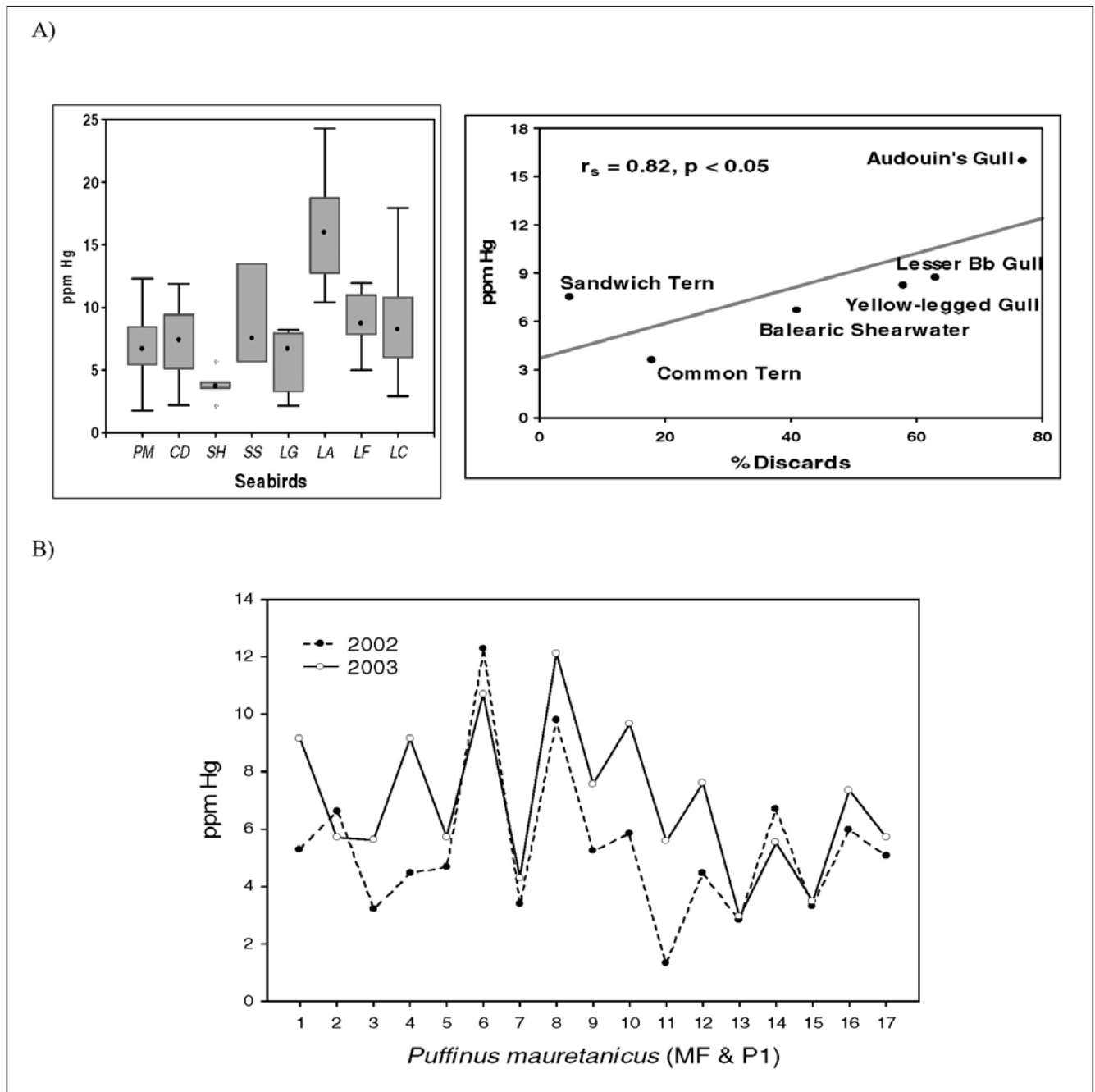
**Figure 8.** A) Mercury concentration in different fish types (epipelagic, benthic, demersal and mesopelagic). B) Mercury concentration in two types of invertebrates, potential preys of Balearic shearwaters (squid, and shrimp).

concuenda con la descrita en los Procelariiformes por WARHAM (1990). En Cabrera el éxito de eclosión osciló entre un mínimo de 0.44 a 1.00 con tamaños de muestra siempre pequeños (entre 5-16) y el éxito reproductor entre 0.44 y 0.89 también con el mismo tamaño de muestra pequeña (5-16). La oscilación de ambos parámetros en Cabrera no difiere del estimado para el resto de las colonias. Los informes técnicos realizados en el Parque Nacional y en otras colonias señalan a las ratas como un posible factor limitante en la productividad de la especie, pero sin evidencias

claras (AGUILAR 2000). Analizando el conjunto de colonias y años podemos ver que no existe un efecto de la colonia. Por otro lado, la colonia de Cabrera actualmente no presenta valores de éxito reproductor inferiores a los de otras colonias libres de depredadores terrestres, como Sa Cella (LOUZAO *et al.* 2006a). Al menos los núcleos de Cabrera, no presentan problemas de conservación significativos en relación a la posible depredación por mamíferos introducidos, bien por hallarse en zonas inaccesibles a los mismos o por estar controlados por los programas de desratización. Esto no contradice que este problema pueda darse en otros núcleos no controlados o que los depredadores hayan afectado a colonias de manera que hoy por hoy estén extinguidas por esta causa (AMENGUAL & AGUILAR 1998). Al mismo tiempo, los depredadores introducidos pueden haber afectado de la misma manera a otras poblaciones locales fuera de Cabrera.

Por otro lado, para el caso concreto de Cabrera, tenemos un valor preliminar de supervivencia anual bastante mayor, 88 % (ver apartado anterior, cercano a la media dada para el grupo de las Procelariiformes, 91%, HAMER *et al.*, 2002) que el hallado en otras colonias de estudio. En principio, con los valores de éxito reproductor y de supervivencia local en Cabrera se podría decir que, para esta especie, existe una tasa de crecimiento poblacional cercano a la estabilidad ( $\lambda = 1$ ). Pero la estima de supervivencia tiene tal grado de imprecisión (debido a la escasa potencia de los análisis derivada del pequeño tamaño muestral), que no podemos asegurar que los valores reales de supervivencia de esta población sean diferentes (incluso menores) a los medidos en otras colonias con un mayor tamaño muestral. Siendo prudentes, y dado que la población del Parque Nacional es pequeña, todo ello nos sugiere que dicha población es al menos muy vulnerable. Si consideramos que es la verdadera supervivencia anual en Cabrera no difiere significativamente de la hallada en poblaciones con estimas más robustas (78%, ORO *et al.* 2004,) se nos muestra un escenario actual en el cual la tasa de crecimiento poblacional se encuentra por debajo de la línea de estabilidad de la población, encontrándonos por tanto probablemente ante una franca regresión (Fig. 4b,





**Figura 9.** A) Concentraciones de mercurio en plumas de aves marinas (PM=*Puffinus mauretanicus*, CD=*Calonectris diomedea*, SH=*Sterna hirundo*, SS=*Sterna sandvicensis*, LG=*Larus genei*, LA=*Larus audouinii*, LF=*Larus fuscus*, LC=*Larus michahellis*). B) Concentraciones de mercurio en plumas de *Puffinus mauretanicus* en 2002 y 2003 para 17 individuos muestreados cada uno de estos dos años.

**Figure 9.** A) Mercury concentration in seabird feathers (PM=*Puffinus mauretanicus*, CD=*Calonectris diomedea*, SH=*Sterna hirundo*, SS=*Sterna sandvicensis*, LG=*Larus genei*, LA=*Larus audouinii*, LF=*Larus fuscus*, LC=*Larus michahellis*). B) Mercury concentrations in feathers of Balearic shearwaters in 2002 and 2003 for 17 individuals sampled each of these two years.

siendo  $\lambda$  especialmente sensible al parámetro de la supervivencia, LOUZAO *et al.* 2006a). Ante ese valor tan bajo de supervivencia, el éxito reproductor debería superar el 0,75 pollos/nido anual para estabilizar la población, valor alcanzado únicamente en años de muy alta disponibi-

lidad de alimento (y siempre en ausencia de depredadores introducidos). Una de las primeras recomendaciones es realizar un seguimiento continuado y a largo plazo con un protocolo homogéneo de marcaje y recaptura de adultos reproductores. Los análisis de supervivencia

ganan en fiabilidad y robustez cuando se aumenta la serie de años con información de individuos capturados y marcados y por el momento, esta información es escasa para la especie en el Parque Nacional, debido al pequeño tamaño de sus poblaciones. Por otro lado, las medidas de gestión adecuadas para favorecer el éxito reproductor en las colonias del Parque Nacional de Cabrera se vienen realizando desde hace años mediante el control de bio-intrusos como la ratas o asegurando la “tranquilidad” de las zonas de cría (RODRIGUEZ *et al.* 2000). Por ello, las actuaciones deben ir más allá del control y la conservación de las colonias de reproducción (que obviamente han de mantenerse también porque los depredadores introducidos podrían evitar intentos de recolonización o dispersión en antiguas colonias del archipiélago, hoy día extintas, en el caso de que se consiguiera recuperar los valores de supervivencia sostenibles para la especie). Es decir dichas acciones de conservación para la especie deben ir más allá del ámbito de protección del Parque Nacional. Esto incluye profundizar en el conocimiento de lo que ocurre en sus áreas de alimentación durante la época reproductora y de invernada donde se podrían estar produciendo los mayores problemas de conservación de la especie (mortalidad en palangres, contaminantes).

### Ecología trófica

En el caso de los adultos y para el conjunto de todas las colonias de estudio, los resultados indican una segregación trófica en los diferentes periodos de reproducción de la especie. Durante el periodo previo a la reproducción (1, diciembre) la pardela balear consume presas más pelágicas y de mayor nivel trófico. Pero cuando comienzan las puestas-incubación (2, marzo) se produce un descenso grande en el nivel trófico que puede venir determinada por cuestiones de cambio de dieta o stress trófico. Esto puede tener que ver con el periodo de régimen de pesca y aprovechamiento de descartes o con cambios en las áreas de alimentación. Por ejemplo, en este periodo también consumen presas más bentónicas, tal vez por una mayor asociación a descartes pesqueros. Durante el periodo de crianza de los pollos (3, mayo, junio)

los adultos parece que aumenta el nivel trófico de las presas, pero son menos pelágicas (Fig. 5a). Es posible que durante la crianza de los pollos forrajeen más cerca de la colonia y su dependencia de los descartes sea mayor. En cuanto a la comparación de la dieta Cabrera-Sa Cella (Fig 5b), los resultados indicaron que los pollos de ambas colonias han sido alimentados a partir de presas de niveles tróficos similares (no diferencias en el  $\delta^{15}\text{N}$ ) pero las presas pueden ser pescadas a diferente distancia de la costa (o diferencias debido al aprovechamiento de los descartes). El estudio sugiere que las pardelas de Cabrera pueden capturar por termino medio, presas más pelágicas que las de Sa Cella o utilizan menos el descarte (entonces, aumenta la proporción de presas bentónicas), si bien las diferencias son pequeñas (menos de 1 ‰ de diferencia, lo que no supone un salto cualitativo en la diferenciación de presas). Por tanto, estos resultados no son lo suficientemente robustos como para indicar que estas dos poblaciones de la especie presenten una segregación trófica diferenciada en términos biológicos. Todos estos resultados nos ofrecen una primera aproximación de la variabilidad espacio-temporal de la dieta de esta especie, hasta ahora desconocida. Las técnicas aplicadas aquí juntamente con el estudio de la biología de la especie como el hábitat oceanográfico nos aportará información individualizada que podremos cruzar en el futuro.

Los modelos predictivos de hábitat oceanográfico (LOUZAO *et al.* 2006b) han resultado ser también una herramienta útil, y con un gran potencial, para determinar la asociación al hábitat de la pardela balear tanto en áreas muestreadas como no muestreadas, ya que el hábitat oceanográfico predicho por el modelo final concordó con el área de campeo descrito a partir de los datos observados, e incluso identificó las aguas cercanas a las colonias de cría en las islas Baleares (no prospectadas) como hábitat adecuado para la especie. Aunque se conoce con anterioridad el aprovechamiento de los descartes de pesca por parte de la pardela balear, su distribución no esta absolutamente condicionada a la de los arrastreros. Ello sugiere que aunque los descartes de pesca pueden ser un recurso trófico importante durante algunos periodos, para completar los requerimientos energéticos, no influyen en su distribución, al menos a

una gran escala espacial (de decenas a centenares de kilómetros). Por tanto, los descartes representarían, cuantitativamente, un recurso trófico importante aunque secundario al ser aprovechado de forma oportunista en ausencia de presas alternativas. Sin embargo, es difícil discernir cómo influyen los dos recursos tróficos (presas naturales y descartes pesqueros) en la distribución de la especie ya que las áreas productivas donde se alimentan las pardelas sustentan, al mismo tiempo, una importante flota de arrastre.

En base a los resultados de la asociación al hábitat de la pardela balear, se propone la delimitación de un área marina protegida donde las áreas de alta densidad (zonas de alimentación) definirían el núcleo, de especial interés para su conservación, donde se implementarían medidas de protección rigurosas (prohibición de tráfico de buques petroleros y adopción de medidas mitigadoras para evitar la captura incidental en artes de pesca): el área de influencia del río Ebro y el entorno del cabo de la Nao (LOUZAO *et al.* 2006b). Dentro del área de campeo de la especie se implementarían otras medidas de protección más difusas, como un programa de observadores en la flota palangrera y el estudio del impacto de un parque eólico marino en el delta del Ebro, para su conservación. La asociación de la pardela a hábitat oceanográficos dinámicos (sistemas frontales, plumas fluviales productivas) hace que marcar los límites de estas áreas marinas protegidas dinámicas sea más difícil que las basadas en características geográficas fijas y su extensión geográfica deba revisarse periódicamente. La pardela balear necesita además de una gestión pesquera sostenible y respetuosa con el ecosistema marino donde se proteja la propia especie y su papel ecológico por varias razones. Primero, porque existen evidencias de que la baja supervivencia adulta pueda deberse a una gran mortalidad en artes de pesca (palangre principalmente) (ORO *et al.* 2004). Segundo, porque la ecología trófica de la especie está estrechamente relacionada con la distribución tanto de sus presas naturales pelágicas y como disponibilidad de descartes de pesca, las cuales afectan a su productividad y distribución en el Mediterráneo occidental. Además, está asociada a frentes oceanográficos

(áreas de alta biodiversidad) en la plataforma Ibérica donde la implementación de un área marina protegida ayudaría a salvaguardar esta especie endémica del archipiélago balear. Sin embargo, el establecimiento de esta área marina protegida puede ser polémico y sufrir grandes presiones socio-políticas ya que esta región sustenta, al mismo tiempo, el mayor caladero de pesca del Mediterráneo occidental.

### **Análisis de metales pesados (Hg)**

Varias especies de aves marinas incluyendo nuestra especie de estudio han mostrado alarmantes niveles de mercurio, correlacionado además con el potencial consumo de descartes de pesca. Estos resultados enfatizan la necesidad de realizar un buen diseño de seguimiento para los próximos años, ya que estos niveles de contaminantes pueden llegar a comprometer la reproducción y afectar también la supervivencia adulta de la especie. Se sabe que la mortalidad adulta es alta aún en ausencia de depredadores introducidos (ORO *et al.* 2004), pero se desconoce cual es la causa de esta mortalidad. Se asume que probablemente sea la captura en artes de pesca (palangres), pero no hay que descartar la posible influencia de la acumulación de contaminantes, aspecto bastante desconocido en la conservación de las aves marinas. Por otro lado, estos resultados también tienen una importante implicación en cuanto al consumo humano ya que los altos valores registrados en especies de peces demersales en la plataforma continental Ibérica implican un riesgo considerable para la salud.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores quieren agradecer al equipo del Parque Nacional su colaboración, especialmente a José Amengual, así como a Isa Afán por su ayuda en el campo y a Skua SL por el soporte logístico en las visitas al Parque. Este proyecto (024A/ 2002) ha sido financiado por el Organismo Autonomo de Parques Nacionales (Ministerio de Medio Ambiente).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELLÓ, P., ARCOS, J.M. & GIL DE SOLA, L. 2003. Geographical patterns of seabird attendance to a research trawler along the Iberian Mediterranean coast. *Scientia Marina* 67:69-75.
- AMENGUAL, J.F. & AGUILAR, J.S. 1998. The impact of the Black Rat *Rattus rattus* on the reproduction of Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* in the Cabrera National Park, Balearic Islands, Spain. En: *Ecologie des oiseaux marins et gestion intégrée du litoral Méditerranéenne, IV Symposium Méditerranéen des Oiseaux marins, Medmaravis*, pp 94-121. Arcs Editions-Tunis.
- AGUILAR, J.S. 1993. Localización y seguimiento de las poblaciones de la Pardela Balear, *Puffinus mauretanicus*, en el Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera 1993. Unpublished Work.
- AGUILAR, J.S. 2000. La población de Pardela Balear *Puffinus mauretanicus* en el Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera. En: G. Pons (Ed.) *Las Aves del Parque Nacional Marítimo-terrestre del Archipiélago de Cabrera (Islas Baleares, España)*, pp. 22-44. Ministerio de Medi Ambient, Palma de Mallorca.
- ARCOS, J.M. & ORO, D. 2002a. The role of nocturnal purse-seiners as a feeding resource for seabirds in the Ebro Delta area (NW Mediterranean). *Marine Biology* 141: 277-286.
- ARCOS, J.M. & ORO, D. 2002b. Significance of fisheries discards for a threatened Mediterranean seabird, the Balearic shearwater *Puffinus mauretanicus*. *Marine Ecology Progress Series* 239: 209-220.
- ARCOS, J.M. & ORO, D. 2004. La pardela balear *Puffinus mauretanicus*. En: R. Martí & A. Madroño (eds.). *Libro Rojo de las Aves de España*. pp:46-50. Ministerio de Medio Ambiente-SEO/BirLife, Madrid.
- ARCOS, J.M., RUIZ, X., BEARHOP, S. & FURNESS, R.W. 2002. Mercury levels in seabirds and their fish prey at the Ebro Delta (NW Mediterranean): the role of trawler discards as a source of contamination. *Marine Ecology Progress Series* 232: 281-290
- ARCOS, J.M., LOUZAO, M. & ORO, D. 2006. Fisheries Ecosystem Impacts and Management in the Mediterranean: Seabirds Point of View. Pages 587-596. En: J. Nielsen, J. Dodson, K. Friedland, T. Hamon, N. Hughes, J. Musick, and E. Verspoor (Eds). *Proceedings of the Fourth World Fisheries Congress: Reconciling Fisheries with Conservation*. American Fisheries Society, Symposium 49, Bethesda, Maryland.
- BEARHOP, S. AND WALDRON, S., THOMPSON, D. & FURNESS, R. 2000. Bioamplification of mercury in great skua *Catharacta skua* chicks: The influence of trophic status as determined by stable isotope signatures of blood and feathers. *Marine Pollution Bulletin* 40: 181-185.
- BERTRAND, J.A., GIL DE SOLA, L., PAPAConstantinou, C., RELINI, G., SOUPLET, A. 2002. The general specifications of the MEDITS surveys. *Scientia Marina* 66S2:9-17.
- BIANCHI, C.N., MORRI, C. 2000. Marine biodiversity of the Mediterranean Sea: situation, problems and prospects for future research. *Marine Pollution Bulletin* 40:367-376.
- CASWELL, H. 2001. *Matrix population models*, 2nd edn. Sinauer Press, Sunderland.
- COSSA, D., MARTIN, J.M., TAKAYANAGI, K., SANJUAN, J. 1997. The distribution and cycling of mercury species in the western Mediterranean. *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 44: 721-740.
- CHOQUET R., REBOULET A.-M., PRADEL R., LEBRETON J.-D. 2000. U-CARE (Utilities-Capture-Recapture) User's Guide. CEFÉ-CNRS, Montpellier.
- FORERO, M.G. & HOBSON, K.A. 2003. Using stable isotopes of nitrogen and carbon in the study of seabird ecology: review and applications in the Mediterranean seabird community. *Scientia Marina*, 67: 23-32.
- FURNESS R.W., MUIRHEAD S.J., WOODBURN M. 1986. Using bird feathers to measure mercury in the environment: relationship between mercury content and moult. *Mar Pollut Bull* 17:27-30.
- FURNESS, R.W.; THOMPSON, D.R.; BECKER, P.H. 1995. Spatial and Temporal Variation in Mercury Contamination of Seabirds in the North-Sea. *Helgolander Meeresuntersuchungen* 49: 605-615.
- GENOVART, M., ORO, D., BONHOMME, F. 2003. Genetic and morphological differences between the two largest breeding colonies of Audouin's gull *Larus audouinii*. *Ibis* 145:448-456.

- HAMER, K.C., SCHREIBER, E.A. & BURGER, J. 2002. Breeding biology, Life histories, and life history-environment interactions in seabirds. En: Schreiber, E.A. & Burger, J. (Eds). *Biology of marine birds*. pp.217-262. CRC Press.
- HOBSON, K.A., PIATT, J.F. & PITOCHELLI, J. 1994. Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. *Journal of Animal Biology* 63:786-798.
- LEBRETON, J.D. & CLOBERT, J., 1991. Bird population dynamics, management, and conservation: the role of mathematical modelling. En: Perrins, C.M., Lebreton, J.-D., HIRONS, G.J.M. (Eds.), *Bird Population Studies*. pp. 105-125. Oxford University Press, Oxford.
- LEBRETON J.-D., BURNHAM K.P., CLOBERT J & ANDERSON D.R. 1992. Modeling survival and testing biological hypothesis using marked animals: a unified approach with case studies. *Ecological Monographs* 62: 67-118.
- LOUZAO, M., IGUAL, J.M., MCMINN, M., AGUILAR, J.S., TRIAY, R. & ORO, D. 2006a. Breeding performance of the critically endangered Balearic Shearwater: improving the conservation diagnosis. *Marine Ecology Progress Series* 318: 247-254.
- LOUZAO, M., J.M. ARCOS, K.D. HYRENBACH, P. ABELLÓ, L. GIL DE SOLA, D. ORO. 2006b. Oceanographic Habitat of the Critically Endangered Balearic Shearwater: Identifying Suitable Marine Protected Areas. *Ecological Applications* 16: 1683-1695.
- MONTEIRO, L.R., COSTA, V., FURNESS, R.W., SANTOS, R.S. 1996. Mercury concentrations in prey fish indicate enhanced bioaccumulation in mesopelagic environments. *Mar Ecol Prog Ser* 141: 21-25.
- ORO, D. 1996. The effects of trawler discard availability on the egg-laying and the breeding success of the Lesser Black-backed Gull *Larus fuscus* in western Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 132: 43-46.
- ORO, D., AGUILAR, J.S., IGUAL, J.M. & LOUZAO, M. 2004. Modelling demography and extinction risk in the endangered Balearic shearwater. *Biological Conservation* 116: 93-102.
- PIRRONE, N., COSTA, P., PACYNA, J.M. & FERRARA, R. 2001. Mercury emissions to the atmosphere from natural and anthropogenic sources in the Mediterranean region. *Atmospheric Environment*, 35:2997-3006.
- PRADEL R., HINES J.E., LEBRETON J.-D. & NICHOLS J.D. 1997. Capture-recapture survival models taking account of transients. *Biometrics* 53:88-99.
- RODRIGUEZ, A., MCMINN, M., AMENGUAL, J.F., PONS, G.X. & BONNIN, J., 2000. La Pardela Cenicienta en el Archipiélago de Cabrera. In: Pons, G.X. (ed.). *Las aves del Parque Nacional Marítimo Terrestre del Archipiélago de Cabrera (Islas Baleares; España)*. pp.45-70. GOB- Ministerio de Medio Ambiente.
- RUIZ, A. & MARTI, R. (Eds.). 2004. La Pardela Balear. SEO/Birdlife- Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balears. Madrid.
- STENHOUSE, I., MONTEVECCHI W.A. 1999. Indirect effects of the availability of forage fish and fisheries discards: gull predation on breeding storm-petrels. *Marine Ecology Progress Series* 184: 303-307.
- TASKER, M.L., JONES, P.H., DIXON, T., BLAKE, B.F. 1984. Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. *Auk* 101:567-577.
- WARHAM, J. 1990. The petrels: their ecology and breeding systems. London Academic Press, London
- WILLIAMS, B.K., CONROY, M.J., NICHOLS, J.D. 2001. Analysis and management of animal populations. Academic Press, San Diego, CA.
- WHITE G.C. & BURNHAM K.P. 1999. Program MARK: survival estimation from populations of marked animals. *Bird Study* 46:120-139.

