

Estudio multiescalar de la influencia de la acuicultura en la presencia de Delfines Mulares *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821)

Bruno Díaz López, Julia Andrea Bernal Shiray

Bottlenose Dolphin Research Institute, BDRI. Golfo Aranci (Italia)

Resumen

El notable aumento de la acuicultura costera conlleva a un mayor conocimiento de los posibles efectos medioambientales que ésta pueda provocar. La acuicultura es una actividad que puede provocar cambios en el medio ambiente, causando un enriquecimiento en materia orgánica del medio y a su vez una atracción de numerosas especies de peces y con ello a sus depredadores. A pesar de los muchos estudios centrados en el impacto de la acuicultura en la fauna marina, la interacción entre los delfines mulares y la maricultura ha sido sujeto de muy pocos estudios. Durante 12 meses consecutivos de estudio (diciembre 2004 - diciembre 2005), se han realizado 1 324 muestreos en una concesión de maricultura en la costa nororiental de la isla de Cerdeña con el objetivo de reconocer las posibles variables que pudiesen afectar a la presencia y abundancia de delfines mulares en el vivero. A lo largo del estudio se ha podido ver como los delfines mulares están presentes todo el año, 37% de las muestras analizadas, observándose un claro modelo estacional en la presencia de los delfines. En base a los resultados obtenidos se pueden discriminar dos claros factores que condicionan la presencia de los delfines mulares: la temperatura del agua y el impacto antropogénico (presencia de embarcaciones de recreo y la pesca tradicional). Los resultados obtenidos en este estudio pueden ser de gran utilidad en la gestión de viveros con jaulas flotantes de características similares al estudiado ante la presencia de depredadores como los delfines mulares.

Summary

Multivariate analysis to determine the influence of aquaculture on the presence of Bottlenose Dolphins *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821)

Notable increases in coastal aquaculture make it vital to study the environmental effects associated with their presence. Increase in organic material, resultant from aquaculture activities, acts as an attractant for fish species and consequently their predators. Many studies have examined the effects of aquaculture on marine fauna in general, but there is a paucity of studies examining, more specifically, the impacts of aquaculture on dolphins. In 12 consecutive months of study, we realized 1 324 samples in a marine fin fish farm off the north eastern coast of Sardinia, Italy. The objective of this study was to determine the variables that may influence the presence and abundance of dolphins in the fish farm area. Dolphins were observed year round during the study period, 37% of the samples analyzed, but there was a clear seasonal trend in their presence. Based on the results obtained in this study we can discriminate two factors that influence the seasonal presence of dolphins: water temperature and anthropogenic impacts (i.e. presence of recreational boats and/or fishing boats). These results can be useful for aquaculture management, in particular for the implementation of anti-predator methods in marine fin fish farms similar to the one in our study.

Introducción

La acuicultura y en particular la maricultura con jaulas flotantes es una de las actividades que han registrado un mayor crecimiento en el Mar Mediterráneo en la última década. Como claro ejemplo de ello está el cambio en la producción piscícola en Italia de 950 t en 1990 a superar las 15 800 t en 2000 (1).

Dicho desarrollo de la acuicultura costera pasa por un buen entendimiento con el medio ambiente y la fauna marina, respetándolos, conociéndolos y realizando acciones que tiendan a disminuir los posibles impactos negativos que se deriven de dicha actividad. El impacto físico, químico y biológico generado por la maricultura en el medio ambiente ha sido ampliamente documentado (2, 3). A pesar de ello en el Mediterráneo, ha sido poco estudiado el cambio en la distribución y presencia de peces que se agregan en los alrededores de las plantas de maricultura (3) y menos conocidos son los cambios en la abundancia y distribución de los depredadores superiores atraídos por dichos viveros (4, 5).

Los delfines mulares, como el resto de los depredadores superiores, son susceptibles a los cambios que pudiese causar la acuicultura en la distribución y abundancia de sus presas. Dicho fenómeno ha sido observado en la costa nororiental de Cerdeña, donde la distribución y presencia de delfines mulares se vio claramente alterada tras la construcción

de una planta de maricultura con jaulas flotantes para el engorde de doradas (*Orata melanura*) y lubinas (*Dicentrachus labrax*) (5, 6).

El delfín mular es una especie apropiada para este tipo de estudio debido a su carácter cosmopolita presente en aguas costeras ya sea tropicales como templadas (7).

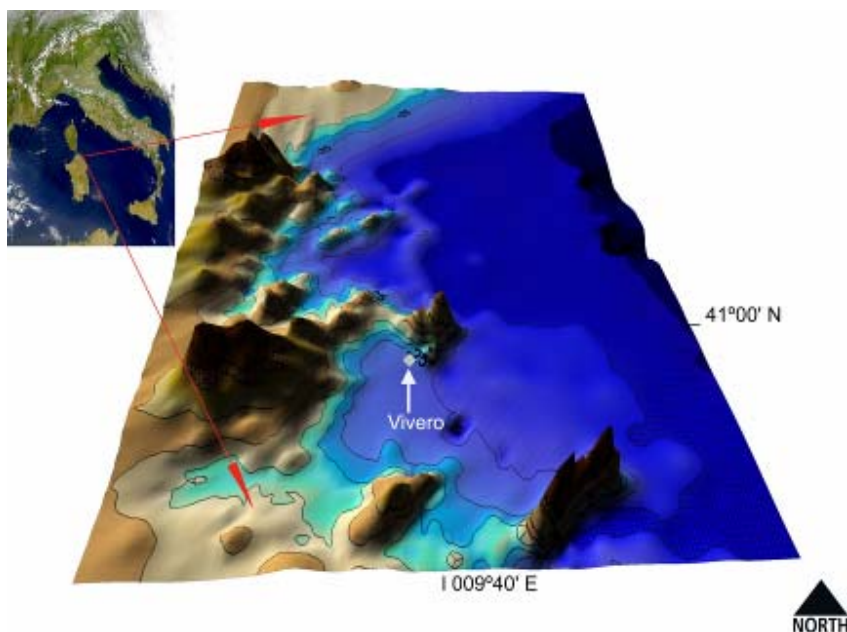
Con este estudio, se intenta dar una visión de la evolución de un depredador marino con respecto al subsector de la acuicultura. Tratando de reconocer las posibles variables que pudiesen afectar en la presencia y abundancia de los delfines mulares a lo largo del año, y a su vez conocer las diferencias que puedan existir atendiendo al hecho de que en el vivero se estén realizando actividades de pesca o trasvaso.

Material y métodos

El presente estudio fue llevado a cabo a bordo de una embarcación de 5 m en una concesión de maricultura ubicada en el Golfo de Aranci (40°59'N, 009°37'E) en la costa nororiental de la isla de Cerdeña durante un año, desde diciembre 2004 hasta diciembre 2005. Dicha empresa se dedica al engorde de doradas y lubinas en jaulas flotantes e inició sus actividades en 1995, periodo a partir del cual empezó a observarse cómo la presencia de delfines mulares en los alrededores cambiaba sustancialmente (5, 6).

En el momento de iniciar el estudio, la concesión en la que se realizaron las observaciones contaba con 21 jaulas flotantes de 20 m y 8 jaulas de 9 m de diámetro ocupando una extensión de 61 250 m² (Figura 1). Las redes de nylon alcanzan una profundidad de 15-16 m, conteniendo todas ellas una biomasa total próxima a las 700 t de doradas y lubinas. El fondo de la concesión es caracterizado por fango y arena variando entre los 18 y 25 m de profundidad.

Figura 1
Localización del vivero de maricultura en la costa nororiental de la isla de Cerdeña (Italia).



En cada una de las salidas al mar, consideradas adecuadas con el estado del mar inferior a 4 en la escala Douglas y ausencia de lluvia o niebla, se realizaron muestreos cada 20 min. Cada muestreo incluía las siguientes variables: fecha, hora, estado del mar (escala Douglas), transparencia del agua (disco de Secchi), temperatura del agua, número de

embarcaciones trabajando en el vivero, número de embarcaciones de recreo o de pesca tradicional en los alrededores, ausencia o presencia de delfines mulares (en este caso además se tomaron el número de delfines mulares en el vivero) y si los trabajadores del vivero estaban o no realizando actividad de pesca en el mismo.

El punto de partida se basa en las distintas variables presentes en la planta de acuicultura que puedan condicionar la presencia de delfines mulares. El proceso de análisis tiene como objetivo la detección de grupos de variables altamente relacionadas.

Para analizar estas variables, se consideró un factor presencia/ausencia con dos niveles en el diseño del experimento, correspondientes con la presencia y ausencia de delfines en el vivero, consiguiendo así que los datos recogidos no reflejaran sólo lo que ocurre en presencia de los animales.

En el diseño del presente experimento se incluyó un factor de replicación temporal "periodo", de forma que pudieran analizarse los objetivos planteados. Dicho factor temporal estará formado por los 12 meses en los que se llevaron a cabo los muestreos. En cada uno de los 12 meses, fueron seleccionadas 50 muestras al azar, garantizando la independencia de los datos y la repartición temporal de los muestreos, evitando así la existencia de pseudorreplicación.

Para el análisis de los datos obtenidos tras el diseño del presente trabajo, se decidió abordar una doble aproximación. Por una parte, se ha realizado, en términos de presencia/ausencia, un análisis multivariante mediante el empleo de técnicas como la MANOVA acompañada de técnicas de ordenación como el CVA (Canonical Variates Analysis) realizadas con el paquete estadístico PAST (8).

Estas técnicas nos permiten conocer si existen variables que afectan a la presencia de delfines mulares en el vivero de acuicultura.

A continuación y en el caso de existir diferencias significativas en presencia y ausencia de delfines, se comparó cada una de las variables, con mayor peso en el eje que contribuía en mayor medida al porcentaje acumulado de varianza (superando un nivel prefijado del 80%), mediante técnicas de análisis de la varianza (ANOVA) (9).

Antes del análisis multivariante, se utilizó en test de Shapiro Wilk para comprobar la distribución normal para cada una de las variables y el test de Levene para la homogeneidad de las varianzas. Cuando se encontraron diferencias significativas se utilizó la transformación logarítmica. Cuando no se lograba la homogeneidad necesaria en las varianzas, se utilizaron los datos originales, pero contemplando un nivel de significación de 0.01 para evitar un error del tipo I (9).

Por otro lado, se ha utilizado un método bivariante no paramétrico mediante técnicas de análisis de las tablas de contingencia con el test Chi-cuadrado. Se utilizó como variables el número de muestras en presencia y ausencia de delfines mulares en función de que se estuviesen llevando a cabo actividades de pesca en el vivero. Dicho método nos permite ver si la presencia de delfines mulares en el vivero se pudiese ver condicionada en cierto modo por la pesca de peces en el interior de las jaulas flotantes.

Resultados

Durante 12 meses consecutivos de estudio y 111 días en el mar fueron recogidas un total de 1 324 muestras de las cuales fueron seleccionadas aleatoriamente 600 para los sucesivos análisis (Tabla I).

Tabla I

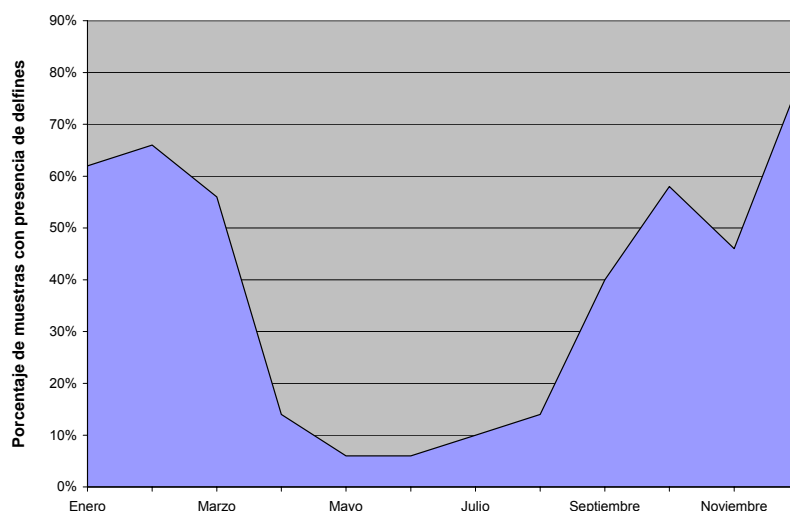
Estadísticos descriptivos de las variables recogidas en cada muestreo y seleccionadas aleatoriamente.

Variables	Media	DS	min	máx	N
Embarcaciones de pesca	1.97	2.33	0	26	600
Embarcaciones de motor del vivero	2.27	1.62	0	6	600
Embarcaciones de recreo	0.75	1.48	0	14	600
Temperatura del agua (°C)	17.78	3.98	12	24	600
Transparencia del agua (m)	16.1	3.58	11	26	600

Fue detectada la presencia de delfines mulares en el vivero en el 37% de las muestras seleccionadas. El tamaño medio de los grupos fue de 4.1 ± 0.2 delfines variando de individuos solitarios a grupos de 9 ejemplares con una mediana de 3. El número de muestras en las que se observaron delfines mulares en el vivero de acuicultura presenta fluctuaciones a lo largo del año (Figura 2). Existiendo un claro calo mensual en la presencia de delfines mulares desde el mes de abril hasta septiembre.

Figura 2

Presencia de los delfines mulares en el vivero a lo largo del estudio.



La luminosidad de la columna del agua, medida con el disco de Secchi presenta un pico máximo de crecimiento durante la primavera (12 m) y otoño (12.5 m).

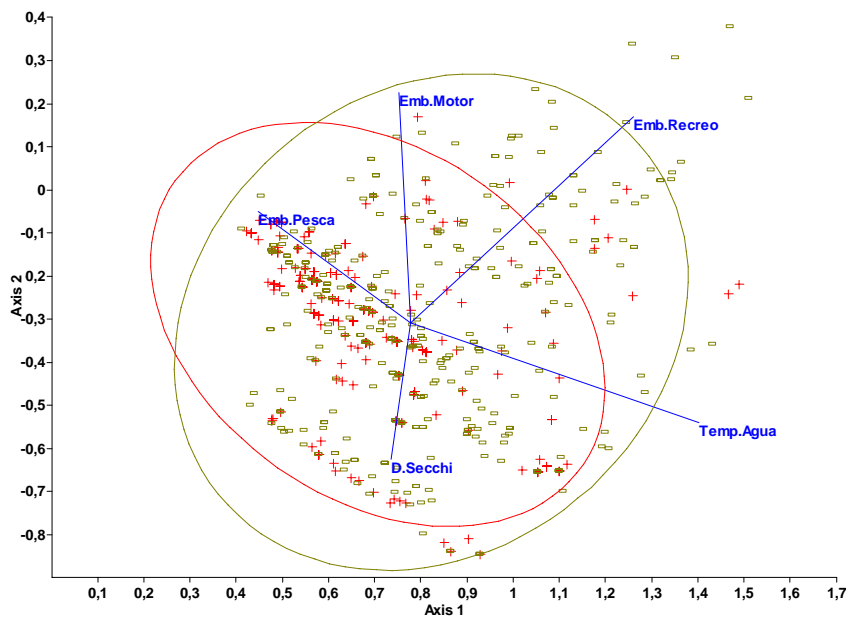
Observando la matriz de correlaciones entre las variables podemos comprobar que existen variables claramente relacionadas con el tamaño de grupo de delfines mulares en la concesión ($p < 0.01$), ya sea en modo positivo, como el número de embarcaciones de pesca en los alrededores del vivero ($r = 0.15$), o ya sea afectando negativamente, como el número de embarcaciones turísticas en los alrededores ($r = -0.21$) y la temperatura del agua ($r = -0.21$)

La hipótesis nula planteada en el MANOVA es que la presencia / ausencia de delfines no se vea condicionada por las variables seleccionadas. Observamos que la hipótesis nula para el factor presencia / ausencia es rechazada (Wilk's lambda = 0.92, gl 1 = 5, gl 2 = 594, $F = 10.07$, $p < 0.001$; Pillai trace = 0.07, gl 1 = 5, gl 2 = 594, $F = 10.08$, $p < 0.001$), por lo cual hay evidencia muestral de que existen diferencias significativas entre las condiciones observadas en presencia de delfines en el vivero y aquellas en las que estaban ausentes.

En la Figura 3 se representan los resultados del análisis factorial CVA efectuado en función de la presencia y ausencia de delfines mulares en el vivero. El primer eje del análisis factorial explica el 99% del total de la varianza, y refleja lo más importante de las variables que cambian en presencia o ausencia de delfines. Las variables que contribuyen en mayor medida en dicho eje son: Temperatura (-0.72), embarcaciones de recreo (-0.56) y embarcaciones de pesca (+0.39).

Figura 3

Representación bidimensional del CVA (Canonical Variates Analysis) en función de la presencia y ausencia de delfines mulares en el vivero (las cruces representan las muestras con presencia y los rectángulos en ausencia de delfines mulares).



Analizando individualmente las variables se observa como existen diferencias significativas en función de la presencia o ausencia de delfines mulares (Tabla II). Las condiciones en el vivero que caracterizan la presencia de delfines mulares son una temperatura superficial media del agua menor, un mayor número de embarcaciones de pesca y un menor número de barcas de recreo.

Tabla II

Resumen del análisis de la varianza ANOVA y media + SE de las variables analizadas que muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) en presencia y ausencia de delfines mulares.

Variables	Con delfines	Sin delfines	ANOVA
	Media ± SE		
Embarcaciones de pesca	2.3 ± 0.18	1.7 ± 0.1	F = 8.97, $p < 0.01$, gl = 1
Embarcaciones de recreo	0.4 ± 0.07	1 ± 0.08	F = 23.6, $p < 0.001$, gl = 1
Temperatura del agua (°C)	16.5 ± 0.22	18.6 ± 0.21	F = 35.7, $p < 0.001$, gl = 1

Respecto al análisis de la posible influencia que pudiese general la actividad de pesca en la presencia de delfines mulares en el vivero (Figura 4) se pudo observar como existe una relación entre dicha actividad y la presencia de delfines mulares (Tabla de contingencia χ^2 , V de Cramer = 0.15, $p < 0.01$).

Figura 4

Delfines mulares alrededor de una jaula de cultivo que está siendo preparada para la pesca.



Discusión

La presencia de la concesión de maricultura en el Golfo de Aranci permite una concentración de recursos alimenticios que favorece la alimentación oportunista de un depredador como el delfín mular (10). Gracias a estudios realizados sobre la dieta del delfín mular, se puede ver que su alimentación se basa en una gran variedad de especies, preferentemente peces y cefalópodos (11, 12), muchas de las cuales se encuentran en gran densidad en los alrededores de viveros con las mismas características del estudiado (3, 13).

El aporte de nutrientes (alimento y materia orgánica) procedente del vivero de acuicultura incrementa la densidad de peces “silvestres” en los alrededores de las jaulas flotantes (3). A pesar de ello, la liberación de nutrientes por parte del vivero no presenta una desviación importante en la concentración de los mismos en la columna de agua ya que no se observa un pico máximo durante el verano observado por Pitta *et al.* (14) en otros viveros del Mediterráneo.

La presencia de delfines mulares (Figuras 5 y 6), a pesar de producirse durante todo el año, muestra una clara fluctuación estacional. Es durante el otoño e invierno que se observa más comúnmente la presencia de estos animales en las inmediaciones del vivero.

Figura 5

Grupo de delfines mulares alrededor de las jaulas flotantes del vivero de acuicultura.



Figura 6

Delfín mular saltando en frente de una jaula de cultivo.



En base a los resultados obtenidos se pueden discriminar dos claros factores que condicionan la presencia de los delfines mulares: la temperatura del agua y el impacto antropogénico (presencia de embarcaciones de recreo y las embarcaciones de pesca tradicional).

La temperatura del agua es el factor más importante al condicionar el metabolismo y comportamiento del delfín mular, e indirectamente la presencia y distribución de las presas. Se ha podido observar como los requerimientos diarios y con ello el tiempo dedicado a la alimentación de los delfines mulares aumentan durante el periodo otoño-invierno (10, 15). Shane (15) justifica dicho aumento como una estrategia para aumentar el grosor del estrato lipídico y hacer frente a las bajas temperaturas.

Es durante el periodo invernal (mínimo en la temperatura del agua) que se observa un claro declino en la presencia de peces en la costa nororiental de la isla de Cerdeña (16). Si consideramos la casi total ausencia de turismo náutico en dicho periodo, los delfines mulares maximizarán la presencia constante de peces en los alrededores del vivero para la alimentación oportunista (dicha presencia se ve confirmada ante un aumento del número de embarcaciones de pesca en las proximidades del vivero).

En cambio, durante la primavera y el verano (pico máximo en la temperatura del agua), periodo caracterizado por un claro aumento del turismo náutico en la zona (17) y mayor disponibilidad de presas en la costa nororiental de Cerdeña (10, 16) y menores requerimientos diarios, los delfines mulares se observarán menos frecuentemente en la zona del vivero.

El tamaño de los grupos observados se ajusta a las características de la población en la costa nororiental de Cerdeña (18, 19), con grupos normalmente formados por menos de 6 ejemplares y típicamente dispersos en pequeñas unidades tal y como se puede también observar en otras poblaciones costeras (15, 20, 21).

El hecho de que las actividades de pesca en el vivero puedan condicionar en cierto grado la presencia de delfines mulares podría deberse a las fugas ocasionales que se producen durante el trasvase del pescado de las jaulas de 22 m a las jaulas auxiliares de 9 m. Durante dicha operación se pueden producir pequeñas fugas de lubinas o doradas que podrían atraer y favorecer la alimentación oportunista de los delfines mulares en la zona. En general y aunque existan indicios de relación entre ambas variables cualitativas (presencia de delfines y actividad de pesca en el vivero), la cantidad de relación es escasa (V Cramer = 0.15). Este estadístico complementa el resultado de la prueba de χ^2 : el factor

(en este caso, el que se lleve a cabo actividad de pesca en el vivero) sólo explica alrededor de la sexta parte (15%) de la variación en la variable dependiente, en este caso, la presencia-ausencia de delfines mulares en el vivero.

Hasta el momento la presencia de un depredador de especies cultivadas como el delfín mular entre las jaulas del vivero de acuicultura apenas ha alterado la producción en dicha planta aunque con el paso de los años comienzan a ser evidentes, ya sea directamente con ligeros daños provocados en las especies cultivadas o indirectamente derivados del estrés al que se ven sometidos los peces ante la presencia de delfines mulares (22). Hasta el momento dicha interacción no supone un grave impacto económico en la producción del vivero y por ello, los resultados obtenidos en este estudio pueden ser de gran utilidad en la gestión de viveros con jaulas flotantes de características similares al estudiado.

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al biólogo director del vivero de acuicultura Mare 1 de “Compagnie Ittiche Riunite S.L”, por su colaboración permitiéndonos recoger muestras dentro de la concesión; también a todos los voluntarios y estudiantes del BDRI que han colaborado en la realización de los muestreos. El proyecto ha sido financiado exclusivamente por el Bottlenose Dolphin Research Institute – BDRI.

Referencias

1. UNEP/MAP/MED POL. *Mariculture in the Mediterranean*. MAP Technical Reports Series No. 140. Atenas: UNEP/MAP, 2004
2. COLE R. *Impacts of marine farming on wild fish populations*. Final Research Report for Ministry of Fisheries Research Project ENV2000/08. Nueva Zelanda: National Institute of Water and Atmospheric Research, 2002
3. DEMPSTER T, SANCHEZ JEREZ P, BAYLE SEMPERE J, KINGSFORD M. Extensive aggregations of wild fish at coastal sea-cage fish farms. *Hydrobiologia* 2004; 525:245–8
4. WATSON-CAPPS JJ, MANN J. The effects of aquaculture on bottlenose dolphin (*Tursiops* sp.) ranging in Shark Bay, Western Australia. *Biological conservation*, 2005; 124(4):519-26
5. DÍAZ LÓPEZ B, MARINI L, POLO F. The impact of a fish farm on a bottlenose dolphin population in the Mediterranean Sea. *Thalassas* 2005; 21(2):65–70
6. DÍAZ LÓPEZ B, MARINI L, POLO F. Evolution of a bottlenose population in the North-eastern waters of Sardinia (Italy). En: EVANS PGH, ED. *XV European Research on Cetaceans*. Roma: European Cetacean Society, 2004:70-3
7. LEATHERWOOD S, REEVES RR. *The Sierra handbook of whales and dolphins*. San Francisco: Sierra club books, 1983
8. HAMMER Ø, HARPER DAT, RYAN PD. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 2001; 4(1):9
9. UNDERWOOD AJ. Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 1981; 19:513-605
10. DÍAZ LÓPEZ B, SHIRAY JA. Diurnal & Nocturnal behaviour of Bottlenose Dolphin groups with emphasis on foraging activity on the northeastern coast of Sardinia (Italy). (Abstract). *Comunicación presentada en el European Cetacean Society*, Polonia, 2006: 97
11. BARROS NB, WELLS RS. Prey and feeding patterns of resident bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Sarasota Bay, Florida. *J. Mammalogy* 1998; 79(3):1045-59
12. BLANCO C, SALOMÓN O, RAGA JA. Diet of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the western Mediterranean Sea. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 2001; 81:1053–8

13. MACHIAS A, KARAKASSIS I, GIANNOULAKI M, PAPADOPOULOU KN, SMITH CJ, SOMARAKIS S. Response of demersal fish communities to the presence of fish farms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2005; 288:241-50
14. PITTA P, KARAKASSIS I, TSAPAKIS M, ZIVANOVIC S. Natural vs Mariculture induced variability in nutrients and plankton in the Eastern Mediterranean. *Hydrobiologia* 1999; 391:181-94
15. SHANE SH. Behaviour and ecology of the bottlenose dolphin at Sanibel Island, Florida. En: LEATHERWOOD S, REEVES RR, EDS. *The bottlenose dolphin*. San Diego: Academic press. Inc., 1990:245-65
16. GIOVANARDI O. *I piccoli pelagici nel Mar Tirreno: Osservazioni dopo il primo anno di indagini ittioplanctoniche*. Quaderno pesca n. 3. Italia: ICRAP, 1990
17. POLO F, DÍAZ LÓPEZ B, MARINI L, BROVELLI M. Fast Ferries influence on the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821), presence and social structure in waters of north-eastern Sardinia. (Abstract) En: EVANS PGH, ED. *XVI European Research on Cetaceans*. Liege: European Cetacean Society. 2006, En prensa
18. DÍAZ LÓPEZ B. *Estudio eco-etológico de una población de delfín mular, *Tursiops truncatus* Montagu, 1821, en la costa Nordeste de Cerdeña (Italia)*. Tesina de grado presentada en la Universidad de Vigo, España. 2002
19. DÍAZ LÓPEZ B. Interactions between Mediterranean bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and gillnets off Sardinia, Italy. *ICES Journal of Marine Science*, 2006; 63(5):775-960
20. SCOTT MD, WELLS RS, IRVINE AB. A long term study of bottlenose dolphins on the west coast of Florida. En: Leatherwood S, Reeves RR, eds. *The bottlenose dolphin*. San Diego: Academic Press, 1990: 235-44
21. WILSON B. *The ecology of bottlenose dolphins in the Moray Firth, Scotland: A population at the northern extreme of the specie's range*. Tesis de doctorado, Universidad de Aberdeen, Escocia, 1995
22. DÍAZ LÓPEZ B. Interaction between bottlenose dolphins and fish farms: could there be an economic impact?. *ICES Document CM* 2005; X:10-16