

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

MASTER EN EVAL. AMB. ECOSISTEMAS MARINOS Y COST.

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

**“Estudio de las poblaciones de  
cetáceos en Zona de Especial  
Conservación "Valles submarinos del  
Escarpe de Mazarrón": aplicaciones  
para su gestión”**

**TRABAJO FINAL DE MASTER**

Autor/a:

**Carmen García Delgado**

Tutor/a:

**Eduardo Jorge Belda Pérez**

**GANDIA, 2019**

## Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a la Autoridad Portuaria de Cartagena por haber financiado el proyecto. En segundo lugar, agradecer a Eduardo J Belda, Ramón Miralles, Isabel Pérez-Arjona, Miguel Rodilla y Víctor Espinosa, investigadores del Instituto de Investigación para la gestión de las Zonas Costeras, por haber sido partícipes del Proyecto y haber desarrollado el contrato de apoyo tecnológico para la evaluación de afecciones a las poblaciones de cetáceos previsiblemente causadas por las obras y el aumento del tráfico marítimo en la zona de "El Gorguel".

Hacer especial mención a mi tutor, Eduardo Belda, por darme la posibilidad de disfrutar, de aprender, y de introducirme en esta área. Por ayudarme a la realización del trabajo y finalmente por revisar esta memoria en numerosas ocasiones.

Agradecer inmensamente a Blanca Feliu, por la inmensa paciencia día tras día, y dejando su trabajo a un lado, para solucionar todos mis errores con el programa R y ArcMap. He de mencionar que sin ella mi trabajo no hubiera sido posible. A Sara Abalo, por ayudarme también a solucionar errores con R y por introducirme en los modelos GAMs.

Y no olvidar a Alberto Gil, por su continuo apoyo moral y por ayudarme a solucionar mis problemas en numerosas ocasiones.

## Contenido

Índice de figuras .....	4
Índice de tablas.....	5
Resumen.....	6
Palabras clave.....	6
Abstract.....	6
Key word.....	7
1. INTRODUCCIÓN .....	8
2. OBJETIVOS .....	12
3. METODOLOGÍA.....	12
3.1. Área de estudio .....	12
3.2. Datos de abundancia y uso de hábitat.....	15
3.2.1. Diseño de los transectos de muestreo.....	16
3.2.2. Toma de datos de avistamientos .....	19
3.2.3. Datos de uso de hábitat .....	20
3.2.4. Datos ambientales.....	21
3.3. Análisis de los datos .....	21
3.3.1. Estima de abundancia .....	21
3.3.2. Análisis de uso de hábitat.....	23
4. RESULTADOS .....	25
4.1. Transectos .....	25
4.2. Estimación de abundancia y distribución.....	26
4.2.1. Elección del mejor modelo.....	26
4.3. Uso de hábitat y variables ambientales .....	32
4.3.1. Elección del mejor modelo.....	35
5. DISCUSION.....	42
5.1. Estimación de abundancia y distribución.....	43
5.2. Modelos predictivos de uso de hábitat.....	46
5.3. Áreas propuestas para la conservación .....	50
6. CONCLUSIONES .....	50
7. BIBLIOGRAFÍA.....	52

## Índice de figuras

FIGURA 1- DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZEC – ES6200048, VALLES SUBMARINOS DEL ESCARPE DE MAZARRÓN, SITUADA FRENTE A LA COSTA MURCIANA. FUENTE: BOE 193, DE 11 DE AGOSTO DE 2016. ....	9
FIGURA 2- BATIMETRÍA CARACTERÍSTICA DEL MAR ALBORÁN Y EL GOLFO DE VERA, PARTE SUR DEL MAR MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL. ....	13
FIGURA 3- TRANSECTOS EN ZIG-ZAG OBTENIDOS CON EL PROGRAMA “DISTANCE” QUE OPTIMIZAN EL CENSO DE CETÁCEOS PARA CADA UNA DE LAS CAMPAÑAS DESDE EMBARCACIÓN. RECORRIDO TOTAL 180 KM, A REALIZAR EN DOS DÍAS. ....	17
FIGURA 4 - RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE PROBABILIDAD DE COBERTURA EN LOS PUNTOS DEL ÁREA DE MUESTREO. LA MALLA DE COBERTURA, PARA ESTIMAR DICHA PROBABILIDAD SE REALIZÓ CON UN ESPACIADO DE 4KM (2 VECES EL ANCHO DE BANDA INICIALMENTE CONTEMPLADO PARA LOS TRANSECTOS). ....	17
FIGURA 5- TRANSECTOS REALIZADOS EN EL MUESTREO. A: TRANSECTO 1 REALIZADO EN MAYO. B: TRANSECTO 2 REALIZADO EN JUNIO. C: TRANSECTO 3 REALIZADO EN OCTUBRE. D: TRANSECTO 4 REALIZADO EN DICIEMBRE. ....	19
FIGURA 6 - BARCO DE NAVEGACIÓN KARYAM UTILIZADO DURANTE LOS AVISTAMIENTOS. FUENTE: CETÁCEOS Y NAVEGACIÓN .....	20
FIGURA 7- DISTRIBUCIÓN DE LAS OBSERVACIONES EN RELACIÓN CON LA DISTANCIA DE DETECCIÓN ....	26
FIGURA 8 - AJUSTE DE LOS DATOS A LA RECTA DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN. ....	27
FIGURA 9- MODELO DE PROBABILIDAD DE DETECCIÓN AJUSTADO A LOS DATOS (CÍRCULOS), USANDO UNA FUNCIÓN DE TIPO SEMI-NORMAL Y AJUSTE DE TIPO COSENO DE ORDEN 2. EL PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DETECCIÓN SEMI-NORMAL OBTENIDO FUE= $6.67 \pm (SE) 0.16$ ) Y PARA EL AJUSTE DEL COSENO = $0.48 \pm 0.30$ ). ....	28
FIGURA 10- ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD EN LA ZONA ZEC ES6200048 PARA CADA UNA DE LAS ESPECIES AVISTADAS. TT: TURSIOPS TRUNCATUS, SC: STENELLA COERULEOALBA, DD: DELPHINUS DELPHIS, GM: GLOBICELA MELAS, GG: GRAMPUS GRISEUS. ....	30
FIGURA 11- ESTIMACIÓN DE ABUNDANCIAS EN LA ZONA ZEC ES6200048 DE CADA UNA DE LAS ESPECIES AVISTADAS. TT: TURSIOPS TRUNCATUS, SC: STENELLA COERULEOALBA, DD: DELPHINUS DELPHIS, GM: GLOBICELA MELAS, GG: GRAMPUS GRISEUS. ....	30
FIGURA 12-AVISTAMIENTOS REALIZADOS DURANTE EL MUESTREO EN EL ÁREA DE VALLES SUBMARINOS DEL ESCARPE DE MAZARRÓN. A: TURSIOPS TRUNCATUS. B: STENELLA COERULEOALBA. C: GLOBICEPHALA MELAS. D: DELPHINUS DELPHIS. E: BALAENOPTERA PHYSALUS. F: GRAMPUS GRISEUS .....	31
FIGURA 13- REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS AVISTAMIENTOS RECOGIDOS DE LA BASE DE DATOS PROPIA, BDB Y OBIS-SEAMAP. A: TOTAL DE AVISTAMIENTOS. B: TURSIOPS TRUNCATUS. C: STENELLA COERULEOALBA .....	32
FIGURA 14- VISIÓN GENERAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES EN FUNCIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES .....	34
FIGURA 15- VISIÓN GENERAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE TURSIOPS TRUNCATUS EN FUNCIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES. ....	36
FIGURA 16- CORRELACIÓN LINEAL ENTRE EL TURSIOPS TRUNCATUS Y LAS VARIABLES AMBIENTALES. ....	37
FIGURA 17- PERFIL DE LA FORMA FUNCIONAL ADOPTADA POR LA DISTANCIA (A), PROFUNDIDAD (B) Y CLOROFILA (C) PARA EL DELFÍN MULAR .....	39
FIGURA 18- VISIÓN GENERAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE STENELLA COERULEOALBA EN FUNCIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES. ....	40
FIGURA 19- CORRELACIÓN LINEAL ENTRE EL STENELLA COERULEOALBA Y LAS VARIABLES AMBIENTALES .....	41

FIGURA 20- PERFIL DE LA FORMA FUNCIONAL ADOPTADA POR LA SALINIDAD (A) Y PROFUNDIDAD (B) DEL DELFÍN LISTADO .....	42
FIGURA 21- COMPARACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA DE DENSIDADES ESTIMADAS SEGÚN DATOS DEL BOE (TT (1999-2000)) Y NUESTROS RESULTADOS TT (2018)) DE LA ESPECIE TURSIOPS TRUNCATUS. ....	44
FIGURA 22- COMPARACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA DE LAS DENSIDADES ESTIMADAS SEGÚN DATOS DEL BOE (SC (1999-2000)) Y NUESTROS RESULTADOS SC (2018) DE LA ESPECIE STENELLA COERULEOALBA). ....	45
FIGURA 23- COMPARACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA DE LAS DENSIDADES ESTIMADAS SEGÚN DATOS DEL BOE (GG (1999-2000)) Y NUESTROS RESULTADOS (2018)) PARA EL CALDERÓN GRIS ...	46
FIGURA 24- GRÁFICO PREDICCIÓN DE PRESENCIA/AUSENCIA DE TURSIOPS TRUNCATUS EN EL MEDITERRÁNEO REALIZADAS PARA LAS ESTACIONES DEL AÑO TENIENDO EN CUENTA LAS VARIABLES DE PROFUNDIDAD, DISTANCIA A LA COSTA Y CLOROFILA. ....	48
FIGURA 25- GRÁFICO PREDICCIÓN DE PRESENCIA/AUSENCIA DE STENELLA COERULEOALBA EN EL MEDITERRÁNEO REALIZADAS PARA LAS ESTACIONES DEL AÑO TENIENDO EN CUENTA LAS VARIABLES DE PROFUNDIDAD Y SALINIDAD. ....	49
FIGURA 26- PROBABILIDAD DE PRESENCIA DE DELFÍN MULAR (MÁS VALORADA) Y DELFÍN LISTADO DENTRO DE LA ZEC VALLES SUBMARINOS Y ESCARPES DE MAZARRÓN. ....	50
TABLA 1. DATOS SOBRE LEGISLACIÓN DE LAS DIFERENTES ESPECIES DE CETÁCEOS PRESENTES EN EL ZEC VALLES SUBMARINOS DEL ESCARPE DE MAZARRÓN. ....	12
TABLA 2: DETALLES DEL MUESTREO. FECHA, NÚMERO DE TRANSECTOS, COORDENADAS DE INICIO Y FIN DE CADA UNO DE LOS TRANSECTOS Y DISTANCIA DE CADA TRANSECTO EXPRESADA EN KILÓMETROS DE CADA UNA DE LAS CAMPAÑAS REALIZADAS DURANTE EL ESTUDIO. ....	18
TABLA 3- RESUMEN DE AVISTAMIENTOS OCURRIDOS DURANTE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO SEGÚN LA CAMPAÑA, LA ESTACIÓN DEL AÑO Y SEPARADO POR ESPECIES. ....	25
TABLA 4: COMBINACIONES DE FUNCIONES Y SERIES DE EXPANSIÓN REALIZADAS CON EL PROGRAMA DISTANCE PARA SELECCIONAR EL MODELO CON UN VALOR AIC MÍNIMO. ....	27
TABLA 5- COMPARACIÓN DE VALORES DE ABUNDANCIA, DENSIDAD, PROBABILIDAD DE DETECCIÓN, TASA DE ENCUENTROS, TAMAÑO CLUSTER Y GO TENIENDO EN CUENTA EL ERROR DE TIEMPO DE INMERSIÓN PARA CADA UNA DE LAS ESPECIES. TT: TURSIOPS TRUNCATUS, SC: STENELLA COERULEOALBA, DD: DELPHINUS DELPHIS, GM: GLOBICELA MELAS, GG: GRAMPUS GRISEUS. ....	29
TABLA 6- RESUMEN DE AVISTAMIENTOS RECOGIDOS DE LA BASE DE DATOS PROPIA, BDB Y OBIS-SEAMAP .....	33
TABLA 7- TABLA DE CORRELACIÓN LINEAL ENTRE EL TURSIOPS TRUNCATUS Y LAS VARIABLES AMBIENTALES .....	37
TABLA 8- ANÁLISIS DE ESTUDIO DE LA MULTICOLINEALIDAD EN BASE AL FACTOR DE INFLACIÓN DE LA VARIANZA (VIF). ....	38
TABLA 9- RESULTADOS DEL MODELO FINAL SELECCIONADO PARA EL DELFÍN MULAR. VARIABLES: BAT = PROFUNDIDAD, DISTA = DISTANCIA A LA COSTA, CHL = CLOROFILA. ....	38
TABLA 10- RESULTADOS DEL MODELO FINAL SELECCIONADO PARA EL DELFÍN LISTADO. VARIABLES: BAT = PROFUNDIDAD, SAL= SALINIDAD. ....	41
TABLA 11- ESTIMAS POBLACIONALES DISPONIBLES PARA DIFERENTES ESPECIES DE CETÁCEOS EN AGUAS NACIONALES. LAS CIFRAS DE POBLACIÓN TOTAL Y DENSIDAD INDICAN LA ESTIMA MÁS PROBABLE, MIENTRAS QUE ENTRE PARÉNTESIS SE INDICA EL RANGO DE VALORES, INTERVALO DE CONFIANZA AL 95%. EN NEGRITA SE INDICA EL PUNTO DE REFERENCIA SEGÚN EL PLAN DE GESTIÓN DE LA ZEC. ....	44

**Resumen:**

El área "Valles submarinos de Escarpe de Mazarrón- ES6200048", frente a la Región de Murcia, ha sido denominada ZEC, por la Directiva Hábitats. Se caracteriza por presentar una importante productividad y biodiversidad convirtiéndose en un enclave marino de gran valía y caracterizada por su proximidad a la costa murciana. Con el objetivo de determinar el estado de conservación de la población de cetáceos y el evaluar las afecciones del tráfico marítimo, se realizó un muestreo para la recolección de datos con el fin del analizar la densidad de cada especie observada y determinar los hábitats más frecuentados mediante el estudio de variables espaciales y ambientales utilizando Modelos Aditivos Generalizados (GAMs). Los resultados mostraron que el delfín listado es la especie de cetáceo más abundante y de mayor densidad en el Escarpe de Mazarrón. En el Mediterráneo occidental, el delfín mular se distribuye en áreas de menor profundidad y cercanas a la costa, y con valores relativamente altos de clorofila, mientras que el delfín listado se distribuye en aguas oceánicas y varía con la salinidad. De esta manera se han determinado las variables importantes que determinan su distribución, proporcionando así unos criterios de selección adecuados para el establecimiento de futuras áreas marinas protegidas.

**Palabras clave:** delfín; densidad; modelos GAM; hábitat.

**Abstract:**

The area "Valles submarinos de Escarpe de Mazarrón- ES6200048", in front of the Region de Murcia, has been called ZEC, by the Habitats Directive. It has important productivity and biodiversity becoming a marine enclave of great value characterized by its proximity to the coast of Murcia. With the objective of determining the conservation status of the cetacean population and assessing maritime traffic effects, a sampling was carried out for the collection of data in order to analyze the density of each species observed and determine the most frequented habitats through the study of spatial and environmental variables using Generalized Additive Models (GAMs). The results showed that the striped dolphin is the most abundant and most densely populating cetacean species in the Escarpe de Mazarrón. In the western Mediterranean, the bottlenose dolphin is distributed in areas of shallower depth and near the coast, and with relatively high values of chlorophyll, while the striped dolphin is distributed in oceanic waters and varies with salinity. Through this process, the important variables that affects their

distribution have been determined, thus providing information about selection criteria for the establishment of future marine protected areas.

**Key words:** dolphin; density; GAM models; habitats.

# Estudio de las poblaciones de cetáceos en Zona de Especial Conservación "Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón": aplicaciones para su gestión

## 1. INTRODUCCIÓN

El área de estudio se caracteriza por presentar unas características fisiográficas y oceanográficas complejas originando una importante productividad y biodiversidad, convirtiéndola así en un enclave marino de gran valía. Algunos tipos de hábitats naturales presentes en el área son "Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda", "Praderas de Posidonia (*Posidonia oceanicae*)" y "Arrecifes" (códigos 1110, 1120 y 1170 del anexo I de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, respectivamente), así como especies de interés comunitarios como la *Caretta caretta* (tortuga boba) y especies de cetáceos descritos a continuación, en especial el *Tursiops truncatus* (delfín mular, Montagu, 1821) (anexo II de la Ley 42/2007). Por este motivo fue declarada Zona Especial de Conservación (ZEC) de la Región Mediterránea de la Red Natura 2000 (Orden AAA/1366/2016, BOE de 11 de agosto de 2016), con el nombre de Valles submarinos de Escape de Mazarrón, ES6200048, situado frente a la costa de la Región de Murcia (Figura 1).

Otra razón característica a tener en cuenta es que, aunque no presenta ninguna estructura portuaria que pueda causar daños en su interior, se sitúa en un área muy próxima a la costa murciana por lo que podría estar influenciada por presión humana.

A pesar de su importancia y su situación geográfica, el plan de gestión de la ZEC Escarpes de Mazarrón (Orden AAA/1366/2016, BOE de 11 de agosto de 2016), indica que la evaluación global del estado de conservación de las diferentes especies de cetáceos que se encuentran en éste área se encuentra calificado como desconocido debido a la ausencia de información en varios de los parámetros empleados para su evaluación (población, hábitat de la especie y perspectivas futuras).

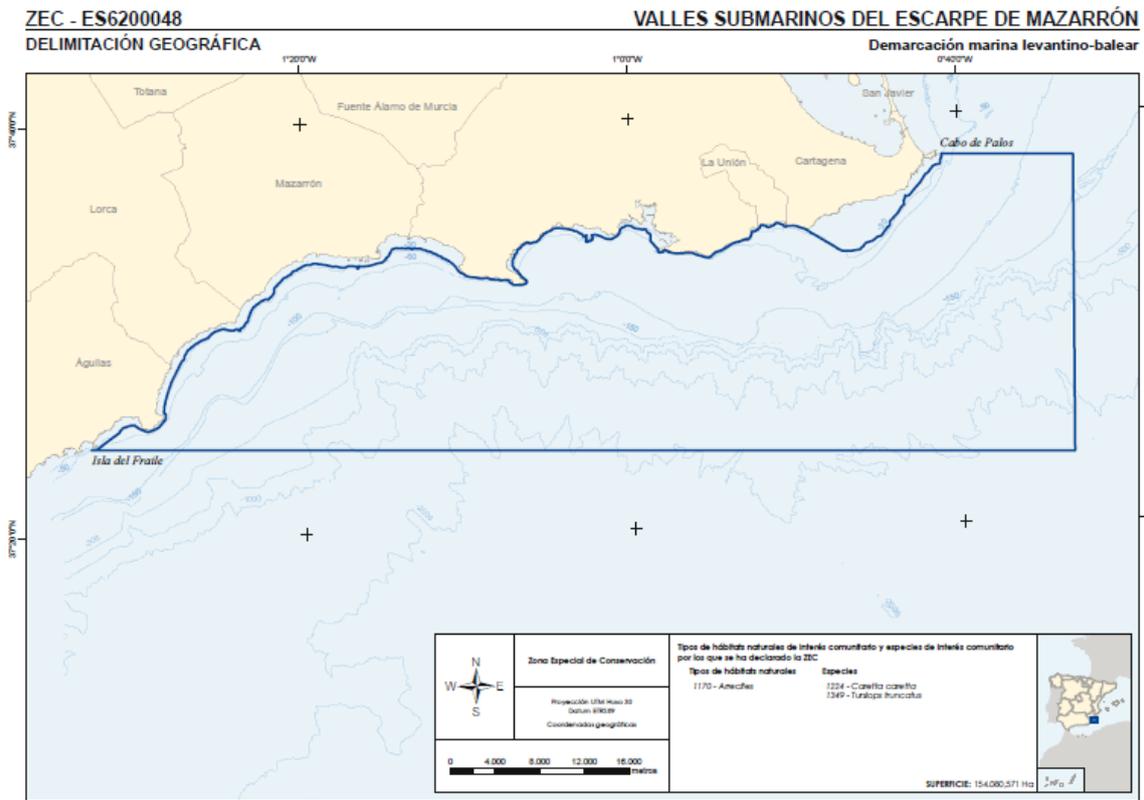


Figura 1- Delimitación geográfica de la ZEC – ES6200048, Valles Submarinos del Escarpe de Mazarrón, situada frente a la costa Murciana. Fuente: BOE 193, de 11 de agosto de 2016.

La ZEC ES6200048, Valles Submarinos del Escarpe de Mazarrón se caracteriza por ser una zona de afloramiento de aguas profundas que favorece la mezcla de masas de agua de alto contenido en oxígeno y nutrientes. Esta alteración de características físicas y afloramiento de nutrientes, convierte la región en un punto clave para la presencia de cetáceos y caracteriza la región como punto caliente “hot spot” básico por ser una zona de alimentación durante la migración (Gimenez-Casalduero & Gomariz Castillo, 2012). Estas características hacen de la zona una zona importante para muchas especies de cetáceos.

Se han descrito un total de nueve especies de cetáceos (Tabla 1), todas ellas incluidas en la Directiva Hábitats. De ellas el delfín mular es la única especie incluida en el anexo II de esta directiva y por tanto su conservación requiere la designación de ZECs.

El delfín mular es de suma importancia ya que es una especie altamente frecuente en el área ES6200048 (BOE-A-2016-7738\_(003), 2016) y su estado de conservación en el Mediterráneo está catalogado como Vulnerable dentro de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN en el Mediterráneo, aunque a nivel mundial su estado de conservación es de preocupación menor

(Raga & Pantoja, 2004). Además, estimaciones realizadas por la Directiva de Hábitats 2007-2012 sobre la abundancia de individuos de *Tursiops truncatus* en la región marina mediterránea (entre 10000-50000) y comparaciones con estimas abundancia en la Región de Murcia, el BOE establece que es una especie relevante en esta área (BOE-A-2016-7738\_(003), 2016).

Ésta especie se está presente en el área a lo largo de todo el año y se observa frecuentemente en zonas de menor profundidad, no superando generalmente los 1000 metros, y frecuentando la plataforma continental en los extremos oriental y occidental, donde la especie cuenta con densidades medias altas (BOE-A-2016-7738\_(003), 2016).

Se han detectado una serie de presiones y amenazas para el delfín mular presentes en la zona debido a diversos factores antropogénicos. Los principales podrían ser: competencia directa con el sector pesquero por ser su fuerte de alimento peces de alto valor comercial, tráfico marítimo e impacto en la alteración con jaulas de acuicultura. La falta de disponibilidad natural de alimento provoca que esta especie aproveche nuevos recursos como descartes o peces enmallados dando lugar al aumento de interacciones y aumentando las probabilidades de captura accidental. Además, se aprovechan de las jaulas de acuicultura puesto que se aprovechan para obtener alimento, por lo que las piscifactorías generan cambios en las pautas de comportamiento de los individuos estudiados. Respecto al tráfico marítimo se considera potencialmente dañinos para los delfines mulares, aunque las colisiones con las embarcaciones son raras, ocurren y pueden causar lesiones. La contaminación acústica puede causar cambios en el desarrollo normal de los procesos de ecolocalización, dando lugar también a cambios comportamentales o abandonos de espacios primeramente importantes para ellos.

En el área de estudio, las especies más importantes son las siguiente. En primer lugar, la especie más abundante de cetáceo es el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*, Meyen, 1833), y se conoce que también es la especie más común del Mediterráneo, observándose durante todo el año. Aunque no con tanta abundancia como el anterior, también es posible detectar individuos de delfín común, (*Delphinus delphis*, Linnaeus, 1758), calderón común (*Globicephala melas* Trail, 1809), el calderón gris (*Grampus griseus* G.Cuvier, 1812), rorcual común (*Balaenoptera physalus* Linnaeus, 1758), zifio de Cuvier (*Ziphius cavirostris* Cuvier, 1823), y cachalotes (*Physeter macrocephalus*, Linnaeu, 1758) (BOE-A-2016-7738\_(003), 2016)

Con respecto al delfín común, supone esta área como límite de distribución, debido a la sobreexplotación por parte de las pesquerías de sus principales presas lo que ha provocado la desaparición mayoritaria de las dos cuencas mediterráneas. El calderón común está presente en

éste área durante todo el año. Su presencia está ligada a aguas profundas fundamentalmente en la zona de ruptura del talud. Su dieta parece englobar cefalópodos principalmente, y además especies de peces de carácter costero debido a que las grandes profundidades se encuentran muy cerca de la costa. Finalmente, el calderón gris se observa durante todo el año con relativa frecuencia, parece mostrar cierta fidelidad a aquellas zonas adecuadas a su alimentación. Al igual que el calderón común, es frecuente encontrarlo en la ruptura del talud, generalmente en grupos de entre 2 a 30 individuos. La probabilidad de avistamiento de esta especie es mayor durante los meses fríos, mientras que disminuye conforme llega el verano, lo que supone que su distribución varíe en función de la temperatura.

También se ha detectado en 2018 la presencia de ballena jorobada o yubarta (*Megaptera novaeangliae*). El estado de conservación de las diversas especies de cetáceos mencionadas en este apartado se recoge en la Tabla 1.

Familia	Especie	Ley 42/2007 <sup>1</sup>	Directiva Hábitats <sup>2</sup>	CNEA <sup>3</sup> (Mediterráneo)
Delphinidae	<i>Tursiops truncatus</i>	Anexo II	Anexo II	Vulnerable
	<i>Delphinus delphis</i>	Anexo V	Anexo IV	Vulnerable
	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Anexo V	Anexo IV	
	<i>Globicephala melas</i>	Anexo V	Anexo IV	Vulnerable
	<i>Grampus griseus</i>	Anexo V	Anexo IV	
Ziphiidae	<i>Ziphius cavirostris</i>	Anexo V	Anexo IV	
Balaenopteridae	<i>Balaenoptera physalus</i>	Anexo V	Anexo IV	Vulnerable
	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Anexo V	Anexo IV	Vulnerable

Physeteridae	<i>Physeter macrocephalus</i>	Anexo V	Anexo IV	Vulnerable
--------------	-------------------------------	---------	----------	------------

Tabla 1. Datos sobre legislación de las diferentes especies de cetáceos presentes en el ZEC Valles submarinos del escarpe de Mazarrón.

<sup>1</sup>Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. BOE de 14 de diciembre de 2007.

<sup>2</sup>Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (DO L 206 de 22.7.1992, pp. 7-50)

<sup>3</sup>Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es el estudio de las poblaciones de cetáceos en la ZEC Valles submarinos y escarpes de Mazarrón. Los objetivos específicos son:

Objetivo 1. Estudio de la abundancia y distribución de diferentes especies de cetáceos presentes en la zona, con especial hincapié en el delfín mular.

Objetivo 2. Uso de frecuentación de hábitats mediante el estudio de variables oceanográficas que influyen en la distribución, centrándonos en el delfín mular por su importancia y en el delfín listado, al ser la especie más abundante.

Objetivo 3. Valorar posibles medidas de gestión para la conservación de los cetáceos en la zona.

## 3. METODOLOGÍA

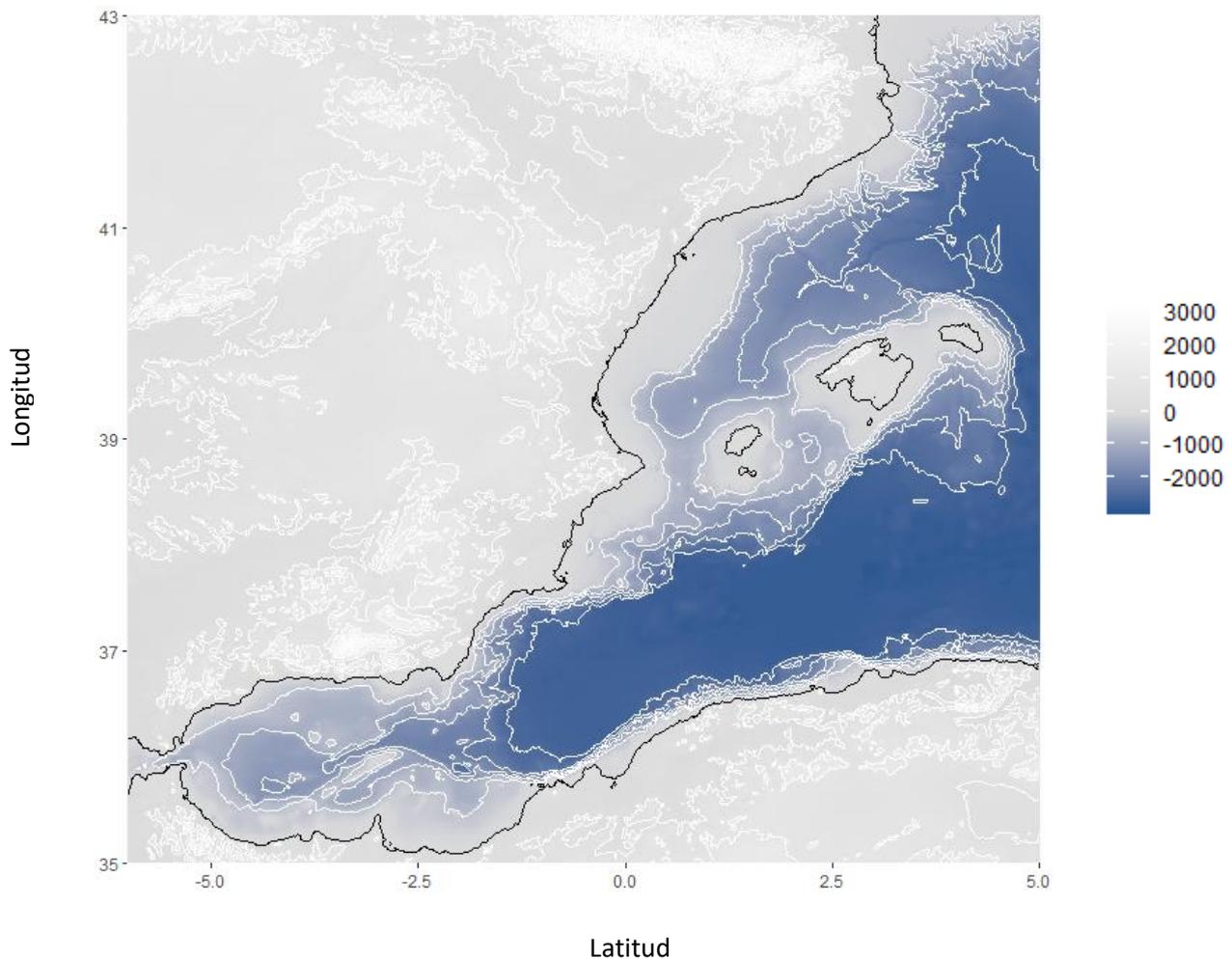
### 3.1. Área de estudio

Este estudio se realizó en la Zona de Especial Conservación denominada Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón, situada frente a la costa murciana (Golfo de Vera) y abarca una extensión de 154.081 hectáreas de superficie marina (Figura 1).

Esta zona se caracteriza por presentar unas características topográficas y oceanográficas complejas. Por un lado, presenta un talud continental situado muy próximo a la costa y con una

estructura peculiar, diferenciándose dos patrones: el lado más próximo al oeste con pendiente reducida y de mayor amplitud (11 km) y al otro lado de pendiente más abrupta y estrecha (2.5 km) (Gimenez-Casalduero & Gomariz Castillo, 2012). La profundidad del Golfo de Vera varía desde 20-25 m en la zona próxima al litoral hasta 2500 metros en su sector más meridional (Raga & Pantoja, 2004), coincidiendo el borde de la plataforma con una profundidad de 200-300 metros (

Figura 2) (Gimenez-Casalduero & Gomariz Castillo, 2012).



*Figura 2- Batimetría característica del Mar Alborán y el Golfo de Vera, parte Sur del mar Mediterráneo occidental.*

Esta formación batimétrica le proporciona al Golfo de Vera la ventaja de ser un hábitat de gran importancia ecológica puesto que se caracteriza por ser una zona de afloramiento de aguas profundas que favorece la mezcla de masas de agua de alto contenido en oxígeno y nutrientes, razón por la cual es habitual la presencia de cetáceos.

Por otro lado, los fenómenos oceanográficos están influidos por la confluencia de la corriente Atlántica del mar Alborán y la corriente Norte, que aporta aguas modificadas (Gimenez-Casalduero & Gomariz Castillo, 2012). El flujo Atlántico bordea la costa del norte del mar Alborán desviándose hacia el sur y creando un giro anticiclónico en la cuenca occidental de este mar, este se desvía hacia el Este creando remolinos y meandros pequeños que potenciados con las condiciones meteorológicas y atmosféricas originan procesos de convergencia y divergencia de las masas de agua creando zonas de importante productividad. En esta zona se produce un flujo ciclónico inducido por la fuerza de Coriolis de aguas menos densas y salinas procedentes del Atlántico, al mezclarse con el agua cálida, densa y salina del mar Mediterráneo influenciada además por el Mar Menor (Cañadas, Sagarminaga, De Stephanis, Urquiola, & Hammond, 2005). Los procesos hidrodinámicos de afloramiento y productividad son causados por remolinos anticiclónicos originados en la cuenca Argelina, que tiene una distribución variable a lo largo del año. Los afloramientos son mecanismos de gran importancia al llevar a la superficie masas de agua profunda donde se concentran en su mayor parte los nutrientes, fertilizando de esta forma la capa eutrófica.

Los afloramientos pueden ser provocados por los diversos factores, como circunvalaciones de tipo vertical, regímenes de circulación ciclónica o la ocurrencia de determinados tipos de vientos. Estos afloramientos pueden ser más o menos permanentes o de carácter puramente temporal (Cañadas et al., 2005), convirtiendo a la región en un punto caliente "hot spot" (Gimenez-Casalduero & Gomariz Castillo, 2012).

Estas características ecológicas influyen también sobre aspectos socioeconómicos en el área de estudio. La Zona de Especial Conservación se sitúa muy próxima a la región de Murcia, frente a las que se extienden cinco municipios costeros considerados dependientes de la pesca. Aunque no existe ninguna instalación portuaria ubicada dentro del área ZEC, existen numerosos puertos presentes en las costas inmediatamente próximas a los límites del Valle de Mazarrón, los cuales tienen diversos intereses tanto de carácter pesquero como deportivo. Entre ellos se encuentra uno de los puertos más importantes a nivel nacional: el puerto de Cartagena, un Puerto de Interés General del Estado (PIGE) de primer orden. Presenta un volumen de tráfico de 15% sobre el total nacional.

El puerto de Cartagena es motor de crecimiento y riqueza para la economía de la comarca, por su carácter diversificado y su crecimiento sostenido a lo largo del tiempo. En el ámbito portuario se incluyen el tráfico de mercancías y pasajeros, los astilleros, la base militar, instalaciones

náuticas, de hostelería, así como otras infraestructuras educativas y culturales. A demás presta servicio a dos refinerías (Escombreras y Puertollano). Se encuentra dividido en dos espacios diferenciados y separados geográficamente.

La dársena de Cartagena (1,36 km<sup>2</sup>) se encuentra situada en una bahía natural que le ofrece protección, donde se distinguen tres grandes zonas: muelle de mercancías, muelle de cruceros y muelle de Arsenal Militar. Otra dársena de especial importancia es la de Escombreras (2,07 km<sup>2</sup>) está especializada en el tráfico de graneles líquidos y sólidos y en actividades de almacenamiento.

Los puertos de pesca más próximos al espacio marino protegido y que aún explotan caladeros situados dentro del mismo o en sus proximidades, son los de Águilas, Mazarrón y Cartagena. La zona puede llegar a ser utilizada de forma alternativa por embarcaciones basadas en otros puertos relativamente cercanos, como San Pedro del Pinatar o Garrucha (Almería).

También es importante destacar que la acuicultura es un sector emergente en la Región de Murcia, con elevadas producciones en dorada, lubina, corvina y atún rojo. Dentro del espacio marino protegido, entre los términos municipales de La Unión y Cartagena, se encuentra en el área de El Gorguel un polígono formado por 4 concesiones acuícolas. Frente al término municipal de Lorca se localiza la concesión de Atunes de Mazarrón, donde en la actualidad se encuentra proyectado otro polígono acuícola. Además, frente al término municipal de Águilas, se ubican próximas al área protegida las instalaciones de Culmarex, Culmamur, y un criadero o hatchery perteneciente a la empresa Alevines del Sureste (BOE-A-2016-7738\_(003), 2016).

### 3.2. Datos de abundancia y uso de hábitat

La obtención de los datos de cetáceos se realizó utilizando una metodología de censos basados en la realización de transectos lineales y estimas de distancia de los animales observados al transecto, uno de los métodos más empleados para el muestreo de cetáceos (véase por ejemplo (Panigada et al., 2017). Consistió en recorrer de una serie de rutas predeterminadas (transectos), escogidas de tal forma que la probabilidad de cobertura de cualquier punto del área de muestreo fuera similar. Se corrigió el error de que la probabilidad de detectar un individuo o grupo de individuos disminuye a medida que nos alejamos de la línea de transecto estimando tal probabilidad, así como la anchura efectiva del área muestreada y la probabilidad de detección en esta zona, de forma

que se pudiera estimar la densidad de la muestra. Si se cumplen los requisitos de los modelos, la densidad de la muestra se puede simplemente extrapolar a toda el área proporcionando así una estima de abundancia.

Los datos se analizan generalmente con el software Distance (Thomas et al. 2010) y R (R Core Team 2015) y el paquete 'Distance' (Miller, 2015). Una de las principales ventajas es que ofrecen estimas que pueden ser comparadas en proyectos de monitorización y seguimiento de poblaciones, como puede ser el caso de monitorización de impactos.

### 3.2.1. Diseño de los transectos de muestreo

El diseño de los transectos se realizó con el software Distance 7.2 (Thomas et al 2010). El diseño escogido fue el de muestreo aleatorio en zig-zag con igual espaciado. Este diseño impone un muestreo en un zigzag continuo que pasa por puntos que están espaciados de forma igual en puntos contrarios de los márgenes del área del muestreo. En el caso de áreas no rectangulares suele dar problemas para determinar una misma probabilidad de cobertura en toda el área, pero en este caso el área de muestreo es relativamente semejante a un rectángulo. La ventaja de este diseño es que minimiza el tiempo de desplazamiento entre transectos, por lo que es el más empleado para censos desde embarcaciones Figura 3.

Para comprobar el requisito de probabilidad de cobertura, se realizaron 1000 simulaciones de Bootstrap, generando transectos en cada una de ellas y evaluando la probabilidad de que cada punto de la malla de cobertura estuviese representado en el muestreo. Se observa en la Figura 4 que este diseño tiene una cobertura prácticamente igual en toda la superficie del área de estudio. Únicamente en los bordes del área más cercanos a costa la probabilidad de cobertura es menor, aunque esta menor cobertura en los bordes externos suele darse de forma habitual.



Figura 3- Transectos en zig-zag obtenidos con el programa "Distance" que optimizan el censo de cetáceos para cada una de las campañas desde embarcación. Recorrido total 180 km, a realizar en dos días.

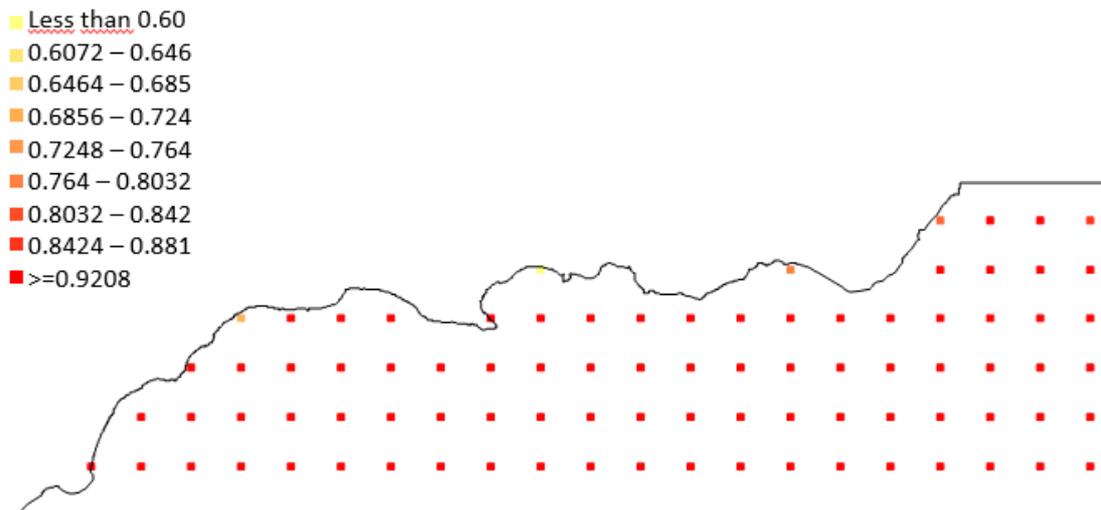


Figura 4 - Resultado de la simulación de probabilidad de cobertura en los puntos del área de muestreo. La malla de cobertura, para estimar dicha probabilidad se realizó con un espaciado de 4km (2 veces el ancho de banda inicialmente contemplado para los transectos).

Finalmente, se realizó un total de cuatro muestreos de una duración de dos días consecutivos cada uno de ellos, es decir, un total de ocho días de muestreo. Con el objetivo de cubrir diferentes ambientes estacionales los muestreos se realizaron en los meses de mayo, junio, octubre y diciembre. Los muestreos se realizaron desde la línea de costa hasta los 2.200 metros de profundidad máxima, con la intención de cubrir también diferentes hábitats de la plataforma continental basadas en la inclinación de la pendiente. Los datos de cada uno de los transectos y longitud se encuentran en Tabla 2 y Figura 5.

fecha	transecto	inicio		final		distancia (km)
		longitud	latitud	longitud	latitud	
31/05/2018 01/06/2018	1	37.42	-1.47	37.4	-1.46	2.15
	2	37.4	-1.46	37.46	-1.33	18.54
	3	37.46	-1.33	37.4	-1.22	18.6
	4	37.4	-1.22	37.53	-1.14	15.79
	5	37.53	-1.14	37.38	-1.001	22.19
	6	37.38	-1.001	37.54	-0.91	18.14
	7	37.54	-0.91	37.42	-0.8	17.08
	8	37.42	-0.8	37.58	-0.65	26.11
	9	37.58	-0.65	37.41	-0.55	22.65
27/06/2018 28/06/2018	1	37.42	-1.52	37.4	-1.49	2.79
	2	37.4	-1.49	37.53	-1.35	18.91
	3	37.53	-1.35	37.4	-1.22	18.14
	4	37.4	-1.22	37.53	-1.12	17.86
	5	37.58	-1.08	37.57	-0.96	22.95
	6	37.57	-0.96	37.47	-0.85	21.71
	7	37.47	-0.85	37.38	-0.7	24.06
	8	37.38	-0.7	37.63	-0.57	28.89
	9	37.63	-0.57	37.6	-0.56	2.83
03/10/2018 04/10/2018	1	-1.47	37.44	-1.43	37.4	5.99
	2	-1.43	37.4	-1.27	37.54	20.59
	3	-1.27	37.54	-1.57	37.41	18.29
	4	-1.57	37.41	-1.05	37.57	21.3
	5	-1	37.57	-0.89	37.39	21.5
	6	-0.89	37.39	-0.74	37.56	24.32
	7	-0.74	37.56	-0.64	37.4	20.62
	8	-0.64	37.4	-0.58	37.54	16.61
17/12/2018 18/12/2018	1	-1.52	37.4	-1.5	37.41	2.69
	2	-1.5	37.41	-1.36	37.52	18.01
	3	-1.36	37.52	-1.23	37.4	17
	4	-1.23	37.4	-1.08	37.58	17.21
	5	-1.08	37.58	-0.98	37.39	22.39
	6	-0.98	37.39	-0.86	37.56	21.33
	7	-0.86	37.56	-0.72	37.39	22.81
	8	-0.72	37.39	-0.58	37.62	22.86
	9	-0.58	37.62	-0.59	37.57	6.19

Tabla 2: Detalles del muestreo. Fecha, número de transectos, coordenadas de inicio y fin de cada uno de los transectos y distancia de cada transecto expresada en kilómetros de cada una de las campañas realizadas durante el estudio.

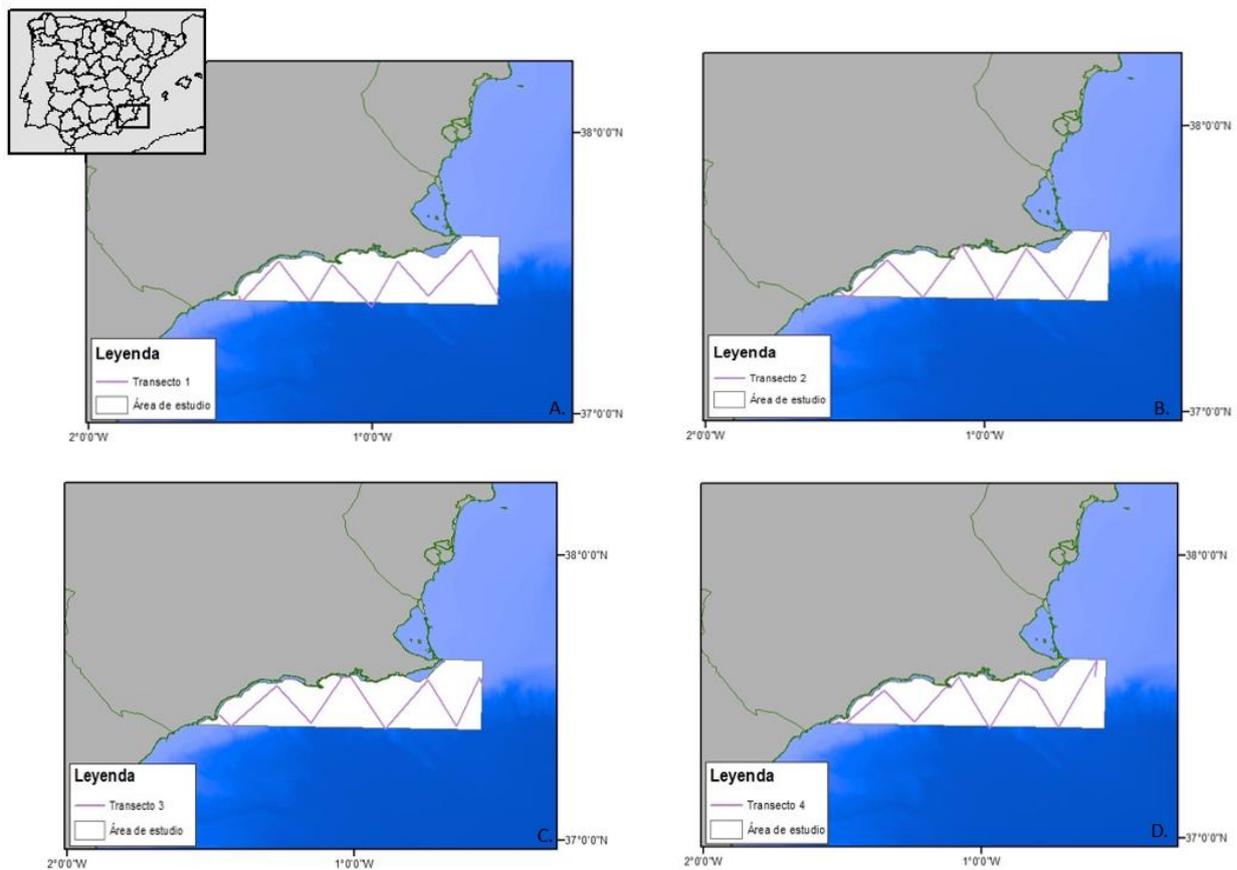


Figura 5- Transectos realizados en el muestreo. A: transecto 1 realizado en mayo. B: transecto 2 realizado en junio. C: transecto 3 realizado en octubre. D: transecto 4 realizado en diciembre.

### 3.2.2. Toma de datos de avistamientos

El muestreo se realizó teniendo en cuenta el Real Decreto 1727/2007 de 21 de diciembre de 2007 que establece medidas de protección de los cetáceos, y establece un “Espacio Móvil de Protección de Cetáceos”, con un radio y altura de 500 metros, en el cual está prohibido la realización de actividades que puedan causar molestias o inquietud a los cetáceos conforme a lo dispuesto en el artículo 52.3 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre.

Los datos se recogieron en el KARYAM (Figura 6) un motovelero turco construido en 1988 de 20 metros de eslora y 5 de manga, con motor volvo penta de 306 cv, 1500 l. de gasoil y 2000l. de agua dulce. El muestreo se realizó a altura de 6 metros desde la superficie del agua aproximadamente y una aproximadamente de 7 nudos.



Figura 6 - barco de navegación Karyam utilizado durante los avistamientos. Fuente: Cetáceos y Navegación

Los transectos fueron realizados por equipo de tres personas, con dos equipos de dos observadores y una persona para anotar las observaciones. Se establecieron turnos de 45 minutos para los observadores. Una vez detectado el animal o grupo de animales, se tomaron los datos inmediatamente: hora, posición, nombre del observador que realiza el avistamiento, tipo de esfuerzo, ángulo del grupo detectado con respecto a la línea de transecto, distancia estimada, especie, comportamiento, estado del mar y Beaufort. El ángulo con respecto a la proa y la distancia desde el observador al avistamiento se midió con ayuda de prismáticos marinos empleándose un Steiner 7 x 50, que dispone de brújula (para medir ángulos) y retícula de radianes para medir, y un GPS para la localización geográfica.

Con respecto a la medición de la distancia, al no haber cambios en la metodología para la recopilación de los datos a lo largo del estudio, no debería afectar a la tendencia de estimación de abundancia. Finalmente se recogió un total de 33 datos de seis especies de cetáceos.

### 3.2.3. Datos de uso de hábitat

Para conseguir el objetivo de estimación del uso de hábitats frecuentadas, los datos recogidos durante los transectos en el Golfo de Vera no fueron suficientes, por lo que fue necesario utilizar datos de cetáceos registrados por todo el Mediterráneo español obtenidos de la base de datos OBIS <http://www.iobis.org/>. La descarga de los datos se utilizó mediante el software R (R development Core Team 2008), el editor de R, RStudio (RStudio Team 2015), y el paquete "robis" (Bosch, 2019) Se descargó un total de 6628 datos recogidos entre los años 1913

y 2013 por diferentes organizaciones como ALNILAM, CIRCE, SMRU, Universidad de Valencia y que están disponibles en OBIS. También utilizamos los datos disponibles en el Banco de datos de Biodiversidad (BDB) de la Generalitat Valenciana (<http://www.bdb.gva.es/va/>). Se realizó un filtrado de datos escogiéndose aquellos a partir del 2000 a la actualidad, se utilizaron solamente aquellos datos obtenidos de embarcaciones y por avistamiento, y se eliminaron duplicados. Finalmente utilizamos un total de 410 datos.

#### 3.2.4. Datos ambientales

Se utilizaron variables ecogeográficas ambientales consideradas como las más importantes para estudiar la presencia y ausencia de cetáceos (Arcangeli, Campana, Marini, & MacLeod, 2016; Bearzi et al., 2016; Forney, 2000; Panigada et al., 2017). Las variables utilizadas en el modelo fueron de tipo (a) espacial: latitud y longitud, (b) fijas: profundidad y distancia a la línea de costa, (c) dinámicas: clorofila-a, temperatura, estación del año y salinidad. Los datos satelitales de clorofila-a, temperatura y salinidad fueron obtenidos de los productos ofrecidos por el servicio COPERNICUS (<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/register-now/>) como medias diarias. Los datos de clorofila de los años 2000-2016 se descargaron con una resolución de 0.06x0.06 grados. Los datos de temperatura y salinidad con una resolución de 0.063x0.063 grados entre los años 2000-2016. La resolución utilizada entre los años 2016 hasta la actualidad para las tres variables fue de 0.042x0.042 grados. Los datos de batimetría se descargaron de GEBCO (<https://www.gebco.net/>) de resolución de 30 arc-sec. Para conocer la distancia de los cetáceos a la línea de costa se utilizó el programa ARCMAP usando la herramienta "Spatial Analyst tools" y "Euclidean Distance".

Para cada localización de cada especie disponible asociamos las variables ambientales correspondientes empleando el software R, y el paquete "ncdf4" (Pierce & Pierce, 2017), "rgdal" (Bivand et al., 2018), "raster" (Hijmans & Elith, 2019) y "rastervis" (Lamigueiro & Hijmans, 2018)

### 3.3. Análisis de los datos

#### 3.3.1. Estima de abundancia

Una vez realizados los muestreos y recogidos los datos de avistamiento válidos, se realizaron análisis estadísticos de abundancia y densidad estimados en métodos de muestreo a distancia, usando el software DISTANCE.

En nuestro diseño se utilizó la función de Muestreo de Distancia Convencional (CDS). El Muestreo de Distancia Convencional utiliza la distancia perpendicular desde el animal avistado hasta la línea de transecto, y asumiendo que la probabilidad de detección varía con la distancia, realiza estimas de probabilidad de detección para corregir dicho error.

El recuento de observaciones y número de individuos de cada grupo observado se utilizó para estimar el tamaño medio de los grupos y poder así estimar la densidad. Para ello se utilizó un análisis de regresión logarítmica del tamaño de grupo recogido frente a la probabilidad de detección, si la regresión fue significativa con un nivel-alfa de 0.15 (Panigada et al., 2017). Si la regresión no era significativa se utilizó la media de grupos observados.

Para detectar la función se utilizaron distancias perpendiculares exactas a la línea del transecto, y se truncaron según las recomendaciones de Buckland *et al.*(2001) (Buckland et al., 2001; Forcada, Gazo, Aguilar, Gonzalvo, & Fernández-Contreras, 2004). A continuación se realizaron varios modelos utilizando diferentes funciones, y se seleccionó teniendo en cuenta el valor mínimo del Criterio de información de Akaike, AIC (Akaike, 1974) y el coeficiente de variación (Cañadas & Hammond, 2008; Panigada et al., 2017).

Por defecto, una de las suposiciones que asume el programa DISTANCE al utilizar la función CDS (además de MRDS) es que la probabilidad de detección de individuos a lo largo de la línea de transecto del muestreo es de  $g(0)$  es igual a 1 (de Segura, Crespo, Pedraza, Hammond, & Raga, 2006; Laake & Borchers, 2004).  $G(0)=1$  quiere decir que la presencia de un individuo en el transecto es detectado durante el muestreo en todos los casos. Sin embargo, un cetáceo pasa una buena parte del tiempo bajo el agua a lo largo de su vida, dando lugar a la posibilidad de que la presencia de un individuo de cetáceo en el muestreo no sea detectada por el observador. Esta probabilidad puede ocurrir un error en la estima de la abundancia, densidad y en la probabilidad de detección de una especie (Panigada et al., 2017). La estimación del  $g(0)$  para cada especie se realizó utilizando la siguiente Ecuación 1 (Forcada et al., 2004):

Ecuación 1:

$$\hat{a}(S, x) = \frac{E(sf)}{E(sf) + E(d)} + \frac{\hat{w}(x) - \hat{w}(x)^2 E(d)^{-1} 0.5}{E(s) + E(d)}$$

Aunque no ha sido posible aún calcular el  $g(0)$  para todas las especies de cetáceos presentes en el mediterráneo, bien por la falta de datos o por la falta de medios, sí ha sido posible calcularlo para las especies de delfínidos.

Por tanto decidimos tener en cuenta esto usando para el cálculo de las estimas de abundancia y densidad el valor de  $g(0)$  de estudios realizados anteriormente y aplicándolo a la función de detección de muestreo por distancias del presente estudio. La probabilidad de detección del delfín listado fue de  $g(0)=0.676$ , del delfín mular de  $g(0)=0.778$  según estudios realizados por Gomez *et al.* 2006 (de Segura et al., 2006). Para el delfín común se estimó que  $g(0)=0.8$  (Cañadas, Desportes, & Borchers, 2004). Sin embargo, para el resto de especies no disponemos del valor  $g(0)$  por lo que en el presente estudio se consideró igual a 1 (de Segura et al., 2006).

Teniendo en cuenta esta corrección, también se seleccionó el modelo con un AIC más bajo (Cañadas & Hammond, 2008; Panigada et al., 2017) y posteriormente se analizó la abundancia global y por especie, así como la densidad y la probabilidad de detección por especie.

### 3.3.2. Análisis de uso de hábitat

Los datos de presencia obtenidos de este estudio, así como de OBIS y el BDB se emplearon para realizar modelos de uso de hábitat. Sólo había un número suficiente de datos de presencia para el delfín mular ( $n=90$ ) y para el delfín listado ( $n=96$ ), siendo el delfín mular la única especie de cetáceo incluida en el anexo II de la Directiva Hábitats y el delfín listado la especie teóricamente más abundante en la zona. Los datos de ausencia se seleccionaron aleatoriamente del resto de localizaciones de las otras especies, de forma que tuviéramos el mismo número de datos de presencia que de ausencia.

Para ello, se emplearon Modelos Aditivos Generalizados (GAM) ya que no hace suposiciones previas sobre las relaciones (por ejemplo, que existe una relación lineal) y la forma de la relación entre las características del hábitat y la distribución de especies y es más flexible que otros modelos (Arcangeli et al., 2016). Los modelos se realizaron en R utilizando los paquetes "mgcv" (Wood & Wood, 2015) y "gamm4" (Wood, Scheipl, & Wood, 2017). Puesto que se está trabajando con presencia/ausencia, es decir, que existen dos niveles de respuesta (1=presencia/0=ausencia), se utilizó el modelo ajustado usando una distribución binomial y la función de distribución "logit" que permite convertir la probabilidad de la presencia de delfines como logaritmo natural de probabilidad y por tanto modelar esta probabilidad como una función a escala lineal (Bonizzoni et al., 2014), de la misma forma que se ha trabajado en estudios anteriores.

Para seleccionar qué variables incluíamos en los modelos de uso de hábitat, primero realizamos un análisis de multicolinealidad en base al factor de inflación de la varianza (VIF). La multicolinealidad se estudió para todas las variables y se fueron eliminando aquellas con un

valor superior a 2 puesto que implican algún tipo de correlación entre ellas. También se realizó un análisis de correlación entre las variables ambientales para conocer el grado de relación que existían entre ellas y tener una idea global sobre la influencia de unas sobre otras. También se realizó un estudio general de la influencia de las variables ambientales sobre la distribución de los cetáceos.

Para la selección del mejor modelo, seguimos la metodología propuesta por Zuur et al 2009 (Zuur, Ieno, Walker, Saveliev, & Smith, 2009). Partimos de un modelo que incluyera todas las variables ambientales. A partir de este modelo se utilizó un procedimiento paso a paso hacia atrás para seleccionar los modelos que mejor se ajustaban a los datos, empleando el criterio de información de Akaike (AIC) para seleccionar en cada paso el modelo que mejor se ajustara a los datos. AIC busca un compromiso entre el ajuste del modelo y su complejidad. Se consideró que modelos con una diferencia en AIC menor a 2 puntos se ajustan igual de bien a los datos. En este caso se seleccionó el más parsimonioso entre ellos y que las variables predictoras empleadas fueran significativas.

A partir del modelo seleccionado para cada caso realizamos una predicción de probabilidad de presencia en el medio centrándonos en aguas de la zona económica exclusiva del estado español. El área de estudio, que abarcó el Mar Mediterráneo español, se dividió en 126156 celdas y con una resolución de 30 arc-sec (determinada por la escala de los datos de la capa de batimetría). A cada celda se asoció un valor de variables espaciales y ambientales. Por otro lado, los datos de avistamientos obtenidos con sus correspondientes variables espaciales (longitud, latitud y fecha) también se asociaron a las variables ambientales correspondientes.

También se realizó un modelo para predecir la probabilidad de detección de una especie en un área determinada. Dependiendo del tipo de datos disponibles y el propósito del modelo, los datos de cetáceos pueden resumirse por presencia/ausencia, abundancia o abundancia relativa (es decir, la cantidad de cetáceos o grupos de cetáceos por unidad de búsqueda), densidad o variables de transecto lineal, como la tasa de encuentros o el tamaño medio del grupo (Redfern et al., 2006). De acuerdo con los datos disponibles en el presente trabajo, se realizaron modelos teniendo en cuenta la presencia/ausencia de especies.

La interpretación de los modelos estadísticos es más fácil si todas las variables predictoras utilizadas no están correlacionadas (Redfern et al., 2006). Por eso, antes de crear un modelo con todas las variables, se realizó un estudio de correlación entre variables y se descartaron aquellas correlacionadas para evitar la multicolinealidad. Con presencia de multicolinealidad es posible

crear modelos que proporcionen un buen ajuste a los datos ya que no afecta a la predicción, sin embargo afecta a la interpretación de coeficientes del modelo (Redfern et al., 2006). También se realizó un análisis de cada una de las variables asociadas a las diferentes especies de cetáceos y un estudio de la ocurrencia de especies teniendo en cuenta las variables. Para ello se utilizó el paquete "ggplot2" en el programa RStudio.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Transectos

Durante el muestreo se recogieron 33 observaciones y 324 ejemplares (Tabla 3). Entre ellos se encontraron delfínidos: con un total de 15 avistamientos de delfín listado en grupos de entre 1-10 individuos, siendo la media de 5,8 individuos. De delfín listado, se avistaron un total de 6 grupos de entre 1-10 individuos, y una media de 4,8 individuos. Un total de tres grupos de delfín común, en grupos de entre 20-47 individuos siendo la media 35,7 individuos. Y dos grupos de delfínidos que no se identificaron, cada uno compuesto por 5 individuos. También se encontraron especies de calderones: de la especie calderón común con un total de cuatro grupos de entre 2-9 individuos y de media 6.5 individuos, y calderón gris con un total de tres grupos entre 1-3 individuos, y una media 2. Finalmente se encontró tan solo una especie de rorcual común. La distribución de las observaciones en relación con la distancia de detección se encuentra en la Figura 7.

Muestreo	Fecha	Sc	Tt	Dd	D. sp	Gm	Gg	Bp
1	Primavera	11	4	-	-	18	-	-
2	Verano	-	1	-	-	-	-	4
3	Otoño	57	24	-	5	8	5	-
4	Otoño	19	-	107	5	-	1	-
Total		87	29	107	10	26	6	4

Tabla 3- Resumen de avistamientos ocurridos durante las campañas de muestreo según la campaña, la estación del año y separado por especies.

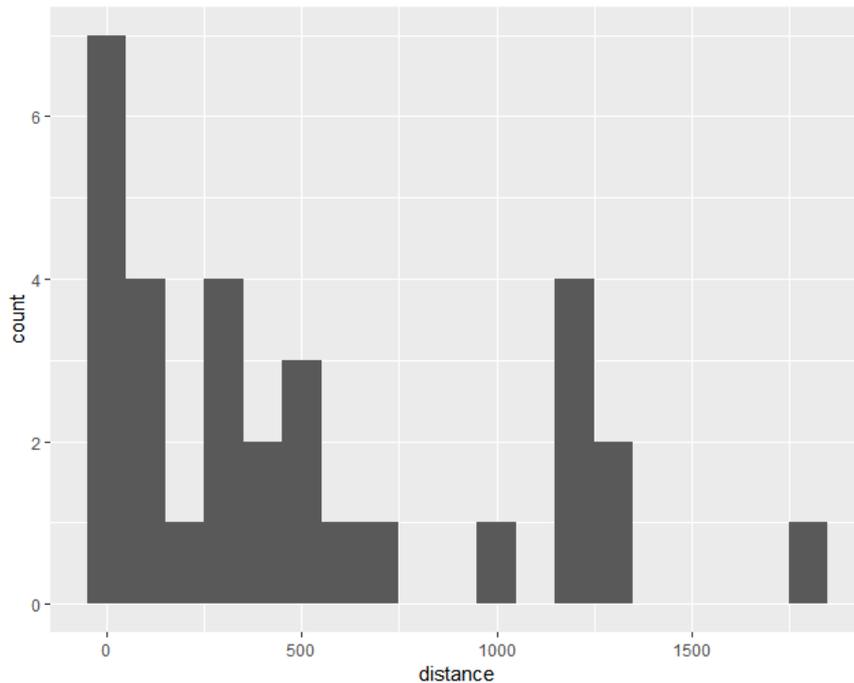


Figura 7- Distribución de las observaciones en relación con la distancia de detección

## 4.2. Estimación de abundancia y distribución.

### 4.2.1. Elección del mejor modelo.

Para ajustar los datos de distancias observadas usamos tres funciones de detección, la seminormal, la uniforme y la "Hazard-rate". Los resultados de estos modelos están en la Tabla 5. Los modelos con menor AIC tenían una función de detección de tipo Hazard-rate, pero el modelo no se ajustaba a los datos (test de Cramer-von Mises significativo). El mejor modelo que se ajustaba a los datos y con menor AIC fue el modelo con una función de detección de tipo seminormal y serie de expansión de tipo coseno (Tabla 4, Figura 8). La diferencia entre el modelo ajustado y los datos no fue significativa (test de Cramen-vonMises, Tabla 4, Figura 9). La probabilidad de detección para este modelo fue de  $p = 0.37$ , error estándar ( $e.s = 0.07$ ; Tabla 5).

A partir de este modelo también probamos modelos donde la probabilidad de detección fuese función del estado de la mar (Beaufort) o de la campaña (pensando que con la experiencia podía haberse cambiado esta función, pero los resultados no apoyan estas hipótesis (Tabla 4).

key function	Fórmula	C-vM p-Value	Probabilidad	se	Delta AIC
Hazard-rate	~1	0.007	0.031	0.013	0
Hazard-rate	~1	0.007	0.031	0.013	0
Half-normal (1)	~1	0.288	0.367	0.071	7.949
Uniform (2)	<NA>	0.036	0.558	0.052	11.897
Half-normal	~prof	0.051	0.527	0.063	11.9
Half-normal	~beaufort	0.117	0.556	0.115	12.278
Half-normal	~1	0.079	0.489	0.083	13.124
Uniform (3)	<NA>	0.032	0.567	0.079	14.059

(1) with cosine adjustment term of order 2

(2) with cosine adjustment term of order 1

(3) with simple polynomial adjustment terms of order 2,4

Tabla 4: Combinaciones de funciones y series de expansión realizadas con el programa DISTANCE para seleccionar el modelo con un valor AIC mínimo

La Figura 8 representa el ajuste de los datos al modelo seleccionado. Se aprecia que los datos se ajustan regular a la recta de distribución del modelo, probablemente se deba a la falta de datos y a la necesidad de un esfuerzo superior.

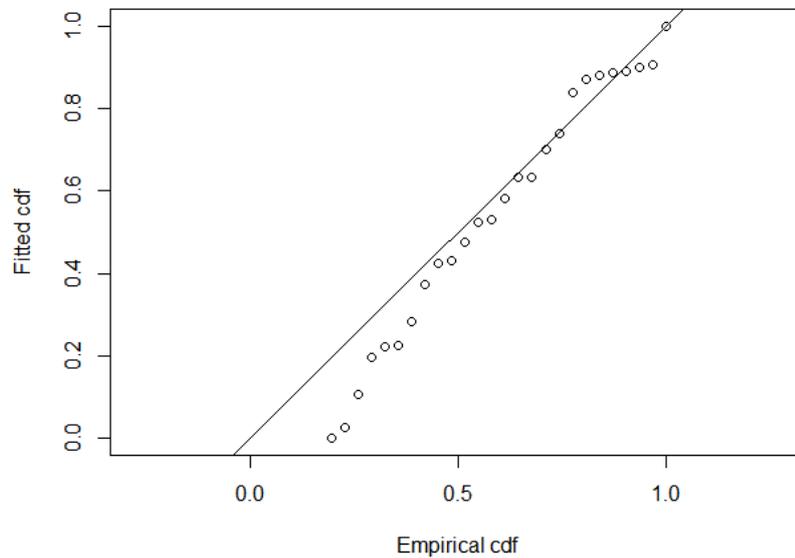


Figura 8 - Ajuste de los datos a la recta de la función de distribución.

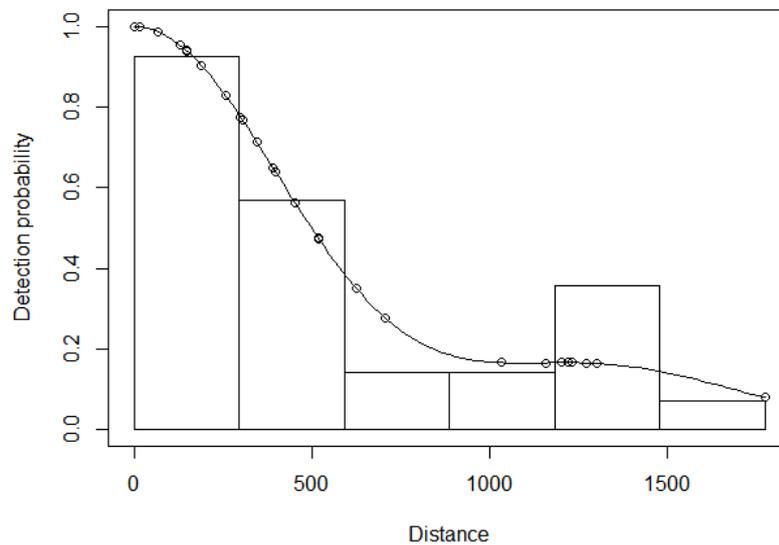


Figura 9- Modelo de probabilidad de detección ajustado a los datos (círculos), usando una función de tipo semi-normal y ajuste de tipo coseno de orden 2. El parámetro de la función de detección semi-normal obtenido fue  $6.67 \pm (se) 0.16$  y para el ajuste del coseno  $=0.48 \pm 0.30$ .

Para calcular la abundancia y la densidad de individuos se tuvo en cuenta la corrección  $g(0)$  explicada en el apartado 2.4.2. Se utilizó un valor de  $g(0) = 0.7513$ , calculado a partir de la media de  $g(0)$  asociado a las tres especies de delfínidos (delfín mular, delfín común y delfín listado) ya calculado por Gómez de Segura *et al.* (2006) y por Forcada *et al.* (2004) (de Segura *et al.*, 2006; Forcada *et al.*, 2004).

A nivel global (teniendo en cuenta todos los avistamientos), el modelo Half-normal con Cosine estimó una abundancia de 714 individuos (IC 95% = 346-1470; %CV=39.75) y una densidad de 0.1157 ind/km<sup>2</sup> (IC 95% = 0.006-0.022; %CV=39.75).

También se realizó un análisis por post-estratificación, es decir, separando especies:

*Delfín listado (Stenella coeruleoalba)*: Asumiendo que  $g(0) = 0.678$  (de Segura *et al.*, 2006), se estimó que la abundancia es de 383 (IC=164-890) y con una densidad de 0.0621 ind/km<sup>2</sup> (IC 95% = 0.026-0.144).

*Delfín mular (Tursiops truncatus)*: Se asumió que  $g(0) = 0.778$  (de Segura *et al.*, 2006). Los resultados estimaron que la abundancia de cetáceos en el área de muestreo era de unos 111 individuos en toda el área, con un intervalo de confianza del 95% entre 31 y 398 individuos. La densidad obtenida fue de 0.018 ind/km<sup>2</sup> (IC 95%=0.005-0.064).

*Delfín común (Delphinus delphis)*: Asumiendo un  $g(0)=0.8$  (de Segura et al., 2006), se estimó una abundancia de 65 individuos en el área (IC 95% =12-364) y una densidad de 0.0105 ind/km<sup>2</sup> (IC 95% =0.002-0.059).

*Calderón común (Globicephala melas)*: Hasta el momento no se han encontrado referencias de  $g(0)$  para calderones, por lo que no ha sido posible corregir ese error. Sin embargo, aunque la estimación de densidad y abundancia no sean reales del área (ya que estaríamos subestimando la población), en el presente estudio se ha utilizado  $g(0)=1$  para poder referenciar con estudios similares. El modelo realizado proporcionó una abundancia de 52 individuos en el área (IC95%=16-163) y una densidad de 0.0084 ind/km<sup>2</sup> (IC 95% =0.003-0.026).

*Calderón gris (Grampus griseus)*: Por la misma razón que para el calderón común, se utilizó un  $g(0)=1$  suponiendo el mismo error. Se estimó un total de 52 individuos (IC95%=16-164) y una densidad de 0.0084 ind/km<sup>2</sup> (IC95%=0.003-0.026).

*Rorcual común (Balaenoptera physalus)*: Los datos obtenidos durante la campaña no fueron suficientes para poder tratarlos y el estudio de esta especie se descartó.

En la Tabla 5 se resumen los valores proporcionados por los diferentes modelos realizados de abundancia, densidad, probabilidad de detección, tasa de encuentros, tamaño de cluster y  $G_0$  para cada una de las diferentes especies estudiadas.

	Diseño basado en la estimación					
	Global ( $G(0)=0.7513$ )	Tt ( $G(0)=0.778$ )	Sc ( $G(0)=0.678$ )	Dd ( $G(0)=0.8$ )	Gm ( $G(0)=1$ )	Gg ( $G(0)=1$ )
Abundancia	714 (IC=346-1470)	111 (IC=31-398)	383 (IC=164-890)	65 (IC=12-364)	52 (IC=16-163)	52 (IC=16-164)
Densidad	0.1157 (IC=0.006-0.022)	0.018 (IC=0.005-0.064)	0.0621 (IC=0.026-0.144)	0.0105 (IC=0.002-0.059)	0.0084 (IC=0.003-0.026)	0.0084 (IC=0.003-0.026)
Probabilidad de detección	12.7	8.2	20.6	3.8	10.5	10.3
Tasa de encuentros		82	54.6	91.7	76.9	77.2
Tamaño de cluster		9.9	24.9	4.6	12.7	12.5

Tabla 5- comparación de valores de abundancia, densidad, probabilidad de detección, tasa de encuentros, tamaño cluster y  $g_0$  teniendo en cuenta el error de tiempo de inmersión para cada una de las especies. Tt: Tursiops truncatus, Sc: Stenella coeruleoalba, Dd: Delphinus delphis, Gm: Globicela melas, Gg: Grampus griseus.

La Figura 10 y la Figura 11 se representa gráficamente la estimación de densidad y estimación de abundancia respectivamente, junto con el intervalo de confianza.

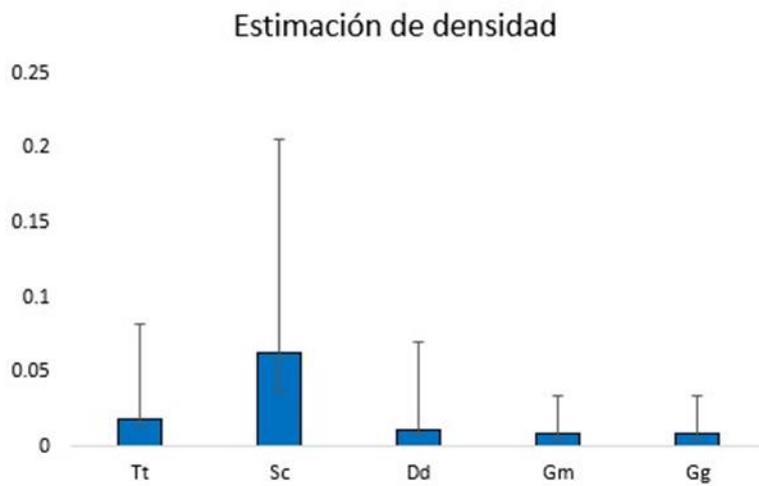


Figura 10- Estimación de la densidad en la zona ZEC ES6200048 para cada una de las especies avistadas. Tt: Tursiops truncatus, Sc: Stenella coeruleoalba, Dd: Delphinus delphis, Gm: Globicela melas, Gg: Grampus griseus.

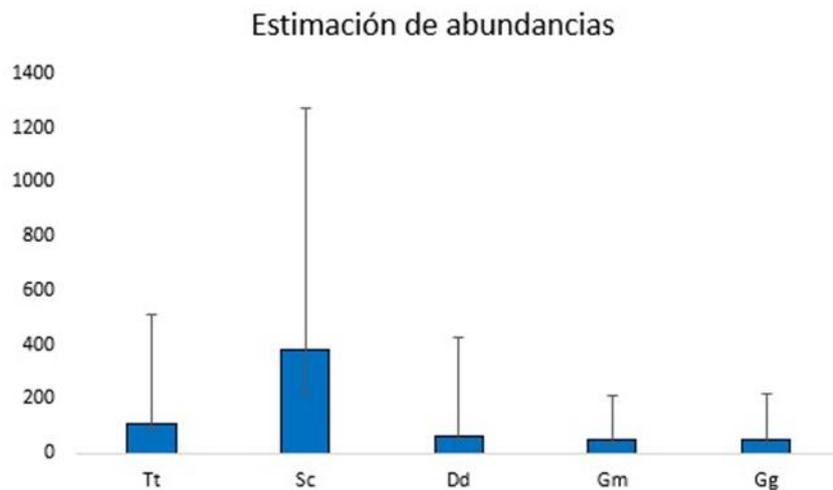


Figura 11- Estimación de abundancias en la zona ZEC ES6200048 de cada una de las especies avistadas. Tt: Tursiops truncatus, Sc: Stenella coeruleoalba, Dd: Delphinus delphis, Gm: Globicela melas, Gg: Grampus griseus.

Para tener una idea global a nivel espacial se representaron los avistamientos realizados durante el muestreo, se representaron gráficamente en la Figura 12.

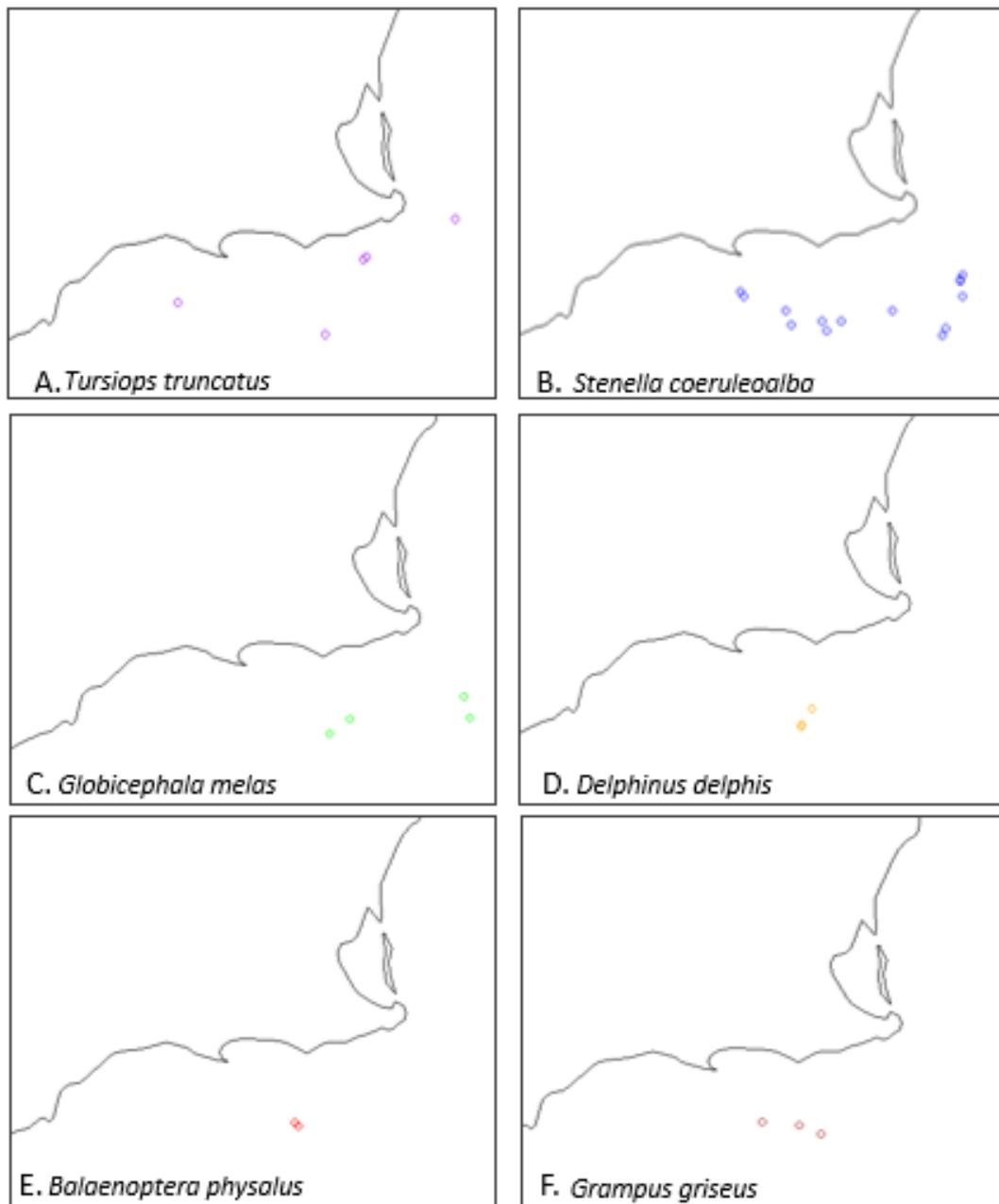


Figura 12-Avistamientos realizados durante el muestreo en el área de Valles Submarinos del Escarpe de Mazarrón.

A: *Tursiops truncatus*. B: *Stenella coeruleoalba*. C: *Globicephala melas*. D: *Delphinus delphis*. E: *Balaenoptera physalus*. F: *Grampus griseus*

### 4.3. Uso de hábitat y variables ambientales

Para obtener una idea global de la distribución de los cetáceos utilizados en nuestro trabajo, los representamos gráficamente mediante puntos. Se puede observar que la mayor parte de los cetáceos se encuentran distribuidos al azar con mayor cantidad de datos en la zona de Castellón y el Mallorca Figura 13.

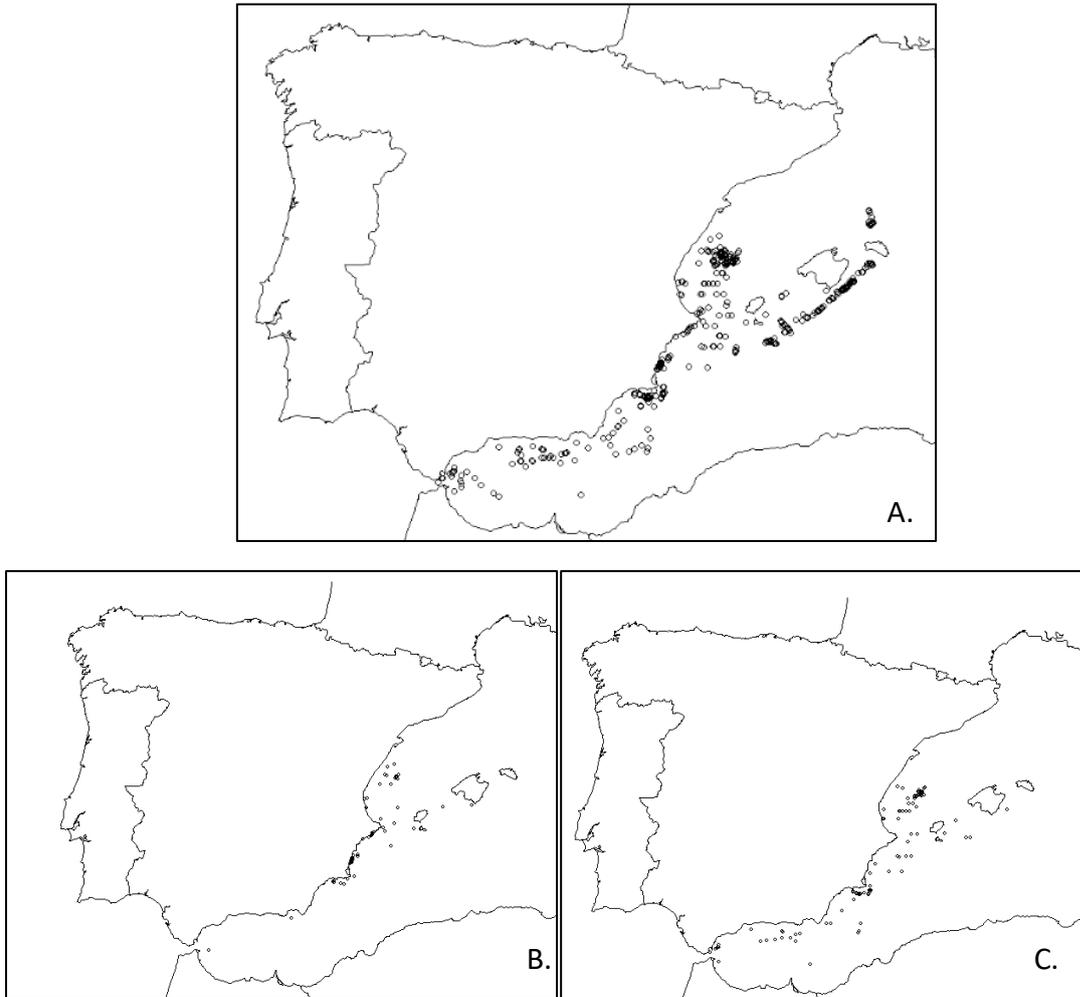


Figura 13- Representación gráfica de los avistamientos recogidos de la base de datos propia, BDB y OBIS-SEAMAP. A: Total de avistamientos. B: *Tursiops truncatus*. C: *Stenella coeruleoalba*

		Sc	Tt	Dd	Gm	Gg	Bp	Pm			Sc	Tt	Dd	Gm	Gg	Bp	Pm
2000	Primavera			2						Primavera							1
	Primavera			3						Verano	1						1
2001	Verano			3	1					Otoño	2						
	Invierno			1						Invierno	6				1		
2002	Otoño		1		4					2013	Primavera	12	1	3	5	1	
2003	Verano	2		2		1		13		Verano	4	1	4				
2004	Verano							19		Primavera		2					
	Otoño	14	1	12						Verano		4					
2005	Verano							24		Otoño		2					
	Invierno	4	1	2	1					Invierno		4					
2006	Verano							20		Primavera	4			1			
2007	Primavera			1						Verano		5					
	Verano							27		Otoño	1	9					
2008	Verano							6		Invierno		7					
	Primavera	5	1		1	3	5			2015	Primavera	6	7				24
2011	Verano	3					1			Verano		10					1
	Otoño	25	6			7				Otoño		3					
	Invierno	6	2							Invierno		5					1
										2017	Verano		3				

Tabla 6- Resumen de avistamientos recogidos de la base de datos propia, BDB y OBIS-SEAMAP

### Visión general entre especies

La Figura 14 representa la distribución de cada especie en función de las variables ambientales de profundidad (Figura 14.A), clorofila (Figura 14.B), distancia a la costa (Figura 14.C), salinidad (Figura 14.D) y temperatura (Figura 14.E).

Las diferencias más significativas que pueden observarse entre las especies es en la profundidad, donde se observa un claro efecto sobre la especie *Balaenoptera physalus* (Bp) y la especie *Tursiops truncatus* (Tt) por la elección de hábitats con poca profundidad, y junto con hábitats más próximos a la costa. Por otro lado, *Delphinus delphis* (Dd) y *Grampus griseus* (Gg) frecuentan áreas de menor salinidad que el resto de las especies, y en la mayoría de los casos tienen un amplio rango de temperaturas en el que frecuentan, a excepción de *Balaenoptera physalus* (Bp) que se distribuye por zonas de temperaturas más frías, *Globicephala melas* (Gm) se distribuye en temperaturas medias y *Physeter macrocephalus* (Pm) por temperaturas cálidas.

Sin embargo, para la variable de clorofila no se observa diferencias a simple vista.

Estudio de las poblaciones de cetáceos en Zona de Especial Conservación "Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón":  
aplicaciones para su gestión

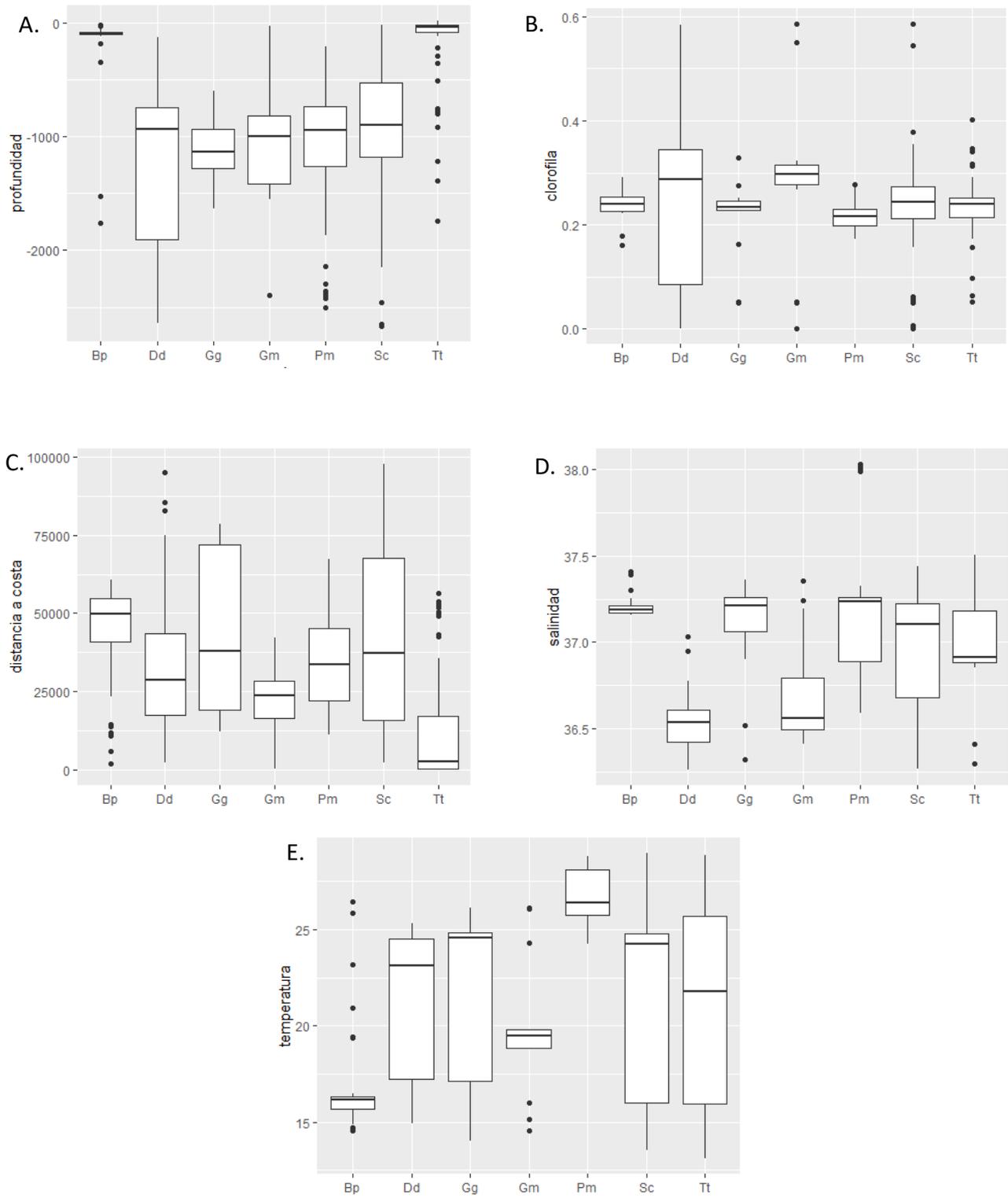


Figura 14- Visión general de la distribución de las especies en función de las variables ambientales

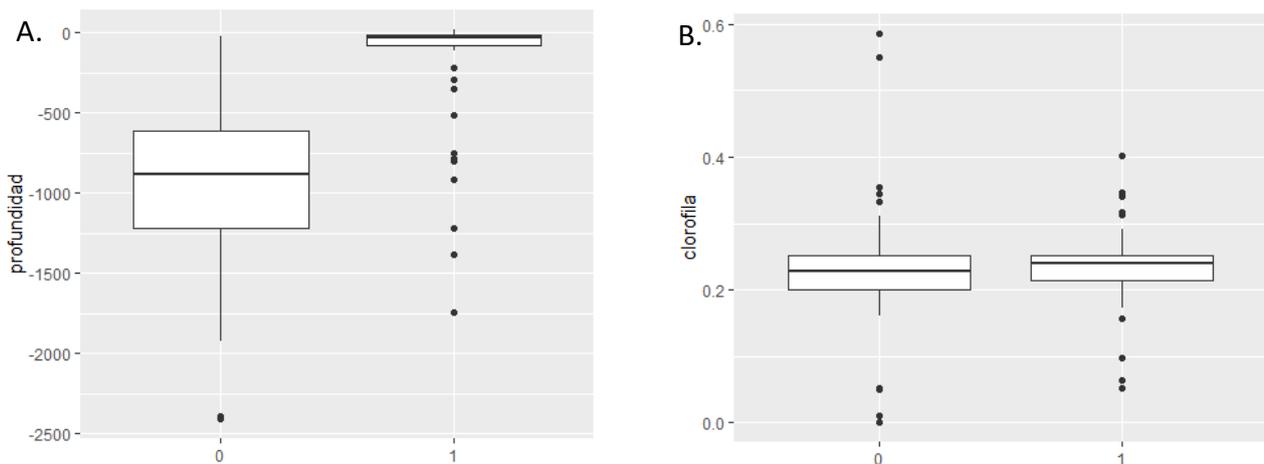
### 4.3.1. Elección del mejor modelo

#### *Tursiops truncatus*

La Figura 15 representa las condiciones ambientales en las que la especie *Tursiops truncatus* está presente (1) o no presente (0). Las variables ambientales son la profundidad (Figura 15.A), la clorofila (Figura 15.B), distancia a la costa (Figura 15.C), salinidad (Figura 15.D) y temperatura (Figura 15.E).

Se observa que el delfín mular frecuenta áreas de menor profundidad, siendo posible su observación también en áreas más profundas. Lo mismo ocurre con la proximidad a la costa, es frecuente encontrar esta especie en las áreas próximas a ella.

Sin embargo, a simple vista, parece no tener relación con las variables de clorofila, salinidad y temperatura, aunque es importante mencionar en relación a esta última variable que la especie se distribuye en un amplio rango de temperaturas (entre 16 °C y 26 °C).



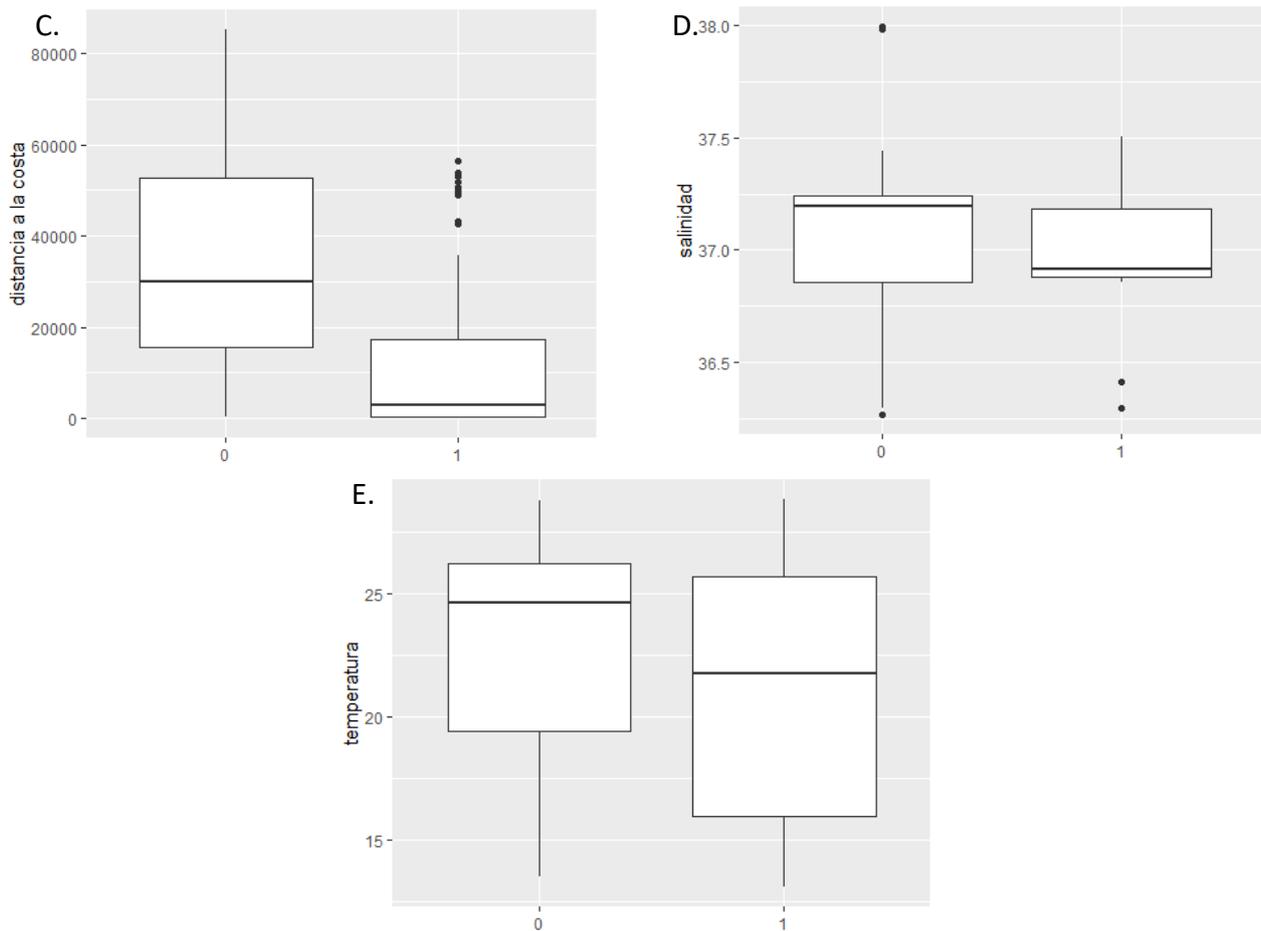


Figura 15- Visión general de la distribución de *Tursiops truncatus* en función de las variables ambientales

Para establecer relaciones entre la presencia y ausencia de delfín mular con variables ambientales, empezamos por ajustar un modelo lineal. Utilizando un modelo lineal, en la Figura 16 y Tabla 7 se representa la relación que existe entre el delfín mular y las variables ambientales de profundidad, distancia a la costa, estación, temperatura, salinidad, clorofila y corrientes zonales y corrientes meridionales. La Tabla 7 retiene las variables de profundidad, distancia a la costa y la estación, aunque también se aprecia una cierta correlación con la clorofila (valor  $p=0.11$ ).

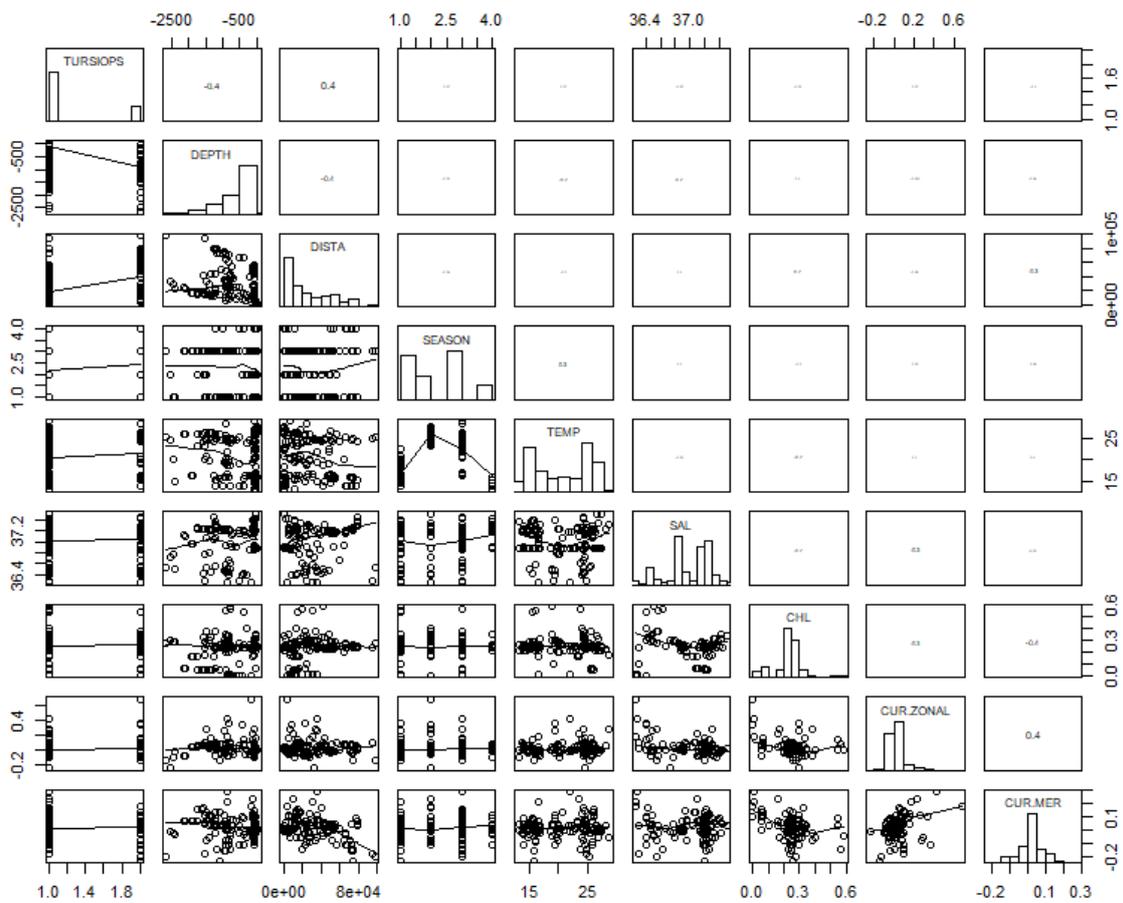


Figura 16- Correlación lineal entre el *Tursiops truncatus* y las variables ambientales

Residuos

Coefficients:

	Estimate	Std.	Error	t-value	Pr(> t )
(Intercept)	-1.15E+00	3.09E+00	-0.371	0.71085	
clorofila	-3.85E-01	2.41E-01	-1.598	0.11094	
temperatura	2.74E-03	4.64E-03	0.591	0.55478	
profundidad	1.69E-04	4.00E-05	4.221	3.08E-05	***
distancia	-6.57E-06	1.00E-06	-6.547	1.98E-10	***
salinidad	-9.39E-02	1.13E-01	-0.834	0.4049	
estacion	4.55E-02	1.93E-02	2.36	0.01878	*

Tabla 7- Tabla de correlación lineal entre el *Tursiops truncatus* y las variables ambientales

Se realizó un análisis de correlación entre las variables para estudiar la multicolinealidad en base al factor de inflación de la varianza (VIF) (Tabla 8). Se eliminaron las variables cuyo valor superaba 2 hasta que todas ellas quedaron con un valor menor a dos, esto indican que son lo suficientemente independientes como para poder realizar modelos con dichas variables.

	GVIF
Chlorofila	1.189
Temperatura	1.271
Batimetría	1.307
Distancia a la costa	1.187
Estación	1.052
Salinidad	1.125

Tabla 8- Análisis de estudio de la multicolinealidad en base al factor de inflación de la varianza (VIF).

A pesar de que utilizando un modelo lineal se retienen algunas variables, es conveniente utilizar también un modelo aditivo generalizado (GAM), ya que puede ajustarse mejor al modelo y retener variables que con un modelo lineal no es apreciable.

Se estudiaron varios modelos utilizando diferentes variables ambientales. Finalmente, la Tabla 9 muestra el resultado del modelo final seleccionado para el delfín mular, el cual retuvo las variables de profundidad, distancia a la costa y clorofila, siendo las más significativas la batimetría y la distancia a la costa. El modelo explicó un 59.5% de la desviación de los datos.

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(bat)	1.195	1.362	19.32	2.18E-05 ***
s(dista)	1	1	17.39	3.05E-05 ***
s(chl)	6.789	7.63	13.5	0.0782

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.643 Deviance explained = 59.5%

AIC = 111.6961

Tabla 9- Resultados del modelo final seleccionado para el delfín mular. Variables: bat = profundidad, dista = distancia a la costa, chl = clorofila.

El uso de Modelos Aditivos Generalizados permite ajustar relaciones no lineales. En relación con esto, se puede observar en la Tabla 9 en las variables de profundidad y distancia a costa que el número de grados de libertad (edf; estimated degrees of freedom) es casi uno, por lo que la relación sería lineal, no siendo así para la clorofila-a.

La Figura 17- Perfil de la forma funcional adoptada por la distancia (A), profundidad (B) y clorofila (C) para el delfín mular. La Figura 17.A representa la relación entre la profundidad y la presencia o no de delfín mular. La línea roja separa la presencia y ausencia de individuos delfín mular. La línea de tendencia aumenta conforme disminuye la profundidad, llegando a valores de 0 a una profundidad de 500-600 metros de profundidad. En la Figura 17.B representa el perfil de la forma funcional adoptada por la distancia a la costa, se observa que a medida que se aleja de la

costa, los avistamientos disminuyen, pasando la línea por cero en torno a los 30000 metros de distancia de la costa. La Figura 17.C representa la curva de tendencia de la clorofila, donde se observan tres picos de presencia de delfín mular en concentraciones de 0.1, 0.25 y 0.4, aunque hay alto grado de dispersión en los datos, en los 0.25 mg/m<sup>3</sup> presenta un intervalo de confianza menor dando fiabilidad al resultado.

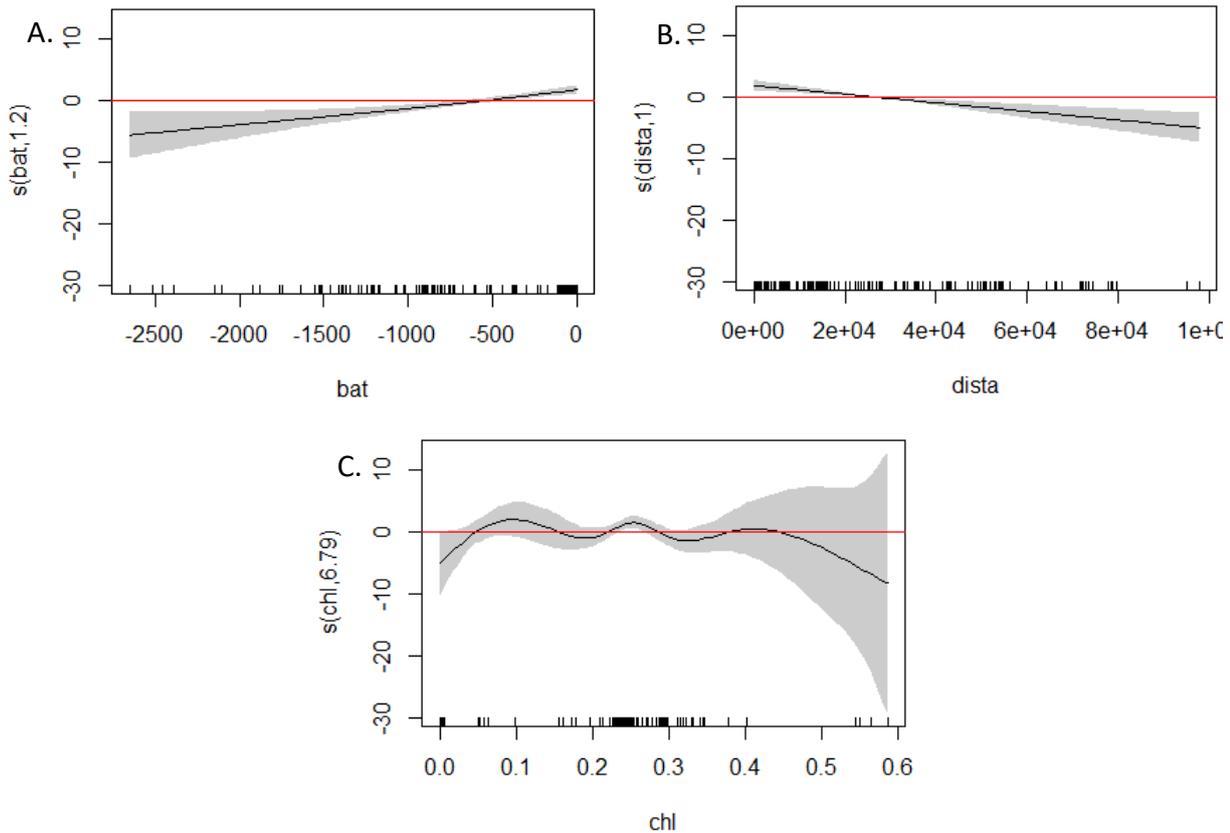


Figura 17- Perfil de la forma funcional adoptada por la distancia (A), profundidad (B) y clorofila (C) para el delfín mular

Para el delfín listado, la Figura 18 representa las condiciones ambientales en las que la especie está presente (1) o no está presente (0). Las variables ambientales utilizadas son las mismas que para el delfín mular: profundidad (Figura 18.A), clorofila (Figura 18.B), distancia a la costa (Figura 18.C), salinidad (Figura 18.D) y temperatura (Figura 18.E).

Se observa que el delfín listado selecciona hábitats de mayor profundidad frente a las de menor profundidad, y a su vez áreas alejadas de la costa. Por el contrario, con respecto a las variables de clorofila, salinidad y temperatura no se aprecia un patrón concreto.

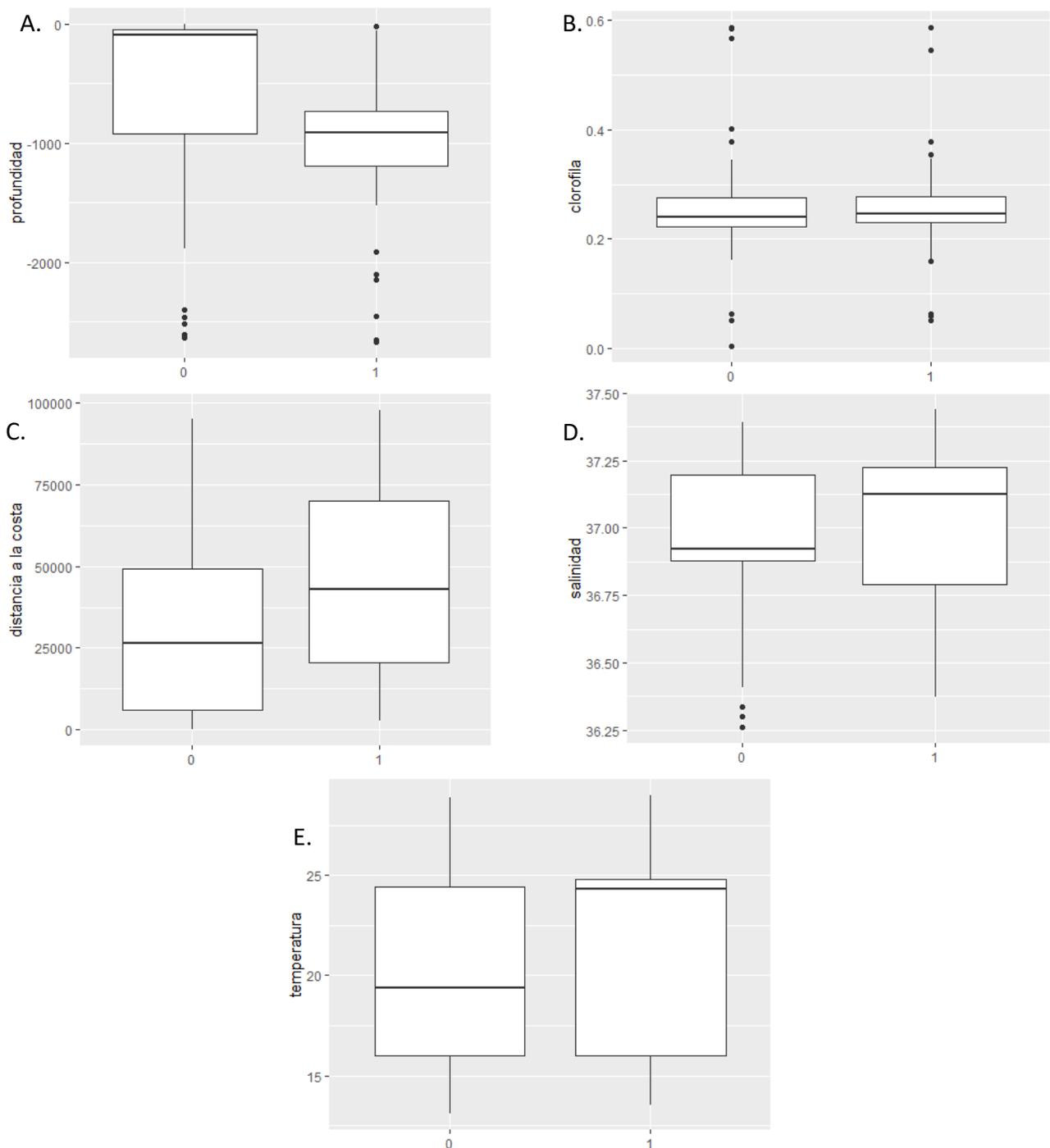


Figura 18- Visión general de la distribución de *Stenella coeruleoalba* en función de las variables ambientales

De la misma forma que para el delfín mular, se establecieron relaciones entre la presencia y ausencia de delfín listado con variables ambientales mediante modelos lineales (Figura 19). Las variables utilizadas fueron de profundidad, distancia a la costa, estación del año, temperatura, salinidad, clorofila y corrientes zonales y corrientes meridionales. La Tabla 10 retiene las variables de profundidad, distancia a la costa y la estación, aunque también se aprecia una cierta correlación con la clorofila (valor  $p=0.11$ ).

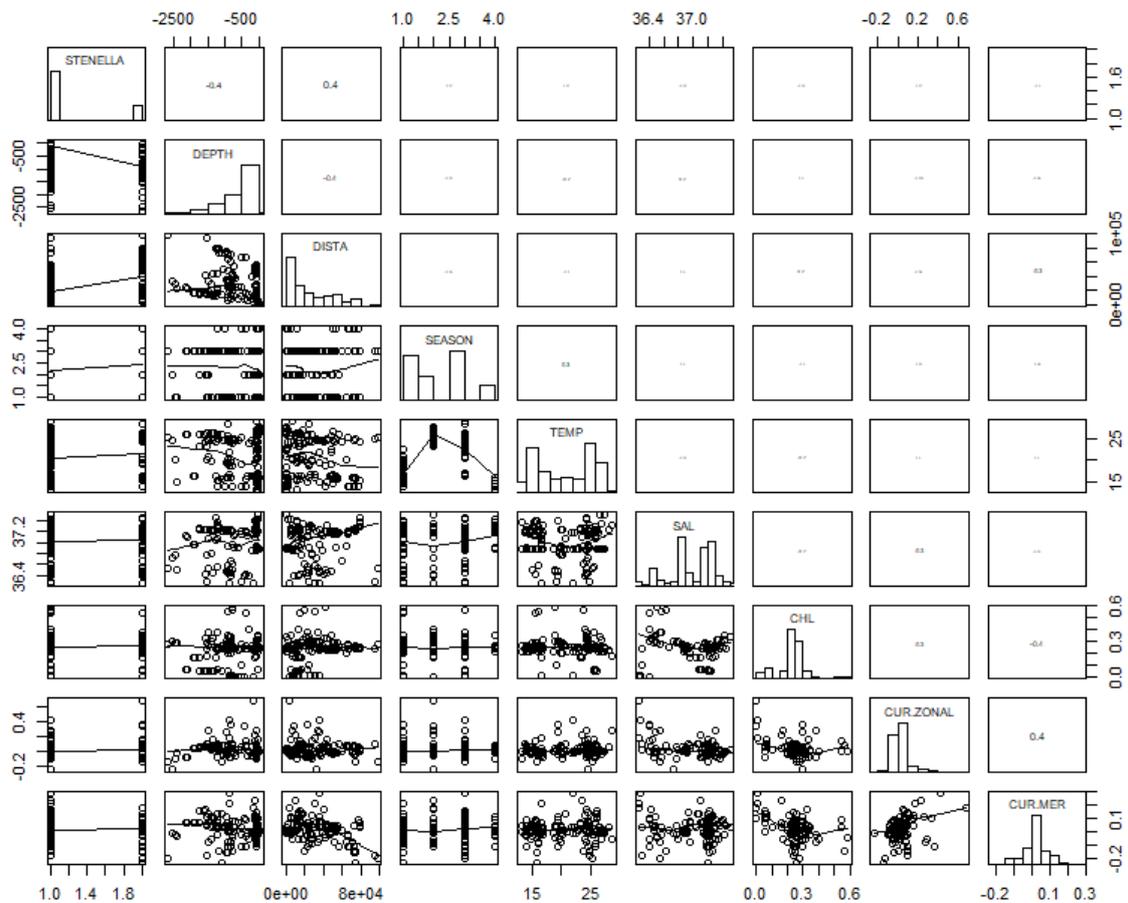


Figura 19- Correlación lineal entre el *Stenella coeruleoalba* y las variables ambientales

La Tabla 10 muestra el resultado del modelo final seleccionado para el delfín listado, el cual retuvo las variables de profundidad y salinidad. La batimetría resultó ser la variable con más influencia en la selección de hábitats, pero la salinidad también mostró ser significativa en el modelo de distribución. El modelo explicó un 31.5% de la desviación nula y con un AIC = 202.2288.

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value	
s(bat)	5.178	6.239	48.2	2.13-08	***
s(sal)	3.752	4.676	13.79	1.45E-02	*

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.35 Deviance explained = 31.5%

AIC = 202.2288

Tabla 10- Resultados del modelo final seleccionado para el delfín listado. Variables: bat = profundidad, sal= salinidad.

La Figura 20.A representa el perfil de la relación entre la salinidad y la probabilidad de presencia del delfín listado. Se observa que la línea hace una leve curva con un pico en los 36.7 mg/l y finalmente a partir de los 37.2 mg/l aumenta, concluyendo que esta especie frecuenta zonas de salinidad relativamente alta. La Figura 20.B representa en relación con la profundidad en el delfín listado. Se observa que la probabilidad de presencia aumenta entre los 500 y 1200 metros de profundidad, y disminuyendo, aunque manteniendo su presencia a profundidades superiores o en zonas de menor profundidad. Se aprecia por tanto una preferencia de aguas más profundas que costeras.

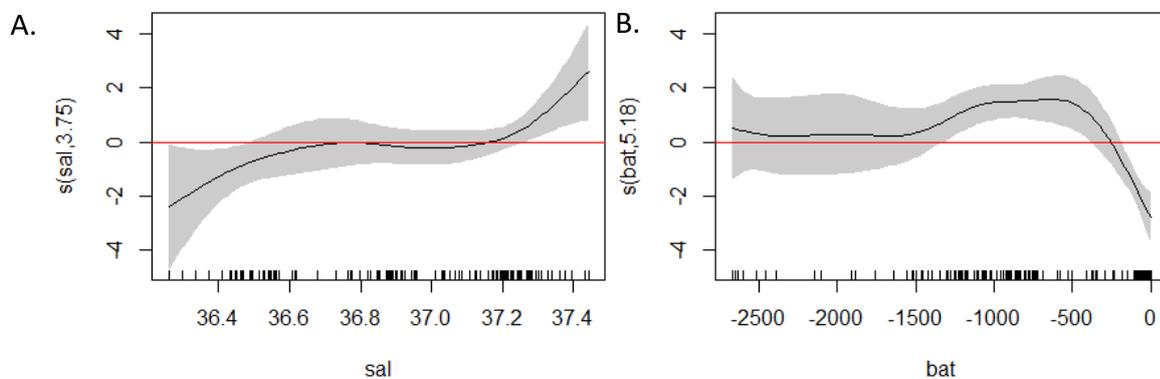


Figura 20- Perfil de la forma funcional adoptada por la salinidad (A) y profundidad (B) del delfín listado

La predicción de nuestro modelo puede verse en la Figura 24 y Figura 25. Hemos considerado condiciones medias de clorofila par cada una de las estaciones del año dado que esta variable varía.

## 5. DISCUSION

El muestreo utilizando la metodología por transecto lineal asume que los individuos presentes en el área de estudio siempre son detectados (es decir,  $g(0)=1$ ) (de Segura et al., 2006). Sin embargo, esta suposición puede no ser válida cuando existe la posibilidad de que el animal no pueda ser detectado porque está buceando. Entonces la probabilidad de detectar un avistamiento puede estar sesgada y provocar un error en las estimas.

En el presente estudio se ha intentado corregir este error para las tres especies de delfín de forma individual y para la estimación de individuos de cetáceos en el área de forma global. Sin embargo, para los calderones no se pudo realizar ninguna corrección puesto que hasta ahora no

se ha encontrado documentación suficiente para estimar un valor  $g(0)$ . También se estimó la abundancia de cetáceos presentes en el área, la cual puede no ser la correcta en el caso de los calderones al no tener en cuenta la corrección del  $g(0)$ . Un valor de  $g(0)$  alto indica alta probabilidad de acierto de presencia o ausencia de la especie durante el muestreo, y por tanto, un número bajo de avistamientos puede estar subestimando la abundancia real del área de estudio.

Otro sesgo a tener en cuenta es el Beaufort, ya que según el estado del mar varía la probabilidad de detección. Este posible efecto del estado de la mar fue incluido en los modelos, pero con los datos que tenemos no podemos decir que tuviese influencia en la probabilidad de detección (Tabla 4). Probablemente esto se debe a que la mayoría de campaña se realizaron con un buen estado de la mar (Beaufort <3).

Por último, el mayor problema en nuestras estimas puede ser que el número de observaciones no es suficiente para obtener unas estimas precisas, lo que se observa en el amplio intervalo de confianza de las estimas obtenidas para cada especie. Sería por tanto necesario ampliar el esfuerzo de muestreo. Como alternativa, se debe considerar para el futuro que la realización de los transectos se realice desde avioneta, al poder cubrir de esta manera una mayor proporción del área de estudio, en mucho menos tiempo, y mejorar la probabilidad de detección.

## 5.1. Estimación de abundancia y distribución

Hay que tener en cuenta al comparar nuestros resultados con los datos propuestos por el BOE, que las estimaciones de densidades del BOE se han realizado abarcando áreas más amplias que las realizadas en el presente estudio donde nos centramos exclusivamente en los Valles Submarinos del Escarpe de Mazarrón. Los resultados se muestran en la Tabla 11.

Especie	Área	Abundancia	Año	Referencia	Densidad (BOE)	Densidad (este estudio)
<i>Tursiops truncatus</i>	Golfo de Vera y Levante	1333 (739-2407)	2004	Gómez de Segura et al 2006	0.04 (0.02-0.08)	<b>0.018</b> <b>(0.005-0.064)</b>
<i>Tursiops truncatus</i>	Golfo de Vera y Levante	740 (382-1094)	2009-2010	García-Moreno et al 2011		
<i>Tursiops truncatus</i>	Golfo de Vera y Levante	812 (655-1039)	2011	Indemares 2013		
<i>Stenella coeruleoalba</i>	Golfo de Vera y Levante	15778 (10940-22756)	2004	Gómez de Segura et al 2006	0.49 (0.34-0.71)	<b>0.0621</b> <b>(0.026-0.144)</b>
<i>Delphinus delphis</i>	Mar de Alboran y Golfo de Vera	19428 (15277-22804)	2000-2004	Cañada et al. 2008	1.01 (0.8-1.19)	<b>0.0105</b> <b>(0.002-0.059)</b>
<i>Grampus griseus</i>	Golfo de Vera y Levante	493 (162-1498)	2004	Gómez de Segura et al 2006	0.015 (0.01-0.05)	<b>0.0084</b> <b>(0.003-0.026)</b>
<i>Globicephala melas</i>	Mar de Alboran-Golfo de Vera	3868 (2762-5170)	2008-2009	Cañada 2011	0.049	<b>0.0084</b> <b>(0.003-0.026)</b>

Tabla 11- Estimaciones poblacionales disponibles para diferentes especies de cetáceos en aguas nacionales. Las cifras de población total y densidad indican la estimación más probable, mientras que entre paréntesis se indica el rango de valores, intervalo de confianza al 95%. En negrita se indica el punto de referencia según el plan de gestión de la ZEC.

### *Tursiops truncatus*

Según el BOE, estudios de densidad del delfín mular en el área de Mazarrón señalaron una densidad absoluta de 0.041 ind/km<sup>2</sup> y un intervalo de confianza entre 0.023 y 0.075. Se compararon con los resultados obtenidos en el presente estudio (D=0.018, IC95%=0.005-0.064), representados en la Figura 21 y se observa que la densidad estimada fue inferior al establecido por el BOE. Por otro lado, al comparar intervalos de confianza se observa que la amplitud del rango de IC del presente estudio es inferior y además solapa sobre el establecido según el BOE.

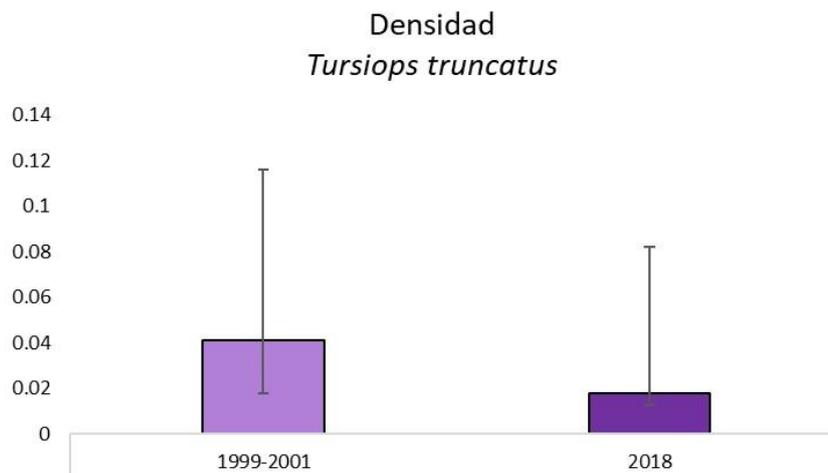


Figura 21- Comparación de intervalos de confianza de densidades estimadas según datos del BOE (Tt (1999-2000)) y nuestros resultados Tt (2018)) de la especie *Tursiops truncatus*.

### *Stenella coeruleoalba*

La densidad estimada en el año 2016 del delfín listado según el BOE fue de 0.489 ind/km<sup>2</sup> con un intervalo de confianza de 0.339 y 0.705, que comparados con los estimados en el trabajo presente se observa que la densidad actual es de 0.0621 ind/km<sup>2</sup> con un intervalo de confianza de 0.026 y 0.144. Existe una notable diferencia siendo actualmente inferior a la propuesta por el BOE, pero realizando comparaciones en el intervalo de confianza, el rango es más amplio en lo establecido por el BOE que en el año 2018 (Figura 22).

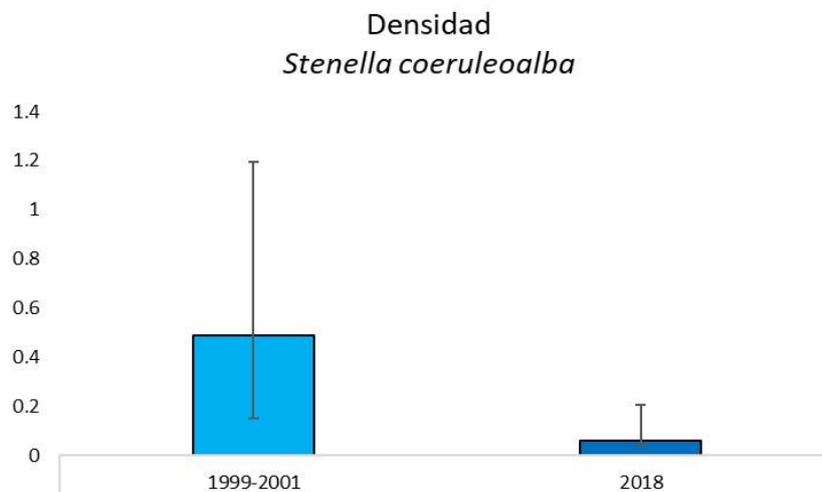


Figura 22- Comparación de intervalos de confianza de las densidades estimadas según datos del BOE (Sc (1999-2000)) y nuestros resultados Sc (2018) de la especie *Stenella coeruleoalba*.

Teniendo en cuenta los amplios intervalos de confianza de las estimas obtenidas, no existen diferencias claras entre los resultados. Se concluye que la densidad de la especie de delfín mular en el año 2018 no es superior a la densidad estimada por el BOE, por tanto, que no ha habido un aumento de la población en estos últimos 17 años. Sin embargo, no se afirma que la población haya disminuido ya que los datos no muestran un claro descenso en la densidad puesto que los intervalos de confianza se solapan.

### *Grampus griseus*

La densidad estimada para el calderón gris como densidad de referencia en el año 2016 del delfín listado según el BOE fue de 0.0015 ind/km<sup>2</sup> con un intervalo de confianza de 0.0005 y 0.0046, que comparados con los estimados en el trabajo presente se observa que la densidad actual es de

0.0084 ind/km<sup>2</sup> con un intervalo de confianza de 0.003 y 0.026, de nuevo ambas estimas se solapan.

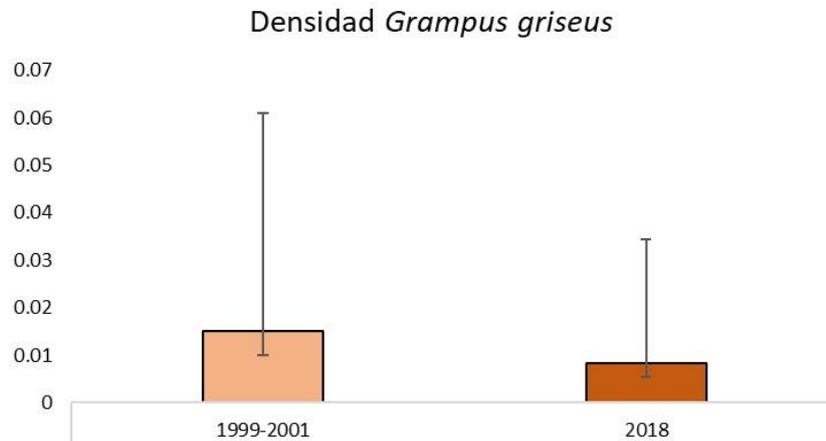


Figura 23- Comparación de intervalos de confianza de las densidades estimadas según datos del BOE (Gg (1999-2000)) y nuestros resultados (2018)) para el calderón gris

Tras la realización del estudio de densidad, no se puede afirmar que en la actualidad hay mayor número de individuos en la zona de estudio que en el año 2001, sin embargo, tampoco podríamos afirmar que hay menor número de individuos en relación con lo establecido en el BOE puesto que al realizar una comparación de intervalos de confianza, no se aprecia diferencias significativas entre las mismas.

## 5.2. Modelos predictivos de uso de hábitat

Para poder establecer áreas de protección para los cetáceos, es necesario entender el funcionamiento y la interacción de los cetáceos en el ecosistema y cómo responden a diferentes impactos ambientales. Una alternativa para entender y completar el entendimiento del funcionamiento de estos ecosistemas es evaluar el funcionamiento de estos y estudiar las posibles condiciones que afectan a cada una de las especies de cetáceos. La distribución de cetáceos puede estar limitada por factores ambientales como la temperatura, corrientes marinas, salinidad, clorofila, profundidad o distancia a la costa. Sin embargo, estos animales pertenecen al último eslabón de la cadena trófica, por lo que cualquier cambio o condición que difiera a niveles tróficos inferiores, podrían tener una consecuencia brutal en la distribución de cetáceos por el simple motivo de la ausencia de una especie de presa la cual sirve de alimento a una especie de delfín. Además, al tratarse de animales con una ecología, comportamientos

sociales y comportamientos de vida muy complejos, su distribución podría estar motivada por una serie de variables difíciles de cuantificar como podría ser la presencia de barcos arrastreros, piscifactorías, frecuentación de paso de barcos pesados y de carga, dificultando así la posibilidad de seleccionar un modelo ideal para cada especie de cetáceo.

Otro factor a tener en cuenta durante los estudios es que cuando estudiamos la selección de hábitats, normalmente se asume que las especies seleccionan aquellos hábitats de "alta calidad" frente a los de "baja calidad", no teniendo en cuenta un factor ecológico importante como su disponibilidad y la interacción o competencia que existe entre las diferentes especies de cetáceos. Por ello, hay que tener en cuenta que la selección de hábitat no tiene por qué coincidir siempre con las condiciones idóneas para la especie a estudiar y que la disponibilidad de los diferentes hábitats, generalmente, no es uniforme y varía de un tipo a otro (Manly et al 1993).

No obstante, la correlación entre los patrones de distribución de los cetáceos y los datos fisiográficos, oceanográficos y de teledetección ha sido objeto de varios estudios, con diferentes técnicas analíticas aplicadas a una variedad de especies (Cañadas, Sagarminaga, & Garcia-Tiscar, 2002; Panigada et al., 2017; Panigada et al., 2008)

Debido a la falta de datos observados a lo largo del muestreo de Mazarrón, nos vimos obligados a utilizar datos descargados de OBIS y DBD, como se comentó en apartados anteriores y a realizar modelos en todo el mediterráneo occidental. Sin embargo, los resultados son comparables, y en ocasiones coinciden, con estudios realizados anteriormente (que más adelante mencionaremos) a en áreas más reducida.

Nuestro modelo sugiere que, para el delfín mular (Figura 24), las principales variables que influyen en su distribución a lo largo del mediterráneo occidental son las variables de profundidad, distancia a la costa y clorofila, siendo las predominantes las dos primeras mencionadas. No obstante, aunque es común relacionar el delfín mular con zonas costeras, como muestra nuestro modelo predictivo, y comparando con estudios anteriores, no se puede hablar estrictamente de ecotipo costero en el Mediterráneo puesto que no puede descartarse que también se distribuya en entre las aguas oceánicas (Davis et al., 2002)

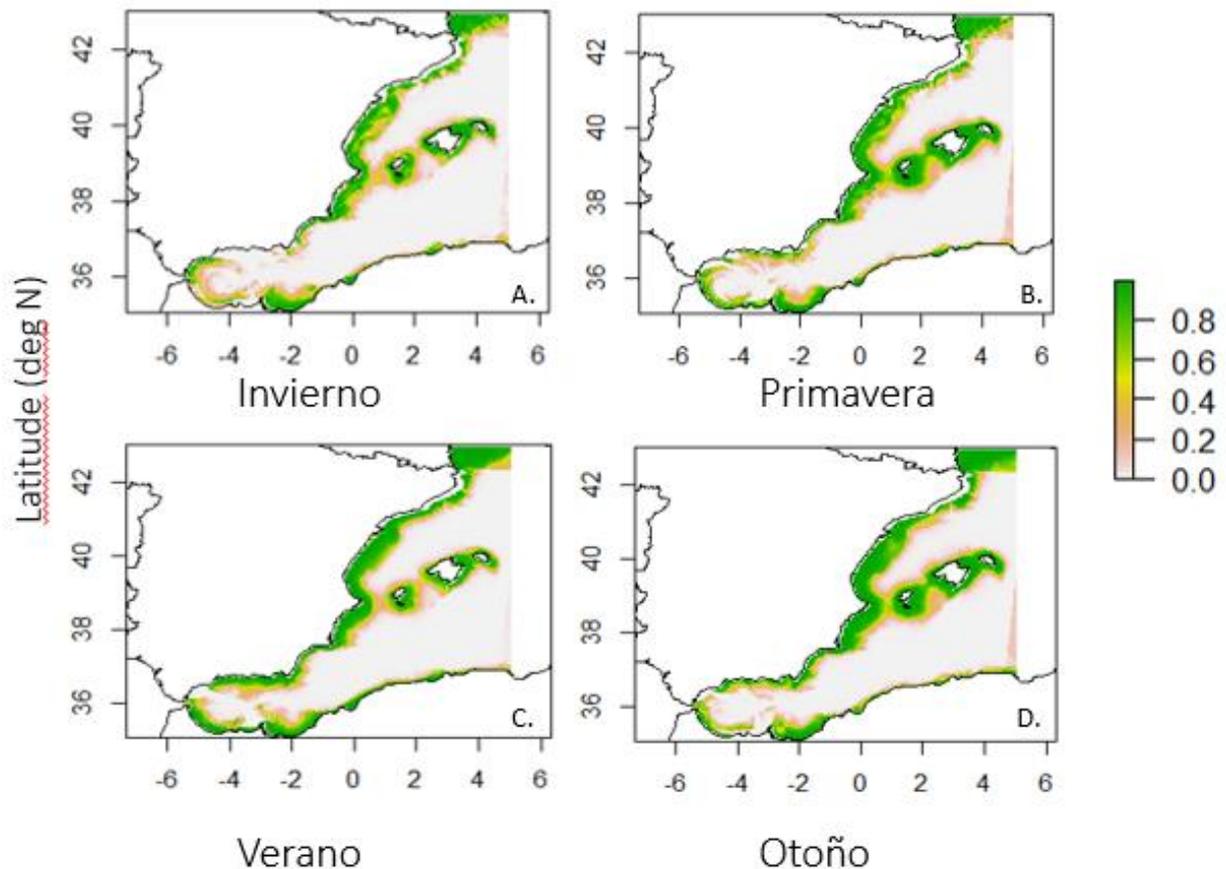


Figura 24- Gráfico predicción de presencia/ausencia de *Tursiops truncatus* en el mediterráneo realizadas para las estaciones del año teniendo en cuenta las variables de profundidad, distancia a la costa y clorofila.

Por otro lado, el modelo también retuvo la variable clorofila-a como posible motivo de distribución o preferencia de hábitats. Este hecho incide en la relevancia de que la probabilidad de presencia y distribución va a variar a lo largo del año, lo que tiene implicaciones desde un punto de vista de la gestión, ya que esta especie usará diferentes hábitats en función de las variaciones en esta variable. La clorofila-a suele relacionarse con la productividad primaria y por tanto constituye un papel muy importante en la cadena trófica, pudiendo ser un factor limitante en la productividad de ciertas especies de ictiofauna de las cuales son la base de la alimentación de especies de delfín mular (Davis et al., 2002). Resultados que coinciden con el hecho de que el delfín mular se alimenta principalmente de peces demersales (Blanco, Salomón, & Raga, 2001), y que se relacionen con la presencia de barcos arrastreros, los cuales aportan pescado idóneo para el delfín mular.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo coinciden con estudio similares (Cañadas et al., 2005; La Manna, Ronchetti, & Sarà, 2016).

La presencia de delfines listados (Figura 25), al contrario que el delfín mular, es típica de aguas oceánicas más profundas evitando por lo general aguas costeras (Frantzis et al., 2003; Panigada et al., 2008), se alimentan por tanto de una variedad de peces mesopelágicos, calamares, y en menor medida, crustáceos planctónicos (Blanco, Aznar, & Raga, 1995; Blanco et al., 2001).

En estudios realizados por Panigada et al. (2008) utilizando varias técnicas de modelado, en la mayoría indican que las variables batimétricas son generalmente los predictores más valiosos, siendo esto similar nuestros resultados.

El resultado destacable en este caso es la relación entre la salinidad y la presencia de esta especie. En otros trabajos los modelos han incluido la temperatura superficial del mar como variable predictora determinando que los valores de temperatura de la superficie del mar demostraron ser indicadores de la presencia de delfines listados, prefiriendo el rango de 21-24°C (Panigada et al., 2008), sin embargo este resultado no ha sido corroborado por nuestros datos. Dado que en este estudio se dispone de una base de datos más amplia y con una distribución estacional mayor, cabe preguntarse a qué son debidas estas diferencias.

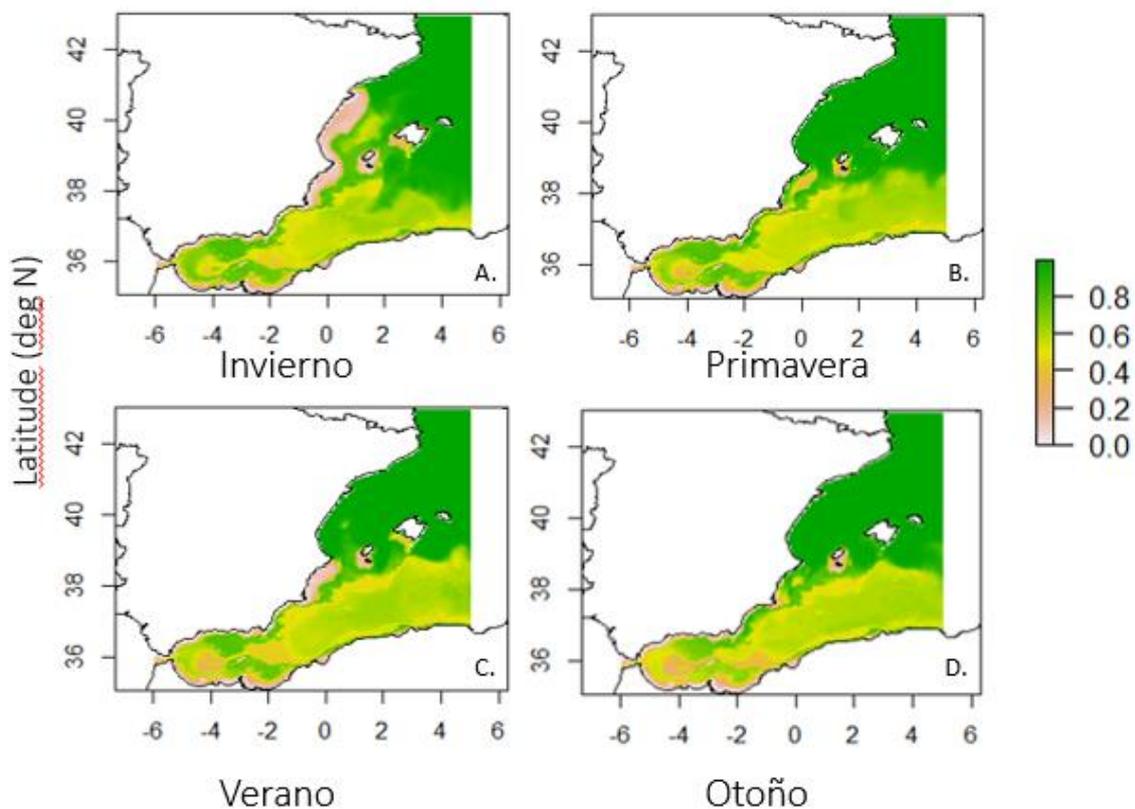


Figura 25- Gráfico predicción de presencia/ausencia de *Stenella coeruleoalba* en el mediterráneo realizadas para las estaciones del año teniendo en cuenta las variables de profundidad y salinidad.

### 5.3. Áreas propuestas para la conservación

El conocimiento de hábitats y variables ambientales que afectan a la distribución de cetáceos es fundamental para proponer adecuadas medidas de gestión y seleccionar aquellas áreas más importantes para las especies con el objetivo de proponer nuevas Áreas Marinas Protegidas, o localizar aquellas zonas más importantes dentro de las ZEC para la gestión de determinadas especies. Como ejemplo, en la Figura 26 se incluye la importancia de la conservación del área en función de la probabilidad de presencia de delfín mular y delfín listado, dando el doble de importancia al delfín mular puesto que es la única especie incluida en el anexo II de la Directiva Hábitats y vulnerable en el Mediterráneo dentro de la ZEC valles submarinos y escarpes de Mazarrón.

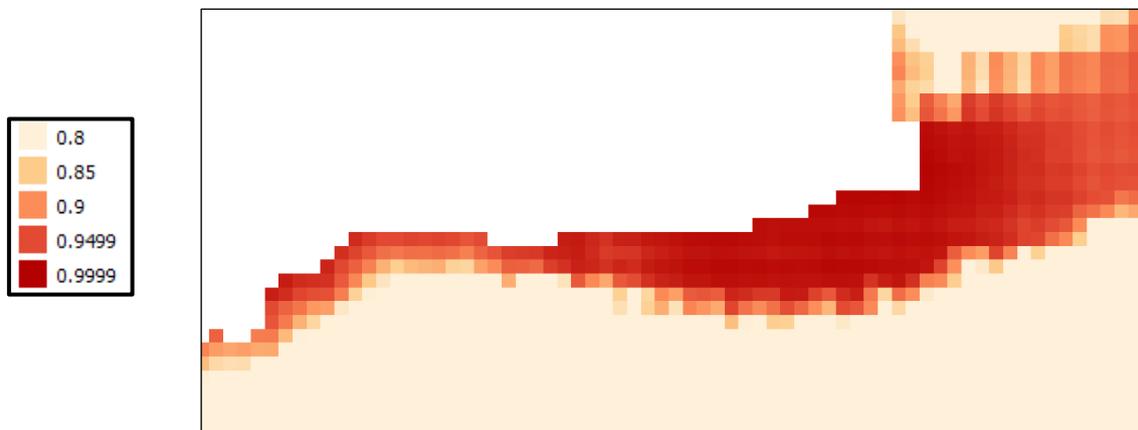


Figura 26- Probabilidad de presencia de delfín mular (más valorada) y delfín listado dentro de la ZEC Valles submarinos y Escarpes de Mazarrón.

## 6. CONCLUSIONES

El trabajo aporta información global de las poblaciones de cetáceos que frecuentan las aguas murcianas. Se han encontrado especies de delfín mular (*Tursiops truncatus*), delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), delfín común (*Delphinus delphis*), calderón común (*Globicephala melas*), calderón gris (*Grampus griseus*) y rorcual común (*Balaenoptera physalus*) siendo el delfín listado la especie de delfínido que más frecuenta las aguas profundas de la costa. La densidad general de cetáceos no ha aumentado en los últimos años, sin embargo, se desconoce si el tamaño y número de poblaciones se ha mantenido o ha disminuido. Sería interesante aumentar el esfuerzo de muestreo con el fin de conseguir aumentar el número de datos disponibles para

crear un modelo más fiable y estimaciones más precisas, y en conjunto realizar un estudio de la densidad de población en el área fragmentada para comprobar si dentro de área ZEC hay un tipo de hábitats más frecuentados que otros.

Por otro lado, el estudio de preferencia de hábitats para el delfín mular ha revelado que su distribución varía principalmente por la batimetría, distancia a la costa y la clorofila, frecuentando las áreas costeras de la Comunidad Valenciana e Islas Baleares cuyas aguas son más productivas, y con mayor probabilidad en otoño. La distribución del delfín listado varía en función de la batimetría y salinidad, frecuentando aguas profundas de Cataluña e Islas Baleares y en menor medida las aguas del sur del Mediterráneo español, además mostró mayor probabilidad de avistamiento en el otoño. Mayor disponibilidad de datos y el estudio de mayor número de variables utilizadas daría como resultado modelos más completos.

Por último, el conocimiento de hábitats y variables ambientales que afectan a la distribución de cetáceos es fundamental para proponer adecuadas medidas de gestión y seleccionar Áreas Marinas Protegidas, o localizar aquellas zonas más importantes dentro de las ZEC para la gestión de determinadas especies.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19(6), 716-723.
- Arcangeli, A., Campana, I., Marini, L., & MacLeod, C. D. (2016). Long-term presence and habitat use of Cuvier's beaked whale (*Ziphius cavirostris*) in the Central Tyrrhenian Sea. *Marine Ecology*, 37(2), 269-282.
- Bearzi, G., Bonizzoni, S., Santostasi, N., Furey, N., Eddy, L., Valavanis, V., & Gimenez, O. (2016). Dolphins in a Scaled-Down Mediterranean: The Gulf of Corinth's Odontocetes *Advances in marine biology* (Vol. 75, pp. 297-331): Elsevier.
- Bivand, R., Keitt, T., Rowlingson, B., Pebesma, E., Sumner, M., Hijmans, R., . . . Bivand, M. R. (2018). Package 'rgdal'. *Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library*. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/index.html> (accessed on 15 October 2017).
- Blanco, C., Aznar, J., & Raga, J. (1995). Cephalopods in the diet of the striped dolphin *Stenella coeruleoalba* from the western Mediterranean during an epizootic in 1990. *Journal of Zoology*, 237(1), 151-158.
- Blanco, C., Salomón, O., & Raga, J. (2001). Diet of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the western Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81(6), 1053-1058.
- BOE-A-2016-7738\_(003). (2016). Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente.
- Bonizzoni, S., Furey, N. B., Pirota, E., Valavanis, V. D., Würsig, B., & Bearzi, G. (2014). Fish farming and its appeal to common bottlenose dolphins: modelling habitat use in a Mediterranean embayment. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 24(5), 696-711.
- Buckland, S. T., Anderson, D., Burnham, K., Laake, J., Thomas, L., & Borchers, D. (2001). *Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations* (Vol. 335): Oxford university press Oxford.
- Cañadas, A., Desportes, G., & Borchers, D. (2004). Estimation of g (0) and abundance of common dolphins (*Delphinus delphis*) from the NASS-95 Faroese survey. *J Cetacean Res Manag*, 6, 191-198.
- Cañadas, A., & Hammond, P. (2008). Abundance and habitat preferences of the short-beaked common dolphin *Delphinus delphis* in the southwestern Mediterranean: implications for conservation. *Endangered Species Research*, 4(3), 309-331.
- Cañadas, A., Sagarminaga, R., De Stephanis, R., Urquiola, E., & Hammond, P. (2005). Habitat preference modelling as a conservation tool: proposals for marine protected areas for cetaceans in southern Spanish waters. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(5), 495-521.
- Cañadas, A., Sagarminaga, R., & Garcia-Tiscar, S. (2002). Cetacean distribution related with depth and slope in the Mediterranean waters off southern Spain. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(11), 2053-2073.
- Davis, R. W., Ortega-Ortiz, J. G., Ribic, C. A., Evans, W. E., Biggs, D. C., Ressler, P. H., . . . Würsig, B. (2002). Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(1), 121-142.

- de Segura, A. G., Crespo, E., Pedraza, S., Hammond, P., & Raga, J. (2006). Abundance of small cetaceans in waters of the central Spanish Mediterranean. *Marine Biology*, 150(1), 149.
- Forcada, J., Gazo, M., Aguilar, A., Gonzalvo, J., & Fernández-Contreras, M. (2004). Bottlenose dolphin abundance in the NW Mediterranean: addressing heterogeneity in distribution. *Marine Ecology Progress Series*, 275, 275-287.
- Forney, K. A. (2000). Environmental models of cetacean abundance: reducing uncertainty in population trends. *Conservation Biology*, 14(5), 1271-1286.
- Frantzis, A., Alexiadou, P., Paximadis, G., Politi, E., Gannier, A., & Corsini-Foka, M. (2003). Current knowledge of the cetacean fauna of the Greek Seas. *Journal of Cetacean Research and Management*, 5(3), 219-232.
- Gimenez-Casaldueiro, F., & Gomariz Castillo, F. J. (2012). La biodiversidad marina en la Región de Murcia.
- Hijmans, R. J., & Elith, J. (2019). Spatial Distribution Models.
- La Manna, G., Ronchetti, F., & Sarà, G. (2016). Predicting common bottlenose dolphin habitat preference to dynamically adapt management measures from a Marine Spatial Planning perspective. *Ocean & coastal management*, 130, 317-327.
- Laake, J., & Borchers, D. (2004). Methods for incomplete detection at distance zero. *Advanced distance sampling, edited by ST Buckland, DR Andersen, KP Burnham, JL Laake, and L. Thomas*, 108-189.
- Lamigueiro, O., & Hijmans, R. (2018). rasterVis. R package version 0.45.
- Miller, D. L. (2015). Distance: distance sampling detection function and abundance estimation. *R package version 0.9*, 3.
- Panigada, S., Lauriano, G., Donovan, G., Pierantonio, N., Cañadas, A., Vázquez, J. A., & Burt, L. (2017). Estimating cetacean density and abundance in the Central and Western Mediterranean Sea through aerial surveys: Implications for management. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 141, 41-58.
- Panigada, S., Zanardelli, M., MacKenzie, M., Donovan, C., Mélin, F., & Hammond, P. S. (2008). Modelling habitat preferences for fin whales and striped dolphins in the Pelagos Sanctuary (Western Mediterranean Sea) with physiographic and remote sensing variables. *Remote Sensing of Environment*, 112(8), 3400-3412.
- Pierce, D., & Pierce, M. D. (2017). Package 'ncdf4'.
- Raga, J. A., & Pantoja, J. (2004). *Proyecto Mediterráneo: zonas de especial interés para la conservación de los cetáceos en el Mediterráneo español*: Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- Redfern, J., Ferguson, M., Becker, E., Hyrenbach, K., Good, C., Barlow, J., . . . Ballance, L. (2006). Techniques for cetacean-habitat modeling. *Marine Ecology Progress Series*, 310, 271-295.
- Wood, S., Scheipl, F., & Wood, M. S. (2017). Package 'gamm4'. *Am. Stat.*, 45, 339.
- Wood, S., & Wood, M. S. (2015). Package 'mgcv'. *R package version*, 1-7.
- Zuur, A., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*: Springer Science & Business Media.