

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Eval. Amb. Ecosist. Marinos y Costeros



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“Estudio de las poblaciones de
cetáceos y tortugas marinas en la Zona
de Especial Conservación Valles
submarinos del Escarpe de Mazarrón”**

TRABAJO FINAL DE MASTER

Autor/a:

Martínez Fornos, Gonzalo

Tutor/a:

Belda Pérez, Eduardo Jorge

Feliu Tena, Blanca

Abalo Mola, Sara

GANDIA, 2020

RESUMEN

La ZEC “Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón”, fue catalogada como Zona de Especial conservación por la presencia de especies que se encuentran en el Anexo II y Anexo IV de la Directiva Hábitat. Entre las que destacan el delfín mular (*Tursiops truncatus*) y la tortuga boba (*Caretta caretta*). Con el objetivo de analizar la abundancia y la densidad de los vertebrados marinos presentes en el Anexo IV, se realizaron dos muestreos, uno desde barco y otro desde avión, con el fin de recolectar datos para un posterior análisis de densidades de cada especie, que serán ajustados mediante un hidrófono de acústica pasiva, en el caso del barco, y con datos de 2018, en el caso del avión. Obteniendo con el muestreo desde avión una densidad de 0.035 ind/km² (IC95% 0.001 – 0.122) para el delfín mular, 0.219 ind/km² (IC95% 0.04 – 1.18) para el delfín listado y 0.205 ind/km² (IC95% 0.096– 0.437) para tortuga boba. Mientras que para el muestreo desde embarcación se obtuvo 0.085 ind/km² (IC95% 0.032 – 0.229) para delfín mular y 0.071 ind/km² (IC95% 0.019 – 0.272) para delfín listado. Una vez analizados los datos se observó que no hay diferencias significativas con respecto a 2018.

Palabras clave: cetáceos, tortuga, densidad, hidrófono, ZEC.

ABSTRACT

The ZEC "Submarine valleys of the Escarpe de Mazarrón", was classified as a Special Conservation Area due to the presence of species found in Annex II and Annex IV of the Habitat Directive. Among which are the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) and the loggerhead turtle (*Caretta caretta*). In order to analyze the abundance and density of the marine vertebrates present in Annex IV, two samplings were carried out, one from a boat and the other from an airplane, in order to collect data for a later analysis of densities of each species, which They will be adjusted by means of a passive acoustic hydrophone, in the case of the ship, and with data from 2018, in the case of the aircraft. Obtaining with the airplane sampling a density of 0.035 ind / km² (IC95% 0.001 - 0.122) for the bottlenose dolphin, 0.059 ind / km² (IC95% 0.016 - 0.222) for the striped dolphin and 0.205 ind / km² (IC95% 0.101 - 0.415) for loggerhead turtles. While for the sampling from the boat, 0.088 ind / km² (IC95% 0.026 - 0.292) was obtained for bottlenose dolphin and 0.091 ind / km² (IC95% 0.02 - 0.417) for striped dolphin. Once the data was analyzed, it was observed that there are no significant differences compared to 2018.

Key words: Cetaceans, turtle, density, hydrophone, SAC.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a Víctor Espinosa, Isabel Pérez, José Antonio Esteban, Eduardo Jorge Belda y Blanca Feliu, participantes del proyecto “Evaluación de afecciones acústicas y a las poblaciones de cetáceos previsiblemente causadas por el efecto del desarrollo de la dársena de escombreras del puerto de Cartagena”, ya que aun con la pandemia que sufrimos en este 2020, me han ofrecido muchas facilidades para que pudiera realizar la campaña de muestreo, brindando una gran ayuda durante esta. También quisiera agradecer a los trabajadores de la empresa Cetáceos y Navegación, por su agradable acogida durante los dos días de campaña a bordo del Karyam.

Agradezco fuertemente la ayuda aportada por Anastasiya Dovgan al facilitarme los datos correspondientes a su TFM de una forma rápida y de fácil comprensión. Aun con el pequeño susto de cambiar los datos el último día.

Como no, a Eduardo Jorge Belda, Blanca Feliu Tena y Sara Abalo Mola, mi tutor y mis dos cotutoras, por la ayuda obtenida durante estos meses, teniendo en cuenta la dificultad de la no presencialidad en la universidad, y por las constantes correcciones que han llevado acabó para que yo pudiera entregar este trabajo a tiempo.

Finalmente, no me puedo olvidar del apoyo ofrecido por la gente más cercana, familia, amigos y pareja, los cuales han tenido que soportar mis quebraderos de cabeza por los muchos errores que surgían con el uso de R, y la constante conversación sobre temas relacionados con mi TFM.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS.....	4
3.	METODOLOGÍA	5
3.1.	Área de estudio	5
3.2.	Especies objetivo.....	5
3.3.	Diseño de muestreos	8
3.4.	Realización del muestreo	9
4.	RESULTADOS.....	13
4.1.	Diseño de muestreos.....	13
4.2.	Transectos	17
4.3.	Elección del modelo de detección.....	24
4.3.1.	Aeronave: Tortugas marinas.....	24
4.3.2.	Aeronave: Cetáceos.....	26
4.3.3.	Embarcación: Cetáceos.....	29
4.4.	Comparación	31
4.4.1.	Avión datos del 2018	32
4.4.2.	Avión con Barco	33
4.4.3.	Barco: Detección visual y con el Hidrófono	35
4.4.4.	Barco con datos del 2018	36
4.5.	Mejora del coeficiente de variación	38
5.	DISCUSIÓN.....	40
6.	CONCLUSIÓN.....	45
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Delimitación de la ZEC en color amarillo, sobre las costas de Cartagena. Escala 1:500.000 (European Enviroment Agency, Visor Natura 2000 Network Viewer, 2020).....	1
Figura 2. Fotografía frontal de una Tortuga boba obtenida el 07 de julio de 2020 (Pleguezuelos, Márquez & Lizana, 2002).....	6
Figura 3. Fotografía de tres delfines mulares saltando junto a la embarcación, la fotografía fue obtenida el 19/11/2020 de la página de la empresa Cetáceos y navegación.....	6
Figura 4. Fotografía de un delfín listado y su cría, la fotografía fue tomada el 29 de octubre de 2020 durante la campaña de muestreo desde barco.....	7
Figura 5. Imagen de un calderón gris, donde muestra gran número de cicatrices, la ilustración fue recuperada el 01 de noviembre de 2020 de la empresa cetáceos y navegación.....	7
Figura 6. Imagen de un Zifio de Cuvier, donde se muestra realizando un salto fuera de la superficie marina. La ilustración fue recuperada el 01 de noviembre de 2020 de National geographic España.....	8
Figura 7. Fotografía de dos calderones comunes nadando en la superficie junto a la embarcación, la fotografía fue obtenida el 19 de octubre de 2020 de la página web de la empresa cetáceos y navegación.....	8
Figura 8. Imagen aérea de un avistamiento de calderón común del vuelo del día 20/06/2020. Puede verse con facilidad que el grupo está formado por al menos 18 individuos.....	10
Figura 9. Ejemplo de un triángulo rectángulo necesario para la realización de la formula trigonométrica $D=r*\sin \alpha$	11
Figura 10. Imagen del barco utilizado mientras se realizaba el muestreo.....	12
Figura 11. Distribución de probabilidad de cobertura en las 1000 simulaciones; proporción de veces un cuadrado de la malla de cobertura que se ha simulado ha caído dentro del muestreo.....	14
Figura 12. Representación de los transectos en zigzag sobre el área de estudio, para el muestreo en avión.....	15
Figura 13. Niveles de cobertura sobre la ZEC de estudio representados con colores para el diseño desde aeronave.....	15
Figura 14. Distribución de probabilidad de cobertura en las 1000 simulaciones; proporción de veces un cuadrado de la malla de cobertura que se ha simulado ha caído dentro del muestreo.....	16
Figura 15. Representación de los transectos a realizar en la ZEC de estudio desde una embarcación.....	17
Figura 16. Niveles de cobertura sobre el área ZEC de estudio representado por colores para el diseño realizado en barco.....	17
Figura 17. Representación en un mapa de la localización de los avistamientos de cetáceos y tortugas marinas en la ZEC de estudio que se observaron desde la aeronave.....	19
Figura 18. Representación de los avistamientos de delfín listado, delfín mular, calderón común y calderón gris realizados desde la aeronave.....	20
Figura 19. Representación de las ubicaciones de los avistamientos del Zifio de Cuvier y de los cetáceos no identificados desde la aeronave.....	20

Figura 20. Representación de los avistamientos de cetáceos y tortugas marinas según la distancia obtenidas en el muestreo desde aeronave.....	21
Figura 21. Mapa de transectos que se realizaron en el mar, destacando la franja en color amarillo entre los transectos 8 y 9 que no fue muestreada. Mapa elaborado en QGIS el 06/11/2020.....	22
Figura 22. Representación en un mapa de la localización de los avistamientos de cetáceos en la ZEC de estudio que se observaron desde embarcación.....	23
Figura 23. Representación de las ubicaciones de los avistamientos por especies, para delfín listado, delfín mular y para cetáceos no identificados desde embarcación.....	23
Figura 24. Representación de los avistamientos de cetáceos frente a la distancia en el muestreo realizado desde embarcación.....	24
Figura 25. Representación gráfica de la prueba de bondad, donde se puede apreciar cómo se ajusta el modelo a los datos reales, y modelo de probabilidad de detección ajustado a los datos, en círculos, usando la función seminormal con ajuste de coseno de orden 2. Datos analizados de las tortugas desde aeronave.....	25
Figura 26. Representación mediante un gráfico de cajas de la distancia a la que se han detectado ejemplares por cada observador y dependiendo de la hora del día. Destaca que el observador 3 no ha detectado tortugas.....	26
Figura 27. Representación gráfica de la prueba de bondad, donde se puede apreciar cómo se ajusta el modelo a los datos reales, y modelo de probabilidad de detección ajustado a los datos, en círculos, usando la función seminormal con ajuste de coseno. Datos analizados de los cetáceos desde aeronave.....	27
Figura 28. Representación mediante un gráfico de cajas de la distancia a la que se han detectado ejemplares por cada observador y dependiendo de la hora del día.....	28
Figura 29. Representación gráfica de la prueba de bondad, donde se puede apreciar cómo se ajusta el modelo a los datos reales, y modelo de probabilidad de detección ajustado a los datos, en círculos, usando la función seminormal con ajuste de coseno. Datos analizados de los cetáceos desde embarcación.....	29
Figura 30. Representación mediante un gráfico de cajas de la distancia a la que se han detectado ejemplares por cada observador y dependiendo del estado del mar.....	30
Figura 31. Representación de todos los avistamientos detectados con el hidrófono. Avistamientos realizados tanto fuera como dentro de transecto. Mapa elaborado por A. Dovgan.....	36
Figura 32. Mapas de distribución espacial de registros totales para los meses de junio, octubre y noviembre de los años entre 199 y 2001. Se incluyen capturas accidentales, a la deriva o avistamientos desde embarcaciones. Fuente: Valeiras et al., 2001.....	41
Figura 33. Comparación de densidades de tortugas entre el estudio actual y un estudio de Gómez de Segura et al., 2006 y otro de Gómez de Segura et al., 2003.....	42
Figura 34. Comparación de densidades del delfín mular del estudio actual con el BOE y con el estudio García de 2019.....	43
Figura 35. Comparación de densidades del delfín listado del estudio actual con el estudio de García de 2019.....	43
Figura 36. Comparación de densidades del calderón común del estudio actual con el estudio de García de 2019.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de las especies relevantes en la ZEC de estudio Valles submarinos del escarpe de Mazarrón.....	2
Tabla 2. Comparación de los distintos estudios para delfín mular y delfín listado.....	4
Tabla 3. Especificaciones del hidrófono H1c. Datos facilitados por mi compañera A. Dovgan.....	11
Tabla 4. Comparación de parámetros obtenidos en cada muestreo para determinar cuál es el idóneo, para aeronave.....	14
Tabla 5. Comparación de parámetros obtenidos en cada muestreo para determinar cuál es el idóneo, para embarcación.....	16
Tabla 6. Transectos realizados por la Universidad Politécnica de Valencia desde aeronave.....	18
Tabla 7. Transectos realizados por el Oceanográfico de Valencia, desde aeronave.....	18
Tabla 8. Número de ejemplares de cada especie que se vieron en cada avistamiento en el muestreo realizado desde aeronave.....	19
Tabla 9. Transectos realizados por la Universidad Politécnica de Valencia desde embarcación. El “**” representa el transecto en el que se realizó un desvío para fondear dos hidrófonos.....	21
Tabla 10. Número de ejemplares de cada especie que se vieron en cada avistamiento. Muestreo desde embarcación.....	22
Tabla 11. Comparación de los distintos parámetros de cada modelo para tortugas marinas detectadas desde aeronave.....	25
Tabla 12. Datos obtenidos en el modelo con la función Seminormal con ajuste de coseno para avión.....	26
Tabla 13. Comparación de los distintos parámetros de los modelos utilizados para el análisis de los datos de cetáceos desde aeronave.....	27
Tabla 14. Datos obtenidos en el modelo con la función Hazard-rate para aeronave.....	27
Tabla 15. Comparación de abundancias y densidades de las tres especies postestratificadas, para los cetáceos detectados desde la aeronave. La abreviatura CV: coeficiente de variación.....	28
Tabla 16. Comparación de los distintos parámetros de los modelos utilizados para el análisis de los datos de cetáceos desde embarcación.....	29
Tabla 17. Datos obtenidos en el modelo con la función Seminormal, para embarcación.....	30
Tabla 18. Comparación de abundancias y densidades de las dos especies de cetáceos postestratificadas desde barco.....	31
Tabla 19. Comparación de los ejemplares de cada especie que se detectaron en los años 2018 y 2020, teniendo en cuenta que los datos de 2018 fueron tomados desde embarcación y los de 2020 desde aeronave.....	31
Tabla 20. Comparación de los modelos usados en los dos años de estudio de 2020 y 2018, teniendo en cuenta que los datos de 2020 son realizados desde aeronave y los de 2018 desde embarcación. (*) datos ajustados a $g(0)=1$	32

Tabla 21. Comparación de los modelos usados en los dos años de estudio de 2020 y 2018, teniendo en cuenta las especies posestratificadas. Los valores de 2018 son relativos a una superficie 4 veces mayor que la de 2020. (*) datos ajustados a $g(0)=1$	33
Tabla 22. Comparación de las detecciones obtenidas en el muestreo de embarcación de 2020 frente a las de aeronave de 2020.....	34
Tabla 23. Comparación de los valores obtenidos para los modelos usados en barco y avión de 2020.....	34
Tabla 24. Comparación de los modelos usados en el año 2020, teniendo en cuenta las especies posestratificadas.....	34
Tabla 25. Comparación de las detecciones obtenidas en los dos muestreos realizados de forma simultánea, el realizado mediante acústica pasiva y el realizado de forma visual, que fueron realizados en 2020. Hora UTC.....	35
Tabla 26. Comparación de los dos modelos realizados desde embarcación, uno en 2018 (García, 2019) y el del estudio actual de 2020. (*) valores estimados a $g(0)=1$	37
Tabla 27. Comparación de los modelos usados en el año 2018 y 2020, teniendo en cuenta las especies posestratificadas. (*) Los valores de 2018 son estimados a $g(0)=1$	37
Tabla 28. Comparación de los modelos usados en los dos años de estudio de 2020 y 2018, teniendo en cuenta las especies posestratificadas. (*) Los valores de 2018 son estimados a $g(0)=1$	38
Tabla 29. Resumen de los diferentes coeficientes de variación (CV) obtenidos en este estudio, correspondiente a la densidad y a la abundancia.....	38
Tabla 30. Análisis de la distancia que se necesitaría para los cetáceos y tortugas con distintos coeficientes de variación y el número de detecciones estimado a estas distancias. Siendo L_0 : longitud inicial, n_0 : detecciones iniciales, L : longitud estimada, n : detecciones estimadas. Calculo realizados con los datos de avioneta.....	39
Tabla 31. Análisis del número nuevo de detecciones y su coeficiente de variación, para cada especie de cetáceos, teniendo en cuenta los coeficientes de variación de 35. Siendo L_0 : longitud inicial, n_0 : detecciones iniciales, L : longitud estimada, n : detecciones estimadas. Calculo realizados con los datos de avioneta.....	39
Tabla 32. Análisis de la distancia que se necesitaría para los cetáceos con distintos coeficientes de variación y el número de detecciones estimado a estas distancias. Siendo L_0 : longitud inicial, n_0 : detecciones iniciales, L : longitud estimada, n : detecciones estimadas. Calculo realizados con los datos de barco.....	40
Tabla 33. Análisis del número nuevo de detecciones y su coeficiente de variación, para cada especie de cetáceos, teniendo en cuenta los coeficientes de variación de 30%. Siendo L_0 : longitud inicial, n_0 : detecciones iniciales, L : longitud estimada, n : detecciones estimadas. Calculo realizados con los datos de barco.....	40
Tabla 34. Resumen de las mejoras en el CV para barco y avioneta. Siendo n : detecciones estimadas.....	44

1. INTRODUCCIÓN

La preocupación por el medio que nos rodea en términos de biodiversidad se convirtió en un factor fundamental a tener en cuenta en la preservación de nuestro entorno a partir del año 1986 con la entrada de España en la Unión Europea, cambiando así las leyes y normativas que regían en nuestro estado por las directivas estipuladas por la UE. Esto sumado a otros precedentes como el convenio de Berna de 1972 sobre la conservación de la vida silvestre y el medio natural en Europa, formaron los pilares para la creación de la Directiva europea 92/43/CEE de 1992, que establece las bases legales para la protección de los hábitats de las especies comunitarias en vías de extinción o que se encuentren amenazadas, y que, además, fomenta la creación de una red de zonas protegidas. (Toribio, 1999)

A partir de la Directiva 92/43/CE, también llamada Directiva Hábitats, se creó una red de zonas de conservación a nivel europeo que forman la Red Natura 2000, cuya función entre otras es la clasificación de las zonas, que cumplen las características estipuladas en ella, como Zonas de Especial Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). Una de las ZEC más famosas del territorio español es los Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón, los cuales se ubican al sureste de la Península Ibérica, en la Zona del mar adyacente a la ciudad de Cartagena, en la provincia de Murcia (a una longitud de -0.9586 y una latitud de 37.4848). La ZEC de los Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón posee un área de 154081,655 hectáreas las cuales en su totalidad son áreas sumergidas en el mar mediterráneo. Fue catalogada como zona ZEC dentro de la Red Natura en agosto de 2016 (Orden AAA/1366/2016, 2016), debido a las extraordinarias características fisiográficas y oceanográficas, las cuales generan una alta productividad y biodiversidad, siendo estas claves para el ecosistema de la zona.

Dicha zona se encuentra en el fondo marino situado entre las aguas del sur de la isla del Fraile hasta 11,79 km en dirección al cabo de Palos (Figura 1), posee una profundidad mínima de unos 23m llegando a alcanzar unos 2000 metros en el sector más meridional. Su límite exterior alcanza un máximo de 26,85 km desde tierra y una anchura de 88 km. Cabe destacar que, por su ubicación geográfica, sumada a la geología marina, en ella se produce una mezcla de aguas del océano Atlántico y del mar mediterráneo, lo cual genera un hábitat clave para algunas especies, mencionadas en la Directiva Hábitat (Directiva 92/43/CEE,1992).



Figura 1. Delimitación de la ZEC en color amarillo, sobre las costas de Cartagena. Escala 1:500.000 (European Environment Agency, Visor Natura 2000 Network Viewer, 2020).

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Entre las especies que habitan en la ZEC se tiene constancia de dos que se encuentran en el Anexo II de la Directiva Hábitats, por las cuales los Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón fueron catalogados como espacio de la Red Natura 2000. Estas son el delfín mular y la tortuga, además, destacan 10 especies presentes en el Anexo IV (Tabla 1). Cabe resaltar que el delfín mular, el calderón común, el rorcual, el cachalote y la tortuga boba están catalogados como Vulnerables según el Real Decreto 139/2011.

Tabla 1. Listado de las especies relevantes en la ZEC de estudio Valles submarinos del escarpe de Mazarrón.

Especie	Nombre común	Ley 42/2007	Directiva Hábitats	CNEA	SPA/BD	UICN
<i>Tursiops truncatus</i>	Delfín Mular	Anexo II	Anexo II	Vulnerable	Anexo II	DD
<i>Delphinus delphis</i>	Delfín común	Anexo V	Anexo IV	Vulnerable	Anexo II	DD
<i>Stenella coeruleoalba</i>	Delfín listado	Anexo V	Anexo IV		Anexo II	DD
<i>Globicephala melas</i>	Calderón común	Anexo V	Anexo IV	Vulnerable	Anexo II	DD
<i>Grampus griseus</i>	Calderón gris	Anexo V	Anexo IV		Anexo II	DD
<i>Orcinus orca</i>	Orca	Anexo V	Anexo IV		Anexo II	DD
<i>Ziphius cavirostris</i>	Zifio de Cuvier	Anexo V	Anexo IV		Anexo II	DD
<i>Balaenoptera physalus</i>	Rorcual común	Anexo V	Anexo IV	Vulnerable	Anexo II	NT
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Yubarta o gubarte	Anexo V	Anexo IV		Anexo II	LC
<i>Physeter macrocephalus</i>	Cachalote	Anexo V	Anexo IV	Vulnerable	Anexo II	Vu
<i>Caretta caretta</i>	Tortuga boba	Anexo II	Anexo II	Vulnerable	Anexo II	EN
<i>Dermochelys coriacea</i>	Tortuga laud	Anexo V	Anexo IV		Anexo II	Vu
<i>Chelonia mydas</i>	Tortuga verde	Anexo II	Anexo V		Anexo II	EN

1. Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. BOE de 14 de diciembre de 2007.
2. 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
3. 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.
4. Protocolo sobre las Zonas Especialmente Protegidas y la Diversidad Biológica en el Mediterráneo del Convenio de Barcelona. BOE-A-1999-24061, 1999)
5. UICN categorías: DD = Datos Deficientes; NT = casi amenazada; LC = `recuperación Menor; Vu = Vulnerable, EN = En peligro; EU Status de Conservación, a nivel del mediterráneo (periodo de evaluación 2007-2012).

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Debido a estas características la zona actúa como un corredor de migración y de alimentación destacando especies importantes como la tortuga boba y el delfín mular: (Directiva 92/43/CEE, 1992).

Caretta caretta, única tortuga del género *Caretta*, posee una gran importancia debido a que es catalogada como “vulnerable” según el Real Decreto 139/2011. Además, la Directiva Hábitats la cataloga como una especie prioritaria en el Anexo II de la Directiva Hábitats (Directiva 92/43/CEE, 1992), siendo también catalogada en el Anexo II de la Ley 42/2007 (Ley 42/2007, 2007).

Tursiops truncatus, también llamado delfín mular, es uno de los cetáceos más comunes y conocidos de las aguas marinas templadas y tropicales de todo el mundo (Wells & Scott, 2009). Se pueden diferenciar dos variedades de esta especie, una de menor tamaño que vive cerca de la costa y otra más grande y robusta que vive en aguas profundas. Su naturaleza sociable e inteligencia los convierte en una de las especies de cetáceos más capturadas para espectáculos. También sufren otro tipo de amenazas como la pesca directa e indirecta, la contaminación de los hábitats y la intromisión del ser humano en estos (Carwardine, 2004). Aún con todos estos inconvenientes, es una especie catalogada de tipo vulnerable según el Real Decreto 139/2011, en cambio la Directiva Hábitats la encasilla como una especie de interés comunitario dentro del Anexo IV, que son aquellas especies de flora y de fauna las cuales se encuentren en el territorio de la Unión Europea como en peligro, vulnerables, raras o endémicas de la zona. El delfín mular también se localiza en el anexo II de la ley de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (Ley 42/2007, 2007).

Como ya se ha comentado anteriormente la ZEC se considera una zona de importancia para estas especies, ya que es un lugar de alimentación, reproducción y paso. Es por tanto una obligación, como está recogido en el plan de gestión de la ZEC, el realizar un seguimiento de las poblaciones de estas especies (Orden AAA/1366/2016, 2016). Así mismo, la detección visual de estas especies nos permite conocer pequeños fragmentos de su comportamiento, lo cual colabora en la comprensión de la respuesta de especies a ciertas actividades humanas. Las principales amenazas de origen antrópico para los cetáceos son:

- El tráfico marino: las embarcaciones alteran áreas de distribución de estas especies y producen colisiones mortales con los ejemplares que se encuentran en superficie (De Stephanis, 2010).
- La contaminación acústica: los cetáceos poseen una gran sensibilidad acústica con la que se comunican, llegando a poder ser bioindicadores de dicha contaminación (Saura, s.f.).
- Contaminación química del agua o el calentamiento de esta producido por el cambio climático: el aumento de la temperatura del mar está ligado a una menor detección de cetáceos (Ramirez & Urquiza, 1983).
- La construcción de nuevas infraestructuras en la costa: es uno de los impactos que más preocupan en nuestra ZEC, ya que en el interior de ella se encuentra el puerto más importante de la Comunidad de Murcia, el puerto de Cartagena (Puerto de Cartagena, 2020), el cual valora la ampliación de este mediante la construcción de nuevas dársenas que permitan el atraque de un número mayor de barcos y de una mayor envergadura.

Por otro lado, las principales amenazas de origen antrópico para la tortuga boba son:

- La pesca de arrastre y de palangre: la cual genera la muerte de algunos ejemplares, como es el caso de la tortuga boba (Mayol, Muntaner & Aguilar, 1988).

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

- La contaminación química y el calentamiento de las aguas.
- Desarrollo costero: alteración antrópica de la línea de costa (Wallace *et al.*, 2011)

Uno de los principales métodos para estimar densidades de una especie objetivo es la utilización de muestreos basados en distancias, como los realizados por Gómez de Segura *et al.*, 2003 y Gómez de Segura *et al.*, 2006, cuyo objetivo es el extrapolar los resultados observados en una visualización de la zona de estudio a la población blanco, es decir, a toda la población de estudio. De esta forma los datos serán representativos para una población dependiendo del tipo de muestreo y si este se realizó al azar o no (Otzen & Manterola, 2017).

La metodología más adecuada para la detección de cetáceos y reptiles marinos es la elaborada desde barco o desde avión. La adecuación del diseño del muestreo dependerá del método desde el que se realice y de la zona y especie de estudio. Cabe destacar que el conocimiento de las densidades de las poblaciones nos permite conocer el estado de la especie y de esta forma saber si esta se encuentra amenazada. Además, nos permite identificar problemas por los cuales las especies no habitan determinadas áreas en las que antes se localizaban.

A lo largo del presente estudio se pretende realizar una evaluación de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la ZEC Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón mediante muestreos basados en distancias visuales desde aeronave y desde embarcación, y una comparación posterior de los datos obtenidos de forma visual con los obtenidos mediante un hidrófono de arrastre que se utilizara de forma simultánea al muestreo visual desde el barco, teniendo en cuenta estudios anteriores como el de García-Delgado de 2019 el cual realiza un estudio de las densidades de cetáceos en la zona ZEC, de este mismo estudio, desde embarcación. Otro estudio a tener en cuenta es el del BOE (BOE-A-2016-7738, 2016), el cual usa como referencia el estudio de Gómez de Segura, 2006, realizado en la costa de la Región de Murcia y de la Comunidad Valenciana, en el cual se englobaba un área mayor que nuestra zona de estudio pero que nos determina unas densidades que nos pueden servir como guía (Tabla 2). Si hablamos de estudios en los que se analice la densidad de tortuga boba, debemos destacar uno realizado en toda la costa valenciana y murciana, en el que se determina que la tortuga boba posee una densidad media durante el año de 0.322 tortugas por km² (IC95%= 0.200 – 0.516) con una abundancia de unas 1324 tortugas, IC95%= 825– 2124, (Gómez de Segura *et al.*, 2003).

Tabla 2. Comparación de los distintos estudios para delfín mular y delfín listado.

Estudios realizados		García, 2019	Gómez de Segura, <i>et al.</i> , 2003
Abundancia	Delfín mular	111 ind	15778 ind
	Delfín listado	383 ind	-
Densidad	Delfín mular	0.018 ind/km ²	0.041 ind/km ²
	Delfín listado	0.062 ind/km ²	-

2. OBJETIVOS

Estudio de la abundancia de las especies de vertebrados marinos de interés comunitario, es decir aquellos incluidos en los Anexos II y IV de la Directiva Hábitats (Directiva 92/43/ECC,1992) en la ZEC Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Comparación con datos obtenidos en años anteriores para determinar si la densidad ha variado.

Establecer una metodología adecuada para el seguimiento de las poblaciones de estas especies en la zona, en especial para la tortuga boba y delfín mular.

3. METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza en la bahía de Mazarrón y en la bahía de Cartagena, en la Región de Murcia. Sus bordes están marcados por los límites legales de la ZEC de Valles Submarinos y Escarpe de Mazarrón, como ya se ilustra en la Figura 1, lo que corresponde a un área de unas 154081.65 ha (BOE-A-2016-7738, 2016)

Si hablamos del oleaje de las aguas que bañan la ZEC debemos destacar que la procedencia suele ser desde el este, es decir procedentes del levante, o desde el sureste, siendo estas olas las que menos se generan a lo largo del año. Dichas olas no poseen una altura superior a 2 metros, aunque existen registros que superan los 4 metros tras el suceso de una fuerte tormenta, por lo que la zona no suele estar muy expuesta a grandes marejadas (Moreno, 2019). El oleaje de la zona se ve influenciado por las corrientes submarinas, ya que la zona de estudio se encuentra cerca del estrecho de Gibraltar, donde se mezclan las aguas cálidas y saladas del mediterráneo con las del océano Atlántico, que es más frío y menos salado.

Como cita en la Orden AAA/1366/2016, el espacio marino protegido de los Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón posee unas características fisiográficas y oceanográficas que originan de una forma directa e indirecta una importante productividad y biodiversidad. Esto es debido a que el escarpe está formado por una pared submarina de más de 2600m de profundidad, sumado a la proximidad, a la línea de costa y a la continua mezcla de aguas mediterráneas y atlánticas, se generan un área clave donde pueden encontrarse numerosas especies de flora y fauna, destacando especies importantes como la tortuga boba, o especies muy variadas de cetáceos, como puede ser el delfín mular.

3.2. Especies objetivo

El enclave de la zona permite la presencia de muchos vertebrados marinos que habitan en el mediterráneo, o que emigran entre el mar mediterráneo y el océano Atlántico. Por ello es importante diferencial cuales son las especies objetivo en este estudio. Serán todas aquellas que se encuentren en el Anexo II y Anexo IV de la Directiva Hábitat (Tabla 1). Entre las cuales, solo nos centraremos en aquellas que hemos obtenido datos para poder estimar su abundancia, que son:

Tortuga boba, es la especie de tortuga más generalista de todas las que se encuentran en agua salada. Además, es la especie con el rango geográfico más amplio de anidación y la más abundante en el Mediterráneo. Su dieta consta de crustáceos y moluscos, gracias a su fuerte pico y al gran tamaño de su cabeza que le permite poder depredar este tipo de presas, aunque también se alimenta de invertebrados tales como corales, erizos o incluso medusas (Varo-Cruz, 2010). Un individuo adulto tiene un rango de peso de entre 90 y 200 kg y una longitud aproximada de unos 90 cm, lo que permite que estas especies puedan ser apreciadas desde una aeronave (Figura 2).

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.



Figura 2. Fotografía de una Tortuga boba obtenida el 07 de julio de 2020 (Pleguezuelos, Márquez & Lizana, 2002).

Delfín mular (Figura 3), es una especie de delfín que se encuentra en un amplio rango de distribución geográfica, así pues, se encuentra tanto en aguas templadas, frías o incluso tropicales. Un adulto puede llegar a pesar entre 150 y 650 kg y medir entre 1,9 y 3,9 m. Su dieta está basada en pescado, calamares y pulpos. Es una especie que se observa bien en superficie debido a su gran actividad en esta, realizando saltos en proa y popa de las embarcaciones. La característica principal de esta especie es su morro en forma de botella (Carwardine, 2004).



Figura 3. Fotografía de tres delfines mulares saltando junto a la embarcación, la fotografía fue obtenida el 19/11/2020 de la página de la empresa Cetáceos y navegación.

Delfín listado (Figura 4), esta especie de delfín es similar al delfín común, con la diferencia de que su tamaño se reduce a la mitad y posee una franja o banda corporal más oscura. Posee también una parte inferior de color blanca o rosa. Su distribución se encuentra en aguas templadas, subtropicales y tropicales a lo largo de todo el globo terrestre. Su alimentación se basa en pescados, cefalópodos y krill u otros invertebrados. Un individuo adulto puede llegar a pesar entre 90 y 150 kg y a medir entre 1,8 y 2,5 m. Son fáciles de identificar dado que son muy activos en superficie realizando saltos y acrobacias cerca de las embarcaciones, además, en el mediterráneo se les puede observar en grupos de menos de 100 individuos. (Carwardine, 2004).

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.



Figura 4. Fotografía de un delfín listado y su cría, la fotografía fue tomada el 29 de octubre de 2020 durante la campaña de muestreo desde barco.

Calderón gris (Figura 5), especie de cetáceo relativamente fácil de identificar en el mar, sobre todo cuanto más longevo sea. Esto es debido a que con la edad desarrolla numerosas cicatrices y un aspecto altamente deteriorado. Un individuo adulto puede llegar a pesar entre 300 y 500 kg con una longitud de entre 2,6 a 3,8 m. Su alimentación se basa en pulpos, calamares y, en menor medida, pescado. La distribución de esta especie se encuentra en aguas profundas tropicales y templadas cálidas en los dos hemisferios. Las características principales que les hace ser reconocibles frente a otras especies son las cicatrices que aumentan en número a lo largo de la vida, la ausencia de pico, por lo que tienen un morro más aplanado y sobre todo su color grisáceo uniforme que disminuye su tonalidad con la edad, llegando a poseer un grisáceo muy cercano al blanco. (Carwardine, 2004).



Figura 5. Imagen de un calderón gris, donde muestra gran número de cicatrices, la ilustración fue recuperada el 01 de noviembre de 2020 de la empresa cetáceos y navegación.

Zifio de Cuvier (Figura 6), aunque es uno de los zifios más comunes en el mar llama la atención que es una especie con pocos avistamientos. Posee una gran variación de tonalidad, lo que dificulta mucho su identificación; esta tonalidad varía dependiendo de la localización o del sexo, y puede observarse desde un blanco como color marrón oscuro. Su distribución se encuentra en aguas tropicales, subtropicales y templadas. Un adulto puede llegar a pesas entre 2 y 3 toneladas y medir de 5 a 5,7 m. Su alimentación se basa en cefalópodos y pescado. La dificultad en su observación es debida a sus largas inmersiones entorno a una hora y a que se suelen mantener lejos de las embarcaciones. Es una especie que suele viajar sola o en pareja y cuyo nado parece ser en tumbos (Carwardine, 2004).



Figura 6. Imagen de un Zifio de Cuvier, donde se muestra realizando un salto fuera de la superficie marina. La ilustración fue recuperada el 01 de noviembre de 2020 de National geographic España.

Calderón común (Figura 7), esta especie es muy difícil de distinguir de las demás especies de calderones, su tamaño en edad adulta esta entre los 3,8 y los 6 metros, además, posee un peso de entre 1,8 y 3,5 toneladas. Suelen ser especies que permanecen inmóviles en la superficie cuando están en manadas, lo que facilita acercarse desde embarcación para realizar un muestreo y observar su color que torna de negro azabache a gris oscuro. Su alimentación se suele basar en cefalópodos, pero también pueden alimentarse de pescado (Carwardine, 2004).



Figura 7. Fotografía de dos calderones comunes nadando en la superficie junto a la embarcación, la fotografía fue obtenida el 19 de octubre de 2020 de la página web de la empresa cetáceos y navegación.

3.3. Diseño de muestreos

Para estimar la abundancia de cetáceos y tortugas se utilizó el método de estima de densidades basado en un muestreo de distancias, como el realizado en los estudios de Panigada *et al.*, 2011 y Panigada *et al.*, 2017. En este tipo de muestreo se realiza una serie de “transectos” que serán escogidos de forma que la cobertura sea similar en toda el área de estudio. Si la probabilidad de detección varía en función de la distancia a la que se encuentre el ejemplar con respecto al

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

transecto, debemos estimar la probabilidad de detección para evitar sesgos en la densidad. Para ello, el modelo asume que a distancia 0 la probabilidad es igual a 1, es decir que todos los ejemplares que estén en el transecto son vistos, lo cual no es necesariamente cierto cuando hablamos de animales marinos que sólo son observados en superficie cuando salen a respirar. En un muestreo de distancias para calcular la función de detección se asume que la probabilidad de detección a distancia 0 es de 1, $g(0)=1$; sin embargo, cuando se habla de muestreos en el mar, solo vemos lo que se encuentra en la superficie y por lo tanto $g(0)$ ya no es necesariamente igual a 1, por ello posteriormente se compararan con los datos de García del 2019.

El muestreo debe cumplir con los requisitos de aleatoriedad y representatividad. Para ello, cada una de las unidades de muestreo (en este caso transectos) debe de:

1. Ser escogido de forma aleatoria.
2. Ser independiente.
3. Cobertura uniforme, se debe cumplir que todos los puntos del área tengan la misma probabilidad de ser incluido en los muestreos.
4. Debe ser eficiente, realizar un mayor desplazamiento dentro de la unidad de muestreo (transectos) que en el desplazamiento entre transectos.

Además, para el diseño del muestreo también se tuvo en cuenta limitaciones asociadas al coste de realizar este, lo que en el caso del avión nos dejaba un máximo de 3 horas de vuelo, unos 332 kilómetros de muestreo a los que se le suman 166 de desplazamiento desde el aeropuerto. En el barco las limitaciones fueron debidas a la velocidad, entre 6 y 7 nudos, el número de horas de luz y el requisito de que el muestreo como máximo tendría una duración de 2 días (para evitar el avistamiento del mismo ejemplar varias veces), lo que nos limitó a 150 kilómetros más un desplazamiento de 80km aproximadamente.

Realizamos el diseño del muestreo con el software DISTANCE (Proyecto Distance, 2020), y el análisis de datos con los paquetes “mgcv” (Wood, 2020), “dssd” (Marshall, 2020), “Distance” (Lawrence, 2020) y “oceanmap” (Bauer, 2020) para el software R (R-4.0.3). Para el diseño del muestreo de cetáceos y tortugas marinas, se probaron diseños de distancias basados en transectos lineales, bien en paralelo o en zigzag, que pueden ser distribuidos en el área de estudio de forma sistemática o de forma aleatoria simple, pero cumpliendo con el requisito de ser independientes y teniendo en cuenta las limitaciones de esfuerzo a realizar (km a muestrear). Se diseñaron tres tipos de muestreo para avión (paralelo sistemático, paralelo aleatorio, y en zigzag) y dos para embarcación (uno paralelo sistemático y el otro en zigzag), para determinar cuál cumplía con los requisitos y se maximizaba el esfuerzo, reduciendo el recorrido fuera de muestreo lo máximo posible. Para estimar la cobertura del muestreo se usó un ancho de banda de 1000 metros en el caso del avión y 800 en el del barco, forzando a que cada transecto estuviera separado del siguiente al menos por el doble de esa distancia de ancho de banda. Se realizaron 1000 simulaciones para cada diseño y se comparó la eficacia de cada diseño en cuanto a esfuerzo de muestreo, cobertura y ratio del total de kilómetros por recorrer.

3.4. Realización del muestreo

El muestreo se realizó de dos maneras diferentes: desde avioneta y desde barco. Se obtendrán los datos de dos muestreos en avión, uno realizado por la UPV con un esfuerzo de muestreo de 296.32 km y otro realizado un día después por la Fundación Oceanogràfic con 150.59 km. En ambos muestreos la velocidad de vuelo fue constante a 166 km/h y a una altura media de 200 metros, aunque en la práctica oscilo entre 202 y 257 metros.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

El segundo se realizó con barco, con un esfuerzo total de 154.56 km (234.56 km si sumamos el desplazamiento), el cual se llevó a cabo de forma visual y mediante un hidrófono de arrastre. El muestreo se planificó para que se realizara en condiciones del mar buenas para evitar que los vertebrados objetivo no sean enmascarados por las olas del mar, es decir con una escala de Beaufort menor o igual a 3 y una buena condición de visibilidad.

Metodología de observación desde aeronave y embarcación

El uso de aeronave para la realización de censos permite la observación de más territorio y por lo tanto realizar una mayor cobertura del área de estudio en menos tiempo (Figura 8). Además, evita el efecto que genera en los individuos al detectar el ruido de una embarcación, produciendo que algunas especies se alejen de estas. El muestreo fue realizado por dos observadores, uno por cada lado del avión. Su función es anotar parámetros tales como la hora de inicio y finalización, la meteorología y como esta puede afectar a las condiciones del mar, los transectos recorridos y en qué dirección, la especie de estudio (en el caso de que no se diferencie la especie se tomara nota de la información que se obtenga). Una vez obtenida la especie, se tiene en cuenta cuantos individuos hay en cada grupo que se observa o si estos se observaron de forma individual, altura de la aeronave, hora y ángulo (usando un clinómetro del modelo SUUNTO P5/360). Por último, se tendrán en cuenta observaciones que se crean convenientes y el comportamiento del animal o animales (Feliu, 2018).



Figura 8. Imagen aérea de un avistamiento de calderón común del vuelo del día 20/06/2020. Puede verse con facilidad que el grupo está formado por al menos 18 individuos.

En cuanto al muestreo desde embarcación, se realizó desde el barco Karyam (Figura 10), un motovelero turco de 20 metros de eslora y 5 de manga construido en 1988 en Bodrum en Turquía (Cetáceos y navegación, 2020). Consiste en la elaboración de los transectos diseñados observando a los dos costados del barco, en unos 180° en la parte de proa del barco. Cabe destacar que el muestreo se lleva a cabo con cambios de observadores cada 30-45 minutos para que estos no produzcan un error en la observación debida al cansancio. Se anota para cada avistamiento la especie, número de individuos, ángulo y distancia usando prismáticos marinos y la retícula. Para poder obtener la distancia del objeto avistado mediante la retícula, debemos tener en cuenta a que distancia está el horizonte con respecto a nosotros, mediante la siguiente formula:

$$D = \sqrt{2h \cdot R + h^2}$$

D: Distancia al horizonte.

h: altura del observador.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

R: Radio de la Tierra

Una vez calculada la distancia del horizonte debemos realizar la siguiente ecuación, obtenida de las ecuaciones usadas por Lerczak & Hobbs en 1998:

$$r = \cos(\theta + \varphi) \cdot [R \cdot \sin(\theta + \varphi) - \sqrt{R^2 \cdot \sin^2(\theta + \varphi) - 2 \cdot R \cdot v \cdot \cos^2(\theta + \varphi)}]$$

r: Distancia del objeto al observador.

θ : ángulo entre dos radios de la tierra, uno pasa por el observador y el otro por el horizonte.

φ : ángulo de inclinación de las sucesivas divisiones de la retícula.

R: Radio de la tierra.

v: altura vertical de los prismáticos marinos con respecto a la superficie del mar.

Finalmente, obtenida la distancia desde el observador al objeto observado, debemos llevar esa distancia a la observada desde la posición perpendicular a esta, mediante la utilización de trigonometría con el ángulo al que se realizó la detección, teniendo en cuenta la siguiente formula y la Figura 9.

$$D = r * \sin \alpha$$

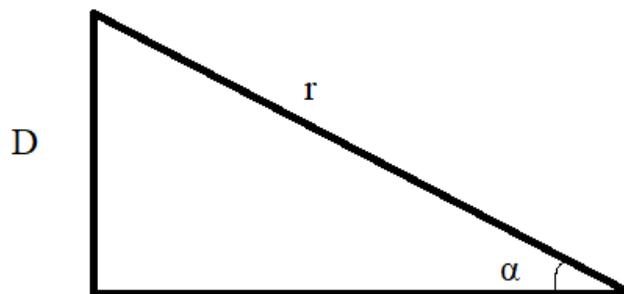


Figura 9. Ejemplo de un triángulo rectángulo necesario para la realización de la formula trigonométrica $D=r * \sin \alpha$.

Simultaneo al muestreo visual se realiza un muestreo, por mi compañera A. Dovgan, mediante un hidrófono de arrastre con dos receptores de acústica pasiva H1c (Tabla 3), el cual permiten detectar cetáceos mediante sus comunicaciones a distintas frecuencias.

Tabla 3. Especificaciones del hidrófono H1c. Datos facilitados por mi compañera A. Dovgan.

Especificaciones H1c	
Dimensiones	25 mm x 58 mm
Peso	49gr
Rosca de montaje	1/4" – 18NPT
Salida	Personalizada
Sensibilidad	"-190 dB re
Rango útil	< 1 Hz - >100 kHz
Capacidad	25 nF
Respuesta polar	Omnidireccional
Profundidad operativa	<80 metros



Figura 10. Imagen del barco utilizado mientras se realizaba el muestreo.

Análisis de datos obtenidos

Una vez obtenidos los datos de los dos muestreos, estos se preparan para analizar mediante el paquete Distance (Lawrence, 2020) y el software R versión (R-4.0.3). De esta forma dicho análisis nos permite estimar la probabilidad de detección, ajustando y usando diversas funciones para buscar el mejor modelo que se adapte a los datos. Posteriormente será comprobado para determinar que este se ajuste a los datos mediante el test Cramer-von Mises y posteriormente, seleccionamos el modelo con menor valor del índice de información de Akaike (Cavanaugh, 1997).

Debido a la falta de datos para realizar un modelo de ajuste con distancias, se usarán todos los valores obtenidos de cetáceos sin considerar la especie, esto puede ser un error ya que hay especies que se ven en un grado mayor que otras, o poseen mayor tamaño. Cabe destacar que, aunque esto no es del todo correcto es una aproximación debido a la limitación de la disponibilidad de datos. Para las especies que posean datos suficientes, se realizara una postestratificación, con Distance para Windows, usando una $g(0)=1$, con lo que se determinará la densidad de estas especies de forma individual.

Para realizar una mejora de precisión en el modelo de detección escogido se determinó que era necesario la utilización de otras variables que podían afectar a la visualización o a la actividad de los ejemplares buscados. Por ello se decidió tener en cuenta factores ambientales o humanos en la elaboración del modelo, tales factores como el observador que lo realiza, el día que se realiza, el estado del mar o incluso la visibilidad y orientación del sol. Para ello una vez realizada una primera selección del modelo, incluimos en dicho modelo las covariables empleadas, las cuales para los modelos del barco son el Beaufort y los observadores, y para el avión la orientación del sol y los observadores.

Comparación

Una vez elegido el modelo más adecuado se realizó una comparación de los datos obtenidos desde la aeronave con los valores de años anteriores y con los detectados desde el muestreo en barco de este estudio, en este caso la comparación se realizó con el trabajo de García en 2018, en el cual

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

se llevó a cabo un estudio de las poblaciones de cetáceos en la ZEC Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón desde embarcación.

Además, compararemos los datos obtenidos desde barco frente a los datos de García en 2018 y frente a los tomados por el hidrófono que arrastramos durante el muestreo visual. Se debe tener en cuenta que el muestreo acústico detecta las especies que se encuentran en la superficie y debajo de esta, por lo que deberá tener una detectabilidad de 1, mientras que el muestreo visual solo detecta las especies que se encuentran en la superficie.

Mejora del coeficiente de variación

Una vez analizados los modelos desde avión y desde barco, se pretende buscar qué esfuerzo de muestreo sería necesario para mejorar la precisión de nuestras estimas a partir de la información que se ha obtenido en este estudio sobre la estima de población y su variación (Buckland, 2015).

$$L = \frac{L_0 * [cv(D_0)]^2}{[cv_t(D)]^2}$$

L: Longitud del nuevo muestreo.

L₀: Longitud inicial del muestreo.

cv_t(D): Coeficiente de variación estimado en tanto por 1.

cv(D₀): Coeficiente de variación obtenido en tanto por 1.

Con esta fórmula se estima el esfuerzo de muestreo (L) que se debería realizar para reducir el cv(D). Una vez estimado el esfuerzo necesario para mejorar la precisión de nuestras estimas, se puede estimar cuantas detecciones serían necesarias para obtener esa precisión.

$$n = L \cdot \left(\frac{n_0}{L_0}\right)$$

n: Número de individuos observados en distancia L.

n₀: Número de individuos en muestreo inicial.

L: Nueva longitud de muestreo.

L₀: Longitud muestreo inicial.

4. RESULTADOS

4.1. Diseño de muestreos

Se determinó que el diseño con mayor cobertura sin superar los kilómetros máximos de autonomía de la aeronave (3h a 166 km/h, teniendo en cuenta que una hora es de desplazamiento), y que por lo tanto se adaptaba mejor a nuestro estudio era el realizado en zigzag (Tabla 4).

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Tabla 4. Comparación de parámetros obtenidos en cada muestreo para determinar cuál es el idóneo, para aeronave.

	Paralelo sistemático	Paralelo aleatorio	ZigZag
Km por recorrer	280	280	280
Ancho de banda	1 km	1 km	1 km
Bordes	No	No	No
On line length máximo (km)	292.501 ± 8.411	292.51 ± 8.162	277.257 ± 4.464
Total tracking length máximo (km)	385.533 ± 10.678	385.536 ± 10.329	313.817 ± 4.779
Ratio on/total	0.76	0.759	0.88
Cobertura media	35.85% ± 0.95%	36.09% ± 3.23%	34.94% ± 0.54%
Transectos	16	16	15

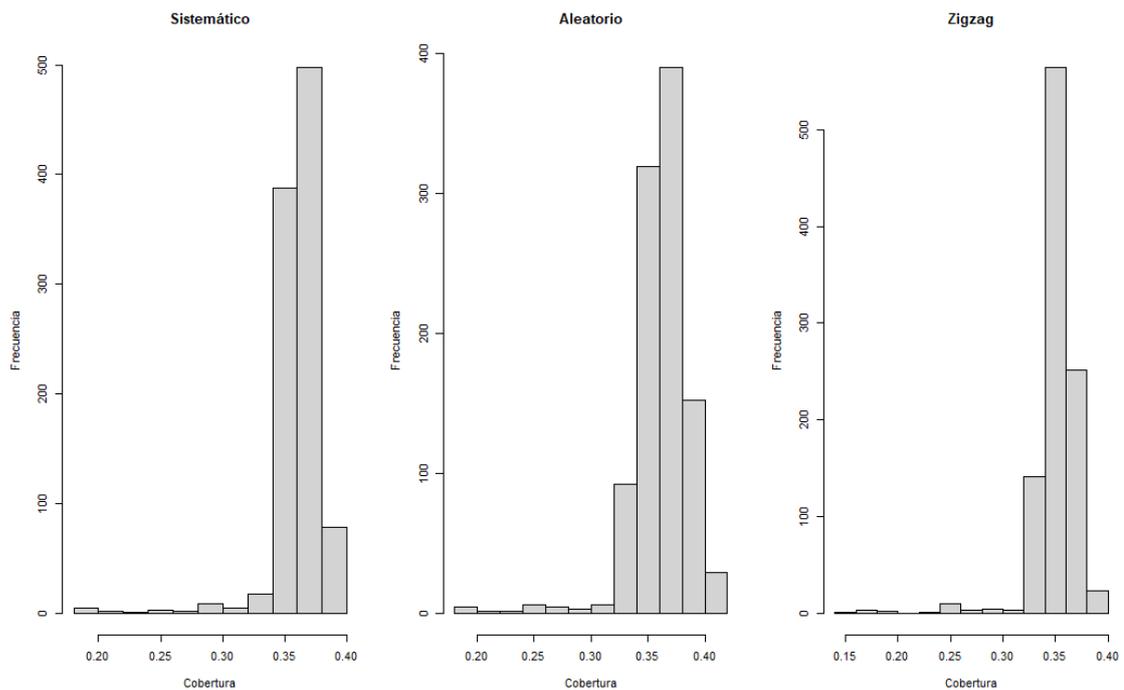


Figura 11. Distribución de probabilidad de cobertura en las 1000 simulaciones; proporción de veces un cuadrado de la malla de cobertura que se ha simulado ha caído dentro del muestreo.

El diseño que más útil podría resultar sin superar los kilómetros máximos de autonomía de la aeronave de 498 km (3h a 166 km/h), y que por lo tanto se adaptaba mejor a nuestro estudio, era el realizado en zigzag (Tabla 4). Este diseño no es el que mayor cobertura poseía, pero se seleccionó por ser el muestreo que menor desplazamiento realizaba en aeronave, lo que se traduce en un ahorro económico. Además, la diferencia de la cobertura media con el resto de los diseños es muy pequeña. Se determinó que el muestreo en zigzag es más eficaz, ya que el ratio entre

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

277.257 km y 313.817 km fue de 0.88, es decir, es el que destina mayor tiempo en esfuerzo de muestreo. En la Figura 11, se puede ver la comparativa de la distribución de la probabilidad de cobertura de los tres diseños, observando cómo no es uniforme en ninguno de ellos.

Una vez elegido el modelo y calculados los kilómetros que se realizaran, debemos tener en cuenta que la suma del desplazamiento (unos 166 km aproximadamente) no supere la autonomía máxima de la aeronave, ya que si esto sucede el diseño no será válido. El diseño en zigzag realiza como máximo un total de 277.257 ± 4.464 km a los que sumándole el desplazamiento hacen un total de 443.233 ± 5.148 km, valores que son inferiores a los 498 km que podemos hacer en cuatro horas de vuelo, limitados por la disponibilidad económica, por lo que el modelo es válido.

Una vez escogido el modelo en zigzag, al analizarlo podemos apreciar en la Tabla 4, que durante el diseño del muestreo se tuvieron en cuenta factores como no muestrear los bordes del área de estudio, y por ello se escogió la opción “minus”, lo que facilita el diseño. Además, se realizaron 1000 simulaciones para comprobar que se obtiene la cobertura deseada, elaborando transectos, de 1km de ancho de banda, en cada una de las 1000 simulaciones para aumentar la probabilidad de que los puntos de la malla utilizada fueran representados. Finalmente se tiene en cuenta que el área es próxima a un rectángulo.

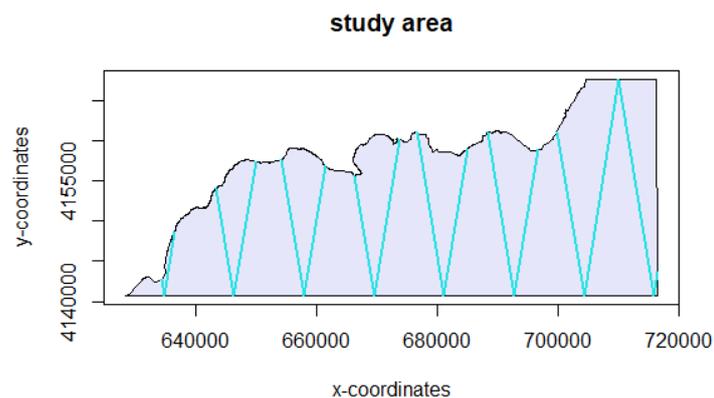


Figura 12. Representación de los transectos en zigzag sobre el área de estudio, para el muestreo en avión.

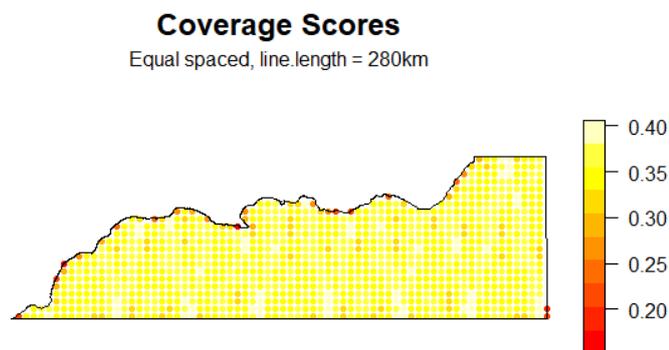


Figura 13. Niveles de cobertura sobre la ZEC de estudio representados con colores para el diseño desde aeronave.

Como se puede apreciar en las Figuras 13, la probabilidad de cobertura obtenida es bastante homogénea, mientras que en la Figura 12, se pueden apreciar los transectos en zigzag.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Para embarcación el diseño que más útil podría ser, teniendo en cuenta las limitaciones, es en zigzag, ya que, aunque no posee la mayor cobertura, este es el que más optimiza el espacio (Tabla 5.). Se observó que el muestreo en zigzag es más eficaz, a causa de que el ratio entre 147.756 km y 168.208 km fue de 0.878, es decir, es el que destina mayor tiempo en esfuerzo de muestreo. En la Figura 14, se puede ver la comparativa de la distribución de la probabilidad de cobertura de los dos diseños, observándose cómo no es uniforme en ninguno de ellos.

Tabla 5. Comparación de parámetros obtenidos en cada muestreo para determinar cuál es el idóneo, para embarcación.

	Paralelo sistemático	Zigzag espacio igual
Km por recorrer	150	150
Ancho de banda	800 m	800 m
Bordes	No	No
On effort track length máximo	157.860 ± 6.506	147.756± 6.142
Total tracking length máximo	248.942± 10.478	168.208±6.765
Ratio on/total	0.634	0.878
Cobertura media	15.5% ± 0.99%	13.86% ±0.949%
Transectos	9	8

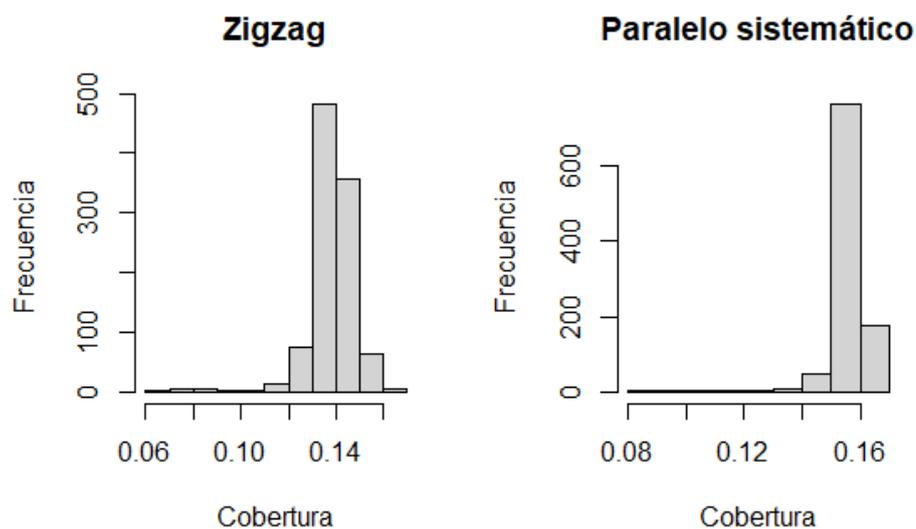


Figura 14. Distribución de probabilidad de cobertura en las 1000 simulaciones; proporción de veces un cuadrado de la malla de cobertura que se ha simulado ha caído dentro del muestreo.

Una vez escogido el modelo en zigzag, al analizarlo, podemos apreciar en la Tabla 5, que durante el diseño del muestreo se tuvieron en cuenta factores como no muestrear los bordes del área de estudio, y por ello se escogió la opción “minus”, lo que facilita el diseño. Además, se realizaron 3000 simulaciones para comprobar que se obtiene la cobertura deseada, elaborando transectos, de

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

800m de ancho de banda, para aumentar la probabilidad de que los puntos de la malla utilizada fueran representados. Finalmente se tiene en cuenta que el área es próxima a un rectángulo.

Como se puede apreciar en las Figura 16, la cobertura obtenida no es del todo homogénea, destacando las zonas por donde se trazan los transectos como las que más cobertura poseen. Por otro lado, en la Figura 15, se pueden apreciar los transectos en zigzag.

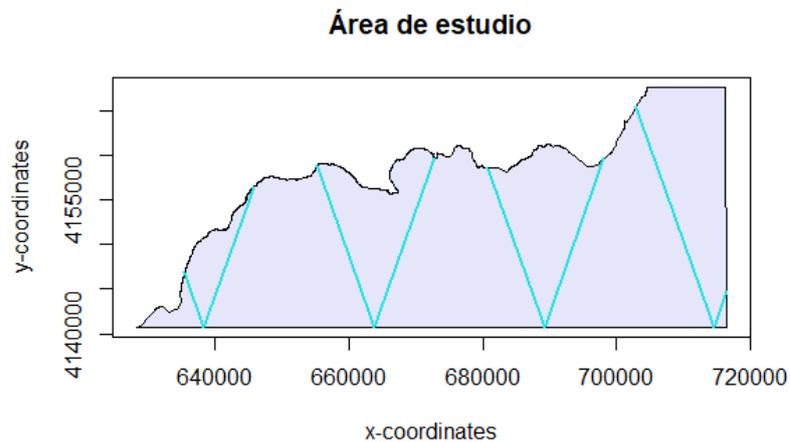


Figura 15. Representación de los transectos a realizar en la ZEC de estudio desde una embarcación.

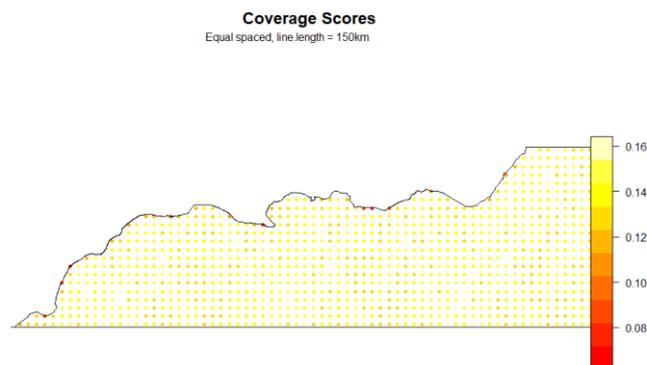


Figura 16. Niveles de cobertura sobre el área ZEC de estudio representado por colores para el diseño realizado en barco.

4.2. Transectos

Se tienen datos de dos muestreos en avión diferentes, realizados en días consecutivos. Para la realización del muestreo se tuvo en cuenta los transectos y sus respectivas ubicaciones de comienzo y final, como se puede apreciar en las Tablas 6 y 7.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Tabla 6. Transectos realizados por la Universidad Politécnica de Valencia desde aeronave.

Transecto	Comienzo		Final	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
1	37.40338	-1.40616	37.47356	-1.45684
2	37.54556	-1.33933	37.50340	-1.35990
3	37.40155	-1.27657	37.40816	-1.27920
4	37.56660	-1.22109	37.55829	-1.22400
5	37.40809	-1.15635	37.46726	-1.17861
6	37.56589	-1.08656	37.54781	-1.09356
7	37.39581	-1.03981	37.54911	-1.08325
8	37.56974	-0.98654	37.55716	-0.99036
9	37.39506	-0.91790	37.43608	-0.93065
10	37.57134	-0.86525	37.44686	-0.90285
11	37.39181	-0.79642	37.41014	-0.80295
12	37.59695	-0.73896	37.53876	-0.75632
13	37.38963	-0.67970	37.59806	-0.72795
14	37.65284	-0.64359	37.53604	-0.64122
15	37.38773	-0.56564	37.40255	-0.56823

Tabla 7. Transectos realizados por el Oceanográfico de Valencia, desde aeronave.

Transecto	Comienzo		Final	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
1	37.41336	-1.52654	37.41155	-1.52039
2	37.40864	-1.49484	37.50380	-1.39683
3	37.52483	-1.35644	37.40068	-1.23839
4	37.39693	-1.24279	37.46377	-1.19091
5	37.56942	-1.08988	37.41885	-0.99338
6	37.39575	-0.97676	37.56736	-0.87066
7	37.56254	-0.81279	37.41789	-0.73191
8	37.39295	-0.71533	37.40492	-0.70912
9	37.63241	-0.57970	37.61517	-0.57099

Una vez eliminadas las especies que no son objeto de estudio o las que se quedaron fuera de muestreo debido a que se observaron fuera de tiempo o fuera de transecto, se observaron 25 avistamientos de cetáceos (94 individuos), como se aprecia en la Figura 17 y Tabla 8, de los cuales 72 fueron detectados el primer día y 22 el segundo, y un recuento de 23 tortugas, de las cuales 18 fueron observadas el primer día de muestreo y el resto el segundo día. Al analizar los datos obtenidos de cetáceos, como se aprecia en la Tabla 8, de calderón común se detectaron 28

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

individuos en 7 grupos, lo que hace una media de 4 individuos por grupo, 9 individuos de calderón gris en un solo grupo, en cuanto al delfín listado, 41 individuos en 9 grupos diferentes, lo que hace una media de 4.6 individuos por grupo, también fueron visualizados 8 individuos de delfín mular en 6 grupos diferentes, lo que hace una media de 1.33 individuos por grupo, se detectó 1 Zifio de Cuvier en un solo grupo, y finalmente se 7 delfines sin identificar la especie en 1 grupo o avistamiento, por lo que hay 7 individuos de media por grupo.

Tabla 8. Número de ejemplares de cada especie que se vieron en cada avistamiento en el muestreo realizado desde aeronave.

CETÁCEOS			TORTUGAS		
Especie	Nº	Grupos	Especie	Nº	Grupos
Calderón gris	9	1	Tortuga boba	23	23
Delfín listado	41	9			
Delfín mular	8	6			
Zifio de Cuvier	1	1			
Calderón común	28	7			
Indefinido	7	1			

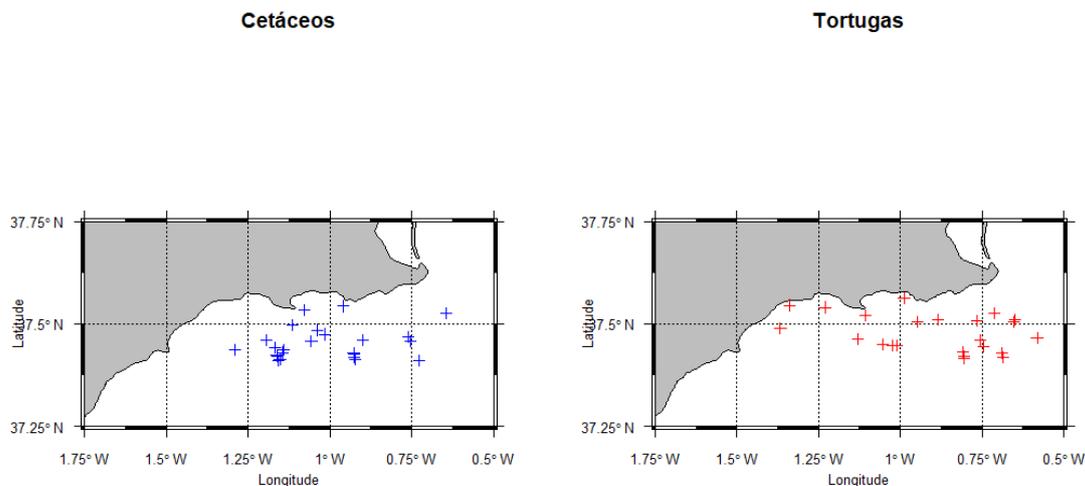


Figura 17. Representación en un mapa de la localización de los avistamientos de cetáceos y tortugas marinas en la ZEC de estudio que se observaron desde la aeronave.

Si se desglosan los cetáceos por especies y por la localización de avistamiento obtenemos los mapas observados en la Figura 18 y 19, donde se aprecia la ubicación en el mapa de la ZEC de cada avistamiento.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

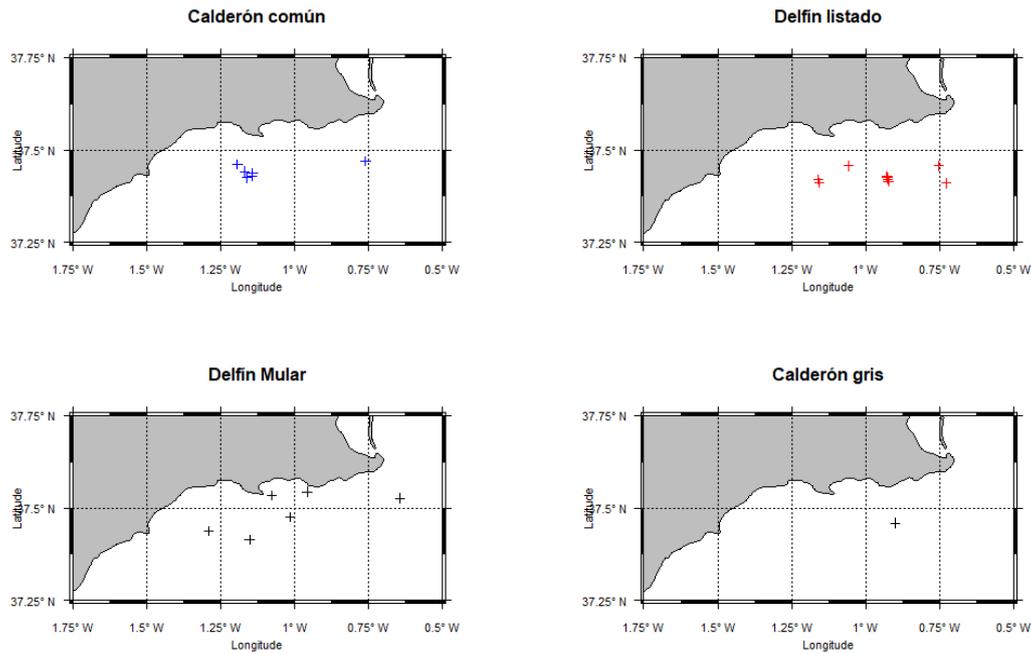


Figura 18. Representación de los avistamientos de delfín listado, delfín mular, calderón común y calderón gris realizados desde la aeronave.

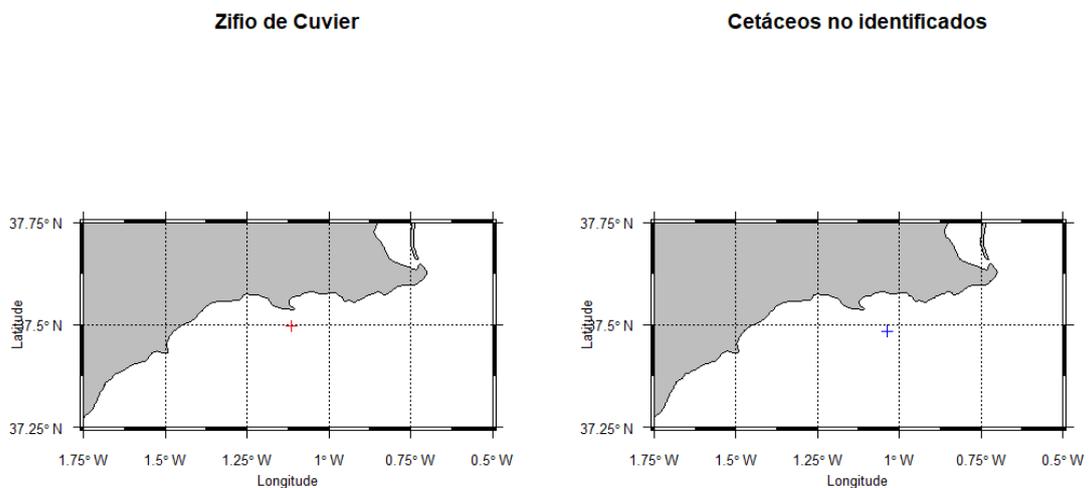


Figura 19. Representación de las ubicaciones de los avistamientos del Zifio de Cuvier y de los cetáceos no identificados desde la aeronave.

En cuanto al análisis de observaciones según la distancia, como se puede apreciar en la Figura 20, tanto para las tortugas como para los cetáceos, el número de observaciones disminuye con la distancia.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

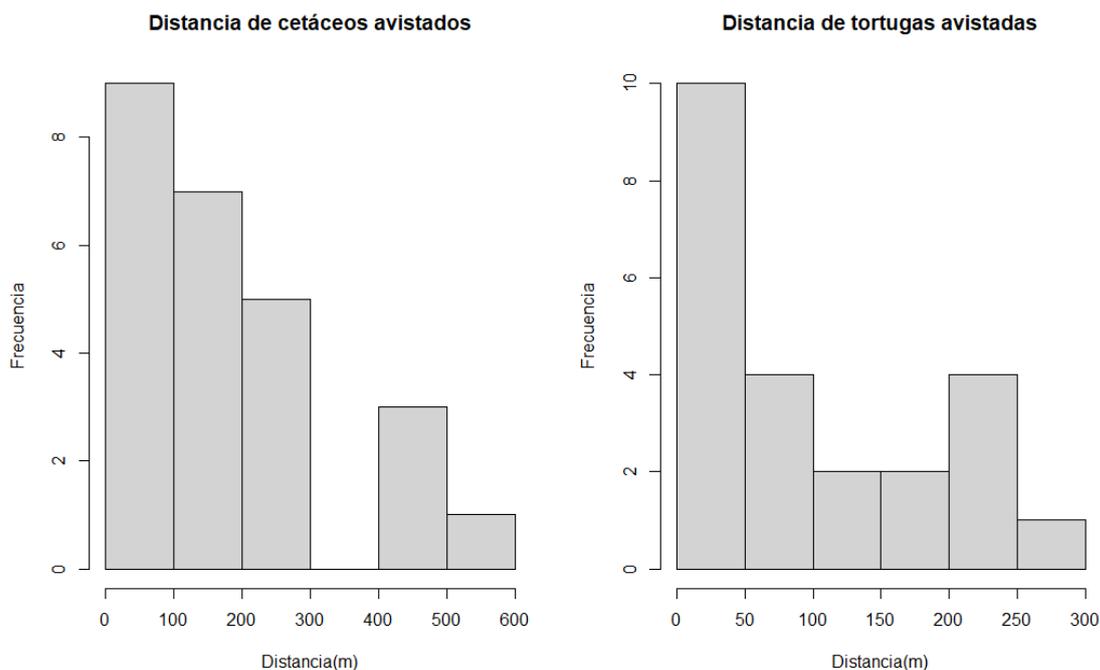


Figura 20. Representación de los avistamientos de cetáceos y tortugas marinas según la distancia obtenidas en el muestreo desde aeronave.

El muestreo desde embarcación se realizó en dos días, por imposibilidad de realizar todos los transectos en un día. Cabe destacar que para la elaboración del muestreo se tuvieron en cuenta las ubicaciones de comienzo y de final de cada transecto, realizadas en el diseño del muestreo, pero que estas sufrieron una modificación al llevarlas a cabo en el mar, debido a problemas estratégicos y por falta de tiempo. Por ello los transectos realizados (Tabla 9), no corresponden a los diseñados desde el programa Distance, variando estos el mapa que representa los transectos (Figura 21). Además, cabe destacar que el transecto número 4 no se llevó a cabo en línea recta, ya que se hizo un pequeño desvío para colocar dos hidrófonos de fondeo, y en entre el transecto 8 y 9 hay una distancia que no fue muestreada (Figura 21).

Tabla 9. Transectos realizados por la Universidad Politécnica de Valencia desde embarcación. El “*” representa el transecto en el que se realizó un desvío para fondear dos hidrófonos.

Transecto	Comienzo		Final	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
1	37.48289	-1.42554	37.39543	-1.367283
2	37.39543	-1.36728	37.55229	-1.241647
3	37.55229	-1.24165	37.39111	-1.134534
4*	37.39111	-1.13453	37.55486	-1.01764
5	37.55486	-1.01764	37.39239	-0.901781
6	37.39229	-0.89998	37.55495	-0.792206
7	37.55495	-0.79221	37.40168	-0.680159
8	37.40168	-0.68016	37.43875	-0.792622
9	37.48346	-0.95334	37.53739	-1.142447

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.



Figura 21. Mapa de transectos que se realizaron en el mar, destacando la franja en color amarillo entre los transectos 8 y 9 que no fue muestreada. Mapa elaborado en QGIS el 06/11/2020.

Una vez eliminadas las especies que no son objeto de estudio o las que se quedaron fuera de muestreo debido a que se observaron fuera de tiempo o fuera de transecto, se obtuvo un recuento de 37 cetáceos en 15 avistamientos (Figura 22 y Tabla 10). Cabe destacar que en el muestreo realizado desde barco no se detectó ningún individuo de tortuga marina. Al analizar los datos obtenidos de cetáceos, como se observa en la Tabla 10, podemos apreciar que solo se detectaron delfines, de los cuales 14 individuos pertenecían al delfín listado que se desplazaban en 5 grupos diferentes, lo que hace una media de 2,8 individuos por grupo. También fueron observados 23 ejemplares de delfín mular en 6 grupos diferentes, lo que hace una media de 3.83 individuos por grupo. Finalmente se observó un delfín sin identificar.

Tabla 10. Número de ejemplares de cada especie que se detectaron en cada avistamiento. Muestreo desde embarcación.

CETÁCEOS		
Especie	Nº	Grupos
Calderón gris	0	0
Delfín listado	14	5
Delfín mular	23	6
Zifio de Cuvier	0	0
Calderón común	0	0
Indefinido	1	1

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

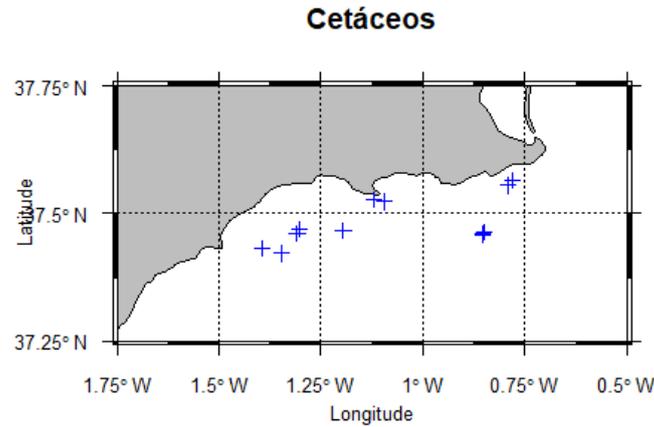


Figura 22. Representación en un mapa de la localización de los avistamientos de cetáceos en la ZEC de estudio que se observaron desde embarcación.

Si se desglosan los cetáceos por especies y por la localización de avistamiento obtenemos los mapas observados en la Figura 23, donde se aprecia la ubicación en el mapa de la ZEC de cada avistamiento.

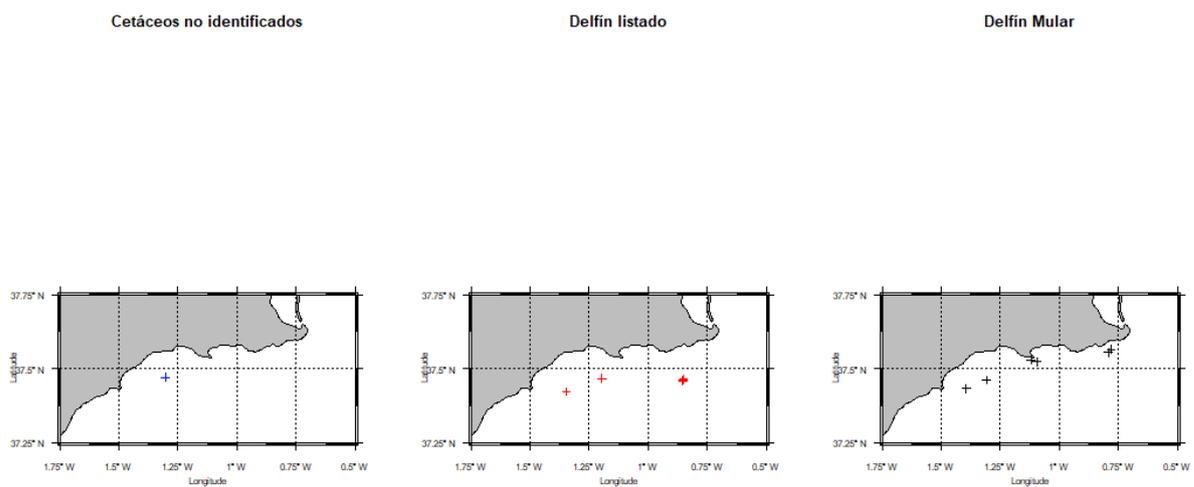


Figura 23. Representación de las ubicaciones de los avistamientos por especies, para delfín listado, delfín mular y para cetáceos no identificados desde embarcación.

En el análisis de observaciones según la distancia, representado en la Figura 24, el número de observaciones disminuye con la distancia, lo que nos determina que la mayoría de los avistamientos fueron a distancias cortas, menos de 200 metros.

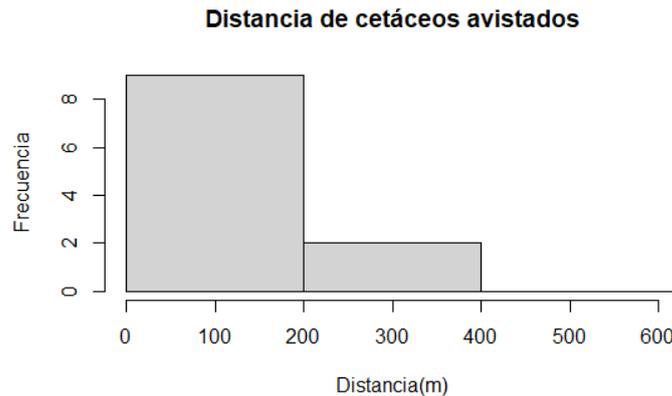


Figura 24. Representación de los avistamientos de cetáceos frente a la distancia en el muestreo realizado desde embarcación.

4.3. Elección del modelo de detección.

Una vez obtenido el número de individuos de cada especie, observados desde la aeronave y desde embarcación, se determinó cual era el modelo más adecuado para el análisis, usando tres tipos de funciones. Para ajustar una función de detección a los datos de distancias observados empleamos modelos en los que probamos tres tipos de función: función “uniforme”, “seminormal” y “tasa de riesgo” o “Hazard-rate”. Para mejorar el ajuste, se incluyeron en el modelo distintos términos de ajuste, en concreto un ajuste de coseno, y un ajuste polinómico.

- Función uniforme: $g(x)=1$, $x \leq w$ (siendo x la distancia y w el ancho de banda).
- Función seminormal: $g(x)= \exp(-x^2/2\sigma^2)$, $x \leq w$ (siendo x la distancia, w el ancho de banda y σ el valor estimado).
- Función Hazard-rate: $g(x)= 1- \exp[-(x/ \sigma)^\beta]$, $x \leq w$ (siendo x la distancia, w el ancho de banda y σ el valor estimado).

4.3.1. Aeronave: Tortugas marinas.

Para calcular la función de detección para tortugas, debido a la falta de datos, se asume que la probabilidad de detección a distancia 0 es de 1, es decir que $g(0)= 1$, por lo que se estima que todo ejemplar que se encuentre en distancia 0 será observado. Una vez analizado el $g(0)$ y antes de realizar la comparación de modelos para las tortugas mediante el método AIC, el cual determina que a menor valor más se ajusta a nuestro estudio, se realizó el test de Cramer-von Mises, como se aprecia en la Tabla 11. Con él se determinó cuáles eran los modelos que no poseen diferencias significativas (>0.05), y por lo tanto los modelos que se ajustaban a los datos obtenidos en el muestreo. Posteriormente se realizó la comparación AIC, con la que se determinó que el modelo que mejor se ajustaba a los datos fue con una función semi-normal (Half-normal) con el ajuste de coseno. Mediante este modelo se obtuvo una probabilidad de detección de tortugas en la ZEC de $p=0.507$ con un error estándar de 0.143.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Tabla 11. Comparación de los distintos parámetros de cada modelo para tortugas marinas detectadas desde aeronave.

Key function	C-vM p-value	Probabilidad	se	Delta AIC
Half-normal (cosine [2])	0.875	0.507	0.143	0
Uniform (cosine [1])	0.375	0.692	0.113	0.074
Hazard-rate	0.841	0.481	0.248	0.475
Half-normal	0.292	0.728	0.119	1.020
Uniform (polynomial [2])	0.162	0.815	0.112	1.652

Una vez analizados los datos, se representa de una forma más visual, en la Figura 25, una gráfica de bondad en la que el modelo semi-normal se adapta de una forma regular a los datos reales tomados en el muestreo, siendo la representación del modelo la recta. Si visualizamos la gráfica de la derecha de la Figura 25, podemos observar la probabilidad de detección frente a la distancia, donde se aprecia como la probabilidad disminuye de una forma baja según se amplía la distancia, siendo la zona con más probabilidad la que se encuentra entre 0 y 50 metros.

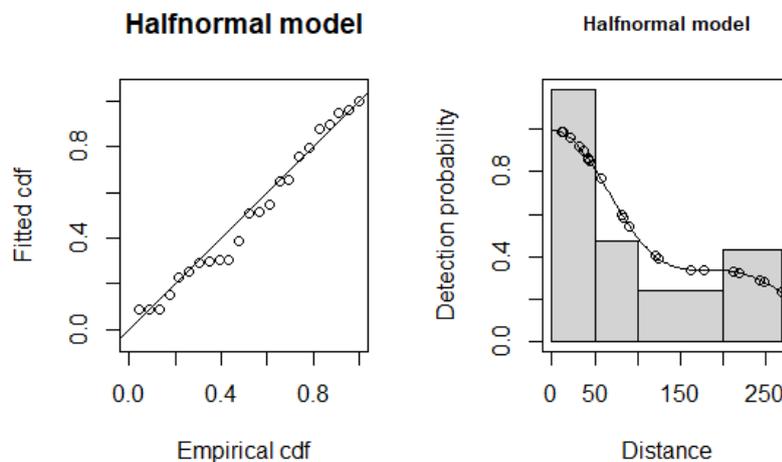


Figura 25. Representación gráfica de la prueba de bondad, donde se puede apreciar cómo se ajusta el modelo a los datos reales, y modelo de probabilidad de detección ajustado a los datos, en círculos, usando la función seminormal con ajuste de coseno de orden 2. Datos analizados de las tortugas desde aeronave.

Tras la selección del modelo, para realizar una mejora de la precisión, se añadió la covariable del observador y de la orientación del sol, obteniendo una probabilidad de detección de 0.419 ± 0.123 . La abundancia de tortugas marinas en la ZEC es de 315 individuos y la densidad de 0.205 individuos por km^2 (Tabla12).

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Tabla 12. Datos obtenidos en el modelo con la función Seminormal con ajuste de coseno para aviación.

Modelo seminormal coseno	Valor	Intervalo (95%)	Coefficiente de variación
Densidad (ind/ km ²)	0.205	0.096 - 0.437	38.93%
Abundancia (ind)	315	148 - 673	38.93%

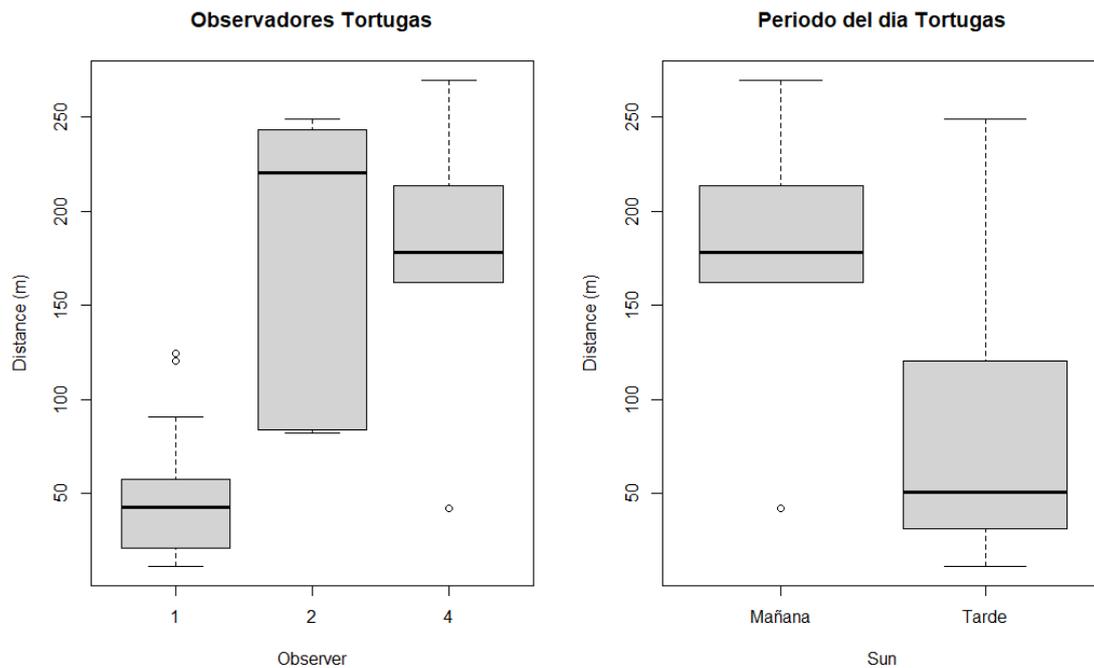


Figura 26. Representación mediante un gráfico de cajas de la distancia a la que se han detectado ejemplares por cada observador y dependiendo de la hora del día. Destaca que el observador 3 no ha detectado tortugas.

A la izquierda de la Figura 26, se representan los observadores para tortugas frente a la distancia, destacando el observador 2 como el que posee un mayor rango de distancias para la detección de tortugas (los observadores 1 y 2 pertenecen a la UPV y el 2 y el 4 a el Oceanogràfic), cabe destacar que el observador 3 no detectó tortugas. En la parte derecha de la figura se representa la hora del día (orientación del sol) frente a la distancia, observando que se detectaron tortugas en un rango de distancias mayor por la tarde.

4.3.2. Aeronave: Cetáceos.

Una vez realizada la comparación de modelos y el análisis de los datos obtenidos para tortugas, se procedió a repetir el funcionamiento para el caso de los cetáceos. Se realizó el test de Cramer-von Mises, como se aprecia en la Tabla 13, determinando que los modelos se adaptan a los datos del muestreo. Una vez valorados los modelos se realizó una comparación mediante el método AIC, determinando que el modelo con menor AIC era el modelo con función de detección Uniforme con el ajuste de coseno. Al compararlo con el segundo con menor AIC (Hazard-rate) y observar que la diferencia en AIC delta es inferior a 2, se decidió utilizar este modelo, dada la similitud con el uniforme, pero con la ventaja de que permite realizar futuros análisis con covariables. Una vez que el modelo utilizado es el correcto se determinó que la probabilidad de detección de cetáceos es de $p = 0.507$ con un error estándar de 0.147.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Tabla 13. Comparación de los distintos parámetros de los modelos utilizados para el análisis de los datos de cetáceos desde aeronave.

Key function	C-vM p-value	Probabilidad	se	Delta AIC
Uniform (cosine [2])	0.739	0.483	0.127	0.000
Hazard-rate	0.771	0.507	0.147	0.665
Half-normal	0.452	0.586	0.080	1.270
Uniform (polynomial [6])	0.706	0.527	0.141	2.482

En la Figura 27, en el gráfico de bondad, se puede apreciar como los datos (círculos) se ajustan bastante al modelo (línea recta).

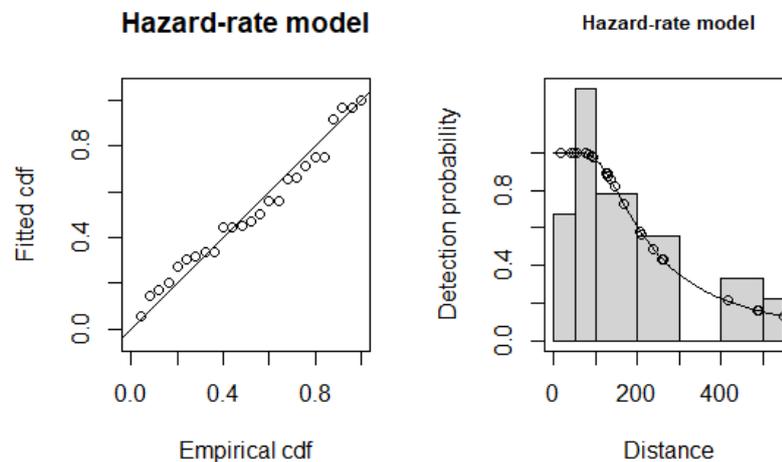


Figura 27. Representación gráfica de la prueba de bondad, donde se puede apreciar cómo se ajusta el modelo a los datos reales, y modelo de probabilidad de detección ajustado a los datos, en círculos, usando la función Hazard-rate. Datos analizados de los cetáceos desde aeronave.

Una vez escogido el modelo a utilizar, se añadieron las covariables del observador y la orientación del sol, para mitigar posibles errores, determinando que, en el área de estudio de la ZEC de los valles submarinos del escarpe de Mazarrón (asumiendo una $g(0)=1$), la probabilidad de detección de cetáceos es de 0.47 con un error estándar de 0.125, la abundancia de 634 individuos y la densidad de 0.411 individuos por km^2 (Tabla 14).

Tabla 14. Datos obtenidos en el modelo con la función Hazard-rate. Para avión.

Modelo Hazard-rate	Valor	Intervalo (95%)	Coefficiente de variación
Densidad (ind/km^2)	0.411	0.170 – 0.994	46.34%
Abundancia (ind)	634	262 – 1531	46.34%

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

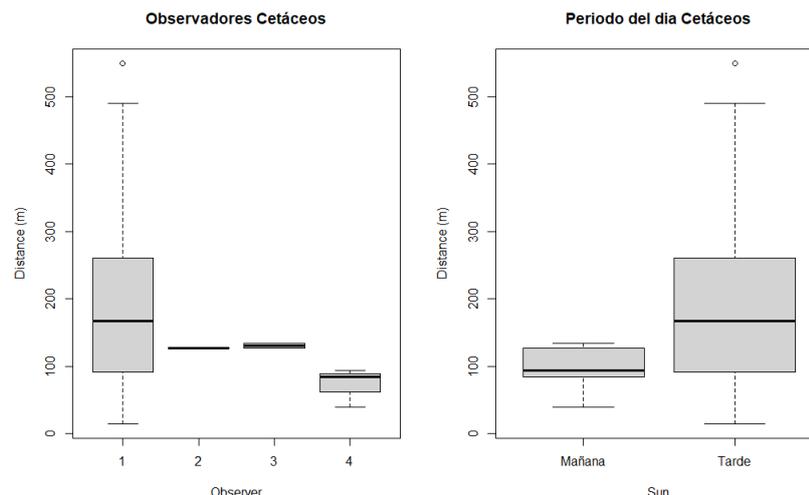


Figura 28. Representación mediante un gráfico de cajas de la distancia a la que se han detectado ejemplares por cada observador y dependiendo de la hora del día.

En la Figura 28, se representan los observadores para cetáceos frente a la distancia, destacando el observador 1 como el que posee un mayor rango de distancias para la detección de cetáceos (los observadores 1 y 2 pertenecen a la UPV y el 2 y el 4 a el Oceanografic), además, se puede observar que existe una gran diferencia entre el observador 1 y el resto de los observadores. En la parte derecha de la figura se representa la hora del día (orientación del sol) frente a la distancia, observando que se detectaron cetáceos en un rango de distancias mayor por la tarde.

Tras analizar la función que mejor se adapta asumiendo que a distancia 0 la probabilidad de detección es 1 ($g(0)=1$), para todos los cetáceos, se postestratificó, teniendo como variable de distinción la especie a la que pertenecen (Delfín mular, delfín listado, calderón gris, Zifio de Cuvier, calderón común y cetáceos no identificados). Para poder post-estratificar de una forma correcta solo se tienen en cuenta los datos obtenidos para los grupos o especies de delfín mular, el delfín listado y el calderón común. Estos ejemplares se sometieron a un análisis mediante el modelo de detección escogido para el conjunto de cetáceos, Hazard-rate con el programa Distance, además, se tendrá en cuenta que el $g(0) = 1$.

Además, el postestratificado, como se aprecia en la Tabla 15, estimó una abundancia y una densidad para cada especie, siendo la que más abundancia posee el delfín listado con 338 ejemplares y una densidad de 0.219 individuos por km^2 ($g(0)=1$). Obteniendo que la especie con mayor probabilidad de detección es el calderón común con 0.959, continuado por el delfín mular con 0,446 y el delfín listado con 0.322.

Tabla 15. Comparación de abundancias y densidades de las tres especies postestratificadas, para los cetáceos detectados en el censo desde avioneta. La abreviatura CV: coeficiente de variación.

Especie	Abundancia (individuos)	Intervalo Abundancia (individuos)	Densidad (ind/ km^2)	Intervalo Densidad (ind/ km^2)	CV %95
D. mular	54	16 - 187	0.035	0.001 - 0.122	62.61%
D. listado	338	62 - 1833	0.219	0.040 - 1.18	97.07%
C. común	92	24 - 343	0.059	0.016 - 0.222	71.02%

4.3.3. Embarcación: Cetáceos.

Antes de elaborar ningún análisis y llevar a cabo la comparación de modelos para los muestreos realizados desde embarcación, se debe aclarar que solo se van a realizar dichos análisis para cetáceos, dado que no tenemos datos de detecciones de tortugas marinas de los días del muestreo en barco. Una vez agrupados los datos de cetáceos se procedió a realizar el test de Cramer-von Mises (Tabla 16) para determinar que modelos se ajustan a los datos observados. Posteriormente a este test se compararon los modelos mediante el método AIC, que determino que el modelo de detección que mejor se ajustaba, el que menor AIC posee, es el modelo Hazard-rate. Se estimó que dicho modelo posee una probabilidad de detección del 0.236 con un error estándar de 0.092.

Tabla 16. Comparación de los distintos parámetros de los modelos utilizados para el análisis de los datos de cetáceos desde embarcación.

Key function	C-vM p-value	Probabilidad	se	Delta AIC
Hazard-rate	0.981	0.236	0.092	0.000
Half-normal (cosine [2])	0.804	0.284	0.096	0.827
Uniform (cosine [3])	0.588	0.312	0.115	1.640
Half-normal	0.103	0.419	0.049	4.490
Uniform (polynomial [6])	0.053	0.462	0.180	6.515

En la Figura 29, en el gráfico de bondad, se puede apreciar como los datos (círculos) se ajustan bastante al modelo (línea recta).

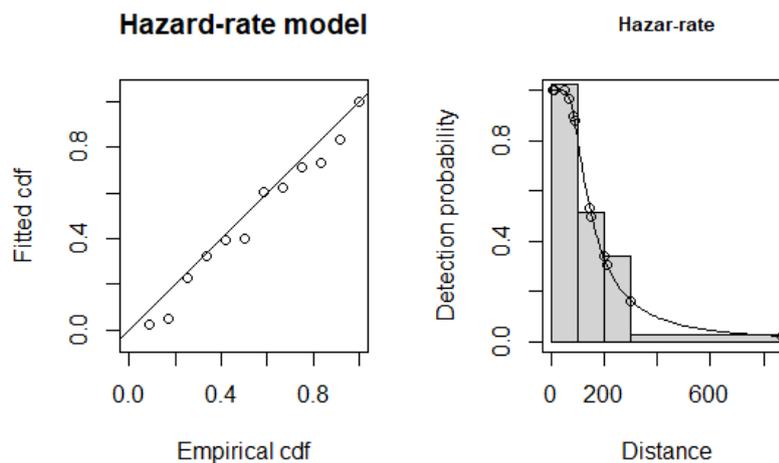


Figura 29. Representación gráfica de la prueba de bondad, donde se puede apreciar cómo se ajusta el modelo a los datos reales, y modelo de probabilidad de detección ajustado a los datos, en círculos, usando la función Hazard-rate. Datos analizados de los cetáceos desde embarcación.

Tras escoger el modelo a utilizar, se añadió la covariable del observador y la de Beaufort, o estado el mar, para mitigar posibles errores, determinando que, en el área de estudio de la ZEC de los valles submarinos del escarpe de Mazarrón (asumiendo una $g(0)=1$), la probabilidad de detección

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

es de 0.256 ± 0.081 , la abundancia de 269 individuos y la densidad de 0.175 individuos por km^2 (Tabla 17).

Tabla 17. Datos obtenidos en el modelo con la función Hazard-rate para barco.

Modelo Hazard-rate	Valor	Intervalo (95%)	Coefficiente de variación
Densidad (ind/ km^2)	0.175	0.071 – 0.427	43.33%
Abundancia (ind)	269	110 – 657	43.33%

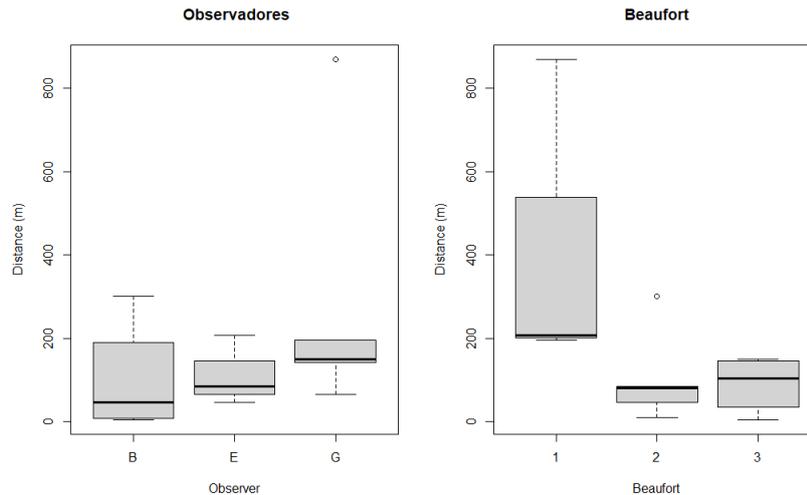


Figura 30. Representación mediante un gráfico de cajas de la distancia a la que se han detectado ejemplares por cada observador y dependiendo del estado del mar.

En la Figura 30, en la parte superior se representan los observadores para cetáceos frente a la distancia, destacando el observador B como el que posee un mayor rango de distancias para la detección de cetáceos. En la derecha de la figura se representa el Beaufort (1: mar muy calmado, 2: mar calmado, 3: mar con pequeñas olas) frente a la distancia, observando que se detectaron cetáceos en un rango de distancias mayor cuando el Beaufort es 1.

Una vez analizados los avistamientos de cetáceos de una forma conjunta, se postestratificaron, teniendo como variable de distinción la especie a la que pertenecen. Las especies que se sometieron a este proceso fueron el delfín mular y el delfín listado, ya que solo se obtuvieron datos de estas especies. Estos ejemplares se sometieron a un análisis mediante el modelo de detección escogido para el conjunto de cetáceos, Hazard-rate, y usando una $g(0)=1$. Como se aprecia en la Tabla 18, se estimó una abundancia y una densidad para cada especie, siendo la que más individuos posee el delfín mular con 132 ejemplares y una densidad de 0.085 individuos por km^2 . Las probabilidades de detección fueron de 0.592 para el delfín mular y 0.411 para el listado.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Tabla 18. Comparación de abundancias y densidades de las dos especies de cetáceos postestratificadas desde barco.

Especie	Abundancia (individuos)	Intervalo Abundancia (individuos)	Densidad (ind/ km²)	Intervalo Densidad (ind/ km²)	CV 95%
D. mular	132	49 - 354	0.085	0.032 – 0.229	48.71%
D. listado	110	29 - 420	0.071	0.019 – 0.272	67.80%

4.4. Comparación

El trabajo realizado por Carmen García Delgado con datos de 2018 (García, 2019), se realizó en la misma ZEC de estudio que el presente trabajo de fin de máster, con la diferencia de que solo analizaron poblaciones de cetáceos, además de que el estudio realizado por Carmen se realizó desde una embarcación y el presente desde avión y desde barco.

Durante el muestreo realizado en 2018, el cual duro 4 campañas (una en primavera, otra en verano y dos en otoño), se detectaron un total de 324 ejemplares, o individuos, en 33 observaciones, las cuales fueron de las especies de delfín listado, delfín común, delfín mular, calderón común, calderón gris, rorcual y cetáceos no identificados. Como se aprecia en la Tabla 20, se detectaron 15 grupos de delfín listado con una media de 5.8 ejemplares cada uno, 6 grupos de delfín mular con una media de 4.8 individuos, 3 avistamientos de delfín común con una media de 35.7 individuos, 2 grupos de cetáceos no identificados que estaban formados por 5 integrantes cada uno, 4 avistamientos de calderón común en los que había una media de 6.5 ejemplares en cada uno, 3 grupos de calderón gris con tan solo 2 individuos cada uno y por ultimo un grupo de Rorcuales con 4 individuos (Tabla 19).

Tabla 19. Comparación de los ejemplares de cada especie que se detectaron en los años 2018 y 2020, teniendo en cuenta que los datos de 2018 fueron tomados desde embarcación y los de 2020 desde aeronave.

Especie	2018		Avión 2020		Barco 2020	
	Nº individuos	Grupos	Nº individuos	Grupos	Nº Individuos	Grupos
<i>Grampus griseus</i>	6	3	9	1	0	0
<i>Stenella coeruleoalba</i>	87	15	41	9	14	5
<i>Tursiops truncatus</i>	29	6	8	6	23	6
<i>Ziphius cavirostris</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Globicephala melas</i>	26	4	28	7	0	0

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

<i>Delphinus delphis</i>	107	3	0	0	0	0
Sp no identificada	10	2	7	1	0	0
<i>Balaenoptera physalus</i>	4	1	0	0	0	0
<i>Caretta caretta</i>	0	0	23	23	0	0

4.4.1. Avión datos del 2018

Como se aprecia en la Tabla 23, en el estudio realizado en 2018 se detectaron un número mayor de especies y de individuos que en el realizado en 2020, pero analizando el esfuerzo se obtuvo que para el caso de 2018 se detectaron 0.055 grupos de ejemplares por km² en un total de 619.66 km de esfuerzo, mientras que en el caso del realizado en el presente estudio, se detectaron 0.056 grupos por km² en un esfuerzo de 446.91 km de esfuerzo. Si se tiene en cuenta el esfuerzo de desplazamiento a la zona de muestreo se detectaron 0.041 grupos de cetáceos por km² en un esfuerzo total de 612.91 km. Finalmente, cabe destacar que en el muestreo de 2018 no se visualizaron tortugas bobas, mientras que en este se observaron 0.051 detecciones por km² (con un esfuerzo de 446.91) y 0.038 detecciones por km² cuando sumamos el desplazamiento (esfuerzo total de 612.91 km).

Una vez analizados los datos en el estudio de 2018 se determinó que el modelo más adecuado para la detección de cetáceos era el de tipo seminormal (half-normal) con ajuste de coseno, ya que este se ajustaba a los datos obtenidos en el muestreo. Tras analizar los datos de 2018 se estimaron a $g(0)=1$ para poder ser comparados con los de este estudio, ya que estos se analizaron con una $g(0)=0.7513$.

Tabla 20. Comparación de los modelos usados en los dos años de estudio de 2020 y 2018, teniendo en cuenta que los datos de 2020 son realizados desde aeronave y los de 2018 desde embarcación. (*) datos ajustados a $g(0)=1$.

	Modelo	Probabilidad detección	Densidad		Abundancia		CV %
			Valor Ind/km ²	IC 95%	Valor ind	IC 95%	
2018*	Seminormal	0.493 ± 0.093	0.154	0.0008–0.293	237	1 – 451	39.75
2020	Hazard-rate	0.470 ± 0.125	0.411	0.170–0.994	634	262–1531	46.34

En la Tabla 20, se estima que la población de cetáceos ha aumentado con respecto a 2018 debido a que la densidad es mayor en 2020. Para una posterior comparación de las distintas especies analizadas se debe tener en cuenta que en 2018 no se estimó utilizando $g(0)=1$, por lo que los distintos valores de $g(0)$ se deben extrapolar a $g(0)=1$. Los valores de $g(0)$ usados en el estudio de 2018 fueron, 0.678 para el caso del delfín listado, 0,778 para delfín mular y 1 para calderón común. En la Tabla 21, se representan estos valores ya estimados a $g(0)=1$

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Tabla 21. Comparación de los modelos usados en los dos años de estudio de 2020 y 2018, teniendo en cuenta las especies posestratificadas. (*) Los valores de 2018 son estimados a $g(0)=1$.

Especie	Abundancia ind		Densidad Ind/km ²	
	2018*	2020	2018*	2020
Delfín mular	43 (10- 163)	54 (16 -187)	0.028 (0.007 – 0.106)	0.035 (0.001- 0.122)
Delfín listado	167 (83-337)	338 (62 - 1833)	0.109 (0.054 – 0.219)	0.219 (0.040-1.18)
Calderón común	12 (4- 40)	92 (24 - 343)	0.0084 (0.003- 0.026)	0.059 (0.016- 0.222)

La Tabla 21, es una comparación según las especies, donde se observa cómo tanto el delfín listado como el calderón común y el delfín mular han crecido con respecto al año 2018.

Una vez analizados los valores obtenidos en cada estudio, se procedió a un análisis estadístico mediante t de Student para la comparación de la probabilidad de detección para todos los cetáceos, utilizando un valor de $g(0) = 1$ para los dos modelos (teniendo en cuenta que la $g(0)$ usada por García en 2019 es 0.7513). Primero se estudió la homogeneidad entre los dos modelos, observando que estos eran homogéneos. A continuación, se realizó la prueba t de Student para muestras homogéneas obteniendo una $t=0.018 > a$ la $t(\text{tablas})=1.67$, por lo que se aceptó la hipótesis por la que los dos modelos usados no poseen diferencias significativas, es decir, el modelo realizado por Carmen en 2019 (García, 2019) no posee diferencias significativas con el utilizado para el muestreo desde avión en 2020, con lo que se llega a la conclusión de que las estimas son similares.

4.4.2. Avión con Barco

Otra de las comparaciones interesantes para saber si aumenta la probabilidad de detección dependiendo del transporte que se use para el muestreo, es la aeronave frente a la embarcación. En este caso no es una comparación del todo exacta, debido a que se hicieron en fechas distintas y lo ideal es la realización simultánea, pero pueden dar resultados interesantes ya que se llevaron a cabo el mismo año. Debemos destacar que solo se realizó la comparación de cetáceos detectados debido a que en el caso de la embarcación no se visualizaron tortugas marinas, y por lo tanto no hay datos para comparar.

En la Tabla 22, podemos observar un pequeño resumen de las detecciones analizadas durante este estudio para aeronave y embarcación. Cabe destacar que en las dos se usó el mismo modelo de detección, como se aprecia en la Tabla 23. En el caso realizado desde avioneta se observaron 0.056 detecciones por km² en un esfuerzo de 446.91 km de esfuerzo, mientras que desde barco fueron 0.071 detecciones por km² en un esfuerzo de 154.56 km. Si se tiene en cuenta el esfuerzo de desplazamiento a la zona de muestreo, en el caso de la avioneta se detectaron 0.041 grupos de cetáceos por km² (esfuerzo total de 612.91 km) y en desde la embarcación 0.047 detecciones por km² (esfuerzo total 234,56 km).

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Tabla 22. Comparación de las detecciones obtenidas en el muestreo de embarcación de 2020 frente a las de aeronave de 2020.

Especie	Barco		Aeronave	
	Nº individuos	Grupos	Nº individuos	Grupos
<i>Grampus griseus</i>	0	0	9	1
<i>Stenella coeruleoalba</i>	14	5	41	9
<i>Tursiops truncatus</i>	23	6	8	6
<i>Ziphius cavirostris</i>	0	0	1	1
<i>Globicephala melas</i>	0	0	28	7
Sp no identificada	1	1	7	1

Tabla 23. Comparación de los valores obtenidos para los modelos usados en barco y avión de 2020.

	Modelo	Probabilidad de detección	Densidad		Abundancia		CV %
			Valor Ind/km ²	IC 95%	Valor ind	IC 95%	
Barco	Hazard-rate	0.260± 0.081	0.175	0.071 – 0.427	269	110- 657	43.33
Avión	Hazard-rate	0.470± 0.125	0.411	0.170– 0.994	634	262- 1531	46.34

Tabla 24. Comparación de los modelos usados en el año 2020, teniendo en cuenta las especies posestratificadas.

Especie	Abundancia ind		Densidad Ind/km ²	
	Barco	Avión	Barco	Avión
Delfín mular	132 (49 - 354)	54 (16 -187)	0.085 (0.032 – 0.229)	0.035 (0.001- 0.122)
Delfín listado	110 (29- 420)	338 (62 - 1833)	0.071 (0.019- 0.272)	0.219 (0.040- 1.18)

Como se aprecia en la Tabla 23, la probabilidad de detección es mayor en el caso del avión. Además, tanto la densidad como la abundancia también son mayores cuando englobamos todos los cetáceos, pero en el caso de dividirlo en especies, en la Tabla.24, se aprecia como la densidad y abundancia del delfín mular es mayor en el muestreo desde barco y como la del delfín listado es mayor en el muestreo desde avión.

Finalmente se realizó un análisis estadístico entre los dos modelos utilizados comparando las probabilidades de detección ($g(0)=1$) de todos los cetáceos. Primero se analizó con un test de homogeneidad, el cual determinó que los dos modelos son homogéneos, por lo que se realizó un test de Student para muestras homogéneas obteniendo una $t=0.193 < t(\text{tablas})=1.69$, con lo que se acepta la hipótesis, que indica que los modelos no poseen diferencias significativas, es decir, las estimas son similares.

4.4.3. Barco: Detección visual y con el Hidrófono

Una de las comparaciones más representativas que se puede realizar es la observación o detección visual en el barco frente a la que se realizó simultáneamente con el hidrófono de arrastre por mi compañera A. Dovgan, para su trabajo de fin de máster. Hay que destacar que los datos obtenidos por A. Dovgan fueron tomados en un rango de ángulo de 360°, por lo que para evitar errores de ejemplares que ya se hayan avistado o que estén fuera del área que cubren los transectos se limitan los avistamientos solo a los que se localizan dentro de los 90° estribor y babor (un rango de 180°), en la parte de la proa del barco, y solo se tendrán en cuenta los avistados o en este caso escuchados durante la duración de los transectos, ya que el hidrófono también se arrastró fuera de transecto. Otro criterio a tener en cuenta fue el tomado por A. Dovgan el cual determina que, si entre dos silbidos o clicks no han transcurrido 10 minutos de diferencia, se consideran el mismo grupo de cetáceos.

Tabla 25. Comparación de las detecciones obtenidas en los dos muestreos realizados de forma simultánea, el realizado mediante acústica pasiva y el realizado de forma visual, que fueron realizados en 2020. Hora UTC.

Transecto	Fecha	Hidrófono		Muestreo visual		
		Hora	Especie	Hora	Especie	Distancia (m)
	28/10/20	08:14	D. listado			
1	28/10/2020			08:20	D. mular	194.856
2	28/10/2020	08:54	D. listado			
	28/10/2020			09:00	D. listado	84
	28/10/2020			09:35	D. mular	207
	28/10/2020	09:40	D. listado	09:40	D. indet.	869
3	28/10/2020	10:39	D. listado			
	28/10/2020	10:55	D. listado			
	28/10/2020			11:20	D. listado	300
4	28/10/2020	13:59	D. listado			
	28/10/2020			14:13	D. mular	45.963
5	28/10/2020	15:14	D. listado			
	28/10/2020	15:58	D. listado			
6	29/10/2020	08:59	D. listado			
	29/10/2020	09:25	D. listado			
	29/10/2020			09:35	D. listado	5
	29/10/2020			09:36	D. listado	65.961
	29/10/2020			09:38	D. listado	142.833
	29/10/2020	09:46	D. listado			
	29/10/2020	10:13	D. mular			
7	29/10/2020			10:35	D. mular	10
	29/10/2020	10:32	D. mular			
	29/10/2020			10:47	D. mular	81.317
	29/10/2020	11:27	D. listado			
8	29/10/2020	-	-	-	-	
9	29/10/2020	14:58	Delfín listado			
	29/10/2020			16:00	D. mular	150
Avistamientos totales		15		12		

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

En la Tabla 25, se pueden observar los avistamientos del hidrófono frente a la detección visual por hora y transecto, se aprecia cómo visualmente se han detectado más delfines mulares, 6 grupos frente a 1 en el hidrófono. También se puede observar que acústicamente se detectaron 3 grupos más de cetáceos, lo que sugiere que algún grupo de cetáceos no salió a superficie o se encontraba muy lejos del barco. Si se analiza la distancia a la que se visualizaron los ejemplares destaca que la distancia no es la que limita la detección del hidrófono, puesto que hay visualizaciones a pocos metros del barco que no fueron detectadas acústicamente, como por ejemplo el delfín mular del 28/10/2020 a las 14:13. Finalmente el uso del hidrófono de manera simultánea nos permite corroborar los datos, como en el caso de la detección visual sin determinar la especie, gracias al hidrófono sabemos que es un delfín listado. En la Figura 31 se representan todas las detecciones desde el hidrófono, tanto dentro como fuera de transecto.

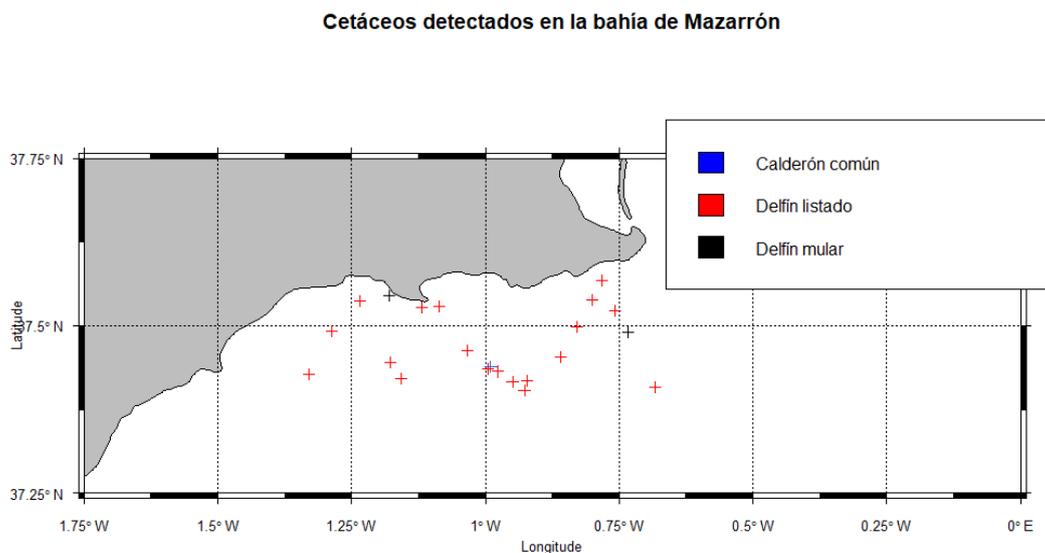


Figura 31. Representación de todos los avistamientos detectados con el hidrófono. Avistamientos realizados tanto fuera como dentro de transecto. Mapa elaborado por A. Dovgan.

Al analizar los datos podemos resaltar que acústicamente es muy difícil diferenciar grupos de cetáceos. También se puede apreciar como algunos grupos de especies no han sido detectadas de forma acústica, pero sí de forma visual, lo que puede deberse a un enmascarado acústico entre especies.

4.4.4. Barco con datos del 2018

Como ya se introdujo anteriormente, el trabajo realizado por Carmen García fue realizado desde embarcación, por lo que una comparación con este modelo podría ayudar a ajustar mejor la probabilidad de detección que hemos realizado. Se debe destacar que en el estudio García de 2019 se obtuvieron 0.434 ejemplares por km² frente a las 0.071 detecciones por km² en 2020, en un esfuerzo de 154.56 km. Si se tiene en cuenta el esfuerzo de desplazamiento a la zona de muestreo desde la embarcación se obtuvo 0.047 detecciones por km² (esfuerzo total 234,56 km).

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Tabla 26. Comparación de los dos modelos realizados desde embarcación, uno en 2018 (García, 2019) y el del estudio actual de 2020. (*) valores estimados a $g(0)=1$.

	Modelo	Probabilidad detección	Densidad		Abundancia		CV %
			Valor Ind/km ²	IC 95%	Valor ind	IC 95%	
2018*	Seminormal	0.493 ± 0.093	0.154	0.0008– 0.293	237	1 – 451	39.75
2020	Hazard-rate	0.260± 0.081	0.175	0.071 – 0.427	269	110- 657	43.33

En la Tabla 26, se puede observar como la densidad de cetáceos ha aumentado con respecto a 2018. Si se desglosa por especies avistadas en 2020, Tabla 37, podemos apreciar como el número de individuos por área de estudio ha aumentado para el caso del delfín mular, pero que ha disminuido un poco en el caso del delfín listado.

Tabla 27. Comparación de los modelos usados en el año 2018 y 2020, teniendo en cuenta las especies posestratificadas. (*) Los valores de 2018 son estimados a $g(0)=1$.

Especie	Abundancia ind		Densidad Ind/km ²	
	2018*	2020	2018*	2020
Delfín mular	43 (10- 163)	132 (49 - 354)	0.028 (0.007 – 0.106)	0.085 (0.032 – 0.229)
Delfín listado	167 (83-337)	110 (29- 420)	0.109 (0.054 – 0.219)	0.071 (0.019- 0.272)

Una vez realizada una comparación de datos se procedió a realizar una comparación estadística para determinar si existen diferencias significativas entre las probabilidades de detección de los cetáceos entre 2018 y 2020, usando $g(0)=1$. Primero se determinó si los dos modelos eran homogéneos. Al obtener un resultado afirmativo, se procedió a la utilización de la prueba t de Students para muestras homogéneas, la cual dio como resultado $t=0.224 < t(\text{tabla})= 1.681$, por lo que se acepta la hipótesis por la cual los dos modelos no poseen diferencias significativas, es decir, las estimas obtenidas en 2018 son similares a las de 2020.

Finalmente, en la Tabla 28, se representa un resumen de todas las comparaciones realizadas en todo el apartado 4.4. Observando como las densidades de delfín mular son mayores en el muestreo desde barco y las de delfín listado en el de avión.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Tabla 28. Comparación de los modelos usados en los dos años de estudio de 2020 y 2018, teniendo en cuenta las especies posestratificadas. (*) Los valores de 2018 son estimados a $g(0)=1$.

Especie	Abundancia ind			Densidad Ind/km ²		
	2018*	Avión 2020	Barco 2020	2018*	Avión 2020	Barco 2020
Delfín mular	43 (10-163)	54 (16 - 187)	132 (49 - 354)	0.028 (0.007 – 0.106)	0.035 (0.001- 0.122)	0.085 (0.032 – 0.229)
Delfín listado	167 (83-337)	338 (62 - 1833)	110 (29- 420)	0.109 (0.054 – 0.219)	0.219 (0.040- 1.18)	0.071 (0.019 -0.272)
Calderón común	12 (4- 40)	92 (24 - 343)	-	0.0084 (0.003- 0.026)	0.059 (0.016- 0.222)	-

4.5. Mejora del coeficiente de variación

Una vez analizados todos los modelos y comparados con los de 2018, debemos determinar cuánto esfuerzo de muestreo (en términos de km a muestrear) necesitamos realizar en un futuro muestreo para mejorar el coeficiente de variación de las estimas de densidad para cada especie, utilizando la formula citada en el apartado 3.5, para los dos muestreos realizados en este estudio. En la Tabla 29, se representó el valor del coeficiente de variación (95%) correspondiente a la abundancia y a la densidad.

Tabla 29. Resumen de los diferentes coeficientes de variación (CV) obtenidos en este estudio, correspondiente a la densidad y a la abundancia.

	Avión		Barco	
	CV 95%	Nº detecciones	CV 95%	Nº Detecciones
Todos los cetáceos	46.34%	25	43.33%	11
Delfín mular	62.61%	6	48.71%	6
Delfín listado	97.07%	9	67.80%	5
Calderón común	71.02%	7	-	0
Tortuga boba	38.93%	23	-	0

Avión

Se realizaron varios cálculos del CV de densidad y abundancia (Tabla 30), tanto para cetáceos como para tortugas, para poder estimar cual era el más adecuado que mejoraría el número de detecciones de cada especie aumentando la longitud del muestreo, de una forma viable.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Tabla 30. Análisis de la distancia que se necesitaría para los cetáceos y tortugas con distintos coeficientes de variación y el número de detecciones estimado a estas distancias. Siendo L_0 : longitud inicial, n_0 : detecciones iniciales, L : longitud estimada, n : detecciones estimadas. Calculo realizados con los datos de avioneta.

	CV%	Distancia L_0 (km)	Detecciones n_0	Distancia L Km	Detecciones n
Cetáceos	30	446.91	25	1066.33	59
	35			783.42	43
	40			599.81	33
Tortugas	25	446.91	23	1083.70	55
	30			752.57	38
	35			552.91	28

Como se aprecia en la Tabla 30, el coeficiente de variación más viable de realizar para cetáceos es el del 35%, con el cual se realizaría una longitud de muestreo aproximada de 783.42 km, lo que no supera el doble de la distancia actual. Además, con esta distancia aumentarían las detecciones de cetáceos hasta 43. Por otro lado, en el caso de las tortugas sería del 30%, realizando una longitud de muestreo de 752.57 km (un poco inferior al doble de la longitud actual del estudio) generando 38 detecciones.

Tabla 31. Análisis del número nuevo de detecciones y su coeficiente de variación, para cada especie de cetáceos, teniendo en cuenta los coeficientes de variación de 35%. Siendo L_0 : longitud inicial, n_0 : detecciones iniciales, L : longitud estimada, n : detecciones estimadas. Calculo realizados con los datos de avioneta.

CV %	L km	Especie	L_0 (km) especie	n_0 especie	CV%	n especie
35	783.42	Delfín mular	446.91	6	47.29	10
		Delfín listado		9	73.32	15
		Calderón común		7	53.64	12

Una vez determinado el coeficiente de variación a usar en cetáceos se procedió a calcular la mejora del coeficiente de variación de cada especie de estudio y el número de detecciones (Tabla 31), como se aprecia en la Tabla 34, el delfín mular tendría un CV (95%) del 47,29% con 10 detecciones, mientras que el delfín listado tendría un 73.32% con 15 detecciones y el calderón común un 53.64% con 12 detecciones.

Barco

Posteriormente se realizaron varios cálculos del CV de densidad y abundancia (Tabla 32) para los datos de cetáceos desde barco, para poder estimar cual era el más adecuado que permitiría mejorar el número de detecciones de cada especie aumentando la longitud del muestreo, de una forma viable.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Tabla 32. Análisis de la distancia que se necesitaría para los cetáceos con distintos coeficientes de variación y el número de detecciones estimado a estas distancias. Siendo L_0 : longitud inicial, n_0 : detecciones iniciales, L : longitud estimada, n : detecciones estimadas. Calculo realizados con los datos de barco.

	CV%	Distancia L_0 (km)	Detecciones n_0	Distancia L km	Detecciones n
Cetáceos	35	154.56	11	236.89	16
	30			322.43	22
	25			464.30	33

Como se aprecia en la Tabla 32, el coeficiente de variación más viable de realizar para cetáceos es el del 30%, con el cual se realizaría una longitud de muestreo aproximada de 322.43 km (un poco más del doble de la longitud actual). Además, con esta distancia aumentarían las detecciones de cetáceos hasta 22.

Tabla 33. Análisis del número nuevo de detecciones y su coeficiente de variación, para cada especie de cetáceos, teniendo en cuenta los coeficientes de variación de 30%. Siendo L_0 : longitud inicial, n_0 : detecciones iniciales, L : longitud estimada, n : detecciones estimadas. Calculo realizados con los datos de barco.

CV %	L km	Especie	L_0 (km) especie	n_0 especie	CV%	n especie
30	322.43	Delfín mular	154.56	6	33.72	12
		Delfín listado		5	37.03	10

Una vez determinado el coeficiente de variación a usar en cetáceos se procedió a calcular la mejora del coeficiente de variación de cada especie de estudio y el número de detecciones. Como se aprecia en la Tabla 33, el delfín mular tendría un CV (95%) del 33.72% con 12 detecciones y el delfín listado tendría un 37.03% con 10 detecciones.

5. DISCUSIÓN

En el presente estudio se han elaborado dos maneras distintas de realizar un censo de cetáceos y tortugas marinas para los cuales se diseñó una metodología de muestreo, para el avión, tras una comparación de distintos diseños, se determinó que el diseño que más se adaptaba a nuestros requisitos de autonomía de la aeronave, cubriendo la mayor área posible, era en zigzag, el cual comparando con otros estudios no es el más utilizado, debido a su dificultad de realización, al tener que seguir trayectorias con ángulos determinados y tener que realizar maniobras difíciles. Es el caso del estudio Panigada *et al.*, 2011, en el que se realiza un muestreo aéreo en el Santuario de Pelagos de forma paralela. Por otro lado, el método de muestreo desde embarcación más apropiado en este estudio fue en zigzag, en este caso para embarcaciones sí que se trata de uno de los diseños de muestreo más utilizados, debido a que el desplazamiento entre transectos en un diseño en paralelo sería muy costoso, tanto en tiempo como en dinero. Aun así, existen algunos estudios como el de Ruiz *et al.*, 2007, que deciden realizarlos en paralelo; en este estudio se realizan 4 transectos en paralelo en la bahía de Algeciras para ser comparados con los muestreos realizados desde tierra.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Una vez realizado el muestreo en aeronave en la ZEC Valles Submarinos del Escarpe de Mazarrón se obtuvieron un total de 23 tortugas *Caretta caretta*, 9 *Grampus griseus*, 41 *Stenella coeruleoalba*, 8 *Tursiops truncatus*, 1 *Ziphius cavirostris*, 28 *Globicephala melas* y 7 cetáceos que no pudieron ser identificados. Al comparar estos datos con los obtenidos desde embarcación, que fueron 14 *Stenella coeruleoalba*, 23 *Tursiops truncatus*, y 1 cetáceo indefinido, que equivalen a 0.056 detecciones por km² (esfuerzo de 446.91km) frente a las 0.071 detecciones por km² observados desde barco (esfuerzo de 154.56 km). Cabe destacar que la diferencia es grande entre los dos muestreos, pero si se valora el esfuerzo total (muestreo + desplazamiento) estos se igualan, obteniéndose 0.041 detecciones por km² en el caso de la avioneta y 0.047 detecciones por km² en el caso del barco. Aun con la pequeña diferencia de detecciones, destaca que se realizaron en distintos periodos. El avión se realizó a principios de verano, mientras que el muestreo en barco a mediados del otoño. En el estudio de Canales *et al.*, 2011, se realizó un análisis de los censos obtenidos entre los años 1998 y 2008 en la Región de Murcia, observando que el delfín mular y listado y el calderón gris y común se podían encontrar durante todo el año en la zona de estudio, con la peculiaridad de que el calderón común aumentaba considerablemente el número de individuos en verano debido a que es la época de reproducción y cría, pudiendo en este caso, aumentar el número de individuos detectados, ya que el censo desde aeronave se realizó en verano. Por otro lado, cabe destacar que desde el avión se observó un zifio de Cuvier y desde embarcación no, lo cual no es relevante debido a que los zifios son individuos difíciles de ver por su gran capacidad de aguantar la respiración, que puede durar entre 45 minutos y una hora, y a que habitan entre 800 y 1260 metros de profundidad (De Soto *et al.*, 2007).

En cuanto a las tortugas, como ya se citó anteriormente, solo se detectaron desde el muestreo de avión, con un número total de 23 individuos. Esto puede ser debido a su gran dificultad de observación, ya que se estima que las poblaciones de tortuga boba que se encuentran en el noroeste mediterráneo son juveniles que fueron forzadas a entrar en el mar por la corriente que circulan por el estrecho de Gibraltar y se ven obligadas a alimentarse en estas aguas hasta desarrollar unos niveles natatorios y de buceo que les permitan poder hacer frente a estas corrientes (Sagarminaga, Tejedor & Melero, s.f.). Además, en el estudio de Valeiras *et al.*, 2001, en el que se hace un análisis de la distribución de la tortuga boba en el mediterráneo occidental, se determinó que en el mes de junio en las zonas próximas a la ZEC se encontraba mayor actividad de tortuga boba que en el mes de octubre (Figura 32), siendo relevante el mes de noviembre por no presentar apenas detecciones en la zona, debido a que el muestreo fue realizado a finales de octubre.

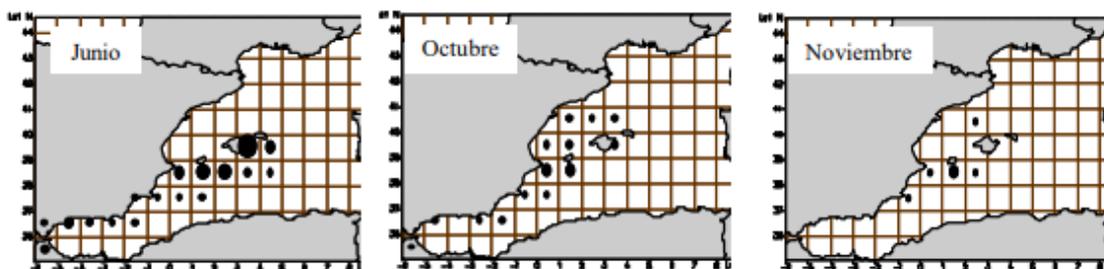


Figura 32. Mapas de distribución espacial de registros totales para los meses de junio, octubre y noviembre de los años entre 199 y 2001. Se incluyen capturas accidentales, a la deriva o avistamientos desde embarcaciones. Fuente: Valeiras *et al.*, 2001.

Tras analizar los datos de muestreo, teniendo en cuenta la distancia y la covariable del observador, se determinó que desde el avión la probabilidad de detección de tortugas era de 0.419 (Error

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

estándar de 0.123) estimando una densidad de 0.205 ind/ km² (IC95% de 0.096 y 0.437) y una abundancia de 315 individuos (IC95% entre 148 - 673), datos que se pueden comparar al estudio realizado entre 2001 y 2003 en todo el mediterráneo central español por Gómez de Segura *et al.*, 2006, en el cual se encontraron una densidad de 0.21 tortugas por km² (IC95% de 0.17 a 0.25) y una abundancia absoluta de 18954 tortugas (IC95% de 6679 a 53786), sin existir ninguna diferencia estacional. Otro estudio a tener en cuenta dado que se realizó en un área más pequeña y puede generar valores relevantes para el actual estudio, es el de Gómez de Segura *et al.*, 2003, en el cual se elaboró un muestreo de tortuga boba en la Reserva Marina de las Islas Columbretes, donde se observó una densidad media de 0.322 tortugas por km² (IC95% de 0.200 a 0.516), destacando que la mayor densidad se produjo en primavera, y la abundancia media fue de 1324 ejemplares (IC95% de 825 a 2124). De la comparación con estos análisis podemos destacar que la densidad de tortuga boba en la zona ZEC es cercana a los valores obtenidos en Gómez de Segura, 2006 (Figura 33) pero que este es inferior a la densidad del estudio de Gómez de Segura en 2003 en las Islas Columbretes. Al comparar estos estudios debemos tener en cuenta que las zonas de estudio son diferentes en cuanto ubicación y área, por lo que la comparación solo es orientativa.

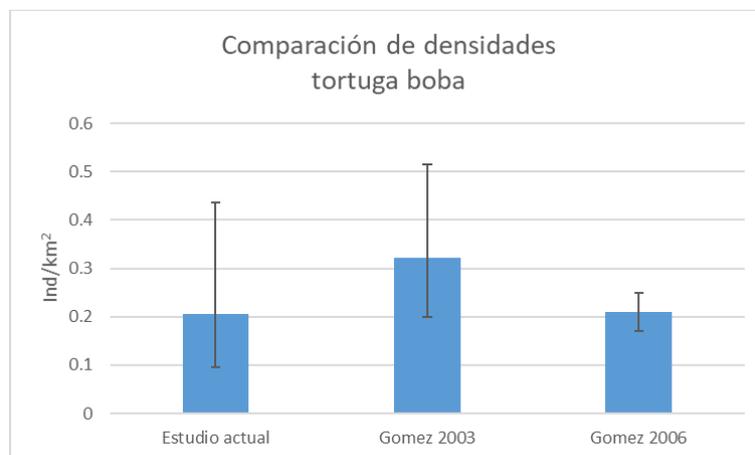


Figura 33. Comparación de densidades de tortugas entre el estudio actual y un estudio de Gómez de Segura *et al.*, 2006 y otro de Gómez de Segura *et al.*, 2003.

Por otro lado, al analizar los datos para cetáceos de embarcación y aeronave se determinó que para el muestreo realizado en embarcación el delfín mular posee una densidad es de 0.085 ind/km² (IC95% 0.032-0.229) y una abundancia de 132 ejemplares (IC95% 49 - 354) mientras que el delfín listado posee una densidad de 0.071 ind/km² (IC95% 0.019- 0.272) y una abundancia de 110 individuos (IC95% 29 – 420).

En el muestreo realizado desde aeronave la densidad del delfín mular es de 0.035 ind/km² (IC95% 0.001 – 0.122) y una abundancia de 54 individuos (IC95% 16-187), y la densidad del delfín listado de 0.219 ind/km² (IC95% 0.040 – 1.18) y una abundancia de 338 individuos (IC95% 62 - 1833). Finalmente, desde la avioneta también se detectaron calderones comunes con una densidad de 0.059 ind/km² (IC95% 0.016 – 0.222) y una abundancia de 92 individuos (IC95% 24 - 343).

Para el delfín mular podemos comparar los valores del presente estudio con los reflejados en el BOE realizado en la Región de Murcia y la Comunidad Valenciana (BOE-A-2016-7738, 2016), donde para delfín mular la densidad era de 0.041 ind/km² con un intervalo de confianza 95% de 0.023 y 0.075, la cual se encuentra en un valor cercano al analizado en el muestreo en avión, pero es la mitad que el realizado en embarcación, destacando que el área estudiada en este trabajo es

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

mucho más grande que la ZEC. Si se compara con el estudio realizado en la ZEC Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón realizado por García, 2019 (teniendo en cuenta $g(0)=1$), en el que la densidad de delfín mular es de 0.028 (IC95%=0.007-0.106).

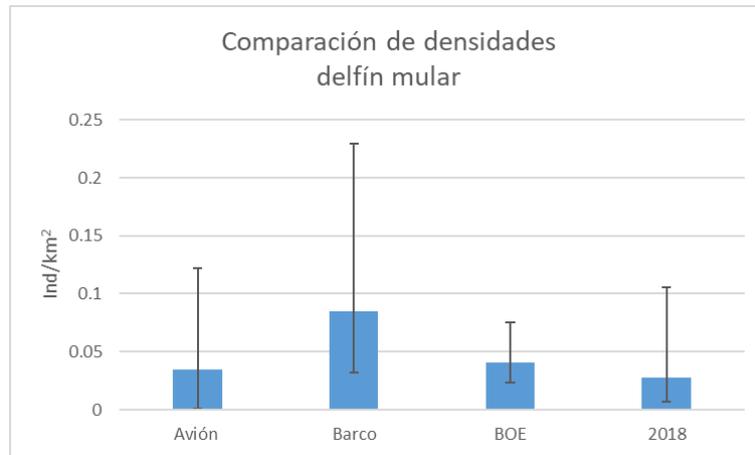


Figura 34. Comparación de densidades del delfín mular del estudio actual con el BOE y con el estudio García de 2019.

Al analizar los datos del delfín mular actuales con los de los dos estudios nombrados (Figura 34), podemos destacar que la población aumenta con respecto a 2018, pero estas poseen un intervalo de confianza demasiado grande. Para poder determinar el estado de la población se deberían realizar más censos, cotejándolos con censos que hayan sido hechos en el mismo periodo estacional, o aumentar la longitud de muestreo.

En cuanto al delfín listado en el estudio de García de 2009 posee una densidad de 0.109 ind/km² (IC95%=0.054 y 0.219), la cual es superior a la obtenida en las dos metodologías del estudio actual, como se puede apreciar en la Figura 35.

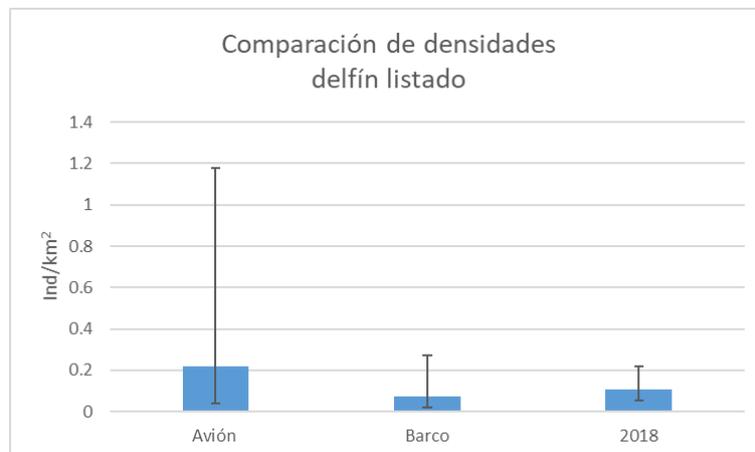


Figura 35. Comparación de densidades del delfín listado del estudio actual con el estudio de García de 2019.

Al observar la Figura 35, se puede destacar que existen grandes diferencias entre las densidades obtenidas en 2020 con respecto a las de 2018, pero que en el caso de las obtenidas desde aeronave poseen un intervalo de confianza muy amplio y que por lo tanto los datos son muy inexactos y se necesitaría realizar un mayor muestreo para minimizar los intervalos de confianza.

Tras analizar los datos de delfines compramos los datos obtenidos de calderón común desde aeronave con los del estudio de García, 2019, Figura 35, en los cuales el calderón común posee

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

una densidad de 0.0084 ind/km² (IC95%=0.003 y 0.026) y una abundancia de 12 individuos (IC95%= 4 – 40).

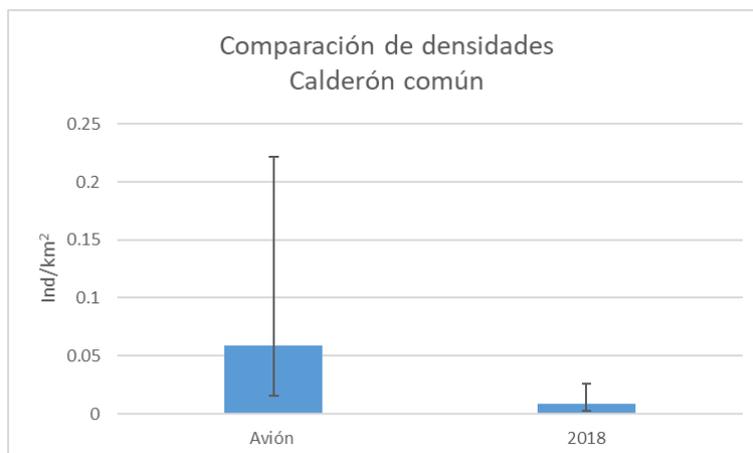


Figura 36. Comparación de densidades del calderón común del estudio actual con el estudio de García de 2019.

Observando la Figura 36, podemos observar como la densidad de calderón común en 2020 es mucho mayor a la de 2018, lo que puede ser debido a una falta de detecciones para perfilar mejor los valores, ya que el coeficiente de variación es muy amplio. Para mejorar estos valores se podría aumentar la longitud de muestreo.

Finalmente, una vez obtenido el modelo de detección más apropiado se debe tener en cuenta otros estudios u otro tipo de muestreo para ajustar la probabilidad de este y así mitigar los errores, uno de los métodos utilizados en este estudio, si no el más relevante, para mitigar estos errores fue el uso de un hidrófono de arrastre simultaneo al muestreo desde embarcación, similar al estudio realizado en la bahía de Mazarrón en 2018 (Traver, 2018), en el que se realizó un censo de cetáceos mediante acústica. En un futuro con los datos obtenidos desde el hidrófono se podría realizar un ajuste a los datos del muestreo de detección visual.

Al analizar los coeficientes de variación, se determinó que la mejor estima realizada entre los dos muestreos fue desde embarcación, ya que su CV es inferior que desde aeronave, para los delfines mulares y listados. Una forma de disminuir el coeficiente de variación y mejorar el modelo de detección es el aumento en el número de detecciones de cada especie, para ello se puede aumentar la distancia del muestreo, ya que variar la probabilidad de detección es más difícil. Se estimó que para el muestreo realizado desde avioneta se podría aumentar la longitud hasta 783.42 km para mejorar el coeficiente de variación a un 35%, mientras que en el realizado desde barco se podría aumentar hasta 322.43 km mejorando el coeficiente de variación a un 30% (Tabla 34.)

Tabla 34. Resumen de las mejoras en el CV para barco y avioneta. Siendo n: detecciones estimadas.

	Longitud	CV%	Especie	n especie	CV% especie
Avión	783.42	35	Delfín mular	10	47.29
			Delfín listado	15	73.32
			Calderón común	12	53.64
Barco	322.43	30	Delfín mular	12	33.72
			Delfín listado	10	37.03

6. CONCLUSIÓN

Durante la duración del estudio en los periodos de junio y octubre se ha demostrado la presencia de especies de vertebrados marinos de interés comunitario, es decir, los incluidos en los Anexos II y IV de la Directiva Hábitats en la ZEC de Valles Submarinos del Escarpe de Mazarrón. Destacan especies como el delfín mular (*Tursiops truncatus*), el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), el calderón común (*Globicephala melas*), calderón gris (*Grampus griseus*), Zifio de Cuvier (*Ziphius cavirostris*) y la tortuga boba (*Caretta caretta*), siendo el delfín listado el animal con más individuos en la zona de estudio. Al desglosarlo según la metodología de muestreo, cabe resaltar, que la especie más avistada desde la aeronave fue el delfín listado, mientras que desde la embarcación fue el delfín mular, teniendo en cuenta la diferencia estacional entre los dos muestreos, en un futuro, se podría replantear realizar un muestreo más amplio para determinar si el número de individuos avistado varía según el periodo del año o si depende del método de muestreo, y de esta forma despejar la incógnita de por qué en el muestreo realizado en octubre desde embarcación no se observaron ni calderones ni tortugas.

Al comparar los valores del presente estudio realizado desde la aeronave y desde la embarcación con los del 2018 se puede observar que la densidad total de cetáceos ha aumentado. Para obtener unos valores más relevantes y realizar un análisis más minucioso, debemos aumentar en el número de muestreos para poder tener más datos en el posterior análisis o realizar una mayor longitud de muestreo para mejorar el coeficiente de variación de cada especie.

La elaboración de metodologías de muestreo simultaneas permite la mitigación de errores cometidos al detectar una especie. De esta manera con la ayuda de la acústica pasiva se pueden mitigar errores de detección cometidos en el muestreo visual. En estudios futuros se podría tratar de realizar el muestreo desde barco, avión y con acústica pasiva de forma simultánea para determinar una metodología adecuada para el seguimiento de las poblaciones de estas especies en la zona, en especial para tortuga boba y delfín mular.

Para estudios futuros, se podrían analizar los datos agrupándolos en intervalos, para intentar realizar un ajuste de datos, dado que hay relativamente pocos datos para ajustar las funciones. Además, como se ha demostrado en este estudio, se puede aumentar el esfuerzo de muestreo para obtener un número más amplio de detecciones y mejorar el intervalo de confianza de cada especie, en este caso, la mejor opción es aumentar el esfuerzo de muestreo en barco hasta una distancia de 322.43 km, para conseguir un coeficiente de variación del 30% para cetáceos.

Finalmente, el control de las poblaciones de especies que se encuentren en los Anexos IV y II de la Directiva Hábitats, permite determinar el estado de la ZEC de Valles Submarinos del Escarpe de Mazarrón y observar cómo afecta la actividad humana en los hábitats que esta engloba. De esta forma se podría estudiar el impacto que producirían en un futuro actividades humanas como la construcción de infraestructuras en el puerto de Cartagena.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Bauer, R. K. (2020). Package “oceanmap”. *R package version*, 0.1.1.
- BOE-A-1999-24061, Instrumento De Ratificación del Protocolo sobre zonas especialmente protegidas y la diversidad biológica en el Mediterraneo y anexos, adoptado en Barcelona el 10 de junio de 1995 y en Montecarlo el 24 de noviembre de 1996, respectivamente. *Boletín Oficial del Estado*. Nº 302 de 18/12/1999, 44534 a 44545.
- Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Marques, T. A., & Oedekoven, C. S. (2015). Distance sampling: methods and applications.
- Canales, R. M., Méndez, A., Gimenez-Casalduero, F., Mengual, R. M., & Fernández, E. (2011). Avistamiento de cetáceos en la Región de Murcia.
- Carwardine, M. (2004) *Ballenas Delfines y Marsopas*. Barcelona: Ediciones Omega.
- Cavanaugh, J. E. (1997). Unifying the derivations for the Akaike and corrected Akaike information criteria. *Statistics & Probability Letters*, 33(2), 201-208.
- Cetáceos y Navegación. *Calderón común*. 01/11/2020, *Cetáceos y Navegación*. Sitio web: <https://www.cetaceosynavegacion.com>
- Cetáceos y Navegación. *Calderón gris*. 01/11/2020, *Cetáceos y Navegación*. Sitio web: <https://www.cetaceosynavegacion.com>
- Cetáceos y Navegación. *Delfín mular*. 19/11/2020, *Cetáceos y Navegación*. Sitio web: <https://www.cetaceosynavegacion.com>
- Cetáceos y Navegación. *Karyam*. 01/11/2020, *Cetáceos y Navegación*. Sitio web: <https://www.cetaceosynavegacion.com>
- De Soto, N. A., Johnson, M., Madsen, P., Díaz, F., Domínguez, I., Aparicio, C., Bocconcelli, A., Militello, C., & Brito, A. (2007). Nuevos descubrimientos sobre cetáceos de buceo profundo en Canarias: relación con su conservación. *Makaronesia: Boletín de la Asociación de Amigos del Museo de Ciencias Naturales de Tenerife*, (9), 70-85.
- De Stephanis, R., Verborgh, P., Gauffier, P., Esteban, R., Giménez, J., Salazar Sierra, J., Seller, N., & Sánchez Morillas, V. (2010). Informe sobre posibles impactos producibles por la ampliación del Puerto de Tarifa en las poblaciones de cetáceos del Estrecho de Gibraltar. *CIRCE, Informe técnico*.
- 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 silvestre. *Boletín Oficial del Estado*, Nº206 de 22/07/1992, 7-50.
- European Environment Agency. *Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón*. 01/11/2020, Natura 2000 Network Viewer. Sitio web: <https://natura2000.eea.europa.eu/>.
- Feliu Tena, B. (2018). Estudio y valoración de daños de la interacción entre cetáceos y pesquerías artesanales.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

- García Delgado, C. A. (2019). Estudio de las poblaciones de cetáceos en Zona de Especial Conservación" Valles submarinos del Escarpe de Mazarrón": aplicaciones para su gestión.
- Gómez de Segura, A., Tomas, J., Pedraza, S. N., Crespo, E. A., & Raga, J. A. (2003). Preliminary patterns of distribution and abundance of loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, around Columbretes Islands Marine Reserve, Spanish Mediterranean. *Marine Biology*, 143(4), 817-823.
- Gómez de Segura, A., Tomás, J., Pedraza, S. N., Crespo, E. A., & Raga, J. A. (2006). Abundance and distribution of the endangered loggerhead turtle in Spanish Mediterranean waters and the conservation implications. *Animal Conservation*, 9(2), 199-206.
- Lawrence, M. D. (2020). Package "Distance". *R. package version, 1.0.1*.
- Lerczak, J. A., & Hobbs, R. C. (1998). Calculating sighting distances from angular readings during shipboard, aerial, and shore-based marine mammal surveys. *Marine Mammal Science*, 14(3), 590-598.
- Ley 42/2007 de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y Biodiversidad. Boletín Oficial del Estado, Nº 299 de 14/12/2007.
- Marshall, L. (2020). Package "dssd". *R package version, 0.2.1*.
- Mayol, J., Muntaner, J., & Aguilar, R. (1988). Incidencia de la pesca accidental sobre las tortugas marinas en el Mediterráneo español. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 32, 19-31.
- National Geographic España. Zifidos. 02/11/2020, *National Geographic*. Sitio web: <https://www.nationalgeographic.com.es>.
- Orden AAA/1366/2016, de 4 de agosto, por la que se declaran zonas especiales de conservación de lugares de importancia comunitaria de la Región Marina Mediterránea de la Red Natura 2000, se aprueban sus correspondientes medidas de conservación y se propone la ampliación de los límites geográficos de dos lugares de importancia comunitaria. *Boletín Oficial del Estado*, Nº 193, de 11/08/2016, 57904-58468.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International journal of morphology*, 35(1), 227-232.
- Panigada, S., Lauriano, G., Burt, L., Pierantonio, N., & Donovan, G. (2011). Monitoring winter and summer abundance of cetaceans in the Pelagos Sanctuary (northwestern Mediterranean Sea) through aerial surveys. *PloS one*, 6(7), e22878.
- 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.
- Pleguezuelos, J. M., Márquez, R., & Lizana, M. (2002). *Atlas y libro rojo de los anfibios y reptiles de España*. Spain: Dirección General de Conservación de la Naturaleza.
- Puerto de Cartagena. 02/11/2020, *Autoridad Portuaria de Cartagena*. Sitio web: <http://www.apc.es/webapc>.

Estudio de las poblaciones de cetáceos y tortugas marinas en la Zona de Especial Conservación valles submarinos del Escarpe de Mazarrón.

Proyecto Distance. *Distance*. 02/11/2020, Distance Sampling. Sitio web: <http://distancesampling.org>.

Ramirez, P., & Urquiza, W. (1983). Los cetáceos mayores y el fenómeno El Niño 1982-1983.

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. *Boletín Oficial del Estado*, N° 46 de 23/02/2011, 20912-20951.

Ruiz, F., Gálvez, R. C., Guerra, J. M., Montero, A., Gil, S., & García, J. C. (2007). Estudio comparativo entre muestreos desde tierra y mar de los cetáceos de la Bahía de Algeciras. *Almoraima: revista de estudios campogibraltares*, 35, 129-136.

Sagarminaga, R., Tejedor, A., & Melero, M. (s.f.). La tortuga boba (*Caretta caretta*) en los mares de España. Fundación Biodiversidad.

Saura, F. J. R. (s.f.) La Contaminación Acústica Submarina: Fuentes e Impacto Biológico.

Traver, J. (2018). Detección acústica de cetáceos en la Bahía de Mazarrón (Murcia).

Valeiras, J., Camiñas, J. A., Cañadas, A., Fernández-Casado, M., Gonzales, P., Ocaña, O., Pérez-Gimeno, N., De los Rios, A., Sagarminaga, R., Segura, A., De Stefanis, R. & Villalba, N. (2001). Distribución de tortuga boba *Caretta caretta* en el Mediterráneo Occidental: Presencia y movimientos en el Mar Balear, Mar de Alborán y Estrecho de Gibraltar. *Libro de Resúmenes de segundo simposium de la Sociedad Española de Cetáceos*.

Varo-Cruz, N. (2010). Biología reproductora de la tortuga boba (*Caretta caretta* Linneo, 1758) en la isla de Boavista, archipiélago de Cabo Verde.

Wallace, B. P., DiMatteo, A. D., Bolten, A. B., Chaloupka, M. Y., Hutchinson, B. J., Abreu-Grobois, F. A., ... & Bourjea, J. (2011). Global conservation priorities for marine turtles. *PloS one*, 6(9), e24510.

Wells, R. S., & Scott, M. D. (2009). Common bottlenose dolphin: *Tursiops truncatus*. *Encyclopedia of marine mammals*. 249-255.

Wood, S. (2020). Package “mgcv”. R package versión, 1.8-33.