

# DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DIFERENCIAL DEL GÉNERO BALAENOPTERA EN EL OCÉANO ATLÁNTICO TROPICAL ORIENTAL

Differential space distribution of the  
*Balaenoptera* genus at the east tropical  
Atlantic Ocean

Distribución espacial diferencial do xénero  
*Balaenoptera* no Océano Atlántico Tropical  
Oriental

Trabajo de Fin de Máster en Biología Marina  
Curso académico 2018/19

Alumna: Graduada M<sup>a</sup> del Camino García Ramos

Director: Dr. José Carlos Báez Barrionuevo (IEO)  
Tutora académica: Dra. María Concepción Herrero López

Fecha de defensa: 18 Febrero 2019





DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DIFERENCIAL DEL GÉNERO  
*BALAENOPTERA* EN EL OCÉANO ATLÁNTICO TROPICAL ORIENTAL

Differential space distribution of the *Balaenoptera* genus at the  
east tropical Atlantic Ocean

Distribución espacial diferencial do xénero *Balaenoptera* no  
Océano Atlántico Tropical Oriental

Facultade de Ciencias  
Universidade da Coruña

Instituto Español Oceanográfico  
(Tenerife)

Alumna: Graduada M<sup>a</sup> del Camino García Ramos

Director: Dr. José Carlos Báez Barrionuevo (IEO)

Tutora: Dra. María Concepción Herrero López (Univ. Da Coruña)

Autorización (V<sup>o</sup>B<sup>o</sup>)

Autorización (V<sup>o</sup>B<sup>o</sup>)



Dr. José Carlos Báez Barrionuevo

Dra. María Concepción Herrero López

En Santa Cruz de Tenerife, a ...04...de.....FEBRERO... de 2019





## **AGRADECIMIENTOS:**

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres todo el esfuerzo que han realizado para que yo pudiera realizar el Máster y poder llevar a cabo este trabajo. Agradecer a mi familia y amigos, a los de siempre y los nuevos que me he ido encontrado, todo el apoyo y los ánimos que me han dado a lo largo de este camino, que no han sido pocos.

Seguidamente, también quiero agradecer a José Carlos Báez el haberme dado la oportunidad de trabajar y aprender de “estos animalillos tan monos” y, por supuesto, de haberme ayudado y guiado a lo largo del proyecto. También al Equipo de Túnidos del Instituto Español Oceanográfico de Tenerife por haberme permitido trabajar con su base de datos de avistamientos y haberme acogido en un hueco de su departamento. Dar también un especial agradecimiento a los observadores que han dedicado su tiempo a recoger la información y las imágenes sin las cuales este trabajo no habría sido posible.

Y finalmente, quiero agradecer con un cariño especial a todas esas personas que realizan estudios y labores para la conservación de mamíferos marinos a lo largo de todo el mundo, sin ellos y sin éstos animales el mundo no sería tan bonito.

## INDICE

1	Resumen.....	1
2	Abstract.....	1
3	Introducción.....	2
3.1	Importancia histórica de los cetáceos e interacción con la pesca.....	3
3.2	La pesca mediante barcos cerqueros.....	3
3.3	Distribución y especies del género <i>Balaenoptera</i> en el Atlántico tropical.....	4
3.4	Estado de conservación de las especies del género <i>Balaenoptera</i> presentes en el Océano Atlántico.....	5
	<i>Balaenoptera physalus</i> .....	5
	<i>Balaenoptera musculus</i> .....	6
	<i>Balaenoptera borealis</i> .....	6
	<i>Balaenoptera edeni</i> .....	6
	<i>Balaenoptera acutorostrata</i> .....	7
	<i>Balaenoptera bonaerensis</i> .....	7
4	Objetivo.....	8
5	Material y métodos.....	9
5.1	Área de estudio.....	9
5.2	Tratamiento de datos.....	10
5.3	Análisis de datos.....	11
5.4	Variables de estudio.....	14
	Temperatura superficial del mar (SST).....	14
	Altura de la superficie del mar (SSH).....	14
	Componente meridional de superficie (V-component).....	14
	Velocidad superficial zonal (U-component):.....	15
	Corriente (cur):.....	15
	Latitud (lat).....	15
	Longitud (long):.....	15
	Profundidad de la capa mezcla (Mld).....	16
	Oxígeno disuelto (O <sub>2</sub> ).....	16
	Salinidad (sal).....	16
5.5	Evaluación de los modelos.....	17
6	Resultados.....	19
6.1	Análisis de datos.....	19
6.2	Análisis del modelo.....	20

7	Discusión.....	21
7.1	Características del hábitat del género Balaenoptera en la zona tropical.....	21
7.2	Importancia de las variables del modelo.....	22
7.3	Los Avistamientos Oportunistas como método de estudio de cetáceos .....	23
7.4	Implicaciones socio-económicas del estudio y la conservación de cetáceos.....	24
7.5	Previsión futura para la distribución de las poblaciones de Balaenoptera.....	25
8	Conclusiones .....	26
9	Bibliografía.....	27
10	Anexo .....	36
10.1	Características para diferenciar las diferentes especies del género Balaenoptera del Atlántico.....	36

## 1 RESUMEN

Los cetáceos son el grupo de mamíferos marinos que más modificaciones ha sufrido con respecto al resto y, a lo largo de los años, han sido perseguidos por el hombre debido a la gran importancia económica que poseen, en concreto por su aceite, especialmente el género *Balaenoptera* entre otros. En la actualidad, las poblaciones de este género se encuentran protegidas por la “International Whaling Commission” (IWC), pero en muchos casos se desconoce la ubicación y el estado de las poblaciones mundiales de las diferentes especies. Es por ello que, en este trabajo se trata de mejorar el conocimiento de la distribución espacial del género *Balaenoptera* mediante técnicas de bajo coste, como es el avistamiento oportunista desde buques cerqueros en zonas del Océano Atlántico tropical. A partir de los datos recogidos por los observadores desde buques de pesca dirigidos a túnidos tropicales, los cuales permiten la identificación de los cetáceos, y de las variables ambientales se ajustan diferentes modelos de distribución, mediante regresión logística. A partir de éstos se establecen los factores diferenciales del nicho ecológico de *Balaenoptera*. Este estudio ha determinado la temperatura superficial del mar y la componente meridional de superficie como factores diferenciales de la distribución del género objeto de estudio frente al resto de cetáceos que han interactuado con la flota atunera. Esto evidencia que el avistamiento oportunista es una buena técnica para conocer la distribución de cetáceos.

## 2 ABSTRACT

Cetaceans are the group that has obtained more modifications, and over the years they have been persecuted by humans because of the great economic importance they possess, in particular for their oil, especially the genus *Balaenoptera* among others. At present, *Balaenoptera* populations are protected by the International Whaling Commission (IWC), but in many cases their location and status is unknown. For this reason, the objective of this project is to improve knowledge of the spatial distribution of *Balaenoptera* spp. using low-cost techniques, such as the opportunistic sighting from purse seiners in tropical Atlantic Ocean areas. From the data collected by observers from fishing vessels targeting tropical tunas, which allow the identification of cetaceans, and environmental variables, different distribution models are adjusted, using logistic regression. From these are established the differential factors of the ecological niche of *Balaenoptera*. This study determined that the sea surface temperature and meridional surface velocity are differential factors of the *Balaenoptera*'s distribution and, therefore, it can be affirmed that opportunistic sighting is an effective method to estimate the distribution of cetaceans.



### 3 INTRODUCCIÓN

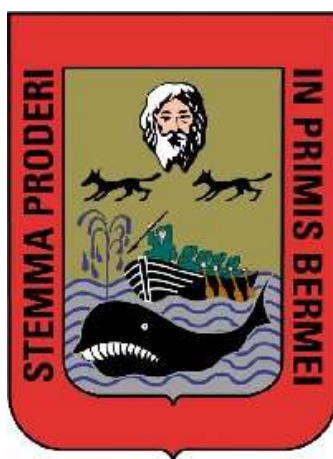
Los mamíferos marinos se definen como aquellos Placentalia (es decir, mamíferos placentarios), capaces de vivir al menos una parte de su vida en el mar, por lo que han desarrollado mecanismos coevolutivos, como por ejemplo una gran capacidad de apnea o tejidos adiposos que los protegen del frío. Esta categoría no taxonómica engloba al infraorden Cetacea, el cual se considera que ha sufrido una mayor transformación evolutiva con respecto al resto de mamíferos, ya que han perdido rasgos destacables como la presencia de pelo, y han adquirido una forma distintiva hidrodinámica y fusiforme (Aguayo et al., 1991). Características propias de los cetáceos son, entre otras, aletas pelvianas atrofiadas (parcial o totalmente), presencia de las aletas delanteras aplanadas, y la mayoría de especies poseen una aleta dorsal. Además, en la parte posterior del cuerpo, presentan una aleta caudal bien desarrollada en posición horizontal (Castelló-Orvay, 1976), y un cráneo alargado con uno o dos agujeros nasales en la parte superior, denominados espiráculos (Simmonds et al., 1996). El tamaño de los cetáceos es muy diverso, abarcando desde el animal conocido más grande del mundo, la ballena azul *Balaenoptera musculus* (Linnaeus, 1758) que alcanza 30 m, hasta la marsopa *Phocoena* G. Cuvier, 1816 que alcanza 1,5 m.

Cetacea se subdivide en las superfamilias Mysticeti y Odontoceti, que a su vez se diferencian por la presencia de barbas o dientes, y el número de espiráculos (Yablokov, 1965). Dentro de la superfamilia Mysticeti se distinguen las familias: Balaenidae (ballenas francas y ballena de Groenlandia), Balaenopteridae (rorcuales y yubarta), Eschrichtiidae (ballena gris) y Neobalaenidae (ballena pigmea). Los Mysticeti presentan dos espiráculos y poseen barbas en lugar de dientes, las cuales son utilizadas para filtrar el agua, obteniendo así el plancton y los invertebrados de los que se alimentan. La superfamilia Odontoceti agrupa a las familias: Delphinidae (delfines oceánicos y orcas), Iniidae y Platanistidae (delfines de ríos), Phocoenidae (marsopas), Physeteridae (cachalotes comunes), Kogiidae (cachalotes enanos y pigmeos), Ziphiidae (Zifios), y Monodontidae (belugas y narvales). Los Odontoceti, por su parte, presentan un solo espiráculo y poseen dientes.

Los Balaenopteridae, también conocidos como rorcuales (rorcual proviene del noruego “*røyr hval*” que significa “pliegues en la garganta”), se caracterizan por poseer una gran cabeza que abarca un tercio de la longitud de su cuerpo. Además, su boca, donde se sitúan unas barbas extremadamente grandes, es muy arqueada (Berta, 2015). A su vez, dentro de Balaenopteridae se encuentra el género *Balaenoptera* Lacépède, 1804, que es el más abundante y diverso del suborden Mysticeti.

### 3.1 *Importancia histórica de los cetáceos e interacción con la pesca*

Desde el comienzo de la historia, algunos de los cetáceos de mayor tamaño, como por ejemplo especies del género *Balaenoptera* spp. o el cachalote *Physeter macrocephalus* Linnaeus, 1758 han tenido un gran valor económico. Por ello, éstos animales eran perseguidos para poder obtener una amplia variedad de productos destinados, tanto a la industria, como al comercio (Fernández-Casado, 2000). En los pueblos del Golfo de Vizcaya tuvo una gran importancia social y económica la caza de estos animales, al menos desde el siglo XII. Actualmente, reflejo de esa historia, puede destacarse el escudo del pueblo de Bermeo (Figura 1). En Europa, ejemplos de reciente explotación se pueden encontrar en la caza de la ballena azul a mediados del siglo XX, por parte de los noruegos, los cuales provocaron el colapso de la población de esta especie en menos de cuarenta años, y la caza del rorcual común *Balaenoptera physalus* Linnaeus, 1758, en el Estrecho de Gibraltar, dónde su población colapsó en tan sólo cinco años (Aguilar, 2013). Cuando las balleneras españolas comenzaron a cerrar aproximadamente en 1860, debido a un descenso muy marcado del número de capturas, los países nórdicos tomaron el relevo, desarrollando nuevas técnicas de captura de cetáceos (Fernández-Casado, 2000). En 1986, debido a la crítica situación de las poblaciones de estas especies, la Comisión Internacional Ballenera (IWC) aplicó la moratoria sobre su caza comercial en el mundo, la cual sigue vigente a día de hoy, a excepción de Japón que decretó que a partir del año 2019 retomaría dicha actividad.



**Figura 1.** Escudo actual de la ciudad de Bermeo (Vizcaya), dónde la caza de los cetáceos tuvo una gran importancia.

### 3.2 *La pesca mediante barcos cerqueros*

Existe una importante interacción entre cetáceos y la pesca de túnidos tropicales con cerco. El término “túnido tropical” no hace mención a ningún criterio taxonómico, en

realidad se refiere a tres especies de peces pelágicos de la familia Scombridae: listado o barrilete *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758), patudo *Thunnus obesus* (Lowe, 1839) y rabil *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788), que presentan una amplia distribución pantropical, y cuyo óptimo de temperatura superficial del mar (SST) en el que habitan se sitúa en torno a los 20°C (Báez et al., 2018). La pesca de los túnidos tropicales se realiza fundamentalmente con grandes cerqueros congeladores a lo largo del cinturón tropical. España presenta una importante actividad en el Atlántico tropical (Báez et al., 2018).

La pesca con cerco se basa en determinar el rumbo y la velocidad de un banco de peces de interés comercial y posteriormente cercarlo soltando una red con una pequeña lancha de motor denominada panga. Ésta sujeta el extremo de la red, mientras que el barco hace un círculo alrededor del banco de peces, después se cierra el fondo capturando todos los individuos que se encuentran en el interior. Por lo general, la red de cerco túnidos tropicales tiene aproximadamente una longitud de 1500 metros y un ancho de 250 metros.

Los túnidos tropicales tienden a agregarse bajo la sombra de objetos flotantes, ya sean troncos naturales o pequeños artefactos creados por el hombre (Fonteneau et al., 1999), así como también cetáceos de gran tamaño en migración. Este hecho se ha aprovechado desde la década de los años 60 del pasado siglo, con la expansión de las pesquerías de cerco, lo que generó un problema llamado “*tuna-dolphin issue*”. Este problema se basó en el aprovechamiento de los pescadores de la asociación entre atunes-aves marinas y cetáceos, para calar el cerco deliberadamente encima de esas asociaciones, lo cual provocó entre las décadas de 1960 y 1970 un declive de las poblaciones de los delfines moteados del Pacífico *Stenella attenuata* (Gray, 1846) y delfín de hocico largo *S. longirostris* (Gray, 1828) (Gerrodetter & Forcada, 2005; Hall & Roman, 2013). En la actualidad, la mortalidad de cetáceos asociadas a estas pesquerías están controladas, aunque se sigue aprovechando a los grandes cetáceos para localizar cardúmenes de atunes asociados a ellos. Debido a esta peculiaridad de las pesquerías de túnidos tropicales con cerco, los barcos cerqueros representan una plataforma de oportunidad para el avistamiento de cetáceos en la región tropical.

### **3.3 Distribución y especies del género *Balaenoptera* en el Atlántico tropical**

Actualmente, se conocen 87 especies de cetáceos en el mundo, de los cuales 58 han sido observadas en el Atlántico, avistándose 8 especies en la zona norte, 14 en la zona sur y Antártica y el resto con una distribución uniforme a lo largo de todo el Océano (Folkens, 2005).

En el océano Atlántico se conocen 6 especies del género *Balaenoptera*, de las cuales al menos dos pueden observarse en la zona tropical. La población de *Balaenoptera physalus* del Atlántico es de unos 12000 individuos y, aunque no se sabe con exactitud el número de individuos que migran hacia la zona de aguas templado-cálidas del Océano Atlántico, es frecuente observar ejemplares frente a las costas de África (Jonsgaard, 1966). También se observan ejemplares de *Balaenoptera edeni*, en la zona tropical (Best, 1967). Se han encontrado algunas de éstas tan al norte como las Islas Canarias y Madeira, entre junio y noviembre (Alves et al., 2010) y ocasionalmente en las Azores (Steiner et al., 2007), aunque a día de hoy no hay ninguna estimación que permita saber el tamaño de las poblaciones residentes.

Por otro lado, aunque se han visto ejemplares de *Balaenoptera musculus* en la región tropical, no se cree que haya una población residente en esta área, ya que son aguas muy meridionales en donde es complicado que encuentren su alimento (Jonsgaard, 1955). Igualmente, y por el mismo motivo, es prácticamente imposible encontrar algún individuo de *Balaenoptera acutorostrata*, de *Balaenoptera bonaerensis*, ni de *Balaenoptera borealis* en esta zona.

### **3.4 Estado de conservación de las especies del género *Balaenoptera* presentes en el Océano Atlántico**

En 1963, la Unión Internacional para la Conservación de las Naturaleza (IUCN) creó la *Red List* de las Especies Amenazadas, en la cual aparece registrado el estado de conservación y el riesgo de extinción de muchas especies de animales y plantas a nivel mundial, tras haber realizado las evaluaciones pertinentes. La asignación del estatus de conservación se basa fundamentalmente en la tendencia de crecimiento observada de las poblaciones en una región concreta durante un periodo de tiempo predeterminado. En las especies del género *Balaenoptera* dicho estatus de conservación varía desde “preocupación menor” hasta “en peligro de extinción”.

*Balaenoptera physalus*: debido a la caza comercial de esta especie, el estado de conservación a nivel mundial pasó de ser “vulnerable” en 1994 a “en peligro de extinción” en 1996, según la *Red List* de la IUCN. De hecho, se considera que desde 1929 hasta 2007 la población mundial de esta especie se ha visto reducida en un 70%. Aunque se cree que las poblaciones del Atlántico Norte han aumentado ligeramente, la tendencia en las poblaciones del Hemisferio Sur es bastante incierta, ya que, es en esta zona donde tiene lugar el mayor número de capturas de esta especie. Se estimó que en el año 2000 la población mundial de rorcual común era de aproximadamente 53000 individuos,

encontrándose la mayor parte de ellos en el Atlántico Norte Central (Este de Groenlandia e Islandia, Jan Mayen, Noruega, y las Islas Feroe, Dinamarca) con 25800 individuos según la *International Whaling Commission* (IWC) (Walløe et al., 2007). Algunos estudios recientes han determinado que la mayor densidad de ejemplares de esta especie durante la época de verano tiene lugar en latitudes medias (40° S -60° S, 50° S -65° S) (Miyashita et al. 1995, IWC 2006a).

*Balaenoptera musculus*: la IUCN catalogó a esta especie desde 1986 como “en peligro de extinción”, debido al alto interés comercial que ha tenido a lo largo de la historia. Actualmente se cree que las poblaciones se han reducido entre un 70% y un 90% en los últimos treinta años, pasando a considerarse “en peligro crítico de extinción”. A día de hoy, se estima que la población mundial de esta especie se sitúa en un rango de entre 10000 y 25000 individuos, constituyendo así entre un 3 y un 11% del tamaño estimado para el año 1911 (IUCN, 2018). La distribución de esta especie se da a nivel global, a excepción de algunas regiones como el Mar Mediterráneo, encontrándose en mayores densidades de individuos en la zona de la Antártida en verano (Branch et al., 2007); mientras que, en invierno, la mayor parte de las poblaciones se presume que migran a latitudes más bajas como Sudáfrica o Chile (Reilly, 1990; Branch et al., 2007). En el Norte del Océano Atlántico podemos encontrar una alta densidad de individuos, en épocas estivales, desde el oeste de la Plataforma de Scotia hasta el Estrecho de Davis, en Canadá (NMFS, 1998).

*Balaenoptera borealis*: de igual manera que en los casos anteriores, la caza es la principal causa de la drástica reducción de la población mundial de esta especie, haciendo que la IUCN pasara de clasificarla de “vulnerable” (1994) a un estado de “en peligro de extinción” en 1996. Aunque la mayor parte del descenso se ha dado en el Hemisferio Sur, se ha observado un descenso global de un 80% durante las últimas tres generaciones. Se estima que la población mundial en 1930 se situaba en torno a los 140000 individuos, frente a la de 2007 que se situaba en torno a los 30000 individuos (IUCN, 2018).

Además, en el Atlántico Norte, la IWC reconoce tres áreas para la reserva de Ballenas Sei: Nueva Escocia, Estrecho de Dinamarca-Islandia y Oriental, esta última incluye las aguas de la Península Ibérica, Islas Británicas, Islas Feroe y Noruega (Víkingsson, 2009).

*Balaenoptera edeni*: categorizada como “datos insuficientes” hasta el año 2008 debido a la incertidumbre taxonómica. En 2018, la IUCN decidió clasificar esta especie, en la cual la mayoría de los individuos se engloban como subespecie pelágica de gran tamaño

*B. e. brydei*, como “preocupación menor” a nivel mundial. Si es cierto que algunas de las subespecies o poblaciones, al analizarlas por separado, pueden incluirse en la categoría de “especie amenazada” e incluso, alguna de ellas, como la Ballena del Golfo de México, en “Peligro crítico de extinción” (Corkeron et al., 2017). La disminución de las poblaciones de esta especie se debe, como en la mayoría de los casos, a las altas tasas de pesca por su valor comercial e industrial.

En la actualidad, su distribución comprende aguas de una temperatura de unos 15°C, es decir, en los océanos Pacífico, Índico y Atlántico entre aproximadamente 40° N y 40° S (Kato & Perrin, 2009). Se conoce la migración de alguna de las poblaciones del Atlántico suboriental (Best, 2001) y del Pacífico noroeste (Kanda et al., 2007) a aguas tropicales durante el invierno.

Aunque no existen una estimación actual sobre la población mundial de esta especie se sabe que se ha visto beneficiada indirectamente por las restricciones de pescas interpuestas por la IWC. La ballena de Bryde está incluida en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas (De la CITES, 2002).

*Balaenoptera acutorostrata*: en 1996 se clasificó por la IUCN como “riesgo menor/ casi amenazado” y en 2008 como “preocupación menor”. Esto es debido a que, aunque no existe una estimación de la población mundial, las evaluaciones del Hemisferio Norte estiman más de cien mil individuos, lo que está por encima del umbral de especie amenazada. Aunque cabe destacar que se han visto indicios de disminución de la población en algunas áreas.

La IWC reconoce cuatro poblaciones de ballenas Minke en el Atlántico Norte: Atlántico nororiental, Atlántico Norte central, Groenlandia occidental y costa este canadiense. El último incluye la costa este de los EE. UU. Estimaciones más recientes sitúan en 182.000 ejemplares en el año 2000 para el Océano Atlántico Norte (IUCN, 2008).

*Balaenoptera bonaerensis*: (Burmeister, 1867) en 1996 se incluyó como “en riesgo menor/dependiente de la conservación” a la espera de determinar su abundancia y tendencia (Reilly et al., 2008); sin embargo, en el año 2018 pasó a considerarse “casi amenazado” debido a la gran incertidumbre que existe sobre la población mundial y los resultados de los diferentes estudios realizados. Anteriormente no se había podido clasificar, ya que, no fue hasta la década de los 90’ cuando se diferenció de la ballena Minke común (*B. acutorostrata*) (IWC, 2001). Aunque desde ese momento se han

realizado diferentes estimaciones (desde 1993 hasta 2004) concluyendo que la población se había reducido un 31%, esta estimación era no significativa estadísticamente (IUCN, 2018). Además, también se cree que una proporción importante desconocida de dicha población podría estar en un hábitat de hielo compactado no explorado en el momento de las prospecciones (Williams et al., 2014). Sin saber la causa de la disminución de la población y con unos datos no significativos en el año 2008, se incluyó en “datos deficientes”, pero de igual manera considerando toda la evidencia disponible, de que la ballena Minke antártica podría ser clasificada como “casi amenazada”, “preocupación menor” o “vulnerable”. Siendo todos los estatus igualmente verosímiles, se decidió clasificar como la primera de las opciones.

El hábitat de esta especie se encuentra en el Hemisferio Sur, aunque hay algún registro al norte del ecuador (de Boer, 2015) y ocasionalmente se han encontrado algunos nómadas en el Ártico (Glover et al., 2010). En verano es posible observar mayor densidad de individuos al sur de 60° S, en concreto en los bordes del hielo y dentro de los paquetes de hielo (Kasamatsu et al., 1998), mientras que no se conocen áreas de alta densidad de individuos en invierno, lo que da a entender que la distribución reproductiva es bastante dispersa y fuera de la costa.

#### **4 OBJETIVO**

Actualmente los datos que se tiene sobre los grandes cetáceos son escasos, en concreto sobre la distribución de los integrantes del género *Balaenoptera*. Esto es debido a la dificultad para estudiarlos en el medio marino, lo que genera que las campañas de investigación en el mar para éstos sean excesivamente costosas y complicadas. Por ello, varios estudios sobre la distribución de especies de cetáceos han reducido los costes mediante el uso de plataformas de oportunidad que permiten obtener medidas de esfuerzo aunque están restringidas a rutas lineales constantes determinadas por las rutas pesqueras (Báez et al., 2007; Moura et al., 2012; Cominelli et al., 2016).

Típicamente, desde un avistamiento se obtiene la presencia de una especie en un determinado lugar y momento. No obstante, los avistamientos oportunistas al no disponer de esfuerzo estandarizado, un seguimiento a largo plazo y variables estándar con las que comparar es difícil su tratamiento estadístico. En trabajos previos con datos de avistamientos oportunistas (Fernández et al., 2018) se ha usado la presencia diferencial de una especie frente al resto de avistamientos para determinar hábitats “preferenciales”, y poder predecir áreas favorables para determinados grupos de cetáceos (Esteban et al., 2013; Stephanis et al., 2008).

El objetivo de este estudio es contribuir al conocimiento de las preferencias en la distribución espacial del género *Balaenoptera* en zonas del océano Atlántico tropical mediante técnicas de bajo coste como es el avistamiento oportunista de estos ejemplares desde barcos cerqueros congeladores dirigidos a la captura de túnidos del Atlántico.

La hipótesis de trabajo es que el género *Balaenoptera* en aguas tropicales presenta unas preferencias de hábitat diferencial, delimitados espacial y ambientalmente, al resto de cetáceos avistados simpátricamente.

## 5 MATERIAL Y MÉTODOS

### 5.1 Área de estudio

La FAO divide el Océano Atlántico en seis áreas de pesca diferentes (Figura 2): área 21 (Atlántico Noroeste), área 27 (Atlántico Nordeste), área 31 (Atlántico Centro-Occidental), área 34 (Atlántico Centro-Oriental), área 41 (Atlántico Suroeste) y área 47 (Atlántico Sureste).

El presente estudio se enmarca dentro del área 34, ya que es el lugar donde se lleva a cabo la captura de túnidos tropicales por parte de la flota atunera española. Cabe destacar que en este área desembocan algunos de los ríos más importantes del continente africano, como son el Congo, Senegal y Níger, por lo que la zona va a recibir una gran cantidad de aportes epicontinentales, lo que va a favorecer la productividad de plancton.

Esta zona se caracteriza por tener aguas templado-cálidas, tropicales y ecuatoriales encontrándose la temperatura media de la superficie del agua entre 17°C en las zonas templadas y los 24°C en las zonas ecuatoriales (Otero-Schmitt, 1995). Otras características oceanográficas importantes son la presencia de importantes corrientes, convergencia ecuatorial y afloramientos. Por un lado, se encuentran dos corrientes de agua fría, la Corriente de Canarias en el Hemisferio Norte y en el Hemisferio Sur la Corriente de Benguela (LeLoeuff, 1998), ambas se mueven hacia el oeste (John et al., 1966). La Corriente Cálida Ecuatorial, que queda entre las dos anteriores, se desplaza hacia la costa. Por otro lado, la Corriente de Guinea fluye en dirección este a lo largo de la costa hasta llegar al sur de la Bahía de Bonny, donde se unifica con la corriente sur que fluye al oeste (LeLoeuff, 1998). Es importante destacar la emanación de agua fría que tiene lugar en el Golfo de Guinea, que genera una caída repentina de la temperatura del agua y aumenta la concentración de nutrientes en la superficie del agua entre junio y agosto. Dichos efectos se pueden observar desde el oeste de Nigeria hasta la Costa de Marfil (Otero-Schmitt, 1995).



Las precipitaciones también afectan a la temperatura superficial del mar, ya que en algunas zonas en las épocas cálidas se presentan grandes precipitaciones en forma de lluvias que dan como resultado masas de agua fría (Anthony, 1989).

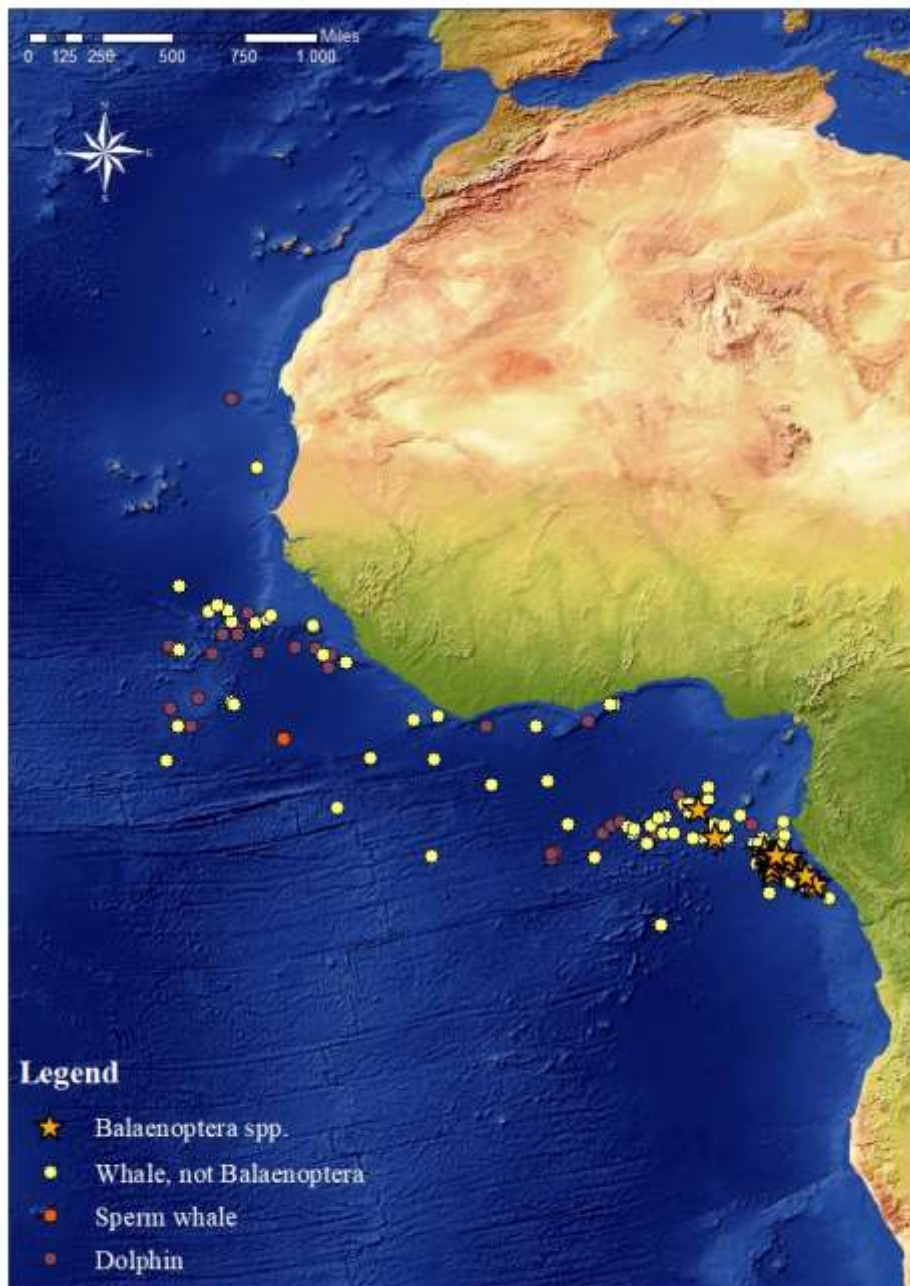


Figura 2. Áreas de pesca de la FAO. El presente estudio se enmarca dentro del área 34. Fuente: FAO.

## 5.2 Tratamiento de datos

El Instituto Español Oceanográfico lleva a cabo un programa de observadores científicos desde atuneros cerqueros para la provisión de datos para el “Plan nacional de datos básicos de pesca” (PNDB). En la actualidad dicho programa abarca el 5% de los lances realizados en el Océano Atlántico, lo que permite a su vez recoger información sobre avistamientos oportunistas. Para este trabajo se toman los datos y las fotografías recogidas por los observadores del PNDB en el Atlántico tropical oriental desde el año 2003 hasta el 2016. Para cada avistamiento de cetáceo recoge tanto la localización geográfica, como la fecha y hora, la referencia fotográfica (cuando es posible), la identificación y los comentarios que el observador cree oportunos. A partir de las fotografías y los comentarios se ha tratado de diferenciar cuáles de los cetáceos avistados pertenecen al género *Balaenoptera* y cuáles no. Para ello es importante tener conocimiento de las características más destacadas de cada especie (Ver Anexo). De esta manera se han agrupado los avistamientos en: género *Balaenoptera* (B, “*Balaenoptera*”), especies de grandes cetáceos pertenecientes al orden Mysticeti de los cuales se desconoce el género y/o la especie (WNB, “Whales not *Balaenoptera*”), individuos de pequeño tamaño pertenecientes al orden Odontoceti (D, “Dolphins”) y, por último, ejemplares de grandes odontocetos conocidos como cachalotes (SP, “Sperm Whale”). Una vez depurados los

datos se realiza un mapa con los puntos concretos de los avistamientos por grupo (Figura 3).



### Avistamientos oportunistas

**Figura 3** Mapa de los avistamientos oportunistas que han tenido lugar en el área 34 desde el año 2003 hasta 2016 clasificados por los grupos tratados en este trabajo.

#### 5.3 *Análisis de datos*

Para realizar análisis estadísticos sabiendo que el resultado es fiable, es necesario comprobar si se verifica la hipótesis de normalidad de los datos, por lo que se comprobó

mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. Además, también se testó una de las propiedades de las distribuciones aleatorias, la cual expone que en éstas la media de las frecuencias y la varianza tienden a igualarse y, por lo tanto, el cociente entre la varianza y su media debe ser uno. Esta relación es lo que se conoce el Coeficiente de Dispersión (CD) (Sokal y Rohlf, 1986). La interpretación de los resultados de CD en términos biológicos es la siguiente:

- $CD < 1$  (Repulsión): en este caso tendríamos una dispersión regular, debido a un reparto equitativo de los AO.
- $CD \approx 1$  (Distribución aleatoria): se trata de una distribución de Poisson en la que la media es igual a la varianza.
- $CD > 1$  (Agrupada): en este caso los AO están concentrados en zonas contiguas.

El nicho fundamental de Hutchinson (1957), se define matemáticamente como el conjunto de las diferentes variables ambientales (tanto factores bióticos como abióticos) y valores límite dentro de los cuales una especie concreta puede sobrevivir. Cada una de las variables, que es independiente de las otras, y sus valores límite definen un espacio N-dimensional, donde cada dimensión corresponde a un posible estado del ambiente en la que la especie puede existir, en un determinado momento (T) (Vázquez, 2005). Además cabe destacar que los atributos ambientales son considerados como “ejes” del nicho, permitiendo proyecciones recíprocas entre la distribución geográfica de una especie, ya sea real o potencial, pasada o futura, y su nicho (Colwell et al., 2009).

Así mismo, estos ejes del nicho de una especie pueden coincidir en algún punto con los de otra especie, manteniéndose el nicho fundamental en la porción de ambos donde la primera especie es capaz de sobrevivir y reproducirse. Si hablamos en términos biogeográficos, aparte de expresar los efectos de las interacciones entre especies, también se puede utilizar para determinar la limitación de la dispersión y la falta de entornos contemporáneos que se corresponden con el nicho fundamental (Vázquez, 2005).

Esta dualidad se utiliza para poder clasificar y mapear entornos, así como también para poder modelar distribuciones potenciales de especies en climas pasados, presentes y futuros. También sirve para el estudio de la distribución de las especies invasoras y el descubrimiento de nuevas especies. Del mismo modo, permite simular mundos cada vez más realistas, lo que lleva a modelos estocásticos espacialmente explícitos que abarcan la especiación, la extinción y la expansión del rango (Colwell et al., 2009).

El concepto de nicho de Hutchinson ha sido abordado desde diferentes aproximaciones matemáticas con la intención de obtener el mejor modelado posible para cada especie (Pablos et al., 2010). Los modelos de nicho ecológico se pueden dividir en estadísticos (intentan ajustar la presencia observada de una especie en función de las variables ecológicas que pueden influir en ella) o mecanicistas (modificación experimental de variables que está demostrado que afectan directamente a la especie).

Los modelos lineales generalizados (GLM) es uno de los métodos más utilizados para el ajuste de modelos de nicho ecológico estadísticos (Báez et al., 2014). La manera en la que los GLM tratan los datos binarios es asumiendo que los ceros y los unos provienen de una distribución binomial (Peng et al., 2010). En nuestro caso los unos se corresponden con el avistamiento de individuos del género *Balaenoptera*, y los ceros con el avistamiento de otras especies. Los GLM poseen los siguientes componentes:

- a. Componente aleatoria: variable aleatoria (Y) con observaciones independientes (normalmente es binaria) de la cual la función es conocida.
- b. Componente sistemática: especifica la combinación lineal de las variables explicativas que se obtienen mediante el siguiente predictor lineal (vector).

$$\eta = \sum_{j=1}^p x_j \beta_j = x' \beta$$

- c. Función de link: relaciona la componente aleatoria con la sistemática. Dónde si se denota el valor esperado de Y como  $\mu = E(Y)$ . Por tanto:

$$\eta_i = g(\mu_i) = \sum_j \beta_j x_{ij}$$

Por ello, a partir de un conjunto de variables se puede predecir la probabilidad de que un evento se produzca (Pablos et al., 2010). Dichos modelos de regresión logística requieren tanto de la obtención de observaciones positivas como de ausencias contrastadas, suponiendo estas últimas un problema ampliamente debatido (Phillips, 2008). Por ello, se han planteado diferentes métodos en los cuales solo es necesaria la presencia, como es el caso de *Aproximaciones de Máxima Entropía* (MaxEnt, Maximun Entropy Approach). Además, algunos autores han concluido que dicho método es dependiente de la proporción de presencias/ausencias de individuos en un determinado momento, obteniendo respuestas diferentes con MaxEnt al utilizar diferentes muestras de una misma población (Acevedo et al., 2012). El principal defecto de éste método es que los modelos que genera no están relacionados de manera directa con la probabilidad de ocurrencia, sin embargo, en el presente estudio se ha evitado este problema, ya que en cada uno de los casos se representa

la presencia de individuos del género *Balaenoptera* o la presencia de otros cetáceos, utilizando éstas últimas como ausencias contrastadas.

#### 5.4 Variables de estudio

Para la obtención de las variables ambientales se ha utilizado la base de datos de *Copernicus*, el cual es un programa de la Unión Europea se dedica a la observación y monitorización de la Tierra, y que analiza el planeta y su medio ambiente. Para ello se han cruzado las coordenadas geográficas y las fechas de los avistamientos para obtener de manera precisa los valores de las variables de estudio.

Dada la gran cantidad de variables que pueden determinar un nicho ecológico, para este estudio se han escogido aquellas que *a priori* se cree que pueden tener mayor influencia sobre el nicho ecológico de *Balaenoptera*. Por tanto, las variables utilizadas son las siguientes:

Temperatura superficial del mar (SST): (“Sea Surface Temperature”) fue una de las primeras y más importantes variables oceanográficas descritas y medidas (Kaplan et al., 1998). Ésta se puede ver afectada de manera significativa tanto por las precipitaciones como por las masas de aire de la atmósfera. Del mismo modo que la climatología influye en la SST, ésta influye en el clima, así como también en presencia de animales (zooplancton) y vegetales (fitoplancton) oceánicos (Sea Surface Temperature & Chlorophyll, NASA, 2018). El patrón más obvio que se muestra a lo largo del tiempo en el Océano Atlántico es la diferencia durante todo el año en las temperaturas de la superficie del mar entre las regiones ecuatoriales y los polos. Así mismo, en el área de pesca 34 de la FAO se puede encontrar que las temperaturas medias superficiales del mar oscilan entre 24° y 17° (Sea Surface Temperature in NASA, 2018).

Altura de la superficie del mar (SSH): (“Sea Surface Height”) la SSH está condicionada por los efectos de las mareas y las fuerzas que las provocan el efecto de la Luna y del Sol (variación de la gravedad, entre otros). Si se observan en largas escalas de tiempo, las variaciones de SSH son debidas a las corrientes oceánicas, modificándose hasta en un metro (tanto positiva como negativamente) (Sato et al., 2001). La salinidad, la temperatura, las olas y la presión atmosférica son otras de las variables que también influyen en la altura de la superficie del mar (Greatbatch, 1994).

Componente meridional de superficie (V-component): (“Meridional surface velocity”) en las zonas costeras la tierra se calienta durante el día, originando vientos de noroeste que soplan hacia el mar, más frío. De noche, la tierra se enfría con más rapidez, y los vientos invierten su dirección. Así mismo, cuando el viento es cálido y húmedo puede

producir un aumento de las precipitaciones modificando la temperatura superficial del agua (Lanly, 1996). Cabe destacar que las fluctuaciones del viento de noroeste se producen localmente en las regiones de grandes anomalías de la temperatura de la superficie, con vientos más fuertes de lo normal que superan las SST más frías de lo normal. Estas fluctuaciones pueden generar huracanes y grandes lluvias (FAO, 2016).

Velocidad superficial zonal (U-component): (“zonal surface velocity”) este término meteorológico está relacionado con la circulación atmosférica que sigue un patrón de flujo general a lo largo de las líneas latitudinales. Está velocidad está dominada por los vientos Alisios (Servain, 1991). Además el viento en esta región varía dependiendo de la época del año, de la orografía de la zona y el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical (ZCIT). Esto hace que la temperatura superficial del mar se reduzca en zonas costeras a valores mínimos en la épocas secas (Corredor, 1992; Arévalo et Franco, 2008), contrariamente su poca incidencia durante la época de lluvias, y en conjunto con el aumento del aporte de agua cálida del oeste y suroeste, hace que se generen incrementos de la temperatura en aguas costeras (Morales et al. 2001).

Corriente (cur): (“current”) es un movimiento direccional y no continuo de agua del mar que se presenta profundidades diversas (Field, 1981). Las corrientes son generadas el viento y termohalinas (Fahrbach et al., 2001). Además, otros factores como la variación en la densidad del agua superficial inducida por los flujos de aire y agua, tanto dulce como salada, que a menudo involucran el hielo marino en el Océano, también producen circulación (Atkinson et al., 2004). Cabe destacar que las corrientes oceánicas tienen un papel fundamental en la climatología y de numerosas maneras generan un gran efecto tanto a los ecosistemas terrestres y marinos, como al ciclo global del carbono (Ganopolski, 2008). En el área de estudio encontramos una confluencia de corrientes, tanto de agua fría como de agua caliente, que han sido descritas anteriormente en la descripción del área de trabajo.

Latitud (lat): (“latitude”) es la distancia angular entre el ecuador, y un punto determinado de la Tierra, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto. Según el hemisferio en el que se sitúe el punto, puede ser latitud Norte o Sur. Cuando mayor es la latitud mayor es la distancia con respecto al ecuador, lo que conlleva una disminución de la temperatura tanto ambiental como del agua (SST). Es por ello que dependiendo de la latitud la cantidad y disposición de nutrientes varía, así como también varía la distribución de la flora y fauna. En el área de estudio va desde los 36° N y 6° S.

Longitud (long): (“longitude”) es la distancia de un punto de la Tierra contada desde un primer meridiano (el de Greenwich que pasa por el observatorio londinense de Greenwich o

también llamado meridiano 0). Va de 0° a 180° y es de Este a Oeste. En el área de estudio la longitud abarca desde 40° W a 5° 36' E.

Profundidad de la capa mezcla (Mld): (“Mixing layer depth”) es el lugar de homogenización de la turbulencia generada por los vientos, los cambios de temperatura superficiales o diferentes procesos como la evaporación o solidificación del agua (De Boyer Montégut, 2004). Una de las implicaciones de esta capa es que determina la temperatura del agua (Thomson, 2003). Por otro lado, la profundidad de ésta determina la cantidad de luz que llega a los organismos marinos. Un ejemplo del efecto de la profundidad de esta capa es la fuerte disminución de la clorofila en el océano Atlántico Norte durante los meses de invierno; sin embargo, esto también permite aumentar el reservorio de nutrientes y por consiguiente un afloramiento del fitoplancton en primavera.

En el área de estudio la Mld varía desde los 10 metros, la cual es bastante estable sobre todo en la zona del Golfo de Guinea, hasta los aproximadamente 100 metros que se han llegado a registrar en la zona de la Macaronesia (de Boyer Montégut et al., 2004).

Oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>): (“Dissolved oxygen”) tanto la distribución del oxígeno disuelto como la saturación de oxígeno en el océano se ven afectados por los procesos físico-químicos biológicos, como son la producción marina, la respiración de los seres vivos marinos, la oxidación de materia orgánica, etc. (García, 2010). En las últimas décadas se observó un marcado descenso de la concentración de oxígeno disuelto (Joos, 2013), lo que tiene grandes implicaciones, la reducción de estos niveles puede tener consecuencias dramáticas para los ecosistemas marinos, ya que los macroorganismos móviles más importantes no pueden vivir en las zonas de hipoxia. La expansión de las aguas pobres en oxígeno, que ocupan el centro de los océanos tropicales orientales a una profundidad intermedia, se ha visto favorecida por el calentamiento global (la concentración de oxígeno disuelto en el Atlántico tropical oriental en los últimos 50 años ha sido en la capa de 300 a 700 m es de 0.09 a 0.34 micromoles por kilogramo por año) (Stramma, 2008).

Salinidad (sal): (“Salinity”) es la cantidad de sales disueltas en el agua. Los pequeños cambios de salinidad son importantes a la hora de determinar la densidad del agua y, por tanto, para determinar la circulación del agua. Por tanto, es importante que a la vez que se estima la salinidad se mida la temperatura y la conductividad del agua del mar. La salinidad en mar abierto se encuentra en un rango de 30 a 40 PSU (Unidades Prácticas de Salinidad), con una media de 35 PSU (Millero, 2008). La salinidad tanto en zonas costeras como en mares interiores es más baja, mientras que en zonas de mar abierto ésta

aumenta de forma notable. Cabe destacar que en las zonas de escorrentía de ríos y derretimiento de los polos la salinidad baja, mientras que la evaporación debida a las altas temperaturas hace que aumente. En el área de estudio la salinidad oscila entre 37,5 PSU en la zona de la Macaronesia, 35 PSU en zonas del Golfo de Guinea y algunas zonas la salinidad desciende niveles de 32 PSU (Sea surface salinity, NASA ,2011-2015).

El modelo bioquímico utilizado para el estudio de las variables es PISCES, el cual es un modelo de complejidad intermedia diseñado para aplicaciones oceánicas globales y que forma parte de la plataforma de modelado NEMO (Aumont y Bopp, 2006). Las variables pronosticas del fitoplancton son la biomasa de carbono y la clorofila, entre otras. Para el zooplancton la única variable pronostica es la biomasa en total de carbono. El programa PISCES se ha utilizado en diversos estudios biogeoquímicos con éxito, (por ejemplo, Bopp et al., 2005; Schneider et al., 2008; Steinacher et al., 2010). En 2001 se inicializó el modelo biogeoquímico para el nitrato, el fosfato, el oxígeno y el silicato con World Ocean Atlas 2001 (Conkright et al., 2002).

### **5.5 Evaluación de los modelos**

En el presente estudio se ha empleado una regresión logística binaria por pasos sucesivos. La verisimilitud se ha usado para la selección del mejor modelo posible, de entre los modelos significativos generados.

Los modelos de este trabajo se han calculado mediante el programa IBM-SPSS Statistic versión 19, el cual permite la utilización de la regresión logística binaria por “pasos hacia delante”. Este método permite seleccionar las variables del modelo de forma automática según sean o no estadísticamente significativas, lo que permite evaluar en cada nuevo paso los coeficientes y su significación, manteniendo o eliminando las variables correspondientes. En un primer paso del programa se introduce una variable, a continuación en un segundo paso otra y así de manera sucesiva hasta obtener un modelo parsimonioso. El resultado que se obtendrá es una función que permite conocer la probabilidad de avistamiento de los grupos determinados anteriormente en relación al conjunto de variables.

Para evitar incluir variables en el modelo por una relación ilegítima se observó su significación estadística con anterioridad, mediante el método *False Discovery Rate* (FDR) (Benjamini et al., 1995). De este modo, en un primer paso se realizó una regresión para cada variable dependiente diana con todas las variables independientes. La puntuación obtenida es comparada con un alfa preestablecido para cada uno de ellos; calculando alfa a



partir de dividir 0.05 entre el número total de variables testadas y multiplicado a su vez por la posición que ocupa en una ordenación de menos a mayor en función de su puntuación inicial. Las variables que poseen una puntuación mayor que el alfa preestablecido para ellas no se tendrán en cuenta para el ajuste del modelo explicativo (Benjamini et al., 1995).

La capacidad de predicción del modelo definido se comprobó usando el test de Hosmer & Lemeshow que compara las frecuencias observadas y esperadas para cada valor de la variable binomial según su probabilidad, evaluando el ajuste global del modelo. En este caso se espera que no haya diferencias entre la distribución observada y esperada para que el modelo tenga un buen ajuste (Peng et al., 2010).

Para comprobar la bondad del ajuste de cada uno de los modelos se utiliza el log-verosimilitud maximizada (Peng et al., 2010). Esto permite comparar dos parámetros e indica cual es más verosímil en la explicación de un suceso mediante la realización de inferencias del valor de los parámetros de un modelo estadístico a partir de un conjunto de observaciones. Así mismo, el log-verosimilitud maximizada compara menos dos veces el logaritmo neperiano de la verosimilitud, es decir,  $-2LL$ , del modelo resultante con la del modelo hipotético donde cada observación tiene una probabilidad de darse de 0,5. Cuanto menor sea el resultado mejor se podrá considerar el ajuste.

A continuación se realiza la prueba de Omnibus para comprobar los modelos y determinar cuáles son significativos. Por ello, se compara si hay diferencias entre  $-2LL$  del paso inicial y del modelo usando  $\chi^2$  siempre con un grado de libertad (comparación del paso 0 con el 1). El paso 0 consiste en la generación de un modelo sin variables independientes, sólo con la constante (Legendre et al., 1998).

Posteriormente, se realiza un contraste de hipótesis sobre los parámetros y se evalúa si las variables introducidas en el modelo son significativas o no (Peng *et al.*, 2010), para ello se aplica el test de Wald. La capacidad de discriminación del modelo se evalúa mediante el Área Bajo la Curva, (“Area Under Curve” AUC) que valora el equilibrio entre la especificidad y la sensibilidad, dando como respuesta un resultado entre 0 y 1. Los valores superiores a 0,9 se consideran demasiado sensibles y discriminantes entre la presencia y la ausencia; por el contrario los valores más bajos de 0,7 no son lo suficientemente discriminatorios. Por su parte los valores que se encuentran en torno a 0,8 mantienen un buen equilibrio entre la sensibilidad y la especificidad. El valor perfecto de equilibrio en AUC es 0,853 (Hosmer & Lemeshow, 2000).

Partiendo de las variables explicativas se toman los modelos significativos y más parsimoniosos es decir, aquel que con un menor número de variables realiza una predicción más precisa de la frecuencia observada.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Análisis de datos

De los 189 avistamientos oportunistas registrados desde el año 2003 hasta el año 2016, tan sólo el 10,05% corresponden a *Balaenoptera* spp., mientras que el 67,19% restantes son ballenas no determinadas como *Balaenoptera* (WNB), el 20,64% son pequeños odontocetos (D) y tan solo el 2,12% se corresponde con cachalotes (SW) (Ver tabla 1).

A partir del Coeficiente de Dispersión, el cual es muy superior a 1 en todos los casos, se determinó que en todos los casos existía una distribución agrupada de los avistamientos. (Ver tabla 1).

**Tabla 1.** Número de avistamientos oportunistas para grupo tratado por año y total. Cálculo de la media, la varianza y del coeficiente de dispersión (CD) para cada grupo, dónde “B” se corresponde a individuos del género *Balaenoptera*, “D” a odontocetos de pequeño tamaño, “SW” a cachalotes y, finalmente, “WNB” corresponde a cetáceos no identificados.

Año	B	WNB	D	SW
2003	0	9	4	0
2004	0	5	0	0
2005	0	1	1	0
2006	2	14	1	0
2007	0	5	0	0
2008	6	18	5	0
2009	1	18	3	0
2010	0	22	9	0
2011	0	10	7	1
2012	0	2	4	0
2013	0	2	1	0
2014	9	8	3	3
2015	0	10	0	0
2016	1	3	1	0
<b>Nº de AO</b>	<b>19</b>	<b>127</b>	<b>39</b>	<b>4</b>
<b>Varianza</b>	<b>7,478</b>	<b>45,302</b>	<b>7,7198</b>	<b>0,681</b>
<b>Media</b>	<b>1,357</b>	<b>9,071</b>	<b>2,7857143</b>	<b>0,2857</b>
<b>CD</b>	<b>5,5101</b>	<b>4,994</b>	<b>2,771</b>	<b>2,3846</b>

Posteriormente se ha realizado un análisis de correlación de Pearson entre la frecuencia de los avistamientos oportunistas por especie y año, y se ha observado que no existe correlación alguna entre las diferentes especies avistadas por año (Ver tabla 2).

**Tabla 2.** Correlación de Pearson entre las frecuencias de cada grupo de clasificación de avistamientos, donde “B” se corresponde a individuos del género *Balaenoptera*, “D” a odontocetos de pequeño tamaño, “SW” a cachalotes y, finalmente, “WNB” corresponde a cetáceos no identificados. No se observa ningún valor de correlación significativa.

	<b>B</b>	<b>D</b>	<b>SW</b>	<b>WNB</b>
<b>B</b>	1	0,102	0,735	0,237
<b>D</b>	0,102	1	0,163	0,601
<b>SW</b>	0,735	0,163	1	-0,032
<b>WNB</b>	0,237	0,601	-0,032	1

## 6.2 Análisis del modelo

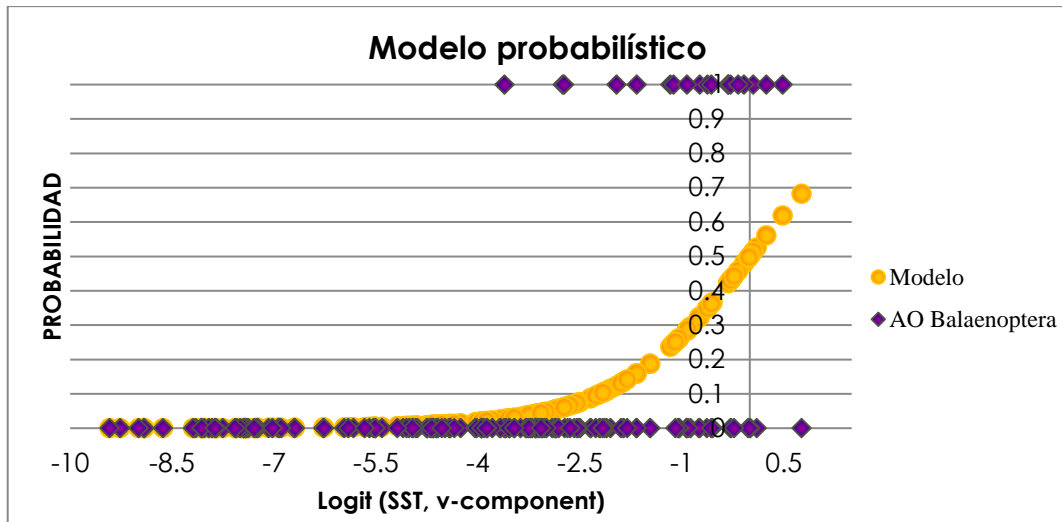
Se ajustaron diferentes modelos significativos entre la probabilidad de observar al menos un ejemplar del género de *Balaenoptera* frente a otros cetáceos, en función a las variables ambientales. Debido a que la probabilidad de que se un avistamiento oportunista tenga lugar es muy baja se ha determinado la prevalencia como punto de corte.

El modelo más parsimonioso obtenido presentaba la SST y V-component como variables independientes y explicativas. Según el test de Omnibus el modelo ajustado es significativo ( $\chi^2=39,678$ ; 2 grados de libertad;  $P<0,001$ ). Además no se observaron diferencias significativas entre los valores observados de presencias y ausencias, y los esperados por el modelo, mediante el test de Hosmer & Lemeshow ( $\chi^2=2,802$ ; 8 grados de libertad  $P=0,946$ ). La verosimilitud (-2LL) fue 83,642 y  $R^2$  de Nagelkerke = 0,395.

La función de conexión logit ( $Y=a+(bx)_1+(bx)_2+\dots+(bx)_n$ ) del modelo más parsimonioso se expresa como:

$$Y = 25,189 + [(-1,147) * SST] + [(-9,440) * Vcomponent]$$

Según el test de Wald (donde  $\alpha=0,05$ ) confirmó que dichos parámetros del modelo eran significativos. Finalmente la AUC obtenida fue 0,890, lo cual refleja un buen ajuste (Ver Figura 4). Además, gracias al modelo se pudo confirmar que, los avistamientos en los que el individuo fue categorizado como *Balaenoptera* spp. (por encima de una probabilidad de 0.2), fueron correctamente identificados; mientras que en los casos en los que los individuos que se encuentran por debajo de esa probabilidad y se sitúan a la izquierda de la gráfica existen dudas de su correcta identificación. Por su parte, los avistamientos de individuos no determinados como pertenecientes a este género que se encuentran a la derecha del punto de corte pueden estar identificados erróneamente y pertenecer al género *Balaenoptera*.



**Figura 4** Representación gráfica del modelo donde la temperatura superficial del mar (SST) y la componente meridional de superficie (V-component) son las variables explicativas (círculos). Representación de avistamientos oportunistas de cetáceos donde los valores superiores corresponden a individuos identificados como *Balaenoptera* spp., mientras que en la parte inferior aparecen individuos no identificados como integrantes de este género.

Tras analizar el modelo, viendo que la SST es la mejor variable y la significación de las variables que no fueron incluidas en el modelo, se decide generar un modelo eliminando la SST como variable. En este caso se observa que las variables O<sub>2</sub> y SSH son admitidas en el modelo. Esto se debe a la alta y significativa correlación que existe entre ambas con la SST, lo que permite afirmar que la SST explica lo mismo que O<sub>2</sub> y SSH.

## 7 DISCUSIÓN

### 7.1 Características del hábitat del género *Balaenoptera* en la zona tropical

Según los resultados de este trabajo, la preferencia diferencial de hábitat del género *Balaenoptera* en la zona tropical está relacionada con una menor temperatura superficial del agua y del componente de la corriente superficial. Al observar el mapa de avistamientos, se destaca que la mayoría de los cetáceos observados, y sobre todo los del género *Balaenoptera*, se concentran en zonas cercanas a la costa. Esto es debido a que en esta área, debido a las corrientes y, por tanto al movimiento de las masas de agua, se producen grandes procesos de “*upwelling*” o afloramientos. Estos se generan cuando las aguas más profundas llevan a la superficie diferentes nutrientes como fosfatos o nitratos, que son resultado de la descomposición orgánica que tiene lugar en lo más bajo de la columna de agua. Cuando éstos llegan a la parte alta de dicha columna, el fitoplancton los capta junto con el CO<sub>2</sub> disuelto y la luz del sol para, a través del proceso de fotosíntesis, generar nuevos compuestos orgánicos (Tilstone et al., 2003). Esta repentina producción primaria desencadena la actividad de la cadena trófica. Además, en las zonas de afloramientos costeros se reduce la temperatura superficial. En consecuencia, la alta

cantidad de alimento hace que las especies del género *Balaenoptera* se concentren relacionadas con una menor temperatura superficial.

Es importante tener en cuenta que el plancton del que se alimentan las especies del género *Balaenoptera* podrían dispersarse en zonas de elevada corriente, por ese motivo, es lógico suponer que las zonas de baja velocidad de la corriente superficial favorezca de forma diferencial la presencia de este género en relación al resto de cetáceos.

## **7.2 Importancia de las variables del modelo**

A pesar de haber obtenido un modelo explicativo significativo, se ha de tener en cuenta que en éste modelo solo han establecido dos variables explicativas, la temperatura superficial del mar (SST) y la componente meridional de superficie (V-component). Como consecuencia, las características del nicho fundamental del género *Balaenoptera* se encuentran sesgadas, lo que es debido al bajo número de avistamientos que han sido registrados. Esto puede deberse a que la probabilidad de observación de estos individuos es un evento con una probabilidad de por sí baja y, así mismo, está condicionado por otros factores que no se han tenido en cuenta en este estudio, como la visibilidad, el estado del mar, las características del barco, las condiciones ecológicas *in situ* o la falta de un protocolo estándar para los observadores. Por ejemplo, en el estudio realizado por Panigada et al. (2008) se usaron la temperatura superficial del agua y la concentración de clorofila-a para modelar la presencia de rorcuales y delfines listados, encontrando que los delfines listados están más influenciados por la SST que los rorcuales por un lado, y que las variaciones de clorofila-a son más importantes para los rorcuales que para los delfines listados.

El modelo generado en este estudio debe de interpretarse como las condiciones que pueden explicar la presencia de individuos del género *Balaenoptera* frente a la de otros cetáceos. Esto es relevante, ya que sólo se disponen de fotografías puntuales de los avistamientos e información dada por los observadores, mientras que las condiciones que facilitarían el número de avistamientos se desconocen.

Cabe destacar que en este trabajo el nicho ecológico modelado es del género *Balaenoptera*, por lo que las variables que lo delimitan pueden verse afectadas para cada especie de este género. Por tanto, sería de gran interés realizar futuros estudios en los que se determinen las variables delimitantes del nicho para cada una de las especies. Esto podría permitir mejoras las labores de protección y conservación para cada una de las especies.

### 7.3 *Los Avistamientos Oportunistas como método de estudio de cetáceos*

Hasta la actualidad, algunos de los métodos o técnicas utilizadas para la estimación y distribución de las poblaciones de mamíferos marinos, y por tanto de *Balaenoptera* spp., han sido la foto-identificación (por ejemplo Auger-Méthé y Whitehead, 2007; Cañadas y Sagarminaga, 2000) y los censos tanto aéreos como desde embarcaciones (por ejemplo Cañadas y Hammond, 2006a; Báez *et al.*, 2007; de Segura *et al.*, 2007; Panigada *et al.*, 2011). Aunque estos métodos tienen una gran capacidad para recoger la información necesaria para determinar las áreas de protección marina, mediante la estimación de la abundancia de las especies y la determinación de los factores que establecen la distribución de las mismas a pequeña escala; el principal problema que presentan es el alto coste y las infraestructuras que requieren (aviones o barcos). Además estos métodos no siempre dan unos resultados concluyentes (por ejemplo Báez *et al.*, 2007; de Segura *et al.*, 2008).

Contrariamente a esto, los avistamientos oportunistas que se han utilizado en este estudio suponen una fuente útil para determinar los principales factores de influencia que determinan las diferencias en la distribución espacial de los cetáceos. En concreto, para establecer las diferencias entre el género *Balaenoptera* y el resto de cetáceos. Se han realizado varios estudios que corroboran que las plataformas de oportunidad recogen datos útiles para el estudio de la ecología de los cetáceos (Moura *et al.*, 2012). Además, cabe destacar que, una de las principales características que supone una ventaja de los avistamientos oportunistas es el bajo coste de esta metodología, ya que aprovecha las expediciones en el mar con otros fines para recoger la mayor cantidad de información posible. Si bien es cierto que esto supone una ventaja, podemos encontrar como desventaja la diferente calidad de los datos, que depende de la formación del observador que lleve a cabo la tarea.

Otro inconveniente que se puede encontrar con este tipo de técnicas es que, al no haber un protocolo establecido en la recogida de información, ni la estandarización en la secuencia temporal, la homogeneidad en los datos es escasa y, por tanto, resulta muy complicado establecer patrones inter o intra anuales que generen un conocimiento más completo (Aïssi *et al.*, 2008; Cotté *et al.*, 2010). También se puede destacar otros inconvenientes de esta metodología, y es que, el esfuerzo de muestreo está sesgado a las campañas de pesca de los barcos cerqueros atuneros, lo que implica que algunas de las especies no puedan ser observadas por la estacionalidad. Así mismo, el área de observación también está delimitada a las áreas de pesca de los mismos, lo que genera un sesgo en la representatividad de los datos en este trabajo.

#### **7.4 Implicaciones socio-económicas del estudio y la conservación de cetáceos**

Actualmente podemos encontrar algunas empresas que tienen como actividad empresarial las salidas en barco para que los clientes puedan realizar avistamientos oportunistas de mamíferos marinos. La mayoría de ellas tienen también como finalidad la educación ambiental, ya que es necesaria para originar un desarrollo sostenible puesto que, el conocimiento es la base del respeto. También es destacable los datos obtenidos a partir de los cuales se realizan estudios científicos, como es el caso de Dolphin seafaris (Moura et al., 2012).

Actualmente, las empresas siguen la metodología propuesta en la normativa ACCOBAMS para la realización de avistamientos, de forma que se pueda garantizar la protección de los animales. Este tipo de estudios pueden mejorar el desarrollo de dichas actividades y promover la buena práctica para ellas, ya que hay especies a las que los factores antropogénicos les afectan significativamente de forma negativa, por lo que sería recomendable mantener las condiciones naturales y no generar un estrés innecesario en dichos animales con la actividad humana.

Cisneros-Montemayor et al. (2010) compara la caza industrial de ballenas con las salidas para realizar avistamientos de cetáceos (“Whale watching”) como fuente de ingresos económicos a partir de las poblaciones de cetáceos. Resalta que la industria de avistamientos de cetáceos tiene potencial para obtener aproximadamente 2500 millones de dólares americanos por año, lo que generaría 19000 nuevos empleos en el mundo. Esto se basaría en mantener a los observadores ya existentes y potenciar la formación y contratación en países donde actualmente no hay. Esto generaría la creación y gestión de una base de datos internacional de avistamientos que podría suponer un aumento del conocimiento de estos animales. En conclusión, se puede decir que el avistamiento de cetáceos promueve tanto beneficios ecológicos como socio-económicos.

Dado que, como se ha realizado en este trabajo, el avistamiento oportunista de cetáceos puede determinar las áreas de distribución gracias a determinar los factores limitantes, estudios realizados con datos mundiales pueden favorecer a delimitar áreas de mayor abundancia de estos que son claves para el desarrollo de las especies. Así mismo, es importante establecer un protocolo universal que sirva para mantener, homogeneizar y comparar la información en series temporales, y poder observar como el cambio en los factores puede afectar a la distribución de las especies en cuestión.

Del mismo modo, el determinar el área en el que se establecen estas poblaciones puede permitir crear más áreas de protección, como El Vizcaíno en México, así como

también es importante establecer las rutas migratorias que estos animales tienen y poder para crear corredores en los cuales el tráfico de barcos esté prohibido o restringido, evitando de este modo que los mamíferos marinos colisionen con las embarcaciones o sufran daños por el efecto de los ruidos marinos; como es el Corredor de migración de cetáceos del Mediterráneo el cual el Gobierno español aprobó su creación en junio de 2018. Ambas zonas de protección tienen especial importancia, debido a que, como se ha comentado en el trabajo, los cetáceos y otros mamíferos marinos, sufren daños al encontrarse con los artes de pesca, embarcaciones y el ruido provocado por los mismos.

Con todo esto, se puede concluir que es muy importante la realización de trabajos en los cuales, como en este caso, se utilicen plataformas de ocasión, por un lado, para evitar introducir más elementos en el hábitat de estos animales que les pueda perjudicar de alguna manera y, por otro lado, para poder conocer en mayor detalle la ecología de estos animales y así crear áreas de protección y corredores que permita que la conservación de las poblaciones de las especies en cuestión.

#### **7.5 Previsión futura para la distribución de las poblaciones de *Balaenoptera***

El género *Balaenoptera* tiene una amplia distribución en todos los océanos del mundo, estableciéndose las poblaciones en áreas con diferentes características dependiendo de la especie. Esto hace que algunas especies establezcan sus poblaciones en zonas de aguas polares e incluso bajo los grandes bloques de hielo, como es el caso de *Balaenoptera bonaerensis*; otras especies como *Balaenoptera edeni* se concentran en aguas templadas del Hemisferio Sur, y otras como *Balaenoptera acutorostrata* se encuentran con una amplia distribución en el Hemisferio Norte salvando las aguas del Círculo Polar Ártico.

Así mismo, el componente meridional de superficie modifica igualmente la temperatura superficial del mar, haciendo que esta aumente durante las horas de sol. Ambos factores hacen que, al aumentar la SST, la concentración de oxígeno disuelto disminuya drásticamente, favoreciendo la expansión de las zonas de hipoxia. Esto tiene como consecuencia que el agua sea pobre en nutrientes y, por tanto, no se pueda desarrollar la vida en estas áreas.

Esta situación podría verse afectada, ya que en la actualidad se está llevando a cabo un rápido aumento en las variaciones térmicas, lo que supone un drástico aumento en la temperatura superficial del agua y un deshielo de las grandes masas polares, lo que conlleva que las poblaciones, tanto de *Balaenoptera* como del resto de cetáceos, se desplacen buscando nuevas áreas que se adapten a sus requerimientos de nicho ecológico. Como se ha observado con otras especies, lo más probable es que aquellas especies que



consigan adaptarse a este drástico cambio se desplacen hacia los polos buscando temperaturas superficiales del mar similares a las actuales.

Dado que la modificación de la temperatura (favorecido por la variación de las variables anteriormente citadas) afecta a todas las especies tanto de flora como de fauna, las cadenas tróficas se podrían ver modificadas y/o desplazadas en el espacio, lo que haría que los cetáceos tuvieran que buscar nuevas zonas de alimento, lo que favorece la teoría del desplazamiento de las poblaciones. Otro de los efectos que se ven favorecidos por el aumento de la tasa del cambio climático, es la introducción y el establecimiento de especies invasoras que modifican el hábitat y de igual manera las cadenas tróficas (CeUICN, 2018); así como también el cambio climático puede interactuar con otras variables como son la contaminación química y los patógenos, lo cual puede impactar sinérgicamente en los mamíferos marinos dando como resultado pérdidas repentinas de las poblaciones. Esto último puede verse facilitado si se producen variaciones en la salinidad del agua, lo que provocaría grandes situaciones de estrés fisiológico en los mamíferos marinos, haciéndoles más susceptibles ante las enfermedades y/o presiones antropogénicas (Laffoley et al., 2016).

## **8 CONCLUSIONES**

1. Los datos, que se han obtenido a partir de avistamientos oportunistas, aportan información relevante sobre la distribución espacial del género *Balaenoptera* en el área tropical oriental.
2. La metodología basada en comparar la presencia de *Balaenoptera* spp. frente a otros cetáceos ha sido de gran utilidad para determinar algunos de los factores que delimitan la distribución de este grupo.
3. La SST y V-component son los principales factores de preferencia diferencial de hábitat de *Balaenoptera* con respecto al resto de cetáceos. Con un aumento en el esfuerzo de observación se podría perfilar un nicho ecológico más preciso.
4. Dado que en la preferencia diferencial de hábitat se encuentra una variable climática como es la SST, concluimos que el cambio climático va a producir un cambio en la distribución de las especies del género *Balaenoptera* en el área tropical.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, P; REAL, R. Favourability: concept, distinctive characteristics and potential usefulness. *Naturwissenschaften*, 2012, vol. 99, no 7, p. 515-522.
- AGUAYO, A; ESQUIVEL, C. Origen y evolución de los cetáceos. *Ciencias*, 1991, no 022.
- AGUILAR, À. *Chimán. La pesca ballenera moderna en la península Ibérica*. Eds. Universitat Barcelona, 2013.
- AÏSSI, M, et al. Large-scale seasonal distribution of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the central Mediterranean Sea. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 2008, vol. 88, no 6, p.1253-1261.
- ALVES, F, et al. Bryde's whale (*Balaenoptera brydei*) stable associations and dive profiles: New insights into foraging behavior. *Marine Mammal Science*, 2010, vol. 26, no 1, p. 202-212.
- ANONYMOUS. Minke Whale (*Balaenoptera acutorostrata*): Canadian East Coast Stock. Marine Mammal Stock Assessment Reports. Office of Protected Resources. *NOAA Fisheries*, 2005.
- ANTHONY, EJ. Chenier plain development in northern Sierra Leone, West Africa. *Marine Geology*, 1989, vol. 90, no 4, p. 297-309.
- ARÉVALO, DL; FRANCO, A. Características oceanográficas de la sugerencia frente a la ensenada de Gaira, departamento de Magdalena, época seca menor de 2006. 2017.
- ATKINSON, Angus, et al. Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean. *Nature*, 2004, vol. 432, no 7013, p. 100.
- AUMONT, O; BOPP, L. Globalizing results from ocean in situ iron fertilization studies. *Global Biogeochemical Cycles*, 2006, vol. 20, no 2.
- BÁEZ, JC, et al. Loggerhead turtle by-catch depends on distance to the coast, independent of fishing effort: implications for conservation and fisheries management. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, vol. 338, p. 249-256.
- BÁEZ, JC, et al., Análisis de la distribución espacial de aves y mamíferos marinos en el Golfo de Cádiz (Sudoeste de la Península Ibérica) durante el periodo de primavera. *Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat. Sección Biológica.*, 2007, vol. 102, no 1-4, p. 93-97.
- Baez, JC, et al. Cory's shearwater by-catch in the Mediterranean Spanish commercial longline fishery: implications for management. *Biodiversity and conservation*, 2014, vol. 23, no 3, p. 661-681.
- BEHRENFELD, MJ. Abandoning Sverdrup's critical depth hypothesis on phytoplankton blooms. *Ecology*, 2010, vol. 91, no 4, p. 977-989.

BENJAMINI, Y, et al. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *J. Royal Stat. Soc., Series B (Methodological)*, 1995, p. 289-300.

BERTA, A; SUMICH, JL.; KOVACS, KM. *Marine mammals: evolutionary biology*. Academic Press, 2015.

BEST, PB. Distribution and population separation of Bryde's whale *Balaenoptera edeni* off southern Africa. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, vol. 220, p. 277-289.

BOPP, L, et al. Response of diatoms distribution to global warming and potential implications: A global model study. *Geophysical Research Letters*, 2005, vol. 32, no 19.

BRANCH, TA, et al. Past and present distribution, densities and movements of blue whales *Balaenoptera musculus* in the Southern Hemisphere and northern Indian Ocean. *Mammal Review*, 2007, vol. 37, no 2, p. 116-175. DOI 10.1111/j.1365-2907.2007.00106.x.

CAÑADAS, A; HAMMOND, PS. Model-based abundance estimates for bottlenose dolphins off southern Spain: implications for conservation and management. *Journal of Cetacean Research and Management*, 2006, vol. 8, no 1, p. 13-27.

CAÑADAS, A; SAGARMINAGA, R. The northeastern Alboran Sea, an important breeding and feeding ground for the long-finned pilot whale (*Globicephala melas*) in the Mediterranean Sea. *Marine Mammal Science*, 2000, vol. 16, no 3, p. 513-529.

CASTELLÓ-ORVAY, F. Morfología, anatomía y biología de los cetáceos. *Inmers. Cienc.*, (10-11), 1976, p. 133-43.

CAVANAGH, RD, et al. A synergistic approach for evaluating climate model output for ecological applications. *Frontiers in Marine Science*, 2017, vol. 4, p. 308.

CeUICN, XIV Foro Internacional de la conservación de la naturaleza. El medio marino ante el cambio climático y las especies invasoras. *Tenerife*, 24-26 octubre 2018.

CHANG, YS, et al. Objective analysis of monthly temperature and salinity for the world ocean in the 21st century: Comparison with World Ocean Atlas and application to assimilation validation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2009, vol. 114, no C2.

CHASSIGNET, EP, et al. North Atlantic simulations with the Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM): Impact of the vertical coordinate choice, reference pressure, and thermobaricity. *Journal of Physical Oceanography*, 2003, vol. 33, no 12, p. 2504-2526.

CISNEROS-MONTEMAYOR, AM, et al. The global potential for whale watching. *Marine Policy*, 2010, vol. 34, no 6, p. 1273-1278.

COLWELL, RK; RANGEL, TF. Hutchinson's duality: the once and future niche. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2009, vol. 106, no Supplement 2, p. 19651-19658.

- COMINELLI, S, et al. Fin whale seasonal trends in the Pelagos Sanctuary, Mediterranean Sea. *The Journal of Wildlife Management*, 2016, vol. 80, no 3, p. 490-499..
- CONKRIGHT, ME., et al. World Ocean Atlas 2001: Objective analyses, data statistics, and figures: CD-ROM documentation. 2002.
- CORKERON, P. et al. *Balaenoptera edeni* (Gulf of Mexico subpopulation). *The IUCN Red List of Threatened Species* 2017: e.T117636167A117636174.
- CORREDOR, J. Dinámica espacio-temporal de la surgencia de la Guajira. En Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar y Congreso Centroamericano y del Caribe en Ciencias del Mar. *Santa Marta*. 1992. p. 206-221.
- COTTÉ, C, et al. Habitat use and abundance of striped dolphins in the western Mediterranean Sea prior to the morbillivirus epizootic resurgence. *Endangered Species Research*, 2010, vol. 12, no 3, p. 203-214.
- DE BOER, MN. Cetaceans observed in Suriname and adjacent waters. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 2015, vol. 10, no 1, p. 2-19.
- DE BOYER MONTÉGUT, C, et al. Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2004, vol. 109, no C12.
- DE LA CITES, A. Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres. *Santiago (Chile)*, 2002, vol. 3, no 15.
- DE SEGURA, A; HAMMOND, PS; RAGA, JA. Influence of environmental factors on small cetacean distribution in the Spanish Mediterranean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2008, vol. 88, no 6, p. 1185-1192.
- DE SEGURA, A, et al. Abundance of small cetaceans in waters of the central Spanish Mediterranean. *Marine Biology*, 2006, vol. 150, no 1, p. 149.
- DE STEPHANIS, R, et al. Summer spatial distribution of cetaceans in the Strait of Gibraltar in relation to the oceanographic context. *Marine Ecology Progress Series*, 2008, vol. 353, p. 275-288.
- DONOVAN, GPA review of IWC stock boundaries. *Rep. int. Whal. Commn*, 1991, vol. 13, p. 39-68.
- ESTEBAN, R., et al. Conservation status of killer whales, *Orcinus orca*, in the Strait of Gibraltar. En *Advances in marine biology*. Academic Press, 2016. p. 141-172.
- FAO. 2016. Sitio web AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Accedido el [2018/10/15]

- FAHRBACH, Eberhard; BECKMANN, A. Weddell. Sea Circulation. *En Encyclopedia of Ocean Sciences, Academic Press*, p. 2001. p. 560-570.
- FERNÁNDEZ-CASADO, M. El cachalote (*Physeter macrocephalus*). *Galemys*, 2000, vol. 12, no 2, p. 3-22.
- FERNÁNDEZ, ET, et al. Distribución diferencial de grandes cetáceos: rorcual y cachalote como estudio. En *Bosque mediterráneo y humedales: paisaje, evolución y conservación: aportaciones desde la biogeografía*. Almud, *ed. de C-La Mancha*, 2018. p. 750-761.
- FIELD, Michael E., et al. Sand waves on an epicontinental shelf: Northern Bering Sea. *Marine Geology*, 1981, vol. 42, no 1-4, p. 233-258.
- FOLKENS, PA; REEVES, RR. Guía de los mamíferos marinos del mundo. National Audubon Society., 2005.
- FONTENEAU, A; PALLARES, P; PLANET, R. A worldwide review of purse seine fisheries on FADs. En *Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons, Caribbean-Martinique*, 15-19 Oct 1999. 2000.
- GANOPOLSKI, A. Ocean Currents and Their Role in the Biosphere. 2008.
- GAMBELL, R. Whale conservation: role of the International Whaling Commission. *Marine Policy*, 1977, vol. 1, no 4, p. 301-310.
- GARCIA, HE, et al. World ocean atlas 2013. Volume 3, Dissolved oxygen, apparent oxygen utilization, and oxygen saturation. 2010.
- GERRODETTE, T; FORCADA, J. Non-recovery of two spotted and spinner dolphin populations in the eastern tropical Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 2005, vol. 291, p. 1-21.
- GLOVER, KA, et al. Migration of Antarctic minke whales to the Arctic. *PLoS One*, 2010, vol. 5, no 12, p. e15197.
- GREATBATCH, RJ. A note on the representation of steric sea level in models that conserve volume rather than mass. *Journal of Geophysical Research* [online], 1994, vol. 99, no. C6, p. 12767. [Accessed 1 October 2018]. DOI 10.1029/94JC00847.
- HALL, M; ROMAN, M. Bycatch and non-tuna catch in the tropical tuna purse seine fisheries of the world. *FAO fisheries and aquaculture technical paper*, 2013, no 568, p. I.
- HERSHKOVITZ, P. Catalog of living whales. *United States National Museum Bulletin*, 1966, vol. 246, p. 1-259.
- HOSMER DW; STANLEY, L. Applied logistic regression. New York: Wiley0-471-61553-6, 2000.

- HU, C; LEE, Z; FRANZ, B. Chlorophyll algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2012, vol. 117, no C1. [online]. January 2012. Vol. 117, no. C1.
- HUTCHINSON, GE. A Treatise on. Limnology, 1957, vol. 1.
- INTERNATIONAL WHALING COMMISSION. 2001. Report of the Scientific Committee. 11.4. Nomenclature. *Journ of Cetacean Res. and Management* 3(Suppl.): 37.
- INTERNATIONAL WHALING COMMISSION. 2006. Report of the Scientific Committee. *Journal of Cetcaean Research and Management* 8: 49.
- INTERNATIONAL WHALING COMMISSION. 2006. Resolutions adopted at the 57th Annual Meeting. Annual Report of the International Whaling Commission 2005, pp. 66-67. Cambridge, UK.
- IUCN. 2008. IUCN Red List of Threatened Species. Available at: <http://www.iucnredlist.org>.
- IUCN. 2018. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018-1. Available at: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).
- JOHN, DM; LAWSON, GW. A review of mangrove and coastal ecosystems in West Africa and their possible relationships. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1990, vol. 31, no 5, p. 505-518.
- JOHNSGÅRD, Å. Biology of the North Atlantic fin whale *Balaenoptera physalus* (L.). Taxonomy, distribution, migration and food. *Hvalrådets Skrifter*, 1966, vol. 49, p. 1-62.
- JONSGÅRD, Å. The stocks of blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the northern Atlantic Ocean and adjacent arctic waters. *Norsk Hvalfangsttid*, 1955, vol. 44, p. 505-519.
- JOOS, Fortunat, et al. Trends in marine dissolved oxygen: Implications for ocean circulation changes and the carbon budget. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 2003, vol. 84, no 21, p. 197-201.
- KANDA, N, et al. Population genetic structure of Bryde's whales (*Balaenoptera brydei*) at the inter-oceanic and trans-equatorial levels. *Conservation Genetics*, 2007, vol. 8, no 4, p. 853-864.
- KAPLAN, A, et al. Analyses of global sea surface temperature 1856–1991. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1998, vol. 103, no C9, p. 18567-18589.
- KASAMATSU, F; ENSOR, P; JOYCE, GG. Clustering and aggregations of minke whales in the Antarctic feeding grounds. *Marine Ecology Progress Series*, 1998, vol. 168, p. 1-11.
- KATO, H; PERRIN, WF. Bryde's whales: *Balaenoptera edeni/brydei*. En *Encyclopedia of Marine Mammals (Second Edition)*. 2009. p. 158-163.

- KERSHAW, F, et al. Population differentiation of 2 forms of Bryde's whales in the Indian and Pacific Oceans. *Journal of Heredity*, 2013, vol. 104, no 6, p. 755-764.
- KNAFF, JA. Implications of summertime sea level pressure anomalies in the tropical Atlantic region. *Journal of climate*, 1997, vol. 10, no 4, p. 789-804.
- LAFFOLEY, Dan; BAXTER, J. M. (ed.). Explaining ocean warming: Causes, scale, effects and consequences. Gland, Switzerland: IUCN, 2016.
- LANLY, JP. Ecología y enseñanza rural. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. *FAO*, 1996.
- LE LOEUFF, P; VON COSEL, R. Biodiversity patterns of the marine benthic fauna on the Atlantic coast of tropical Africa in relation to hydroclimatic conditions and paleogeographic events. *Acta Oecologica*, 1998, vol. 19, no 3, p. 309-321.
- LEDUC, RG; DIZON, AE. Reconstructing the rorquals phylogeny: with comments on the use of molecular and morphological data for systematic study. *Molecular and cell biology of marine mammals*, 2002, p. 100-110.
- LEGENDRE, P. et al., *Numerical Ecology*, 2nd Edition, 1998.
- MACKINTOSH, NA. The stocks of whales. *Fishing News Ltd.*, London, UK. 1965
- MEAD, JG. An analysis of cetacean strandings along the eastern coast of the United States. *Geraci, JR, and St Aubin, DJ, Insights*, 1979, p. 54-68.
- MILLERO, FJ, et al. The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2008, vol. 55, no 1, p. 50-72.
- MITCHELL, E; CHAPMAN, DG. Preliminary assessment of stocks of northwest Atlantic sei whales (*Balaenoptera borealis*). *Rep. Int. Whal. Comm (Special Issue)*, 1977, vol. 1, p. 117-120.
- MIYASHITA, T, et al. (ed.). *Worldwide Map of Cetacean Distribution Based on Japanese Sighting Data*. National Research Institute of Far Sea Fisheries, 1995.
- MOLARES, R, et al. Caracterización oceanográfica y meteorológica del Caribe colombiano. *Centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas. Cartagena de Indias*, 2001.
- MOURA, AE; SILLERO, N; RODRIGUES, A. Common dolphin (*Delphinus delphis*) habitat preferences using data from two platforms of opportunity. *Acta Oecologica*, 2012, vol. 38, p. 24-32.

- NEMOTO, T.; KAWAMURA, A. Characteristics of food habits and distribution of baleen whales with special reference to the abundance of North Pacific sei and Bryde's whales. *Reports of the International Whaling Commission, Special*, 1977, vol. 1, p. 80-87.
- OTERO-SCHMITT, J. Comunidades bentónicas marinas de las islas de Sal, San Vicente, Santiago, Fogo y Brava (Islas Cabo Verde). *Vieraea: Folia Scientiarum Biologicarum Canariensium*. 1995a, 1995, vol. 24, p. 1-11.
- OVERTON, E., et al. Preliminary observations on tissue pollutant levels in subsistence harvested Bowhead Whales (*Balaena mysticetus*). En *Paper SC/35/PS17 presented at the 35 Annual Meeting of the Scientific Committee*. 1983.
- PABLOS, NS, et al. Los modelos de nicho ecológico en la herpetología ibérica: pasado, presente y futuro. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española*, 2010, no 21, p. 2-24.
- PANIGADA, S, et al. Modelling habitat preferences for fin whales and striped dolphins in the Pelagos Sanctuary (Western Mediterranean Sea) with physiographic and remote sensing variables. *Remote Sensing of Environment*, 2008, vol. 112, no 8, p. 3400-3412.
- PANIGADA, S, et al. Monitoring winter and summer abundance of cetaceans in the Pelagos Sanctuary (northwestern Mediterranean Sea) through aerial surveys. *PloS one*, 2011, vol. 6, no 7, p. e22878.
- PASTENE, LA., et al. Population genetic structure of the South American Bryde's whale. *Revista de biología marina y oceanografía*, 2015, vol. 50, no 3, p. 453-464.
- PENG, CYJ; LEE, KL; INGERSOLL, GM. An introduction to logistic regression analysis and reporting. *The journal of educational research*, 2002, vol. 96, no 1, p. 3-14.
- PERRIN, WF. Common dolphins: *Delphinus delphis* and *D. capensis*. En *Encyclopedia of Marine Mammals (Second Edition)*. 2009. p. 255-259.
- PERRUCHE, C; PAUL, J; DRÉVILLON, M. Quality information document. 2013.
- PHILLIPS, SJ.; DUDÍK, M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 2008, vol. 31, no 2, p. 161-175.
- PITMAN, RL; ENSOR, P. Three forms of killer whales (*Orcinus orca*) in Antarctic waters. *Journal of Cetacean Research and Management*, 2003, vol. 5, no 2, p. 131-140.
- REILLY, SB; THAYER, VG. Blue whale (*Balaenoptera musculus*) distribution in the eastern tropical Pacific. *Marine Mammal Science*, 1990, vol. 6, no 4, p. 265-277.
- SATO, T, et al. On the observed annual gravity variation and the effect of sea surface height variations. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* [online], 2001, vol. 123, no. 1, p. 45–63. DOI 10.1016/S0031-9201(00)00216-8.









- SCHNEIDER, B, et al. Climate-induced interannual variability of marine primary and export production in three global coupled climate carbon cycle models. *Biogeosciences*, 2008, vol. 5, no 2, p. 597-614.
- SCOTT, MD., et al. Pelagic predator associations: tuna and dolphins in the eastern tropical Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 2012, vol. 458, p. 283-302.
- SEA SURFACE SALINITY 2011-2015 (1 month) | NASA, 2018. [online]. Available from: [https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=AQUARIUS\\_SSS\\_M](https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=AQUARIUS_SSS_M).
- SEA SURFACE TEMPERATURE & CHLOROPHYLL, 2018. [online]. Available from: [https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MYD28M/MY1DMM\\_CHLORA](https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MYD28M/MY1DMM_CHLORA)
- SEA SURFACE TEMPERATURE (1 month - Aqua/MODIS) | NASA, 2018. [online]. Available from: <https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MYD28M>.
- SERVAIN, Jacques. Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1991, vol. 96, no C8, p. 15137-15146.
- SIMMONDS, MP et al., The conservation of whales and dolphins: science and practice. 1996.
- SOKAL, RR, ROHLF, FJ. Introducción a la Bioestadística. *Reverté*, 1986.
- STEINACHER, M, et al. Projected 21st century decrease in marine productivity: a multi-model analysis. *Biogeosciences*, 2010, vol. 7, no 3, p. 979-1005.
- STEINER, L, et al. Bryde's whales, *Balaenoptera edeni*, observed in the Azores: a new species record for the region. *Marine Biodiversity Records*, 2008, vol. 1.
- STRAMMA, L, et al. Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans. *Science*, 2008, vol. 320, no 5876, p. 655-658.
- THOMSON, RE; FINE, IV. Estimating mixed layer depth from oceanic profile data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2003, vol. 20, no 2, p. 319-329.
- TILSTONE, GH., et al. Phytoplankton composition, photosynthesis and primary production during different hydrographic conditions at the Northwest Iberian upwelling system. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, vol. 252, p. 89-104
- TOMLIN, AG. Mammals of the USSR and adjacent countries. vol. 9, Cetacea. *Israel Program Sci. Transl*, 1967, no 1124.
- VÁZQUEZ, DP. Reconsiderando el nicho hutchinsoniano. *Ecología austral*, 2005, vol. 15, no 2, p. 149-158.

- VÍKINGSSON, G, et al. First satellite-tracked long-distance movement of a sei whale (*Balaenoptera borealis*) in the North Atlantic. *Aq Mammals*, 2009, vol. 35, no 3, p. 313-318.
- WALLØE, M, et al. Report of the Sub-Committee on Bowhead, Right and Gray Whales. *Cetacean res. Manage*, 2005, vol. 7, p. 189.
- WARD, G, et al. Presence-only data and the EM algorithm. *Biometrics*, 2009, vol. 65, no 2, p. 554-563.
- WILLIAMS, R, et al. Counting whales in a challenging, changing environment. *Scientific reports*, 2014, vol. 4, p. 4170.
- YABLOKOV, AV. Convergence or parallelism in the evolution of cetaceans. *International Geology Review*, 1965, vol. 7, no 8, p. 1461-1468.
- ZERBINI, AN., et al. A review of the occurrence and distribution of whales of the genus *Balaenoptera* along the Brazilian coast. *Report of the International Whaling Commission*, 1997, vol. 47, p. 407-417.

10 ANEXO

10.1 Características para diferenciar las diferentes especies del género *Balaenoptera* del Atlántico

Especie	Aleta dorsal	Soplo	cabeza
<i>Balaenoptera borealis</i>			
<i>Balaenoptera edeni</i>			
<i>Balaenoptera physalus</i>			
<i>Balaenoptera musculus</i>			
<i>Balaenoptera acutorostrata</i>		No es observable	
<i>Balaenoptera bonaerensis</i>		No es observable	