



**Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México**

PREDICCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL RORCUAL
COMÚN (*Balaenoptera physalus*) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA CON BASE EN
CARACTERÍSTICAS DE SU HÁBITAT.

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestro en Ciencias

(Biología Marina)

p r e s e n t a

Biol. Wezddy Del Toro Orozco

Director de tesis: Dr. Jorge Urbán Ramírez

Asesores externos: Dr. Graham J. Pierce. University of Aberdeen, UK.
Dr. Colin MacLeod. University of Aberdeen, UK.

Comité Tutorial: Dra. Tania Escalante Espinosa
Dra. Maite Mascaró Miquelajauregui
Dr. Héctor Reyes Bonilla
Dra. Diane Gendron Laniel

México, 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CON AMOR A MIS PADRES:

Yolanda y Francisco

Por ser mis pilares y un gran ejemplo de personas digno de seguir. Por apoyarme siempre e incondicionalmente, por enseñarme que puedo seguir mis sueños y alcanzar mis metas. Por darme alas y dejarme volar con la confianza de lo que me han enseñado. Gracias por su amor y por la vida.

A MIS HERMANAS Y HERMANO

Marisol, Bernardo y Miriam

A MIS SOBRINOS Y SOBRINA

Luis Ángel, Santiago y Camila

Y a todos aquellos que aman la naturaleza y la vida.

"Una linea blu tra il cielo e il mare. Si confondono l'uno con l'altro. Il mare non ha porte, finestre o muri da abbattere. Ascolta il mare e il suo silenzio. Specchiati fino a poterti riconoscere. Apriti fino a confonderti con lui"

"Una línea azul entre el cielo y el mar. Se confunden el uno con el otro. El mar no tiene puertas, ventanas o muros por derribar. Escucha el mar y su silencio. Refléjate hasta que puedas reconocerte. Ábrete hasta confundirte con él"

Roberta Lilith Tesini

"No hay imposibles para una mente dispuesta"

Anónimo

"What we know is a drop, what we don't know is an ocean"

Isaac Newton

RESUMEN

El Golfo de California (GC), México, es uno de los pocos sitios donde habita una población residente de rorcual común (*Balaenoptera physalus*). El objetivo de este estudio fue investigar la distribución espacial del rorcual común en el GC modelando la relación entre su presencia y las características del hábitat así como crear un modelo de predicción de la distribución espacial y temporal del rorcual común en el GC utilizando datos oportunisticos (modelo de sólo-presencia), validarlo empleando un grupo de datos obtenidos de manera sistemática y evaluar su capacidad predictiva. El modelo se construyó basado en ocho variables ambientales, usando un grupo de 282 avistamientos de rorcuales comunes realizados desde embarcaciones. Sin embargo, estos muestreos sólo cubrieron la costa oeste de la parte sur del GC y la mayoría de la parte norte del GC. Por lo tanto, para asegurar que esta cobertura no estuviera sesgando el modelo, las predicciones se validaron utilizando un grupo más pequeño de datos de avistamientos realizados durante vuelos, los cuales cubrieron todo el GC. Con la validación encontramos que el modelo funciona significativamente mejor que un modelo aleatorio (AUC=0.70, $p < 0.0001$), y que predijo la distribución del rorcual común en el GC de una manera precisa a partir de variables ambientales. El modelo determinó que la presencia de *B. physalus* está principalmente relacionada con la pendiente, SD de la pendiente y la profundidad. Los rorcuales comunes en el GC prefirieron aguas relativamente someras con un suelo marino complejo, factores que pueden contribuir a los procesos de mezcla, surgencias, alta productividad y áreas frontales. Esto también está asociado con las siguientes variables en importancia relacionadas a la distribución (desviación estándar de la temperatura superficial del mar y concentración de clorofila). Lo anterior sugiere que *B. physalus* podría estar respondiendo a agregaciones de sus presas asociadas con tales características, las cuales representan importantes hábitats de alimentación para *B. physalus* en el GC. Con este estudio se ha demostrado que los modelos de sólo-presencia (usando avistamientos oportunisticos) pueden servirnos para entender la relación de la presencia del rorcual común con las características de su hábitat así como para producir mapas de la distribución potencial de las especies, siempre y cuando se tenga un grupo de datos independiente (obtenidos de manera sistemática) con el que se pueda evaluar el funcionamiento del modelo producido. Este modelo contribuye con nuestra capacidad de entender la ecología de estos animales, así como para mejorar las formas en que conservamos, manejamos y protegemos esta población residente de rorcuales comunes.

ABSTRACT

The Gulf of California (GC), México, is one of the few sites that have a resident population of fin whales. The aim of this thesis was to investigate the spatial distribution of fin whales in the GC by modelling the relationship between fin whale occurrence and characteristics of the habitat, as well as creating a prediction model of the spatial and temporal distribution using opportunistic data (presence-only model), validate it with a set of systematic data and evaluate its predictive ability. The model was constructed based on eight environmental variables using a dataset that comprised of 282 fin whale sightings from boat surveys. However, these surveys only covered coastal sections of the western part of the Southern GC, and most of the Northern GC. Therefore, to ensure that this data coverage was not creating a bias within the model, the predictions of the model were validated using a smaller set data from aerial surveys which covered the whole of the GC. This validation found that the model performed significantly better than a random model (AUC=0.70, $p < 0.0001$), and accurately predicted the distribution of fin whales throughout the GC from habitat variables. The model found that fin whale occurrence was primarily related to slope, standard deviation of slope and depth. According to the model, fin whales in the GC prefer shallower areas with a more complex seabed, factors that may contribute to mixing, upwelling, high production and frontal areas. This is also associated with the secondarily important variables related with their distribution (standard deviation of sea surface temperature and chlorophyll concentration). The results suggest that fin whales are responding to aggregations of prey associated with such habitat features, and that it represents important feeding habitats for fin whales in the GC. This study shows that presence-only models (built with opportunistic data) can be used to understand the relationship between fin whale occurrence and characteristics of their habitat, as well as to create maps of the potential distribution of the whales. It is important that when opportunistic sightings are used, the model is validated with independent dedicated survey data. This thesis is important not only for our ability to understand the ecology of these animals but to enhance the ways in which we conserve, manage and protect this resident population of fin whales.

AGRADECIMIENTOS

Cuando estuve en Galicia escuché una frase que me gustó “Es de bien nacidos ser agradecidos”. Desde que inicié este proyecto ha habido muchas instituciones y gente que formó parte de él, que me ayudó y acompañó durante el proceso de maestría y el desarrollo de mi tesis. Por favor discúlpenme si omití algún nombre, pero sepan que de verdad estoy profundamente agradecida con todos ustedes.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de estudios de maestría que me fue otorgada a través del Programa de Maestría en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, así como por la beca mixta recibida y el apoyo de la Coordinación de Estudios de Posgrado, UNAM a través del Programa de Movilidad Internacional de Estudiantes (PROMIE) para realizar las estancias en el extranjero. Gracias también por el apoyo recibido por medio del Programa de Becas Europeas Marie Curie Excellence Grant MEXC-CT-2006-042337 a cargo del Dr. Graham Pierce.

I would like to express my deepest gratitude to Dr. Graham Pierce and Dr. Colin MacLeod, who were my external advisors at the Instituto Español de Oceanografía (IEO) and University of Aberdeen. Thank you for providing me with the opportunity to learn from you and to explore the fascinating world of modelling, statistics and geographic information systems. You have my greatest respect and admiration. Thank you very much for your availability and willingness to help, for your precious time and your expert advice, and for guiding me in the right direction for the development of my thesis.

I would also like to thank Graham for proofreading my manuscript and helping me through the many academic and personal ups and downs I experienced through the course of this thesis. A la Dra. Gloria Vilaclara, Directora del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Por su grande y valioso apoyo durante este proceso de aprendizaje en todos los sentidos. Muchas gracias doctora por haber sido un soporte no sólo en lo académico, sino también y de una manera muy importante en lo personal.

Al Dr. Jorge Urbán por aceptarme para ser parte del PRIMMA, permitiéndome de esta manera conocer muy de cerca el maravilloso mundo de los cetáceos, incrementando así mi interés por estudiarlos. Gracias Jorge por tu amistad, por invitarme a hacer la tesis sobre physalus y por haberme dado siempre luz verde para las iniciativas que quise emprender.

A los miembros de mi comité tutorial: Dra. Tania Escalante, Dra. Maite Mascaró, Dr. Héctor Reyes y Dra. Diane Gendron por sus sugerencias y aportaciones durante el desarrollo de la tesis.

A Gustavo Cárdenas, por tu amistad, por haber sido mi maestro en campo y por darme razones de sobra para hacer la maestría estudiando physalus en el GC. Gracias Gus sobre todo por el apoyo cuando comenzaba a obtener los datos de las variables, por compartirme lo que sabías.

A Carlos Troche, gracias por tu amistad y por haber llegado en el momento preciso. Por ayudarme y asesorarme en la obtención de los datos ecogeográficos para “ballena azul” y por iniciarme en el mundo de ArcGIS (también por tu gran ayuda como Help Desk siempre que lo necesité). Gracias SC por el apoyo moral y los ánimos.

A Miguel Mandujano, muchas gracias primero por tu amistad, por esas charlas, cafés, risas y momentos de reflexión, enriquecimiento y aprendizaje, por tu apoyo moral y académico durante todo este proceso. Por darme ánimos y motivación cuando más lo necesité y también por las revisiones y valiosas aportaciones que le hiciste a mi escrito. Grazie Migue.

A Ruth Fernández, gracias por ese enriquecimiento con las charlas sobre la tesis, por compartir GIS-frustraciones haciéndolas más llevaderas y por las muchas muestras de amistad.

I would also like to extend my gratitude to Vasilis Valavanis from the Hellenic Centre of Marine Research, for providing the necessary geographical data for the GAM chapter.

A la Dra. Begoña Santos, gracias Bego por tu apoyo y asesoría durante mi estancia en el IEO.

A Claudia Díaz por ayudarme organizando y enviándome las bitácoras que necesitaba.

A las chicas de la Coordinación del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología: Diana, Gloria, Chantal, Lupita y Gaby. Muchas Gracias por ese profesionalismo, amabilidad, alegría, paciencia y excelente disposición que mostraron en todo momento. Sin apoyo como el de ustedes la estancia y los trámites durante la maestría no hubieran sido posibles.

A los doctores y doctoras del PCMyL y de diversas instituciones que me dieron clases o cursos durante este periodo. Adquirí conocimiento y bases sólidas en mi formación profesional. Gracias especiales a Maite Mascaró por introducirme en el mundo de la estadística de una manera tan amena e interesante.

A Miguel Pérez del IEO, por tu amistad, apoyo y excelente disposición para ayudar en todas las cuestiones informáticas.

Gracias a las instituciones y fundaciones que me apoyaron para asistir a diversos cursos: William Rossiter y directores de Cetacean Society International, Packard Foundation, Conservación y Biodiversidad, Duke University y Universidad Internacional Menéndez Pelayo. (Cursos: *Distance Sampling*. St. Andrews, Scotland, UK.; *Primer Curso de Biología de la Conservación Marina*, GC, México; *Biology of Marine Mammals* y *Conservation Biology and Policy*, Duke University, USA; *Eighth European Seminar on Marine Mammals: Biology and Conservation*. Valencia, España).

Gracias a mis amigos y amigas del posgrado: Juanito, Quetzalli, León, Marcos, Paula, Armando, Alma, Ángel. Por su apoyo brindado, por haber compartido este proceso de desarrollo y conocimiento y por las experiencias compartidas que me han ayudado a crecer como persona. A Diana y Juanito por ser excelentes compañeros de casa en el DF.

A los del PRIMMA, con quienes alguna vez compartí salidas de campo y fueron conmigo cómplices de la majestuosidad de las physalus y de los cetáceos en el GC: Jorge, Alejandro, Gustavo, Flor, Náufago, Paulina, Dany, Claudia, Marisol, Christian, Sergio, Sylviane y Benjamín.

Gracias a las amistades que me acompañaron durante mi estancia en el Instituto Español de Oceanografía y en la University of Aberdeen. Por compartir conmigo los días de investigación, pero sobre todo por compartir experiencias personales, por la convivencia, los ánimos, las salidas, y por ser un soporte importante mientras me encontraba por aquellas tierras: Sabine, Ruth, Silvia, Fiona,

Diana, Anabela, Manu, Sra. María, Karen, Dora, Emily, Ana, Chrysa, Íñigo, Piotr, Ping, Nathan, Imogen, Ángela, Erika, Mateus, Consuelo y Marcelo.

Estoy muy agradecida también con todos aquellos que me ayudaron de alguna manera en mi interminable búsqueda de casa en España y Escocia, y de manera especial con los que me abrieron las puertas de la suya y siempre tuvieron un lugar para mí: Graham, Bego, Colin, Lucía, Esther, Kike, Anna, Ruth, Íñigo, Sabine, Fiona, Anabela, Diana, Cris, Manu, Migue, Piotr, Janika, Jagger.

A todos ustedes, por permitirme ese enriquecedor intercambio cultural, ayudándome a crecer como profesionalista y como persona y por haberme enseñarme el valor de la amistad en diferentes idiomas: Gracias, Grazas, Thank you, Danke, Obrigada, Dzięk, ευχαριστίες, Grazie.

A mis amigos de ahora y de toda la vida, por esas pláticas, idas al café, a bailar, al cine, tacos, hamburguesas, etc. tan amenas, en las que no faltaban los ánimos respecto a la tesis. Por motivarme y permitirme aprender de ustedes, de sus acciones, de sus consejos. Por ir fortaleciendo la amistad y seguir acompañándome en este viaje tan hermoso que es la vida. Gracias Mertixell, Shareen, Kika, Ale, Chai, Oliverio, Erika, Lupis, César, Omara, Mateo (Juanj), Héber, Isaac, Toño, Meli, Sammy, Karen, Itzuky, Gus, Hermilo. A Daniel Cahue, por acompañarme en mi desarrollo durante la etapa final de mi tesis, por tu apoyo, consejos, motivación y por el ejemplo que me das de trabajo y constancia.

A mis abuelitos y a toda mi familia por formar parte de ese primer núcleo en el que uno se desarrolla.

A Maris, Berna y Miriam, Gracias hermanos por su apoyo durante todo este tiempo. Por la convivencia, las risas, la motivación, por ser parte de mi soporte y por esa complicidad de amigos y hermanos. Los quiero mucho.

A Luis Ángel, Santiago y Camila por ser esa luz y fuente de alegría inagotable, por ser capaces de con su sola presencia provocar una sonrisa en mi rostro y en mi alma y por asombrarse conmigo cuando les comparto mi pasión por los cetáceos.

A mi Tía Zoila, Zoilita, Leo, Marco, Luis y Carlos, muchas gracias por su apoyo durante mi estancia en México, por abrirme las puertas de su casa y hacerme sentir como en la mía. En especial Carlos, gracias primo por andar conmigo del tingo al tango y ayudarme siempre que lo necesité.

Y finalmente mi razón de estar en esta vida: GRACIAS A MIS PADRES YOLANDA OROZCO Y FRANCISCO DEL TORO. Por ser mis pilares y un gran ejemplo de personas digno de seguir. Por apoyarme siempre e incondicionalmente, por enseñarme que puedo seguir mis sueños y alcanzar mis metas. Por darme alas y dejarme volar con la confianza de lo que me han enseñado. Gracias por su amor y paciencia durante este tiempo. Gracias por la vida. Los Amo.

ÍNDICE

Dedicatoria	i
Resumen	ii
Abstract	iii
Agradecimientos	iv
Índice	vii
Índice de figuras	x
Índice de cuadros	xi

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Contenido de los capítulos	2
1.2 Generalidades	3
1.3 Área de estudio. Golfo de California	6

CAPÍTULO 2. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL RORCUAL COMÚN (<i>Balaenoptera physalus</i>) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA UTILIZANDO DATOS OPORTUNÍSTICOS Y VALIDACIÓN DEL MISMO USANDO DATOS OBTENIDOS DE MANERA SISTEMÁTICA	9
2.1 INTRODUCCIÓN	10
2.1.1 Modelado ecológico	10
2.1.2 Evaluación de la capacidad predictiva de los modelos	11
2.2 ANTECEDENTES	14
2.3 PREGUNTAS E HIPÓTESIS	17
2.4 OBJETIVOS	17
2.4.1 Objetivo general	17
2.4.2 Objetivos específicos	18
2.5 ÁREA DE ESTUDIO. Golfo de California	18
2.6 PRIMERA EVALUACIÓN GENERAL DE LOS DATOS OPORTUNÍSTICOS	18
2.6.1 MATERIALES Y MÉTODOS	19
2.6.1.1 Recolección de datos y obtención de información	19
2.6.1.2 Variables ecogeográficas	19

2.6.2 RESULTADOS.....	21
2.6.2.1 Avistamientos	21
2.6.2.2 Promedios generales y desviaciones estándar de profundidad, SST y Chl-a	23
2.7 CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO	25
2.7.1 MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
2.7.1.1 Recolección de datos.....	25
Muestreos no sistemáticos	
Muestreos sistemáticos	
2.7.1.2 Base de datos	26
2.7.1.3 ‘Falsas’ ausencias	26
2.7.1.4 Ruta recorrida y cuadrantes muestreados	27
2.7.1.5 Estimación de la posición de los avistamientos	27
2.7.1.6 Variables topográficas	28
2.7.1.7 Variables oceanográficas	30
2.7.1.8 Construcción de un modelo utilizando datos oportunisticos (de muestreos no sistemáticos)	32
2.7.1.9 Evaluación del modelo utilizando datos obtenidos de manera sistemática	36
2.7.1.10 Mapas de la predicción de presencia del rorcual común en el GC	36
2.7.2 RESULTADOS	37
2.7.2.1 Construcción de un modelo creado con datos de muestreos no sistemáticos	37
2.7.2.2 Evaluación del modelo	38
2.7.2.3 Mapas de predicción de la distribución del rorcual común en el GC	39
2.7.3 DISCUSIÓN	43
2.7.3.1 Principales aportaciones	43
2.7.3.2 Comparación con otros estudios	43
2.7.3.3 Ventajas de usar datos oportunisticos	45
2.7.3.4 Justificación de usar PCA	46
2.7.3.5 Limitaciones y consideraciones al usar modelos de sólo-presencia y datos oportunisticos	47

2.7.4 CONCLUSIONES	48
ANEXO 1. Descripción de los pasos realizados en el Análisis de Componentes Principales	50
ANEXO 2: Fórmulas usadas en el modelo de predicción de distribución del rorcual común en el Golfo de California	52
2.7.5 REFERENCIAS	53
CAPÍTULO 3. RELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL RORCUAL COMÚN (<i>BALAENOPTERA PHYSALUS</i>) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA CON CARACTERÍSTICAS DE SU HÁBITAT UTILIZANDO UN MODELO DE PRESENCIA-AUSENCIA	57
3.1 INTRODUCCIÓN	58
3.1.1 Modelado ecológico	58
3.2 ANTECEDENTES	59
3.3 PREGUNTAS E HIPÓTESIS	61
3.4 OBJETIVOS	62
3.4.1 Objetivo general	62
3.4.2 Objetivos específicos	62
3.5 ÁREA DE ESTUDIO. Golfo de California	62
3.6 MATERIALES Y MÉTODOS	63
3.6.1 Recolección de datos	63
3.6.2 Variables ecogeográficas	63
3.6.3 Modelado ecológico: Modelo Aditivo Generalizado (GAM)	64
3.7 RESULTADOS	66
3.7.1 Modelo Aditivo Generalizado (Selección de variables)	66
3.8 DISCUSIÓN	68
3.8.1 Comparación con otros estudios de modelos de hábitat	68
3.8.1.1 GLMs vs GAMs	68
3.8.1.2 Respecto a la relación de las variables ecogeográficas con la presencia y distribución del rorcual común	68
3.9 CONCLUSIÓN	71
3.10 REFERENCIAS	72

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES	75
4.1 Resumen y principales aportaciones de los capítulos	76
4.2 DISCUSIÓN GENERAL	77
4.2.1 Uso de hábitat: comparación de los resultados obtenidos entre estudios	77
4.2.2 Modelos de presencia-ausencia vs modelos de sólo-presencia	78
4.3 CONCLUSIONES GENERALES	80
4.4 REFERENCIAS GENERALES	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rorcual común, Ballena de aleta, Fin whale. <i>Balaenoptera physalus</i>	3
Figura 2. Ubicación y batimetría del GC	7
Figura 3. División del GC en provincias de acuerdo a su batimetría (profundidad en metros) y nombre de algunos sitios importantes en tierra. (Tomado de Lavín y Marinone, 2003)	8
Figura 4. Ejemplo de un ROC Plot	13
Figura 5. Batimetría del GC y avistamientos de rorcual común entre agosto de 2003 y noviembre de 2008	22
Figura 6. Promedios mensuales de SST (en °C) en los avistamientos	23
Figura 7. Promedios mensuales de Chl-a (en mg/m ³) en los avistamientos	24
Figura 8. Profundidad promedio (en m) de los avistamientos	24
Figura 9. Elementos a considerar para calcular la distancia perpendicular	28
Figura 10. Cálculo de desviación estándar de pendiente	29
Figura 11. Orientación hacia el este (el seno del valor de la orientación) y orientación hacia el norte (el coseno del valor de la orientación)	29
Figura 12. Ejemplos de mapas de la SST en el GC. a) Febrero 2005 b) Agosto 2005	31
Figura 13. Ejemplo de un mapa que muestra la desviación estándar de la SST	31
Figura 14. Mapas representando algunos de los recorridos que se hicieron en embarcaciones entre 2003 y 2008. a) Tomado de Díaz (2006). b) Tomado de Cárdenas (2008)	34

Figura 15. Mapa representando los recorridos aéreos (muestreo sistemático) que se hicieron durante invierno y verano de 2005 y 2006	34
Figura 16. Resumen de los pasos realizados en el Análisis de Componentes Principales	35
Figura 17. <i>Receiver Operating Characteristic (ROC) plot</i> utilizado para determinar la capacidad predictiva del modelo	39
Figura 18. Cambios en la distribución potencial del rorcual común en el GC en las temporadas de invierno y verano de los años 2005 y 2006	40
Figura 19. Cambio de la distribución potencial del rorcual común a lo largo del año (2005)	41
Figura 20. Mapa de distribución potencial del rorcual común para febrero del 2005	42
Figura 21. Efecto en la presencia del rorcual común de las variables incluidas en el modelo. a) Profundidad (transformación raíz cuadrada). b) Concentración de clorofila a. c) Beaufort	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Elementos de una matriz de confusión con el elemento <i>d</i> representando ausencia “verdadera” y “aparente”	12
Cuadro 2. Número de avistamientos de rorcual común registrados por mes y por año	21
Cuadro 3. (a) <i>Eigenvalues</i> de cada componente, la proporción de la variación explicada por cada componente, así como la proporción acumulada de la variación	38

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Contenido de los capítulos

En esta tesis se realizaron dos estudios de modelos de hábitat del rorcual común en el Golfo de California (GC), los cuales se presentan en los capítulos dos y tres.

Además, en este **capítulo uno** se presenta una introducción en la que se incluyen generalidades de la especie de estudio (rorcual común *Balaenoptera physalus*) y del modelado de hábitat, así como una breve descripción de los objetivos principales de los estudios realizados (capítulos dos y tres) haciendo hincapié en las diferencias entre ellos.

Se puede encontrar cierta repetición entre capítulos, ya que ambos incluyen modelos de hábitat del rorcual común en el GC, con los que se estudian los patrones espaciales y temporales de su distribución y uso del hábitat. Sin embargo cada capítulo tiene un objetivo principal y enfoque diferente: el capítulo dos está más enfocado en la metodología usada, mientras que el capítulo tres está más enfocado en la ecología del rorcual común.

El objetivo principal del capítulo dos es responder a la pregunta de si se puede modelar de una manera adecuada el hábitat y la distribución del rorcual común en el GC utilizando datos oportunisticos (obtenidos de manera no sistemática y con carencia de la información asociada al esfuerzo realizado) empleando un modelo de sólo-presencia y aplicando un Análisis de Componentes Principales.

Para la construcción de este modelo se considerarán ocho variables: profundidad, pendiente del fondo marino, desviación estándar de la pendiente, orientación del fondo marino hacia el este (orientación este), orientación del fondo marino hacia el norte (orientación norte), concentración de clorofila (Chl-a), temperatura superficial del mar (SST) y desviación estándar de la temperatura superficial del mar.

Una vez identificada la relación entre la presencia y distribución del rorcual común en el GC y las características del hábitat, **el objetivo es crear un modelo de predicción de la distribución**

espacial y temporal del rorcual común en el GC utilizando los datos oportunisticos, mismo que será debidamente validado y se evaluará su capacidad predictiva.

El capítulo tres está enfocado en la determinación del uso de hábitat del rorcual común en el Golfo de California utilizando un modelo de presencia- ausencia (Modelos Aditivos Generalizados) construido con los datos obtenidos durante muestreos sistemáticos (recorridos aéreos).

A diferencia del capítulo dos en el que se usará un grupo fijo de ocho variables, en el capítulo tres, con la finalidad de seleccionar el modelo que explique la mayor parte de la variación utilizando la menor cantidad de variables, se realizará el procedimiento “hacia atrás paso a paso” (‘backwards stepwise’), el cual construye el modelo eliminando diferentes variables e investigando qué tanto mejoran el ajuste del mismo. De esta manera las variables que no mejoran el ajuste del modelo de una manera significativa serán quitadas del mismo, dejando sólo las que están más relacionadas con la presencia del rorcual común.

Finalmente, en el capítulo cuatro se presenta la discusión y conclusiones generales sobre el uso de hábitat del rorcual común en el Golfo de California, sobre los modelos empleados para determinarlo, así como de la importancia y alcances del estudio realizado.

1.2 Generalidades

El rorcual común o ballena de aleta *Balaenoptera physalus* (Fig. 1) pertenece a la Familia Balaenopteridae, dentro del suborden Mysticeti del orden Cetacea (Rice, 1998). Es la segunda especie de mamífero más grande del mundo después de la ballena azul y es una especie cosmopolita que se encuentra en todos los océanos (Reeves *et al.*, 2002).



Figura 1. Rorcual común, Ballena de aleta, Fin whale. *Balaenoptera physalus*

El Golfo de California (GC) representa uno de los cinco ecosistemas marinos más productivos y diversos. Históricamente en esta región se han registrado ocho especies de misticetos (61% de todas las especies) y veintitrés de odontocetos (31%) debido a que es un mar subtropical de alta productividad primaria principalmente durante el invierno (Urbán *et al.*, 2005). Es también uno de los pocos lugares donde reside una población del rorcual común *Balaenoptera physalus*, especie que ocupa preferentemente la zona costera desde principios del invierno y hasta mediados de verano, mientras que durante el resto del verano y el otoño se distribuye en aguas alejadas de la costa (Urbán *et al.*, 2005).

Por sus hábitos alimenticios, se considera que el rorcual común del GC es una especie generalista. Se alimenta principalmente de zooplancton, pero puede llegar a consumir grandes cantidades de peces al menos localmente y de forma periódica (Jaume-Shinkel, 2004). Jaume (2004) encontró que de acuerdo a las señales isotópicas de $\delta^{13}C$ la alimentación del rorcual común es más costera en la temporada fría, mientras que en la temporada cálida es más alejada de la costa.

Dado que los cetáceos presentan generalmente una alta capacidad de desplazamiento (Bjorge, 2002; Reeves *et al.*, 2002), su distribución y movimientos se relacionan frecuentemente con aquellas características oceanográficas (biológicas y físicas) que permiten la agregación y persistencia de sus presas (Payne, 1986; Hunt y Schneider, 1987; Baumgartner, 1997; Croll *et al.*, 1998; Davis *et al.*, 1998; Mandelberg, 2004; Parra, 2006; Redfern *et al.*, 2006; Torres *et al.*, 2008; Marubini *et al.*, 2009). Dichas características en muchos casos están relacionadas con estructuras de mesoescala como surgencias, frentes térmicos y giros oceánicos, las cuales son descritas generalmente con variables ambientales como la temperatura superficial del mar y concentración de pigmentos fotosintéticos como la clorofila "a" (Brown y Winn, 1989; Baumgartner, 1997; Gregr y Trites, 2001; Salvadeo, 2008).

A su vez, cabe destacar la importancia de la batimetría, la pendiente y topografía del suelo oceánico en la distribución y presencia de cetáceos, ya que también condicionan en muchos casos la variabilidad, disponibilidad y abundancia de las presas que estos animales consumen (Woodley y Gaskin, 1996; Gregr y Trites, 2001; Salvadeo, 2008).

Los ecosistemas oceánicos son heterogéneos y dinámicos. Los patrones físicos y biológicos así como la diversidad en el océano son evidentes a través de escalas espaciales y temporales continuas (Ferguson y Barlow, 2001). La investigación de sistemas marinos en las escalas apropiadas es crucial para el entendimiento de su funcionamiento (Ferguson y Barlow, 2001), ya que se debe considerar que las relaciones entre los cetáceos y su hábitat son dependientes de la escala (Redfern *et al.*, 2006; Marubini *et al.*, 2009). En ecología, el conocimiento detallado de la distribución espacial de una población de animales y la caracterización de su estructura son esenciales para que los ecólogos puedan tener una mejor comprensión de las interacciones de las poblaciones con su ambiente, especialmente cuando este es particularmente variable y espacialmente estructurado (Monestiez *et al.*, 2006; MacLeod *et al.*, 2008).

En los últimos años, los sistemas de información geográfica y datos de teledetección han revivido el interés en la búsqueda de relaciones entre condiciones oceanográficas y la distribución de los mamíferos marinos (Gregg y Trites, 2001; Laran y Gannier, 2008). Mediante la investigación de las relaciones entre los cetáceos y su ambiente, los científicos pueden incrementar el conocimiento sobre su distribución al predecir las áreas donde es más probable que los cetáceos estén presentes (Mandleberg, 2004).

El modelado de hábitat de cetáceos, aunque aún está en las primeras etapas de desarrollo, representa una herramienta poderosa para predecir la distribución de cetáceos y entender los procesos ecológicos que la determinan. Hay que considerar que los modelos de hábitat de especies marinas deben ser suficientemente flexibles para ajustarse a un amplio rango de estructuras potenciales del modelo y a tipos de hábitat variables si son hechos para explicar o predecir la distribución de las especies (Redfern *et al.*, 2006). De esta manera, el modelado predictivo y las hipótesis que guían el mismo pueden ser conducidos interactivamente para mejorar el entendimiento de la ecología, conservación y manejo de los cetáceos (Redfern *et al.*, 2006).

1.3 Área de estudio. Golfo de California.

El Golfo de California (GC) es un mar marginal que se encuentra entre los estados de Sonora y Sinaloa en el este, la península de Baja California en el oeste y hacia el sur se comunica con el Océano Pacífico (Fig. 2). Tiene aproximadamente 1,400 km de largo y 150 Km de ancho promedio, con una superficie aproximada de 210,000 km² (Roden y Groves, 1959). El sistema montañoso de la península de Baja California con una altitud de 700 a 1000 m sobre el nivel del mar, funciona como una barrera de vientos minimizando la influencia marina del Océano Pacífico Baja Californiano, lo cual ocasiona que el clima dentro del Golfo sea más continental que oceánico (Roden, 1964; Santamaría del Ángel *et al.*, 1994).

De acuerdo con Santamaría del Ángel *et al.* (1994), la profundidad máxima en la boca del golfo es de 3000 m, mientras que en el alto golfo es menor a 200 m. Geológicamente el GC se formó por la expansión de zonas de falla, razón por la cual presenta una batimetría muy compleja, con una serie de cuencas y trincheras oceánicas que aumentan en profundidad hacia la boca del golfo y que están separadas entre sí por cordilleras transversales. Dichas características han servido para dividir el GC en varias regiones topográficas (Álvarez-Borrego, 1983; Santamaría del Ángel *et al.*, 1994; Castro *et al.*, 2000).

Además, el GC está separado en dos áreas por las Islas Ángel de la Guarda y Tiburón. La parte norte es relativamente somera y está constituida principalmente por plataforma continental, contando con una profundidad promedio de 200 m y máxima de 600 m en la cuenca Delfín. La parte sur es más profunda, con variedad de cuencas que van desde los 600 m hasta los 3000 m en la zona de la boca. Entre la Isla Ángel de la Guarda y la Península de Baja California, se encuentra el Canal de Ballenas, el cual presenta un umbral somero de 450 m (Fig. 3) (Álvarez-Borrego, 1983; Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991; Lavín y Marinone, 2003).

El aislamiento del Golfo contribuye a que las variaciones estacionales de temperatura superficial sean extremas, yendo en la parte norte desde los 14 °C hasta los 30 °C y en la porción sur de los 20 °C a los 30 °C. Hay más precipitación pluvial anual en el lado este del GC que sobre el oeste (Roden, 1964).

Se presenta una variabilidad extrema en los vientos en el Golfo, prevaleciendo los vientos del noroeste de noviembre a mayo y del sureste el resto del año (Santamaría-del Ángel *et al.*, 1994). Las surgencias ocurren frente a la costa oriental con vientos del noroeste (condiciones de “invierno”) de diciembre a mayo y frente a la costa de Baja California con vientos del suroeste (condiciones de “verano”) de julio a octubre, con junio y noviembre como periodos de transición (Roden, 1964). La productividad en el Golfo es excepcionalmente alta, sus masas de agua son bajas en oxígeno y en estratos superficiales se encuentran elevadas concentraciones de nutrientes (Álvarez- Borrego y Lara-Lara, 1991).

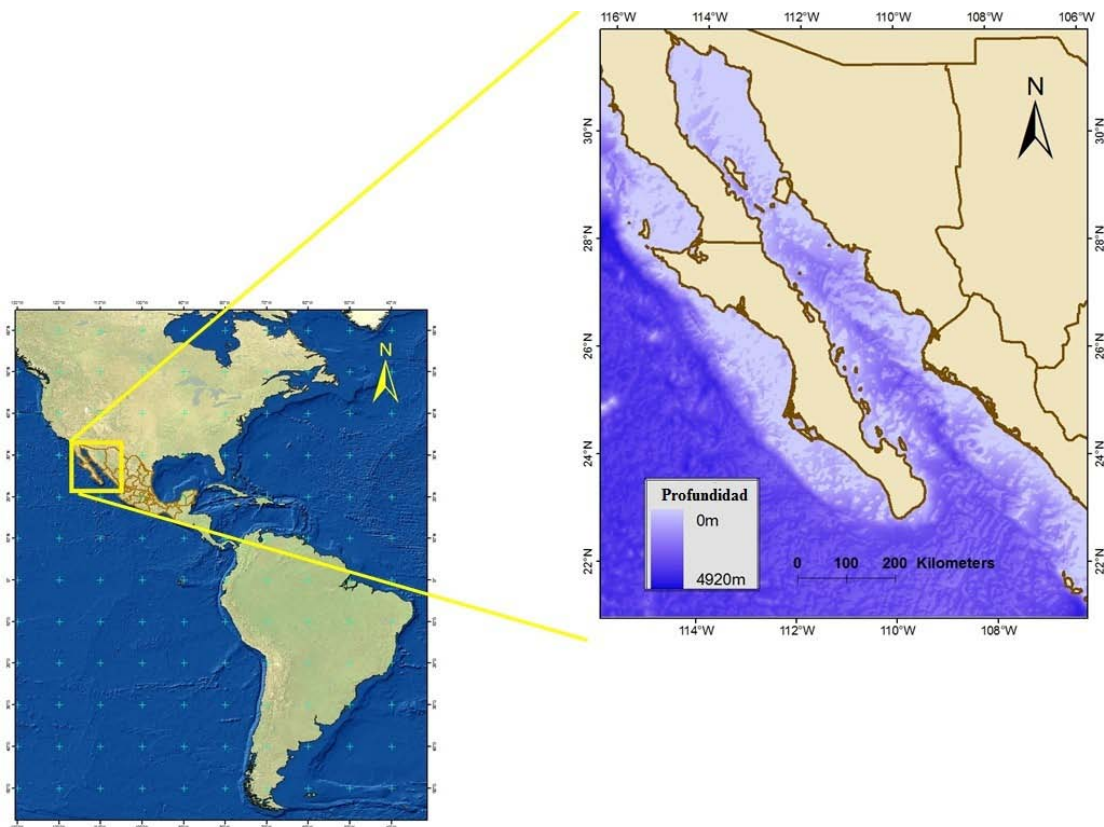


Figura 2. Ubicación y batimetría del GC.

Existen dos mecanismos de enriquecimiento en las surgencias que se presentan: las generadas por corrientes de marea y las costeras generadas por el viento. Las primeras ocurren principalmente en la región de las Grandes Islas, donde los procesos de mezcla por mareas se intensifican por una disminución batimétrica de la luz de flujo, produciendo corrientes intensas, especialmente en el Canal de Ballenas (Badán-Dangón *et al.*, 1985). El segundo mecanismo de enriquecimiento se presenta en ambas costas del Golfo de manera alternada durante el año. El forzamiento del viento produce un transporte de aguas superficiales que son reemplazadas por aguas sub-superficiales más frías y con mayor concentración de nutrientes. Tanto las características de fuerza y persistencia de los vientos de invierno, como la configuración vertical de los tipos de agua en dicha parte del año, permiten que los efectos de surgencias costeras sean mucho más notorios y efectivos como sistema de enriquecimiento en la costa continental (Badán-Dangón *et al.*, 1985).

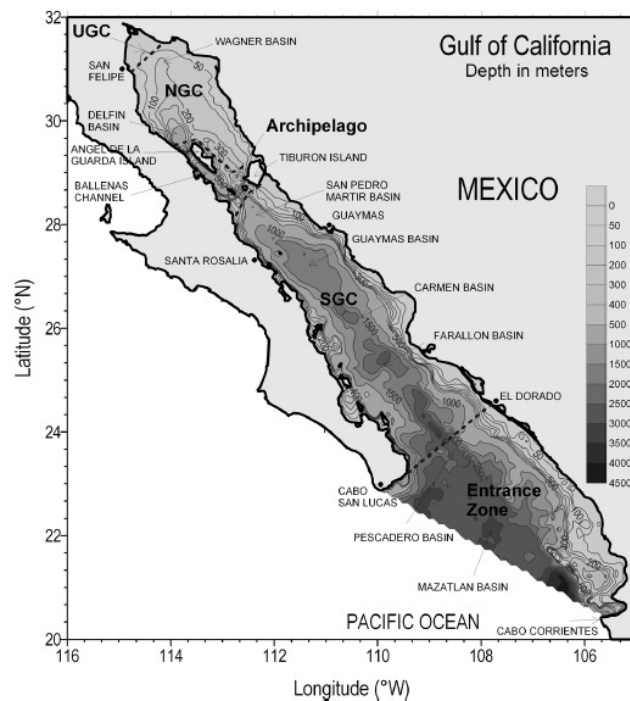


Figura 3. División del GC en provincias de acuerdo a su batimetría (profundidad en metros) y nombre de algunos sitios importantes en tierra. Provincias: Zona de entrada (Entrance zone), Zona Sur del GC (Southern Gulf of California - SGC), Archipiélago (Archipelago), Zona Norte del GC (The Northern Gulf of California - NGC) y Alto GC (The Upper Gulf of California - UGC) (Tomado de Lavín y Marinone, 2003).

CAPÍTULO 2

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL RORCUAL COMÚN (*Balaenoptera physalus*) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA UTILIZANDO DATOS OPORTUNÍSTICOS Y VALIDACIÓN DEL MISMO USANDO DATOS OBTENIDOS DE MANERA SISTEMÁTICA

2.1 INTRODUCCIÓN

2.1.1 Modelado ecológico

El propósito de un modelo de hábitat es que guíe la selección de las variables del hábitat, determine la herramienta estadística apropiada y dirija la interpretación o uso de los resultados del modelo (Redfern *et al.*, 2006).

Mientras que es probable que los modelos construidos utilizando aproximaciones de presencia-ausencia nos ofrezcan un mejor entendimiento de la distribución de las especies dentro de un área estudiada, los modelos que utilizan sólo-presencia pueden hacerlo casi de la misma manera (MacLeod *et al.*, 2008). Cuando los modelos de presencia-ausencia han sido comparados con los de sólo-presencia usando el mismo conjunto de datos, se ha encontrado que los modelos de presencia-ausencia funcionan mejor y contienen mayores habilidades de predicción, provocando que la mayoría de los investigadores los utilicen siempre que es posible. Sin embargo, estos estudios comparativos han estado limitados a especies terrestres (Brotons *et al.*, 2004) y poblaciones teóricas (Hirzel *et al.*, 2001), y no se sabe si la misma relación permanece en el ambiente marino donde la detección de muchas especies es mucho menor que en el caso terrestre (MacLeod *et al.*, 2008).

En el caso de los cetáceos, la mayoría de las especies presenta una alta capacidad de desplazamiento y pasan una cantidad sustancial de tiempo debajo de la superficie, haciendo que su detección y estimación del tamaño de grupo sean inherentemente difíciles (Redfern *et al.*, 2006). Para poder estudiarlos, los resultados del estudio de MacLeod *et al.* (2008), sugieren que las aproximaciones de presencia-ausencia proporcionan la mejor capacidad predictiva, y por lo tanto probablemente el mejor entendimiento de la distribución de las especies en relación con variables ecogeográficas.

Como resultado, cuando sea posible implementarlas, tales aproximaciones de presencia-ausencia deben usarse. No obstante, el estudio de MacLeod *et al.* (2008) también sugiere que cuando no hay suficientes datos verdaderos o adecuados disponibles, los modelos de sólo-

presencia pueden producir de manera afectiva modelos de la distribución de especies marinas. Menciona que estos modelos trabajan significativamente mejor que modelos aleatorios y que para la misma área estudiada no necesariamente tienen un funcionamiento más pobre que los modelos de presencia-ausencia.

Mientras que los modelos de presencia-ausencia generalmente tienen capacidad predicativa más alta para especies con alta detectabilidad, no funcionan tan bien como los de sólo-presencia cuando la detectabilidad es baja (Williams, 2003). Las especies marinas tales como los cetáceos, pueden tener niveles suficientemente bajos de detectabilidad tanto que el número de falsas ausencias dentro del conjunto de datos para la construcción del modelo son suficientes para violar el requisito de los modelos de presencia-ausencia de que todos los datos sean verdaderos (MacLeod *et al.*, 2008).

Como resultado, la capacidad predictiva de muchos modelos generados utilizando aproximaciones de presencia-ausencia puede ser menor en comparación con los que son producidos de conjuntos de datos que no contienen tal cantidad de falsas ausencias (MacLeod *et al.*, 2008). Por lo tanto, estas aproximaciones potencialmente podrían permitir que los datos de presencia obtenidos oportunísticamente, de manera no sistemática o contenidos en bases de datos provenientes de cruceros en que se emplearon diferentes metodologías, sean usados para investigar la distribución de las especies. De cualquier manera, es claro que se deben tomar las precauciones necesarias dado que los modelos basados en datos no representativos (sesgados) podrían generar resultados erróneos (MacLeod *et al.*, 2008).

2.1.2 Evaluación de la capacidad predictiva de los modelos

Hay muchas maneras para evaluar el funcionamiento de los modelos. Con la finalidad de tener confianza en cualquier modelo predictivo, las predicciones del modelo deben ser determinadas por algunas medias objetivas. Una estrategia común para evaluar la calidad del modelo ha sido dividir los datos disponibles en un grupo de datos para construir el modelo (*datos de construcción de modelo*) y un grupo de datos independiente para evaluar la calidad del modelo (*datos de evaluación*).

La capacidad predictiva del modelo se puede evaluar aplicando el grupo de *datos de evaluación* a las predicciones del modelo. Hay dos posibles tipos de error en las predicciones: falsos positivos (i. e. el modelo predice presencia donde la especie ha sido registrada como ausente) y falsos negativos (i. e. el modelo predice ausencia donde la especie ha sido registrada como presente) (Hirzel *et al.*, 2002). La proporción relativa de estos errores se resume generalmente en una matriz de error o confusión (Fielding y Bell, 1997), la cual contiene cuatro elementos (cuadro 1). El elemento *a* representa los cuadrantes predichos correctamente como presencia. Así mismo *d* refleja áreas clasificadas por el modelo como ausencia y donde la especie no ha sido observada. De esta manera *a* y *d* son consideradas como correctas clasificaciones; en contraste, *c* y *b* son interpretadas usualmente como errores. El elemento *c* representa un falso negativo y *b* representa un falso positivo (Fielding y Bell, 1997; Mandleberg, 2004).

		Observado	
		+	-
Predicción	+	<i>a</i>	<i>b</i>
	-	<i>c</i>	<i>d</i>

Cuadro 1. Elementos de una matriz de confusión con el elemento d representando ausencia “verdadera” y “aparente”.

Una vez que ha sido calculada la clasificación incorrecta de los errores en las predicciones, hay algunas medidas disponibles para evaluar la exactitud de la predicción. Una alternativa poderosa para evaluar el funcionamiento de los modelos está derivada de un *Receiver Operating Characteristic*, o ROC plot (Fielding y Bell, 1997). A diferencia de muchas medidas de evaluación, el ROC plot es independiente de cualquier umbral de clasificación incorrecta de los errores. Esto tiene ventajas porque evita el criterio arbitrario de umbrales, los cuales suelen carecer de una justificación ecológica.

Se calculan los valores de *sensitividad* que indican la proporción de cuadrantes donde el modelo predice de manera correcta presencia en relación con todos los cuadrantes en el grupo de

datos de evaluación usados para probar el modelo, y los valores de *especificidad* que indican la proporción de cuadrantes donde el modelo predice de manera correcta ausencia en relación con todos los cuadrantes en el grupo de *datos de evaluación*.

Un ROC plot se obtiene graficando todos los valores de *sensitividad* (fracción positiva verdadera: $a / a+c$) en el eje de las Y, contra su equivalente que son los valores $1- \textit{especificidad}$ (fracción positiva falsa: $d / b+d$) para todos los posibles umbrales en el eje de las X (Fig. 4), con lo cual el área bajo la curva (AUC por sus siglas en inglés) proporciona una medida de la capacidad predictiva (Fielding y Bell, 1997).

Un modelo aleatorio (i.e. que no predice presencia mejor que si se seleccionaran aleatoriamente cuadrantes del grupo de datos de prueba) se esperaría que tuviera un AUC de 0.5, mientras que un modelo que concuerda perfectamente con el grupo de datos de prueba tendría un AUC de 1.0 (Fielding y Bell, 1997). Cuanto más alto sea el valor del AUC, la capacidad predictiva del modelo considerado será mayor y más diferente será de un modelo aleatorio.

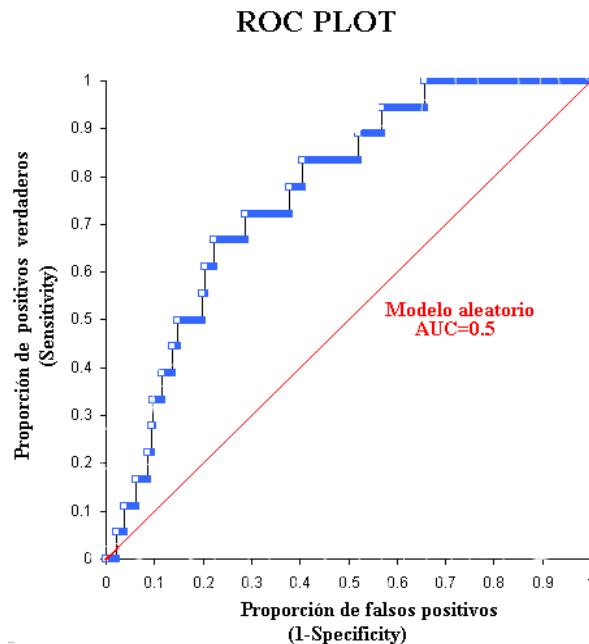


Figura 4. Ejemplo de un ROC Plot. La línea roja representa un modelo aleatorio (AUC=0.5) en donde el incremento de la proporción de positivos verdaderos (*sensitivity*) es directamente proporcional al incremento de la proporción de falsos positivos (*1-Specificity*).

2.2 ANTECEDENTES

En México, el rorcual común *Balaenoptera physalus* se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2001 bajo la categoría de “protección especial”. Está considerada como una especie vulnerable en el libro rojo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y también está en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies en peligro de extinción (CITES) de 1973. Según la Comisión Ballenera Internacional (CBI) toda la región del Pacífico Norte está bajo la categoría de stock protegido (Jaume-Shinkel, 2004; Urbán *et al.*, 2005).

Durante decenas de años, se sospechó que en el GC habita una población residente de rorcual común (Tershy *et al.*, 1993; Urbán, 1996). Investigaciones recientes han confirmado que no solamente es una población residente, sino que también está genéticamente aislada de la del Pacífico Nororiental (Bérubé *et al.*, 1998; Bérubé *et al.*, 2002).

La estimación poblacional más reciente del rorcual común para el GC es la propuesta por Díaz (2006) quien reporta alrededor de 600 individuos. La población residente del rorcual común en el GC se alimenta y reproduce en la zona, y con base en recapturas fotográficas se mostró que algunos rorcuales realizan movimientos estacionales dentro del Golfo. A mediados de la primavera se desplazan del norte hacia localidades más sureñas, donde pasan el resto de la primavera y parte del verano, principalmente en aguas costeras, mientras que el resto del verano y el otoño lo pasan en aguas más profundas (Enríquez, 1996; Urbán 1996, 2000).

Muy pocas especies de cetáceos han sido estudiadas con detalle suficiente para desarrollar hipótesis específicas acerca de los procesos ecológicos que determinan su distribución, no obstante hay una demanda creciente por los modelos predictivos de la distribución de este grupo para apoyar los esfuerzos de conservación y manejo (Redfern *et al.*, 2006).

Este es el primer estudio de modelos de hábitat del rorcual común para el GC. Aunque en comparación con los métodos ampliamente usados como son los modelos de presencia-ausencia, los estudios que han usado métodos de sólo-presencia para analizar la distribución y el uso de

hábitat de diferentes organismos son relativamente pocos, éstos son cada vez más usados. Ejemplos para el caso de cetáceos son los trabajos realizados por Schweder, 2003; Compton, 2004; Mandleberg, 2004; Praca y Gannier, 2008; MacLeod *et al.*, 2008; Meissner, 2009; Fernández, 2010 y Smith, 2010.

A continuación se mencionan más a detalle algunos ejemplos de estudios de hábitat y distribución de cetáceos y los métodos que emplearon.

Gregr y Trites (2001) buscaron definir el hábitat crítico para cinco especies de ballenas a lo largo de la costa de Columbia Británica en términos del ambiente físico. Lo hicieron utilizando GLMs para determinar si la posición de las capturas históricas de ballenas registradas en Columbia Británica de 1948 a 1967 (variable dependiente) estaban relacionadas con seis variables: profundidad, pendiente, clase de profundidad, temperatura, salinidad y mes. Los modelos predijeron la probabilidad de presencia de cada especie de ballena basados en estas variables.

Dentro de este estudio, para el rorcual común la predicción anual de hábitat sugiere que esta especie estaba presente principalmente en aguas alejadas de la costa, pero frecuentemente se encontraba también en mares costeros. Los autores sugirieron que la distribución histórica del rorcual común tiene una estrecha relación con las variables predictivas. Su estudio muestra que aún en la presencia de una autocorrelación espacial y temporal no trivial, diferentes esfuerzos de muestreo y la carencia de la concurrencia temporal de las variables independientes y dependientes, se pueden generar hipótesis razonables usando este tipo de análisis retrospectivo.

Panigada *et al.* (2005) utilizaron también GLMs para modelar la distribución del rorcual común en relación con variables fisiográficas en el Mar de Liguria, los cuales revelaron que la profundidad media fue la variable explicativa más significativa. Mencionan que en particular la relación entre los parámetros biológicos, incluyendo la abundancia de las presas y parámetros físicos remotamente detectados (por ejemplo SST, color del océano y velocidad del viento) contribuirán a la identificación de áreas específicas que podrían ser consideradas como hábitats críticos para las especies de cetáceos.

Laran y Gannier (2008) caracterizaron el principal hábitat del rorcual común en el Mar Mediterráneo usando GLMs, considerando parámetros tanto fisiográficos como hidrobiológicos. La batimetría, Chl-a y SST caracterizaron significativamente el hábitat de esta especie.

Hirzel *et al.* (2001) y Brotons *et al.* (2004) encontraron que las predicciones realizadas con un modelo de presencia-ausencia (GLM) eran más acertadas que las obtenidas con un modelo de sólo-presencia (ENFA). Los primeros utilizaron un método de modelado basado en una especie virtual con predeterminadas preferencias de hábitat, y los segundos modelaron la distribución de especies de aves de bosque.

Schweder (2003) realizó un estudio en el que usó un método basado en PCA para modelar la distribución de cuatro especies de cetáceos en relación con variables ecogeográficas en las aguas costeras del oeste de Escocia.

Mandleberg (2004) y MacLeod *et al.* (2008) compararon el funcionamiento de tres modelos de sólo-presencia (incluyendo el PCA) con uno de presencia-ausencia utilizados para modelar la distribución de una marsopa en la parte occidental de Escocia. Dichos autores no encontraron diferencias estadísticas significativas entre los modelos de sólo-presencia y los de presencia-ausencia, sugiriendo que los modelos de sólo-presencia pueden ser usados con la misma eficiencia que los modelos de presencia-ausencia.

Praca y Gannier (2008) encontraron que ENFA (modelo de sólo-presencia) produjo predicciones significativas de hábitat para tres especies teutófagas de odontocetos en el Noroeste del Mar Mediterráneo.

2.3 PREGUNTAS E HIPÓTESIS

¿Se puede modelar de una manera adecuada el hábitat y la distribución del rorcual común en el Golfo de California utilizando datos oportunistos (obtenidos de manera no sistemática)?

Sí es posible, pero hay que considerar que se debe de contar con un grupo de datos que hayan sido obtenidos de manera sistemática para poder evaluar el funcionamiento del modelo creado.

¿Qué variables topográficas y oceanográficas del Golfo de California están más relacionadas con el hábitat del rorcual común?

Se espera que la batimetría, productividad (concentración de Clorofila a) y temperatura superficial del mar caractericen significativamente el hábitat del rorcual común.

¿Cuáles son las características de las áreas en las que se puede predecir una mayor probabilidad de presencia del rorcual común?

Se espera que la mayor probabilidad de presencia del rorcual común se encuentre en un área que coincida con las características oceanográficas que favorecen la presencia de sus presas, ya que la caracterización del hábitat como será considerada aquí, tiene dos suposiciones clave. La primera suposición es que las ballenas generalmente son vistas donde la comida es abundante, y la segunda, que las fuentes de comida están de alguna manera relacionadas con condiciones oceanográficas. Así mismo, se espera que la predicción de mayores probabilidades de presencia sea en áreas someras.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo general

Determinar si se puede modelar de una manera adecuada el hábitat y la distribución del rorcual común en el GC, México utilizando datos oportunistos (obtenidos de manera no sistemática y con carencia de la información asociada al esfuerzo realizado) empleando un modelo de

sólo-presencia. Hacer predicciones de la distribución espacial y temporal del rorcual común en el GC, México con base en las características del hábitat.

2.4.2 Objetivos específicos

- Conocer la variación de las variables oceanográficas (SST y Chl-a) y topográficas (profundidad, pendiente y orientación del fondo marino) del GC.
- Crear un modelo de predicción de la distribución del rorcual común en el GC utilizando datos oportunisticos (obtenidos de manera no sistemática).
- Evaluar la capacidad predictiva de ese modelo utilizando datos obtenidos de manera sistemática.
- Crear un modelo de predicción de distribución del rorcual común en el GC utilizando datos obtenidos de manera sistemática.
- Conocer la relación del hábitat del rorcual común con las variables topográficas y oceanográficas del GC.
- Determinar cuáles variables están más relacionadas con la presencia del rorcual común en base a los resultados de los componentes principales.
- Realizar predicciones de la distribución espacial y temporal del rorcual común en el GC con base en las características de su hábitat.
- Realizar mapas de distribución potencial del rorcual común en el GC de los meses muestreados.

2.5 ÁREA DE ESTUDIO. Golfo de California.

La descripción del área de estudio se encuentra en el capítulo 1, sección 1.3.

2.6 PRIMERA EVALUACIÓN GENERAL DE LOS DATOS OPORTUNÍSTICOS

En este capítulo se utilizaron valores de las variables obtenidos de dos fuentes diferentes, ya que conforme se fue avanzando en la investigación se aprendieron nuevas maneras de obtener dichos datos. Dentro de cada grupo de datos la fuente fue consistente. Una fuente fue para la primera evaluación de los datos donde sólo se obtuvieron promedios y desviaciones estándar de los

valores de profundidad, de la SST y de la Chl-a de todos los avistamientos de rorcual común de los que se tenía registro, y la otra para los datos utilizados en la creación y evaluación del modelo a partir de datos oportunistas.

Para marcar la diferencia entre las fuentes de las que se obtuvieron los datos, este capítulo se divide en los materiales y métodos de la primera aproximación con sus respectivos resultados y posteriormente materiales y métodos de la segunda con los suyos, desarrollando al final la parte de discusión y conclusiones.

2.6.1 MATERIALES Y MÉTODOS

2.6.1.1 Recolección de datos y obtención de información

Se reunió información de los cruceros y recorridos aéreos realizados en el periodo de agosto de 2003 a noviembre de 2008 en el GC como parte de diferentes proyectos del Laboratorio de Mamíferos Marinos de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS).

Los datos fueron recolectados en embarcaciones pequeñas, medianas y grandes con longitudes de 6.7 m a 38.1 m y con una altura de la plataforma de observación de 0.6 m a 7.6 m (Cárdenas, 2008), así como en una avioneta de un solo motor tipo Cessna-182. De cada crucero y recorrido aéreo se obtuvo el número de los avistamientos de rorcual común, la ruta que se recorrió y el esfuerzo realizado (en horas), cuando estaban disponibles. Dentro de cada año, el esfuerzo varió en términos de la duración de la temporada de campo, número y tipo de embarcaciones usadas.

2.6.1.2 Variables ecogeográficas

Variables topográficas

Profundidad

Las características batimétricas de los puntos donde se registraron avistamientos se determinaron con mapas digitalizados de la línea de costa y batimétricos del GC. La fuente de datos se obtuvo de

cartas batimétricas de la Secretaria de Marina de México y de cartas topográficas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), México (Ulloa *et al.*, 2006). Estos mapas se hicieron a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) Ilwis 3.0 y ArcView GIS 3.2 (Cárdenas, 2008).

Los caminos se obtuvieron vaciando los datos del GPS al SIG MapSource 6.15.4, de donde se guardaron como archivos Garmin GPS Database o se exportaron como un archivo de texto a Excel. Posteriormente se guardaron como archivos tipo dBASE IV los cuales se importaron como tablas al SIG ArcView 3.2 para convertirlos a archivos de forma, cambiar el formato de la posición geográfica (de hddd.dddd WGS84 a coordenadas x y) y para darles la proyección Cónica Conformal de Lambert. Los archivos resultantes se importaron como archivos de forma al SIG Ilwis 3.0 Academic, el cual de manera automática los convirtió a archivos de puntos y manualmente se les asignó el sistema de coordenadas correspondiente a los mapas digitalizados para visualizarlos.

La extracción de datos (profundidad) del mapa batimétrico digitalizado se hizo con los archivos de puntos en Ilwis 3.0 Academic. Los archivos de puntos se convirtieron en archivos raster para “cruzarlos” con el mapa batimétrico (en formato raster) y de esa manera se obtuvieron tablas con la profundidad de los avistamientos. Este procedimiento se hizo con las rutinas descritas en el manual de ILWIS 3.0 Academic (<http://www.itc.nl/ilwis/documentation/version3.asp>) (Cárdenas, 2008; ITC, 2001).

Variables oceanográficas

Temperatura superficial del mar (SST) y concentración superficial de clorofila a (Chl-a)

Para una primera evaluación de los datos, donde se consideraron todos los avistamientos de rorcuales común (491) tanto de embarcaciones como de los vuelos, se obtuvieron los promedios y desviaciones estándar de SST y Chl-a. Para este fin las variables oceanográficas se obtuvieron de los promedios mensuales y semanales de productos oceánicos que se generan a partir de imágenes satelitales MODIS-AquaLevel 3 realizados a una resolución de 4 km (origen de los datos

de NASA: ftp://oceans.gsfc.nasa.gov/MODISA/Mapped/monthly/4/). Dichos productos fueron reprocesados en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) para la zona de los vientos de Santa Ana, los cuales se presentan sobre California, Baja California y el GC.

Se descargaron imágenes mensuales tanto de SST como de Chl-a del sitio: ftp://200.12.166.180/NASA_MODIS_Products/Ocean_Products/Aqua_Level3_Mapped_5km/bc/Monthly/. Las imágenes se guardaron en formato GeoTIFF (georreferenciadas) el cual puede ser manejado y procesado con el SIG ArcGIS 9.2 y 9.3.

Los valores de SST y Chl-a se extrajeron para cada uno de los 491 avistamientos de rorcual común utilizando la herramienta *Spatial Analyst* en el software ArcGIS 9.2 y 9.3.

2.6.2 RESULTADOS

2.6.2.1 Avistamientos

Se realizaron muestreos en 47 meses entre agosto del 2003 y noviembre del 2008, cubriendo todas las estaciones del año con al menos una salida en cada tipo de embarcación. Se registró un total de 491 avistamientos de rorcual común incluyendo 40 avistamientos oportunisticos, siendo junio y febrero seguidos por julio y enero los meses con un mayor número de registros (Cuadro 2). Sin embargo, como el muestreo durante los seis años no fue sistemático, esto puede deberse a un mayor esfuerzo en los meses antes mencionados.

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
2003								A	A	--	5	A	5
2004	A	A	3	A	A	76	42	33	A	--	--	A	154
2005	52	33	1	5	6	20	44	--	2	1	A	--	164
2006	5	47	29	A	1	9	2	A	A	A	--	A	93
2007	3	--	--	--	--	2	--	--	21	--	1	--	27
2008	13	16	7	1	A	--	--	3	5	--	3		48
TOTAL	73	96	40	6	7	107	88	36	28	1	9	0	491

Cuadro 2. Número de avistamientos de rorqual común registrados por mes y por año. "A" (Ausencia) son los meses en los que hubo salidas pero no se registraron avistamientos de rorqual común. "--" Indica los meses en los que no se realizaron salidas.

El tamaño promedio de los grupos de rorqual común fue de 1.84 individuos (± 1.31 D.E. $n=485$) con un mínimo de un individuo y un máximo de 12 individuos (Fig. 5).

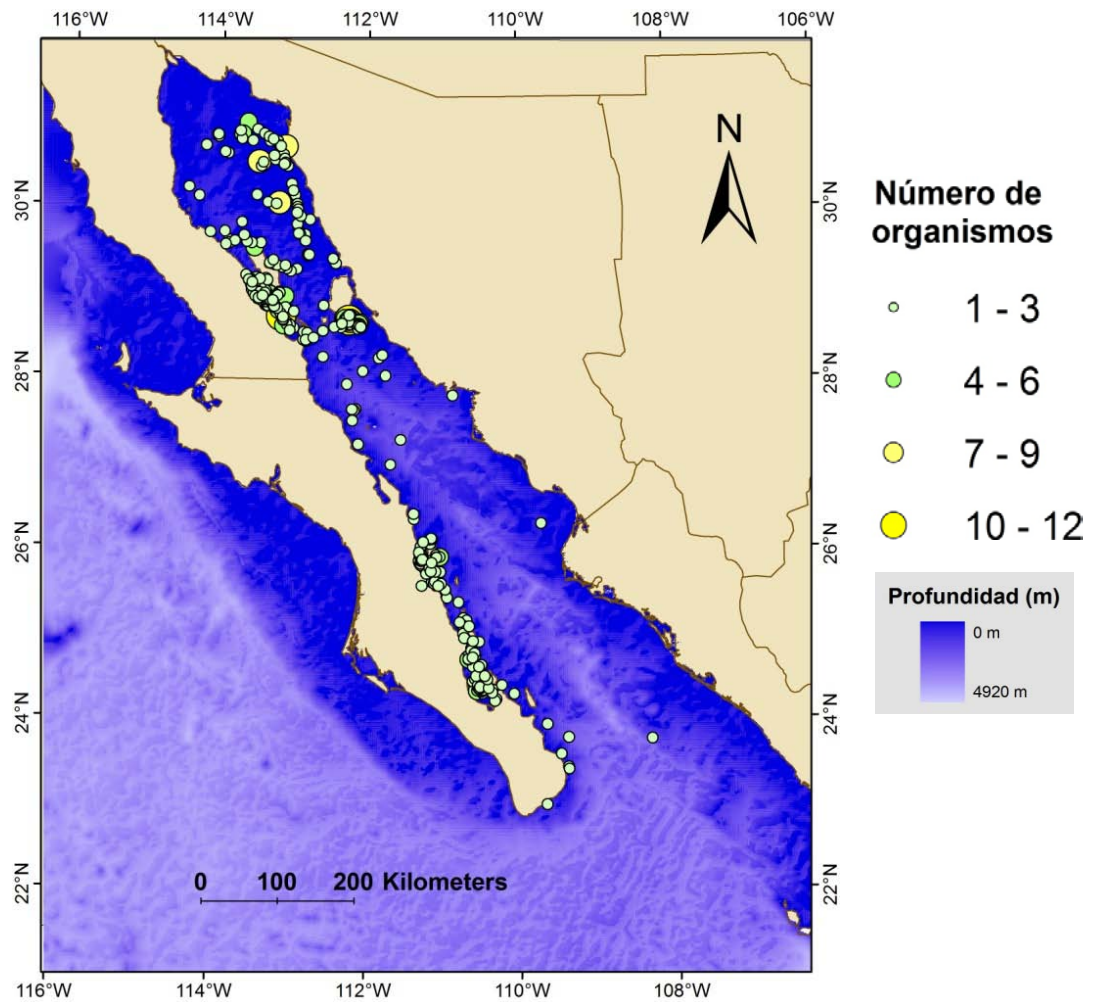


Figura 5. Batimetría del GC y avistamientos de rorqual común entre agosto de 2003 y noviembre de 2008. Los colores de los puntos indican el número de organismos por avistamiento.

2.6.2.2 Promedios generales y desviaciones estándar de profundidad, SST y Chl-a.

Al inicio del estudio se consideraron todos los avistamientos de rorqual común (491) obtenidos tanto de embarcaciones como de los vuelos y se calcularon los promedios y desviaciones estándar de SST, Chl-a y profundidad.

Hay algunos avistamientos de los cuales al obtener los datos de SST, Chl-a y/o profundidad marcaron valores erróneos. Esto puede deberse a que dado el tamaño de los pixeles, al registrarse el avistamiento muy cerca de la costa el valor que se obtiene es el de un cuadrante de tierra (por lo cual no se incluyeron esos datos), y esta es la razón por la que el tamaño de muestra varía en los parámetros obtenidos.

El promedio de la SST (mensual) de los avistamientos registrados fue de 23.44 °C (± 4.87 D.E. n=370) con una mínima de 14.30 °C y una máxima de 31.53 °C. El mayor número de avistamientos (83) se ubicó en el intervalo de 17.01-18.00 °C, seguido por el intervalo de 25.01-26.00 °C con 51 avistamientos y el de 27.01-28.00 °C con 46 (Fig. 6).

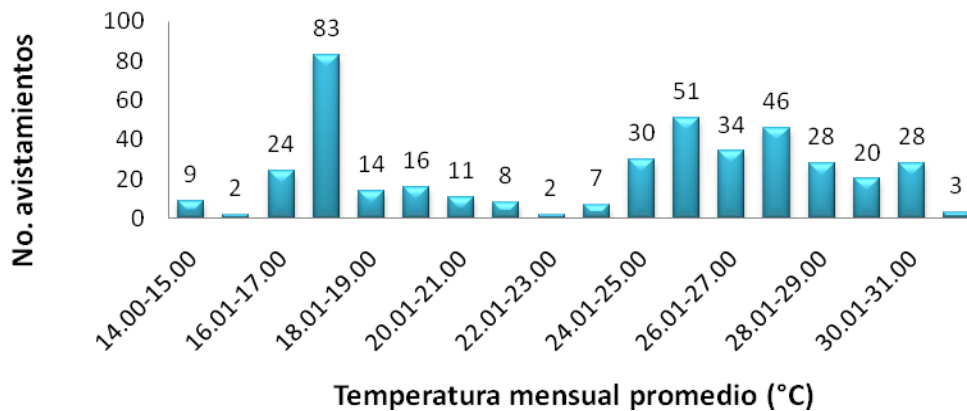


Figura 6. Promedios mensuales de SST (en °C) en los avistamientos.

La Chl-a (mensual) de los avistamientos registrados presentó un promedio de 1.47 mg/m^3 (± 0.97 D.E. $n=430$), con un mínimo de 0.15 mg/m^3 y un máximo de 7.87 mg/m^3 . El mayor número de avistamientos (110) se registró en el intervalo de $0.60\text{-}0.90 \text{ mg/m}^3$, seguido por el intervalo de $0.90\text{-}1.20 \text{ mg/m}^3$ con 62 avistamientos y el de $1.20\text{-}1.50 \text{ mg/m}^3$ con 51 (Fig. 7).

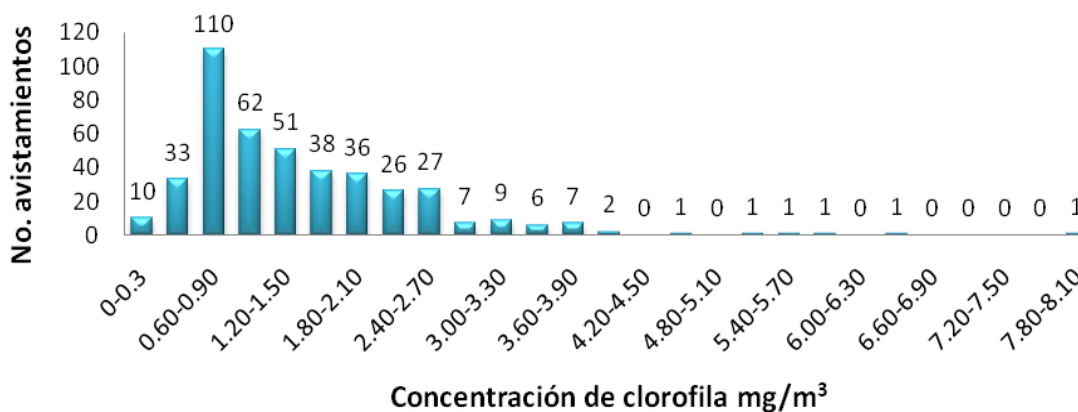


Figura 7. Promedios mensuales de Chl-a (en mg/m^3) en los avistamientos.

La profundidad promedio de los avistamientos fue de 255.21 m (± 290.08 D.E. $n=370$) con un mínimo de 7 m y un máximo de 2176 m . El mayor número de avistamientos (156) se registró en el intervalo de $0\text{-}100 \text{ m}$, seguido por el intervalo de $100\text{-}200 \text{ m}$ con 76 avistamientos y el de $200\text{-}300 \text{ m}$ con 38 (Fig. 8).

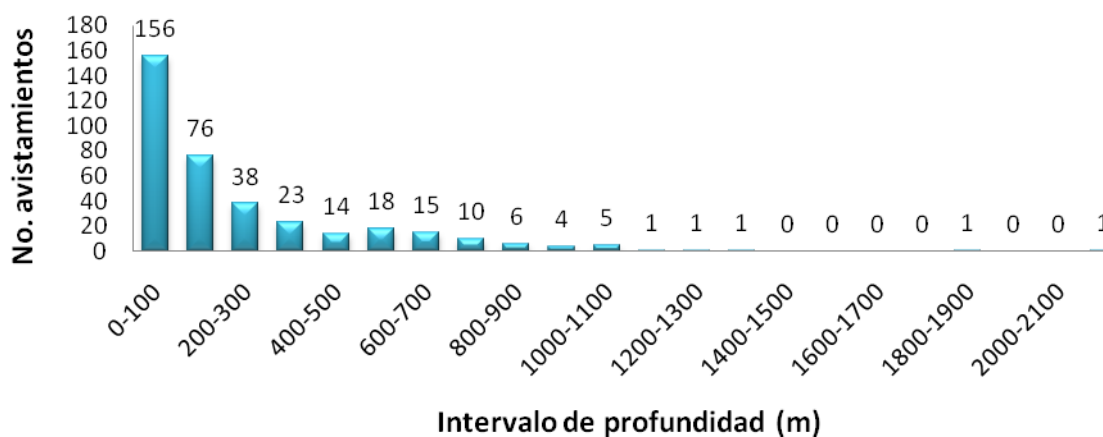


Figura 8. Profundidad promedio (en m) de los avistamientos.

2.7 CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

2.7.1 MATERIALES Y MÉTODOS

2.7.1.1 Recolección de datos

Muestreos no sistemáticos (Cruceros)

Para la recolecta de datos se realizaron navegaciones no sistemáticas con el fin de localizar cetáceos en el GC. La búsqueda en las diferentes embarcaciones fue hecha por tres observadores (ubicados a babor, estribor, y proa) y una persona anotando los datos, con un sistema de rotación de guardias que entre cruceros varió de 15 a 30 minutos para cada puesto. Las observaciones fueron realizadas a simple vista y con binoculares (7 x 50).

Los datos de esfuerzo (tiempo y distancia) se registraron cada minuto mediante un geoposicionador satelital (GPS). Durante los avistamientos de cetáceos se realizó la toma de fotografías necesarias para su identificación (aleta dorsal y cabeza), se registró el número y actividad de los animales observados, composición del grupo, asociaciones con otros grupos (aves, otros mamíferos, peces, etc.), la posición geográfica del avistamiento con un GPS, hora, fecha, y algunas condiciones ambientales (Beaufort, dirección del viento, visibilidad, nubosidad, tamaño de las olas y SST).

Muestreos sistemáticos (Vuelos)

Se realizaron cuatro series de vuelos sobre y a lo largo del GC (una en invierno y una en verano de 2005 y 2006) con la finalidad de registrar cetáceos a lo largo de transectos predefinidos de manera sistemática, utilizando el método de transectos lineales. Los vuelos fueron hechos a bordo de una avioneta de un solo motor tipo CESSNA 182 (propiedad de Environmental Flying Services), con tres tripulantes a bordo, dos observadores y un anotador-observador. Se voló a una altitud promedio de 274 m sobre el nivel del mar y a una velocidad promedio de 160 km/h. En cada avistamiento se

registró la posición, hora del día, especie, número de organismos, presencia de crías, comportamiento, así como el ángulo (obtenido con un inclinómetro) al cual fueron avistados. Se utilizaron binoculares 7 X 50 para apoyo en la identificación. Cuando fue necesario se interrumpió el transecto y esfuerzo para verificar especie, número de organismos y comportamiento, regresando posteriormente al punto de interrupción para continuar. Además se utilizaron cámaras digitales de fotografía y video para confirmar la identificación.

2.7.1.2 Base de datos

Después de localizar las bases de datos digitalizadas de los diferentes proyectos, se extrajeron los datos de los avistamientos del rorcual común. Se comparó la información que había entre bases de datos cuando dos proyectos incluían el mismo crucero. Se hicieron algunas correcciones en los archivos digitales revisando las bitácoras generales de navegación y bitácoras de avistamiento. Se unificó el formato y se creó una base de datos que incluye: número consecutivo de avistamiento, proyecto, embarcación, fecha, hora inicial, latitud y longitud (en grados decimales), número de avistamiento (del día), número de organismos, Beaufort, SST *in situ*, SST obtenida de satélite (promedios semanales y mensuales), concentración superficial de clorofila a (mg/m^3) obtenida de satélite (promedios semanales y mensuales), profundidad (m), comentarios en general, comentarios de esfuerzo diario, localidad y esfuerzo total del crucero.

2.7.1.3 'Falsas' ausencias

Dada la inseguridad asociada con registrar ausencias para cetáceos, existe la inclusión potencial de 'falsas' ausencias en el grupo de *datos de evaluación*. Las 'falsas' ausencias tendrían un impacto negativo en la precisión del procedimiento de evaluación si estuvieran presentes en el grupo de *datos de evaluación*, aparentemente incrementando la proporción de falsos positivos (el elemento b de la matriz de confusión). Por ejemplo, un dato de *evaluación* donde se haya observado ausencia, que cayera en el área donde se predice presencia, podría ser interpretado como un 'verdadero' error de predicción del modelo, o como un 'aparente' error de predicción debido a un muestreo incorrecto de datos de ausencia (Mandleberg, 2004).

2.7.1.4 Ruta recorrida y cuadrantes muestreados

Con la finalidad de reducir la probabilidad de falsas ausencias dentro del ‘grupo de datos de evaluación’ utilizado para determinar la capacidad predictiva del modelo creado, se utilizó un criterio muy estricto para clasificar cuadrantes como “ausencias”.

Para establecer los cuadrantes que habían sido muestreados por los vuelos, se construyó una zona “buffer” de 500 m a cada lado de la línea de ruta utilizando la función “buffer” en ArcGIS 9.3. Estas distancias fueron consideradas como las distancias dentro de las cuales todos los rorcuales comunes presentes en la superficie podrían ser detectados con gran certidumbre (sin embargo los animales que estuvieran debajo de la superficie se perderían de cualquier manera).

2.7.1.5 Estimación de la posición de los avistamientos

Para calcular las distancias perpendiculares de las observaciones respecto a la ruta que se siguió durante los vuelos, se utilizó la fórmula descrita en Buckland *et al.* (2001):

$$x = v * \tan(90 - \text{phi})$$

Siendo “x” la distancia perpendicular, “v” la altura del observador sobre la superficie del mar (en este caso 274 m) y “phi” el ángulo de la detección medido con un clinómetro (Fig. 9). **Para calcular esta fórmula en Excel se debe considerar que los ángulos deben de estar en radianes.**

Después se estimó la posición real de las ballenas utilizando el complemento ‘Geofunc’ en Microsoft Excel, el cual considera la posición de la avioneta sobre la ruta, el rumbo (en grados), el lado de la avioneta desde el cual los rorcuales comunes fueron avistados y la distancia perpendicular (en millas náuticas).

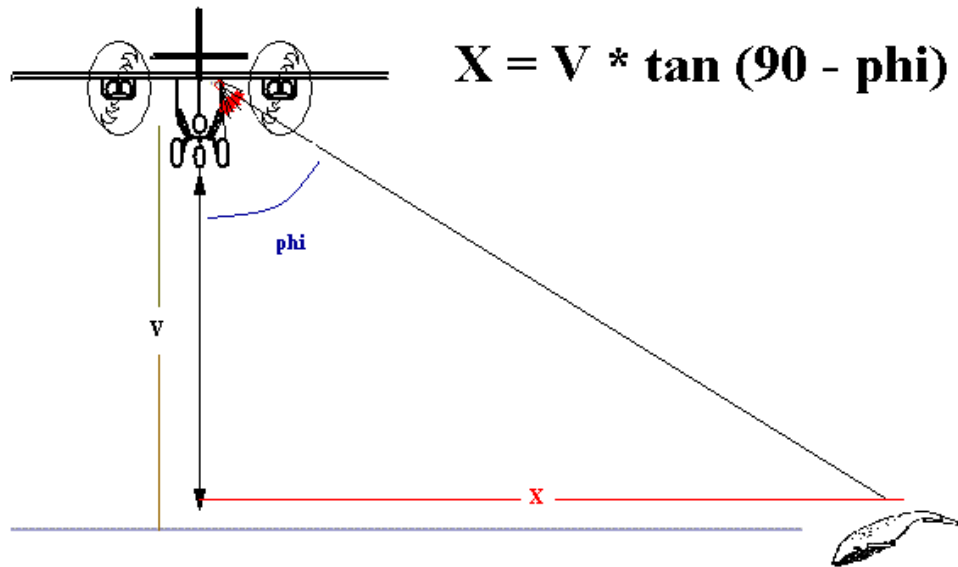


Figura 9. Elementos a considerar para calcular la distancia perpendicular.

2.7.1.6 Variables topográficas

Profundidad, pendiente, desviación estándar de la pendiente, orientación del fondo marino (seno y coseno)

La profundidad central para cada cuadrante en el área de estudio fue interpolada de ETOP02 Global 2' elevation dataset (ETOP02 2001) del National Geophysical Data Center. Se creó una máscara para quitar los valores de la cuadrícula que correspondían al continente. Después se utilizaron los valores de profundidad para calcular la pendiente. La desviación estándar de la pendiente (D.E. pendiente) se calculó comparando el valor central de cada cuadrante con los 24 cuadrantes alrededor de él (i.e. un área de 5 km x 5 km) (Fig. 10) utilizando la función "neighborhood statistic" en ArcGIS 9.3.

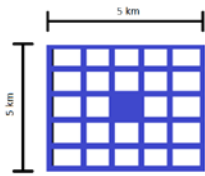


Figura 10. El valor central de cada cuadrante (con relleno azul) se comparó con los 24 cuadrantes alrededor de él para calcular la desviación estándar de la pendiente (D.E. pendiente).

Dado que la orientación el fondo marino se mide en grados desde el norte, las variables circulares darían resultados engañosos. Por ejemplo, un cuadrante con una orientación de 359° daría un valor muy diferente al de un cuadrante con orientación de 1° , aunque en realidad los dos cuadrantes están orientados en una dirección muy similar. Por lo anterior, la orientación del fondo marino fue convertida de una variable circular (i.e. en grados) a dos componentes lineares; es decir, fue separada en orientación hacia el este (el seno del valor de la orientación) y orientación hacia el norte (el coseno del valor de la orientación) mostrando valores dentro de un rango de -1 a 1 (Fig. 11), con valores positivos indicando una tendencia de orientarse al este o norte y valores negativos una tendencia de orientarse al oeste o sur respectivamente. Utilizamos el tamaño de los cuadrantes en la cuadrícula de profundidad (cuadrantes de 1km x 1km) como base para hacer que las cuadrículas de las demás variables coincidieran directamente con ésta.

Nota: Es importante tener en cuenta que al usar Excel ó ArcGIS para obtener el seno y coseno de un ángulo, el ángulo debe de estar en RADIANES.

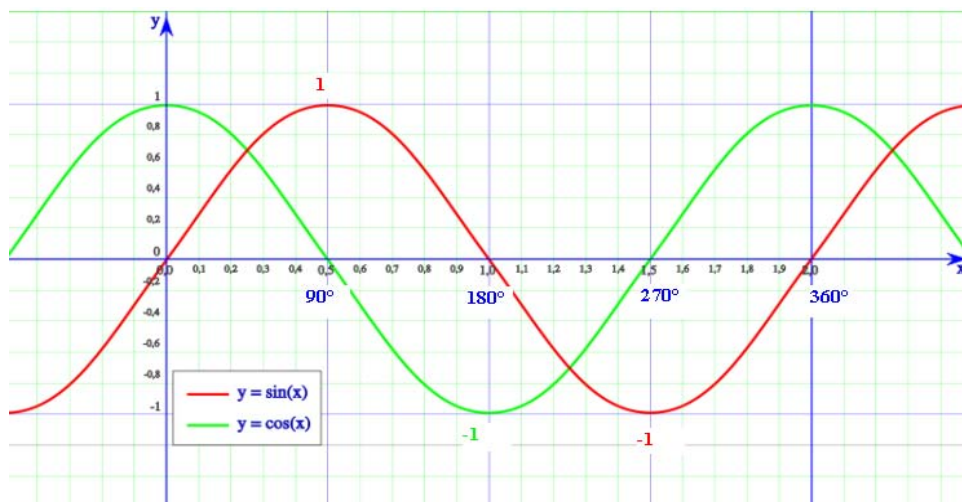


Figura 11. Orientación hacia el este (el seno del valor de la orientación) y orientación hacia el norte (el coseno del valor de la orientación). Rango de valores de -1 a 1.

2.7.1.7 Variables oceanográficas

Temperatura superficial del mar (SST) y concentración superficial de clorofila a (Chl-a)

Los datos de las variables oceanográficas se obtuvieron de los promedios mensuales de productos oceánicos SST y Chl-a que se generan a partir de imágenes satelitales MODIS-AquaLevel 3 realizados a una resolución de 4 km (Origen de los datos de NASA: <ftp://oceans.gsfc.nasa.gov/MODISA/Mapped/monthly/4/>). Dichos productos fueron reprocesados en la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) para la zona de los vientos de Santa Ana, que se presentan sobre California, Baja California y el GC.

Se descargaron imágenes mensuales tanto de SST como de Chl-a del sitio: ftp://200.12.166.180/NASA_MODIS_Products/Ocean_Products/Aqua_Level3_Mapped_5km/bc/Monthly/. Las imágenes se guardaron en formato GeoTIFF (geo referenciadas) el cual puede ser manejado y procesado con el sistema de información geográfica ArcGIS 9.3.

Se utilizaron mapas de SST de datos obtenidos durante la noche para evitar problemas asociados con el calentamiento de la capa superficial del mar a causa de la radiación solar durante el día.

Los valores de SST y Chl-a se extrajeron para cada punto de presencia y ausencia utilizando la herramienta *Spatial Analyst* en el software ArcGIS 9.3. En ambos casos, los datos se convirtieron a una cuadrícula de 1 km² la cual coincide directamente con las cuadrículas de las variables topográficas. La figura 12 muestra un ejemplo de cómo la temperatura varía de un mes en invierno a uno en verano (febrero y agosto).

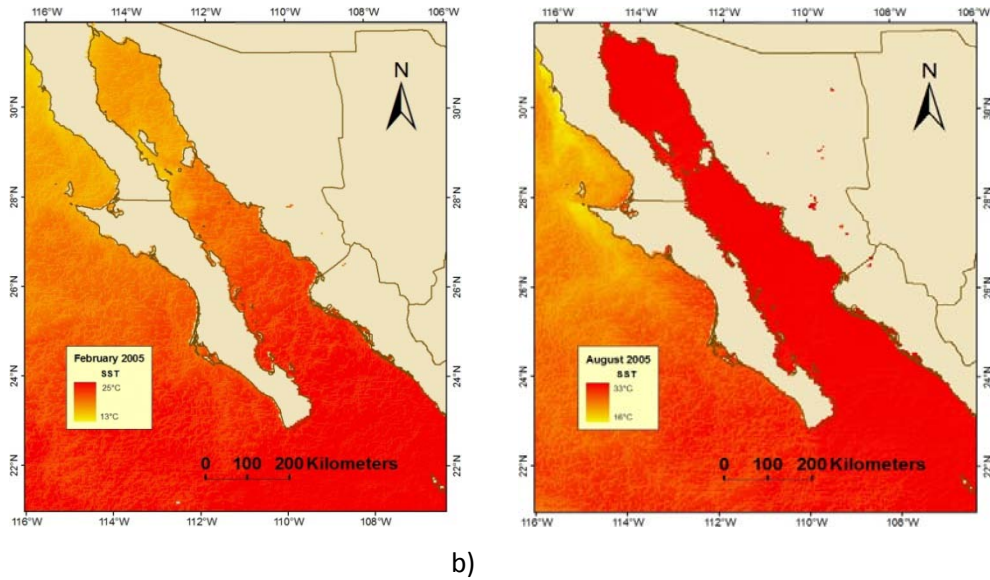


Figura 12. Ejemplos de mapas de la SST en el GC. a) Febrero 2005 b) Agosto 2005.

La desviación estándar de la SST (D.E. SST) se calculó comparando el valor central de cada cuadrado con los 24 cuadrados alrededor de él (i.e. un área de 5 km x 5 km) (Fig 13a) utilizando la función “*neighborhood statistic*” en ArcGIS 9.3. La figura 13b es un ejemplo de un mapa que muestra la desviación estándar de la SST para el mes de febrero de 2006. Las zonas en rojo (indicando una alta desviación estándar de la SST) pueden interpretarse como frentes térmicos.

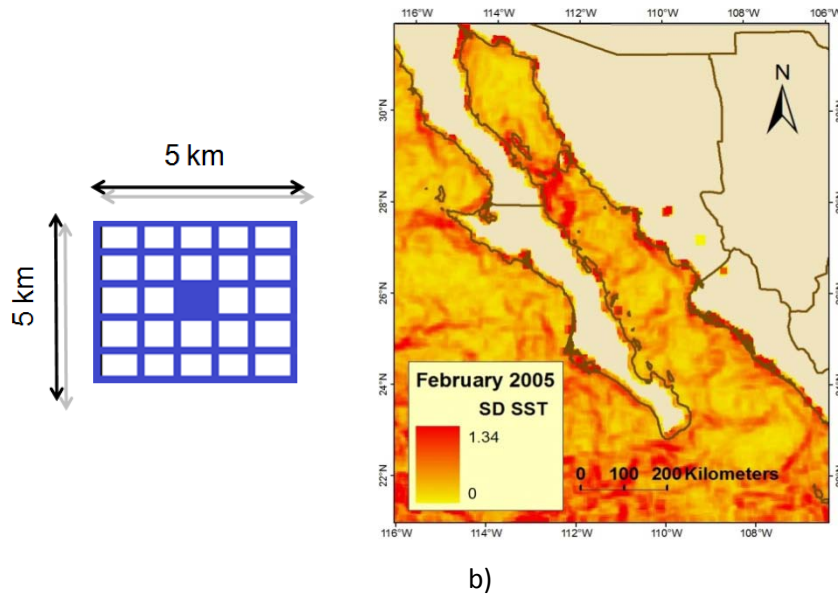


Figura 13. Ejemplo de un mapa que muestra la desviación estándar de la SST.

2.7.1.8 Construcción de un modelo utilizando datos oportunisticos (de muestreos no sistemáticos).

Para el modelado con base en el análisis de componentes principales (PCA) se siguió la metodología de Robertson *et al.* (2001). El modelo fue construido en base a ocho variables ambientales: profundidad, pendiente del fondo marino (pendiente), desviación estándar de la pendiente (D.E. pendiente), orientación del fondo marino hacia el este (orientación este), orientación del fondo marino hacia el norte (orientación norte), concentración de clorofila (Chl-a), temperatura superficial del mar (SST) y desviación estándar de la temperatura superficial del mar (D.E. SST).

Nuestro grupo de datos original de los muestreos realizados desde embarcaciones comprendía 491 avistamientos, pero para poder realizar el PCA, donde cada avistamiento debe tener valores para cada una de las variables, tuvimos que eliminar algunos de los registros a los que les faltaba por lo menos el valor de una variable. Así mismo, cuando había dos avistamientos que caían dentro del mismo cuadrante en el mismo mes, tuvimos que eliminar uno de ellos para evitar tener duplicados.

Finalmente se utilizó un grupo de datos que comprendía 282 avistamientos de rorcual común realizados durante los muestreos en embarcaciones, a los cuales nos referiremos como **'grupo de datos de construcción del modelo'**. Estos muestreos cubrieron principalmente la región costera de la porción Oeste del GC, y la mayor parte de la porción Norte del GC (Fig. 14).

Por lo tanto, para asegurar que esta cobertura no estuviera creando un sesgo en el modelo, las predicciones del modelo fueron validadas utilizando un grupo de datos de avistamientos más pequeño, tomado de los muestreos realizados durante los vuelos (muestreo sistemático), los cuales cubrían todo el GC (Fig. 15) y a los que nos referiremos como **'grupo de datos de evaluación'**.

Se calculó la media y la desviación estándar de cada una de las variables ambientales para los cuadrantes de presencia dentro del '*grupo de datos de construcción del modelo*'. Después los valores de cada cuadrante de presencia fueron estandarizados sustrayendo estas medias y dividiéndolos entre las desviaciones estándar, con la finalidad de asegurar que las variables medidas en diferentes escalas fueran consideradas como iguales durante el proceso del PCA (Fig.16, paso1).

Los análisis estándar de PCA se hicieron utilizando el software estadístico de Minitab (Minitab Ltd) con estos valores estandarizados (Fig.16, paso 2). Posteriormente la predicción de presencia en cada cuadrante (de presencia y ausencia) del área de estudio se calculó de la siguiente manera: primero los valores de cada variable ambiental en cada cuadrante restante (i. e. los cuadrantes de ausencia-Matriz W) se estandarizaron utilizando las medias y desviaciones estándar obtenidas del '*grupo de datos de construcción del modelo*' en el paso 1 (Fig.16, paso 3).

Enseguida se multiplicó el peso de cada una de las variables estandarizadas incluidas en la construcción del modelo (W) por el eigenvalor de esa variable en el componente principal (V) y el resultado se dividió entre el eigenvalor total de ese componente principal, para así producir una matriz de componentes estandarizados Z (Fig.16, pasos 5 y 6).

La probabilidad asociada con cada observación fue obtenida sumando los cuadrados de los valores de los componentes estandarizados (Fig.16, paso 7) y sustituyendo este valor en la función de probabilidad de distribución xi-cuadrada (Fig.16, paso 8).

En el último paso (Fig.16, paso 9), los valores de probabilidad para cada cuadrante del área de estudio se asignan a sus coordenadas geográficas originales de cada observación en el programa ArcGIS 9.3. En el anexo 2 están las fórmulas usadas en el modelo creado de predicción de distribución del rorqual común en el Golfo de California.

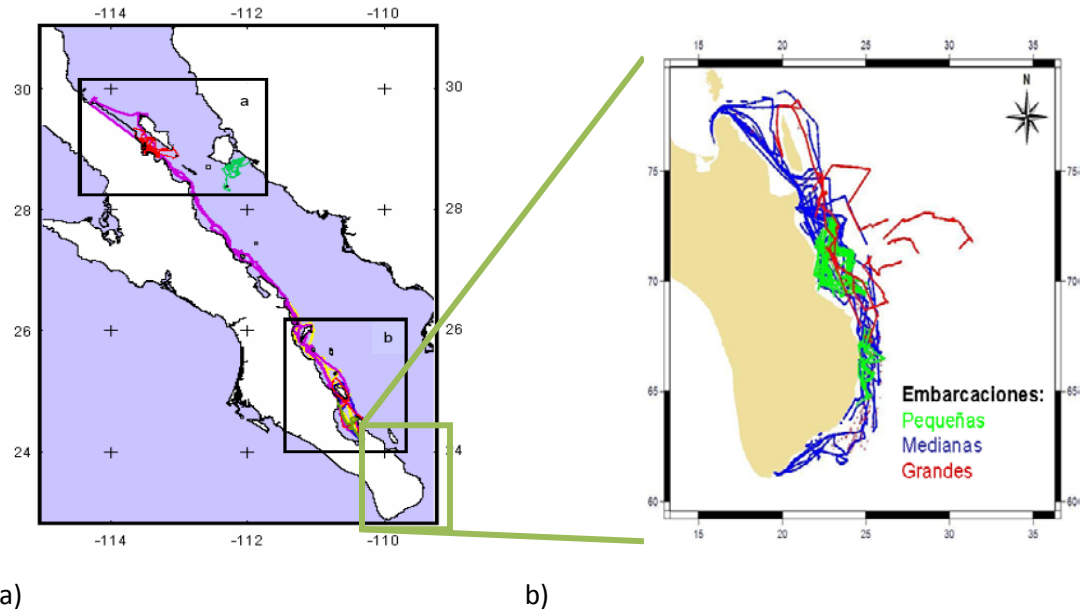


Figura 14. Mapas representando algunos de los recorridos que se hicieron en embarcaciones entre 2003 y 2008. Se puede observar que estos recorridos cubren principalmente zonas cercanas a la costa. a) Tomado de Díaz (2006). b) Tomado de Cárdenas (2008).

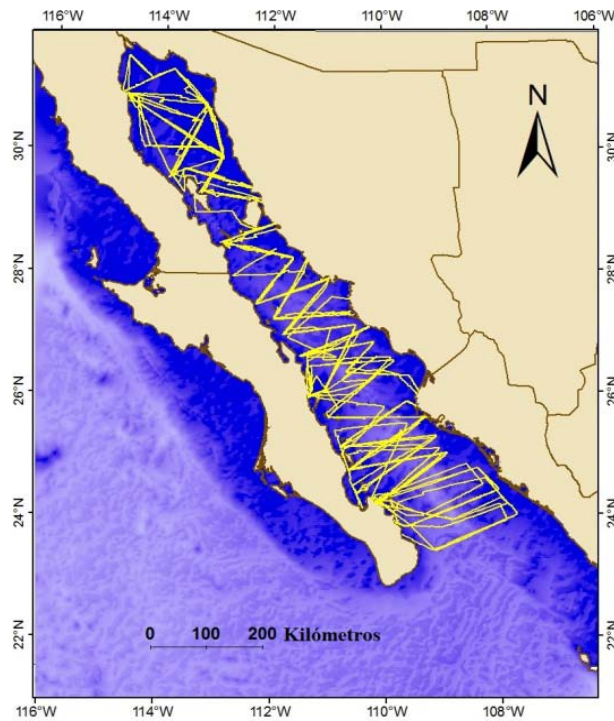


Figura 15. Mapa representando los recorridos aéreos (muestreo sistemático) que se hicieron durante invierno y verano de 2005 y 2006. Se puede observar que estos recorridos cubrieron la mayor parte del GC.

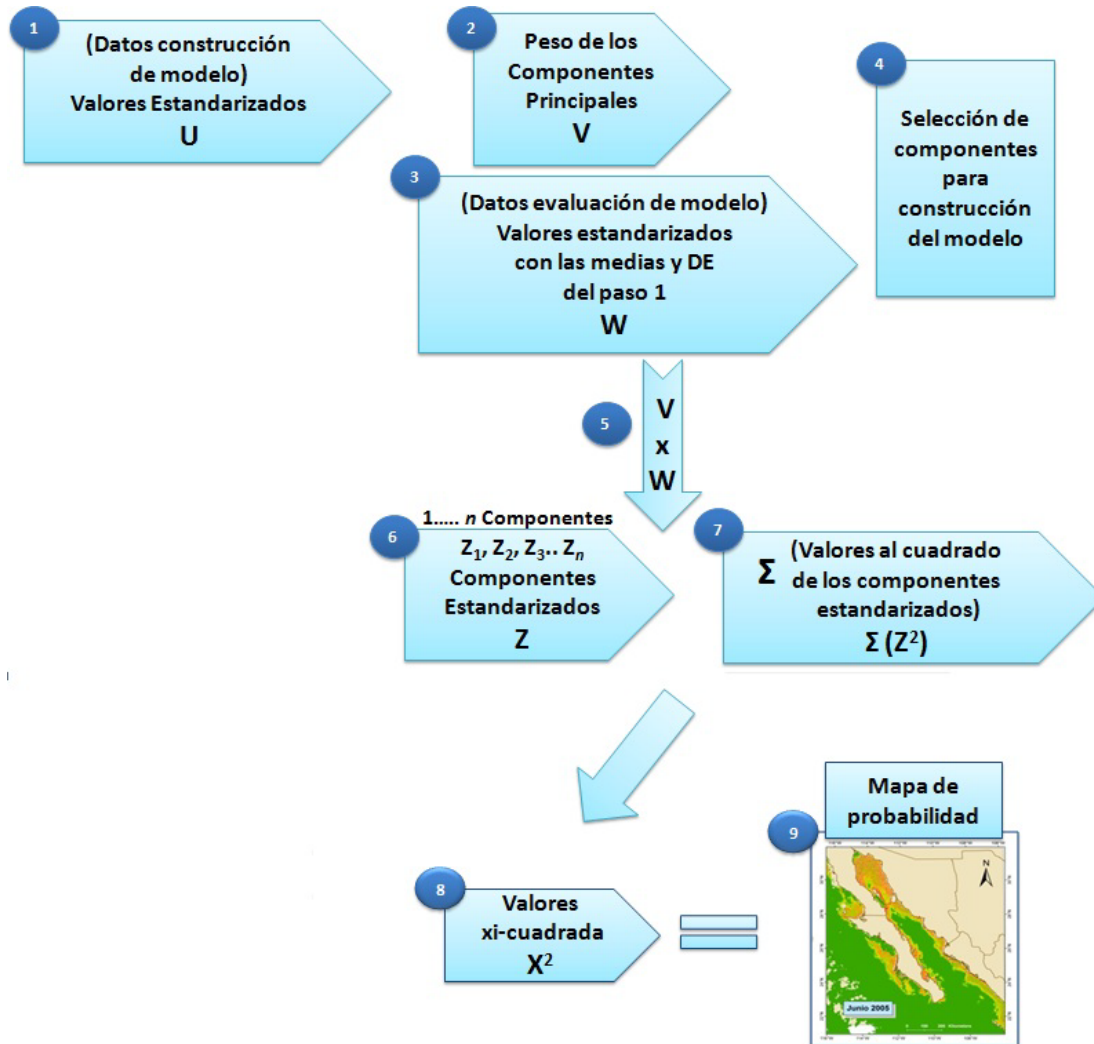


Figura 16. Resumen de los pasos realizados en el Análisis de Componentes Principales (Ver anexo 1 para una descripción más detallada). La metodología completa para construir modelos de predicción basados en el PCA se siguió de acuerdo a la descrita por Robertson *et al.* (2001).

2.7.1.9 Evaluación del modelo utilizando datos obtenidos de manera sistemática

El modelo creado con el ‘grupo de datos de evaluación’ se utilizó para determinar la capacidad predictiva del modelo usando un *Receiver Operating Characteristic* (ROC) plot (Zweig y Campbell, 1993; Fielding y Bell, 1997). Un ROC plot se obtiene graficando todos los valores de *sensitividad* (fracción positiva verdadera: $a / a+c$) en el eje de las Y, contra su equivalente que son los valores *1-especificidad* (fracción positiva falsa: $d / b+d$) para todos los posibles umbrales en el eje de las X, con lo cual el área bajo la curva (AUC por sus siglas en inglés) proporciona una medida de la capacidad predictiva.

Se esperaría que un modelo aleatorio tuviera un AUC de 0.5, mientras que un modelo que concuerda perfectamente con el grupo de datos de prueba tendría un AUC de 1.0 (Fielding y Bell, 1997). Cuanto más alto sea el valor del AUC, la capacidad predictiva del modelo considerado será mayor y más diferente será de un modelo aleatorio (MacLeod *et al.*, 2008). El análisis del ROC se realizó utilizando el complemento “Analyse-It” de Microsoft Excel producido por Analyse-It, LTD.

2.7.1.10 Mapas de la predicción de presencia del rorcual común en el GC

Los valores de probabilidad de presencia obtenidos de la distribución xi-cuadrada se utilizaron para construir mapas de la distribución potencial del rorcual común de los meses en que se realizaron muestreos aéreos.

Utilizando la función *Map Algebra* en ArcGIS 9.3 se introdujeron las fórmulas para obtener cada uno de los componentes principales que se incluyeron en el modelo (Anexo 2). Con la función *Raster calculator* se hizo la suma de los mismos, obteniendo de esta manera los mapas de distribución potencial de rorcual común. Para realizar predicciones de distribución se necesitará cambiar solamente los mapas de temperatura superficial del mar, el cálculo de la desviación

estándar del mismo, así como el mapa de concentración de clorofila para el mes del que se quiera hacer la predicción.

2.7.2 RESULTADOS

2.7.2.1 Construcción de un modelo creado con datos de muestreos no sistemáticos

En el PCA, las ocho variables utilizadas para construir el modelo fueron profundidad, pendiente, D.E. pendiente, orientación este, orientación norte, Chl-a, SST y D.E. SST.

El primer eje del PCA representa la mayor variación dentro del grupo de datos, con cada eje subsecuente representando una cantidad de variación menor hasta que el 100% de la variación es completamente explicada.

Se usaron seis componentes principales para construir el modelo, los cuales explicaron el 90% de la variación en los datos de presencia. La variable más importante en el componente uno fue pendiente, seguida de desviación estándar de la pendiente y SST, y en el componente dos fue Chl-a seguida por profundidad y D.E. SST (cuadro 3).

Con el modelo encontramos que la presencia del rorcual común está relacionada principalmente con pendiente, desviación estándar de la pendiente, temperatura y profundidad. De acuerdo con el modelo el rorcual común en el GC habita en zonas menos profundas con un fondo marino complejo, factores que pueden contribuir con los procesos de mezcla, alta productividad, surgencias y áreas de frentes. Estas características también están asociadas con las siguientes más importantes variables asociadas a su distribución (desviación estándar de la temperatura superficial y concentración de clorofila). Lo anterior nos sugiere que el rorcual común está respondiendo a agregaciones de sus presas asociadas con tales características del hábitat.

(a)

Eigenvalue	2.4753	1.3439	1.1122	0.9430	0.8403	0.5893	0.4643	0.2318
Proporción	0.309	0.168	0.139	0.118	0.105	0.074	0.058	0.029
Acumulativo	0.309	0.477	0.616	0.734	0.839	0.913	0.971	1.000

(b)

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
SST	-0.405	-0.019	-0.436	0.403	-0.051	0.186	-0.666	-0.053
Clorofila	0.022	-0.635	0.417	-0.244	-0.088	0.537	-0.256	-0.034
Orientación seno	-0.264	-0.134	0.377	0.718	-0.333	0.013	0.376	0.046
Orientación coseno	-0.267	-0.317	0.093	0.154	0.868	-0.181	0.083	0.052
Pendiente	-0.536	0.081	0.121	-0.340	-0.155	-0.131	-0.044	0.730
DE pendiente	-0.516	-0.091	0.122	-0.313	-0.194	-0.395	0.003	-0.647
Profundidad	0.356	-0.488	-0.038	0.117	-0.208	-0.672	-0.295	0.193
DE SST	-0.119	-0.474	-0.674	-0.112	-0.140	0.136	0.504	0.050

Cuadro 3. (a) *Eigenvalues* de cada componente, la proporción de la variación explicada por cada componente, así como la proporción acumulada de la variación. (b) Se utilizaron los primeros seis componentes principales de los ocho obtenidos en el PCA para modelar la distribución del rorcual común. La variable más importante de los componentes uno, dos y tres se muestra en rojo, la segunda más importante en azul y las siguientes en importancia en morado.

2.7.2.2 Evaluación del modelo

La capacidad predictiva del modelo se evaluó calculando los valores del área bajo la curva (AUC) del *Receiver Operating Characteristic* (ROC), utilizando los datos de presencia-ausencia recolectados durante los vuelos. Con la validación del modelo realizada utilizando estos datos encontramos que el modelo funciona significativamente mejor (AUC=0.70, $p < 0.0001$) que un modelo aleatorio (AUC=0.5) y que predice de una manera confiable la distribución del rorcual común en el GC a partir de variables oceanográficas y topográficas, por lo tanto es considerado un buen modelo (Fig.17).

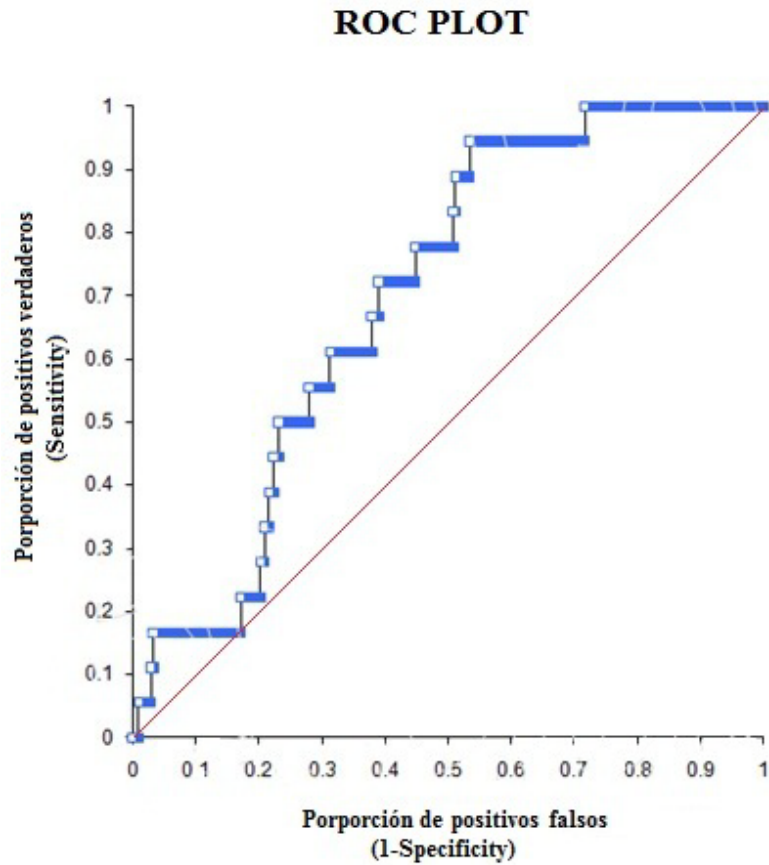


Figura 17. Receiver Operating Characteristic (ROC) plot utilizado para determinar la capacidad predictiva del modelo. Secuencia de líneas azules: ROC plot del modelo construido, área bajo la curva (AUC) = 0.70 (intervalo de confianza a 95%: 0.61-0.79; $p < 0.0001$); Línea roja: modelo aleatorio con un AUC de 0.05.

2.7.2.3 Mapas de predicción de la distribución del rorcual común en el GC

Se crearon mapas de distribución potencial del rorcual común en el GC aplicando en el software ArcGIS 9.3 las fórmulas resultantes del modelo de predicción.

Dado que los muestreos aéreos (*'grupo de datos de evaluación'*) se realizaron durante las temporadas de invierno y verano durante 2005 y 2006, se crearon mapas de distribución potencial de rorcual común en el GC para esos meses con la finalidad de ver cómo cambia la distribución potencial entre temporadas y entre años (Fig. 18).

Se realizaron también mapas de varios meses de 2005 para observar cómo cambia la distribución a lo largo del año (Fig. 19).

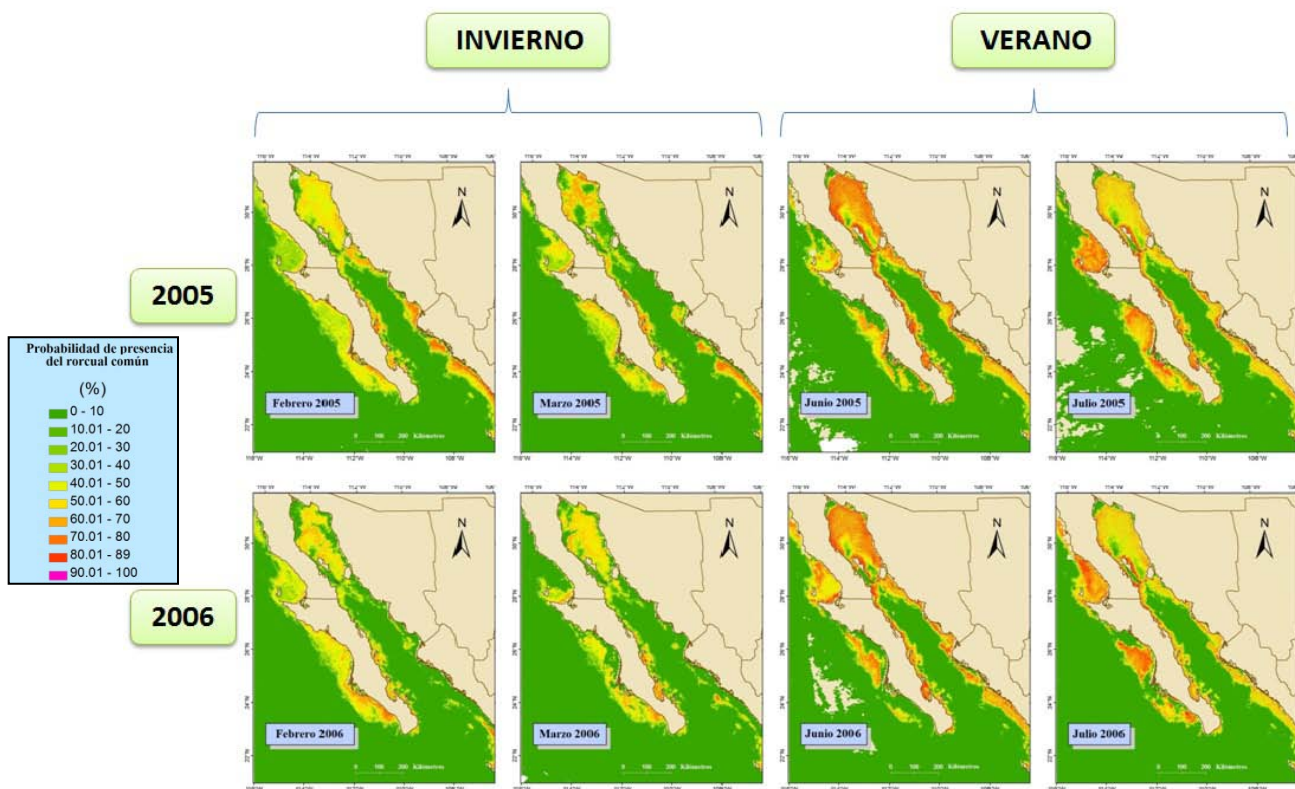


Figura 18. Cambios en la distribución potencial del rorcual común en el GC en las temporadas de invierno y verano de los años 2005 y 2006. El porcentaje de probabilidad está representado por colores que van del verde (0%) al rosa (100%).

En estos mapas podemos observar que la distribución potencial del rorcual común no cambia mucho de un año a otro, sin embargo sí hay variación entre temporadas. Se observa que durante el verano, la probabilidad de presencia del rorcual común es más alta en la región

noroeste que en el resto del GC, aumentando considerablemente en esta misma zona para la temporada de verano.

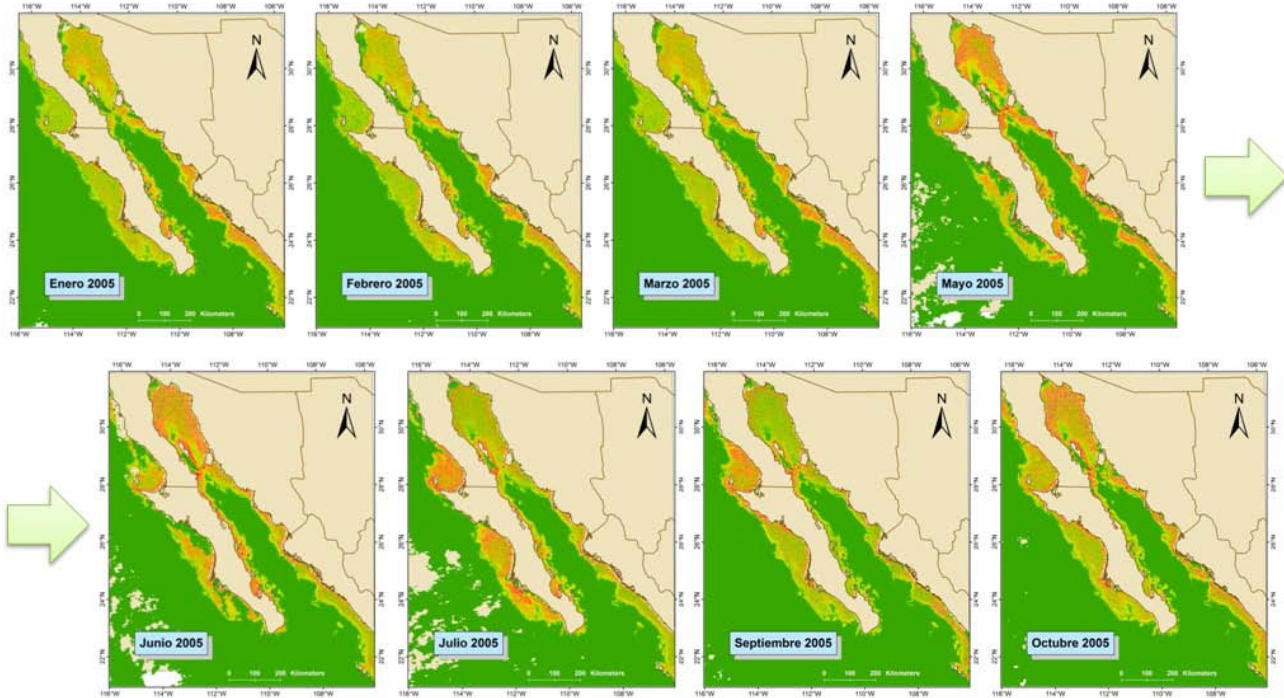


Figura 19. Cambio de la distribución potencial del rorcual común a lo largo del año (2005).

La figura 20 muestra la distribución potencial del rorcual común en el GC durante el mes de febrero de 2005, así como los avistamientos de ese mes con la finalidad de comparar visualmente los lugares donde están los avistamientos, en relación con la predicción y con el esfuerzo que se hizo para esa zona.

Se observa que en la parte norte del GC, donde se predijo una alta probabilidad de presencia hay muchos avistamientos aún cuando en esa área el esfuerzo no fue tan grande comparado con el esfuerzo realizado en la parte sur del GC. En áreas más profundas, donde la predicción de presencia es baja sólo tuvimos aproximadamente seis de 46 avistamientos para ese mes, pero se debe considerar que el esfuerzo fue mucho mayor en esa zona. En promedio, dado el lugar donde se hizo mayor esfuerzo, la mayoría de avistamientos se encuentran donde el modelo predijo una mayor probabilidad de presencia.

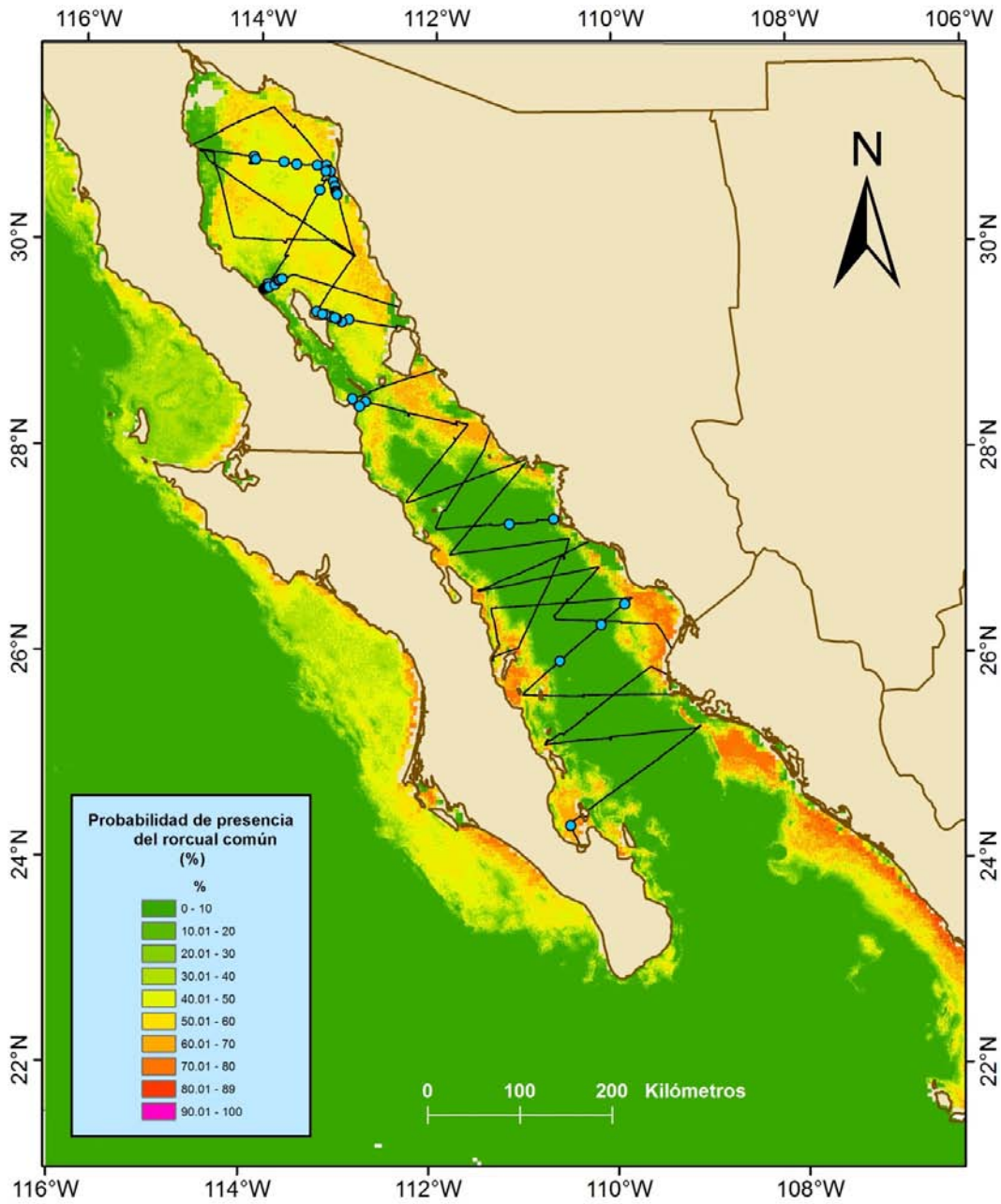


Figura 20. Mapa de distribución potencial del rorcual común para febrero del 2005. El porcentaje de probabilidad está expresado por colores que van del verde (0%) al rosa (100%). Se muestran los transectos (líneas negras) y avistamientos (círculos azules) realizados durante ese mes.

2.7.3 DISCUSIÓN

2.7.3.1 Principales aportaciones

El PCA produjo predicciones de hábitat significativas y modelos confiables de la distribución del rorcual común utilizando datos oportunisticos (obtenidos de manera no sistemática). Por lo tanto este estudio sugiere que los modelos de sólo-presencia pueden ser usados para predecir dónde es más probable que se encuentre el rorcual común en relación con las variables ecogeográficas en el GC, y que los datos oportunisticos se pueden usar para entender el uso de hábitat de las especies cuando los estudios con muestreos sistemáticos son limitados.

Es importante que cuando se usen avistamientos realizados de manera oportunística para construir el modelo, éste sea validado con un grupo de datos independiente obtenido de muestreos que hayan sido realizados de manera sistemática (*grupo de datos de evaluación*).

Los resultados obtenidos del grupo de datos de evaluación, sugieren que el modelo construido tiene una alta capacidad predictiva. El alto valor del AUC (AUC=0.70, $p < 0.0001$) indica que las predicciones de este modelo funcionan, y que la capacidad predictiva es mayor que la de un modelo aleatorio (Fielding y Bell, 1997).

2.7.3.2 Comparación con otros estudios:

En cuanto a la relación de las variables con la distribución de los cetáceos

En los últimos años la batimetría, la pendiente y topografía del suelo marino así como la oceanografía han sido usadas como una aproximación para entender la presencia y distribución de los cetáceos, ya que condicionan en muchos casos la variabilidad, disponibilidad y abundancia de las presas que estos animales consumen (Evans, 1990; Baumgartner, 1997; Davis *et al.*, 1998; Baumgartner *et al.*, 2001; Waring *et al.*, 2001; Cañadas *et al.*, 2002; Jaquet y Gendron, 2002; Yen *et al.*, 2004; MacLeod y Zuur, 2005), siendo ampliamente sabido en la literatura que la distribución de las presas es un factor determinante de la distribución de los cetáceos (Cañadas *et al.*, 2002; Hastie *et al.*, 2004; MacLeod *et al.*, 2004; Friedlaender *et al.*, 2006; Torres *et al.*, 2008).

El modelo construido en este estudio mostró que el rorcual común en el GC prefiere aguas relativamente someras con un fondo marino complejo, lo cual nos sugiere que el rorcual común está respondiendo a agregaciones de sus presas asociadas con tales características del hábitat. Esto está en acuerdo con los estudios de Freeland y Denman (1982), Allen *et al.* (2001), Hastie *et al.* (2004) y Mann y Lazier (2006), quienes dicen que es muy probable que áreas con gradientes abruptos en el suelo marino, procesos oceánicos tales como surgencias, frentes oceánicos y mezcla vertical contribuyan a la redistribución de los nutrientes en la columna de agua, permitan incrementar la producción biológica y agregar a las presas siendo una fuente mayor de suministro de alimento para los depredadores tope.

Aunado a lo anterior, al crear diferencias tan marcadas en la densidad del agua, los frentes pueden actuar como si fueran una “pared”, donde los organismos de movilidad pasiva (como es el caso de algunos organismos que forman parte de la dieta del rorcual común) pueden ser agregados, creando de esta manera condiciones en las que los depredadores no tienen que invertir tanta energía para alimentarse (Allen *et al.*, 2001; MacLeod, Com. Pers.).

La relación encontrada entre la presencia del rorcual común y las variables pendiente, desviación estándar de la pendiente, temperatura y profundidad, sugiere que la combinación de tales variables es importante y afecta la presencia-ausencia del rorcual común en el GC. La profundidad y la pendiente son en particular variables clave. Smith (2010) en su estudio encontró que la profundidad, pendiente y el aspecto de la pendiente fueron las variables más importantes que determinaban el uso de hábitat de siete especies de cetáceos.

Parece que así como la profundidad y la pendiente, los cañones submarinos tienen una influencia importante en la distribución de los cetáceos a lo largo de los océanos del mundo, aunque las modalidades e intensidades dependen de los contextos hidrológicos, topográficos y biológicos (Smith, 2010). Antes de estos estudios, Kenney y Winn (1987) compararon la distribución de cetáceos cerca de cañones submarinos con la distribución de cetáceos en áreas adyacentes a la plataforma.

Otro aspecto importante a considerar es la escala utilizada en los diferentes estudios y en las diferentes variables. Evans y Hammond (2004) en su estudio encontraron que las variables no fueron importantes en todas las escalas, excepto profundidad. Esto significa que en diferentes escalas espaciales, pueden ser usadas diferentes combinaciones de variables ecogeográficas para entender la distribución de la especie.

Se ha sugerido, por ejemplo, que la pendiente pronunciada de un cañón submarino es una característica que puede ser importante a pequeña escala (de algunos cientos de metros hasta algunos kilómetros), pero casi desaparece en los análisis a gran escala (Ferguson *et al.*, 2006). Smith (2010) sugiere que los estudios de hábitat de cetáceos idealmente deberían usar un marco con escala jerárquica que tome en cuenta la influencia relativa de procesos a fina, intermedia y gran escala. Dado que los estudios realizados a grandes escalas no pueden extrapolarse a escalas más finas, es mejor empezar con escalas finas las cuales sí pueden extrapolarse a escalas mayores (Smith, 2010). El estudio realizado aquí estaría siguiendo ese principio, ya que la escala que se utilizó es lo suficientemente fina para poder extrapolar los resultados.

Igualmente, hay que tener en cuenta y entender la variación inter-anual y estacionaria, ya que ésta podría ayudarnos a explicar más sobre la presencia y distribución del rorcual común.

2.7.3.3 Ventajas de usar datos oportunisticos

Es muy costoso rentar embarcaciones para realizar investigaciones con esfuerzo sistemático, que es una de las razones por la cual hay muchas áreas que no se han podido estudiar. Una de las ventajas de usar datos oportunisticos es por cuestiones de logística, ya que los datos pueden provenir y combinarse de diferentes fuentes, dado que al utilizar modelos de sólo-presencia (tales como PCA) se puede incluir un rango más amplio de datos para ser analizados estadísticamente, optimizando así el uso de los datos disponibles.

Una manera muy efectiva de obtener datos para investigación a un costo relativamente bajo, es usando como plataforma de observación embarcaciones como barcos de pasajeros (ferrys) o barcos contenedores. También pueden usarse los datos recolectados por pescadores,

por embarcaciones turísticas que se dedican a avistamiento de cetáceos e incluso los avistamientos realizados durante estudios que se hacen sobre alguna especie de cetáceo en particular que no sea nuestro objeto de estudio (por lo que se podrían considerar como oportunisticos), que es lo que se hizo en este estudio.

El usar datos oportunisticos nos permite incrementar de manera más rápida el conocimiento sobre el hábitat, distribución y distribución potencial de cetáceos, lo cual sería más difícil de lograr si sólo se utilizaran los datos de muestreos dedicados específicamente al estudio de cetáceos.

El PCA permite utilizar datos de avistamientos oportunisticos, ya que no necesita los datos de esfuerzo relacionados. Además puede ser útil para dividir entre los ejes la variación del uso de hábitat de cetáceos. Estos ejes capturan los patrones de uso de hábitat de las especies, usando las variables predictivas, por ejemplo las variables ecogeográficas. Técnicas tales como el PCA reducen la dimensión de datos multivariados a un nivel que es más fácil de interpretar (Redfern *et al.*, 2006).

2.7.3.4 Justificación de usar PCA

Otra de las razones para haber utilizado PCA en este estudio fue porque es un método en el que se puede usar una fórmula relativamente sencilla para incluir variables temporales (variables dinámicas) en los sistemas de información geográfica (MacLeod, Com. Pers.).

ENFA y otros métodos (como MAXENT, GARP, etc.) aunque recientemente se han usado para ambientes marinos, fueron diseñados para ambientes terrestres y sólo permiten agregar una capa de temperatura y una de clorofila a la vez, por lo que no se puede incluir múltiples capas en el mismo modelo (MacLeod, Com. Pers.; Schweder, C., 2003). Si hubiéramos utilizado alguno de estos métodos dichas variables se tendrían que haber añadido una a la vez de manera manual, haciendo menos efectivo y más tardado el proceso de análisis.

Aunado a lo anterior, de acuerdo a los estudios de cetáceos realizados por Mandleberg (2004), Colin *et al.* (2008) y Smith (2010), no hay una diferencia significativa entre usar ENFA, MAXENT o GARP en comparación a cuando se usa PCA.

2.7.3.5 Limitaciones y consideraciones al usar modelos de sólo-presencia y datos oportunisticos

Este estudio muestra que se pueden usar datos oportunisticos para construir modelos de la distribución de las especies aprovechando un mayor número de avistamientos.

Aún con todas las ventajas que presentan los modelos de sólo-presencia y el usar datos obtenidos de manera oportunistica, hay ciertas limitaciones y consideraciones que deben ser tomadas en cuenta:

- Al tener datos de sólo-presencia disminuye la cantidad de técnicas de modelado que se pueden usar para ser analizados.
- Los avistamientos no están relacionados con los datos del esfuerzo realizado.
- Mientras que en las investigaciones dedicadas específicamente al estudio de cetáceos se puede tener una alta precisión en cuanto a las ausencias que se registran, en los datos que son tomados de avistamientos oportunisticos las ausencias no pueden ser aceptadas como verdaderas.
- Al emplear modelos de sólo-presencia no siempre se puede estar seguro de que estén representando la realidad, por lo que podría haber problemas si no se validan. Si nuestro modelo de sólo-presencia cubre solamente una parte del nicho de la especie la información estaría incompleta y las predicciones derivadas del mismo podrían ser incorrectas, por ejemplo podrían estar mostrando una relación positiva cuando quizá realmente lo único que estamos viendo es la mitad de la curva.

Para evitar este tipo de errores lo que se puede hacer es usar un grupo grande de datos oportunisticos para construir el modelo, y un grupo de datos independiente (que hayan sido obtenidos de manera sistemática) más pequeño (*grupo de datos de evaluación del modelo*) para

validarlo. De esta manera nos aseguramos de que podemos hacer predicciones que tomen en cuenta el rango completo de las variables que afectan a mi grupo de datos, pudiendo así verificar que lo que arroja mi modelo no es el resultado de algún sesgo dentro de los datos oportunisticos.

El inconveniente es que muchas veces no se conoce el nicho real de la especie. Por lo anterior es importante que el grupo de datos de validación cubra un área más amplia que el área de donde se tomaron los datos oportunisticos para desarrollar el modelo de sólo-presencia.

Aún a pesar de las limitaciones de los modelos de sólo-presencia, estos métodos están siendo cada vez más ampliamente usados debido a la gran cantidad de datos oportunisticos disponibles (registros históricos durante la cacería de ballenas, registros en museos, así como los obtenidos por embarcaciones independientes). Una vez que se toman en cuenta las consideraciones de estos métodos, se pueden obtener resultados confiables optimizando al máximo el uso de la información disponible.

2.7.4 CONCLUSIONES

Resumiendo, los avistamientos realizados desde embarcaciones (*'grupo de datos de construcción del modelo'*) se utilizaron para construir el modelo, el cual se validó con un grupo de datos independiente (*'grupo de datos de evaluación'*) del cual se conocía la cobertura. El modelo realizado efectivamente predice mayor probabilidad de presencia donde los animales fueron registrados, en comparación a donde no lo fueron. En promedio, dado el lugar donde se hizo mayor esfuerzo, la mayoría de avistamientos se encuentra donde el modelo predijo una mayor probabilidad de presencia, indicando que el primer grupo de datos (*'datos de construcción del modelo'*) es representativo del nicho ocupado por el rorcual común en el GC, y por lo tanto se justifica el haberlos utilizados para construir un modelo con el que se pueden hacer predicciones de áreas importantes para esta especie en el GC.

Lo anterior refuerza la validación hecha, por lo que podemos tener mayor certeza de que donde se está prediciendo mayor probabilidad es porque el hábitat es más adecuado para los rorcuales, y no por algún sesgo especial en el grupo de datos utilizado para construir el modelo.

Para realizar predicciones de distribución de otros meses se necesitará contar con mapas de temperatura superficial del mar, el cálculo de la desviación estándar de los mismos, así como el mapa de concentración de clorofila para el mes del que se quiera hacer la predicción.

Los modelos predictivos pueden proporcionar un método valioso para la identificación de áreas clave (*hotspots*) para mamíferos marinos y enfocar la investigación futura en resultados a corto plazo, lo que tendrá consecuencias a largo plazo.

Aún cuando el modelado espacial está siendo cada vez más usado, es importante tener en cuenta que para modelar de una manera precisa la distribución de las especies en relación a las características de su hábitat, los datos usados para construir el modelo necesitan ser representativos del rango completo de todas las combinaciones de hábitat posibles (por ejemplo tener un muestreo adecuado que cubra el rango completo del ambiente disponible para las especies de estudio). Si hay diferencias significativas entre las combinaciones posibles de las características del hábitat y las combinaciones muestreadas, entonces las predicciones del modelo producido no serán confiables ni se podrán considerar como una representación verdadera de la distribución real de las especies (MacLeod, 2005; Smith, 2010).

Con este estudio se ha demostrado que los modelos de sólo-presencia (usando avistamientos obtenidos de manera oportunística) pueden servirnos para entender la relación de la presencia del rorcual común con las características de su hábitat así como para producir mapas de la distribución potencial de las especies, siempre y cuando se tenga un grupo de datos independiente (obtenidos de manera sistemática) con el que se pueda evaluar el funcionamiento del modelo producido.

Emplear este tipo de modelos puede ser una manera muy eficiente en términos económicos y de optimización de tiempo para tener una investigación como punto de partida, siendo esta una gran ventaja sobre todo cuando se quieren investigar patrones a grande escala, que de otra manera requerirían un gasto considerable para llevar a cabo el trabajo de campo. Así mismo pueden complementar estudios a pequeña escala y de esta manera permitir enfocar la investigación y los esfuerzos de manejo.

El modelo creado en este estudio puede ser muy útil para hacer predicciones de la distribución del rorcual común en el GC a un futuro más lejano, considerando los posibles escenarios de cambio climático.

Este modelo también podría aplicarse en otras partes del mundo, para hacer comparaciones y evaluar si la relación de la distribución y presencia del rorcual común con las características del hábitat en otros sitios es similar a la encontrada para el rorcual común en el GC. De esta manera se incrementaría el conocimiento que se tiene sobre esta especie en una escala global, pudiendo actuar en consecuencia para realizar planes de manejo más efectivos para su conservación.

ANEXO 1. Descripción de los pasos realizados en el Análisis de Componentes Principales.

Se utilizó la metodología de Robertson et al. (2001) para construir el modelo con el Análisis de Componentes Principales. A continuación se presenta un resumen con la descripción de los pasos realizados.

1) Se calculó la media y la desviación estándar de cada una de las variables ambientales para todos los cuadrantes de presencia dentro del '*grupo de datos de construcción del modelo*'. Después los valores de cada cuadrante de presencia fueron estandarizados (Matriz U) sustrayendo estas medias y dividiéndolas entre las desviaciones estándar, con la finalidad de asegurar que las variables medidas en diferentes escalas fueran consideradas como iguales durante el proceso del PCA.

$$\text{Valor estandarizado } (U_i) = (\text{Valor } X_i - \text{Media}) / \text{Desviación estándar}$$

2) Los análisis estándar de PCA se hicieron utilizando el software estadístico de Minitab (Minitab Ltd) con estos valores estandarizados.

3) Los valores de cada variable ambiental en cada cuadrante restante (i. e. los cuadrantes de ausencia-Matriz W) se estandarizaron utilizando las medias y desviaciones estándar obtenidas del 'grupo de datos de construcción del modelo' en el paso 1.

4) Se usaron seis componentes principales para construir el modelo, ya que con estos se explicaba el 90% de la variación en los datos de presencia.

5 y 6) Para producir una matriz de componentes estandarizados (Z) en cada cuadrante del área de estudio, el peso de cada una de las variables estandarizadas incluidas en la construcción del modelo (W) se multiplicó por el eigenvalor de esa variable en el componente principal (V) y el resultado se dividió entre el eigenvalor total de ese componente principal.

Se empleó la fórmula:

$$PCn \text{ en el cuadrante } Xi = [\sum ((\text{peso de la variable } 1 \text{ en el } PCn * \text{ valor estandarizado de la variable } 1 \text{ en el cuadrante}) + (\text{peso de la variable } 2 \text{ en el } PCn * \text{ valor estandarizado de la variable } 2 \text{ en el cuadrante}) + \dots + (\text{peso de la variable } 8 \text{ en el } PCn * \text{ valor estandarizado de la variable } 8 \text{ en el cuadrante})) / \text{ eigenvalor específico del } PCn]$$

Donde:

n indica el número del componente principal (PC). *n*=1,2,..., 6

i indica el número de cuadrante en el área de estudio. *i*= 1, 2, ..., 23,000

Variables: 1. profundidad, 2. pendiente, 3. D.E. pendiente, 4. orientación del fondo marino (este), orientación del fondo marino (norte), Chl-a, SST y D.E. SST.

7) La probabilidad asociada con cada observación fue obtenida sumando los cuadrados de los valores de los componentes estandarizados.

8) Este valor fue sustituido en la función de probabilidad de distribución xi-cuadrada.

9) Los valores de probabilidad para cada cuadrante del área de estudio se asignan a sus coordenadas geográficas originales de cada observación en el programa ArcGIS 9.3, produciendo así los mapas de predicción.

ANEXO 2: Fórmulas usadas en el modelo de predicción de la distribución del rorcual común en el Golfo de California

PC1

$$\text{Sqr}\left(\left(\left(\left[\text{sst}\right] - 22.92036681\right) / 4.297107161\right) * -0.405\right) + \left(\left(\left[\text{chloro}\right] - 1.45186854\right) / 0.89383613\right) * 0.022 + \left(\left(\left[\text{aspsin}\right] - 0.065376981\right) / 0.694239602\right) * -0.264 + \left(\left(\left[\text{aspcos}\right] - (-0.022372428)\right) / 0.718886936\right) * -0.267 + \left(\left(\left[\text{slope}\right] - 1.789354508\right) / 1.964265107\right) * -0.536 + \left(\left(\left[\text{sds}\right] - 0.638765048\right) / 0.580566115\right) * -0.516 + \left(\left(\left[\text{depth}\right] - (-178.978602)\right) / 254.033954\right) * 0.356 + \left(\left(\left[\text{sdsst}\right] - 1.45186854\right) / 0.89383613\right) * -0.119) / 2.4753$$

PC2

$$\text{Sqr}\left(\left(\left(\left[\text{sst}\right] - 22.92036681\right) / 4.297107161\right) * -0.019\right) + \left(\left(\left[\text{chloro}\right] - 1.45186854\right) / 0.89383613\right) * -0.635 + \left(\left(\left[\text{aspsin}\right] - 0.065376981\right) / 0.694239602\right) * -0.134 + \left(\left(\left[\text{aspcos}\right] - (-0.022372428)\right) / 0.718886936\right) * -0.317 + \left(\left(\left[\text{slope}\right] - 1.789354508\right) / 1.964265107\right) * 0.081 + \left(\left(\left[\text{sds}\right] - 0.638765048\right) / 0.580566115\right) * -0.091 + \left(\left(\left[\text{depth}\right] - (-178.978602)\right) / 254.033954\right) * -0.488 + \left(\left(\left[\text{sdsst}\right] - 1.45186854\right) / 0.89383613\right) * -0.474) / 1.3439$$

PC3

$$\text{Sqr}\left(\left(\left(\left[\text{sst}\right] - 22.92036681\right) / 4.297107161\right) * -0.436\right) + \left(\left(\left[\text{chloro}\right] - 1.45186854\right) / 0.89383613\right) * 0.417 + \left(\left(\left[\text{aspsin}\right] - 0.065376981\right) / 0.694239602\right) * 0.377 + \left(\left(\left[\text{aspcos}\right] - (-0.022372428)\right) / 0.718886936\right) * 0.093 + \left(\left(\left[\text{slope}\right] - 1.789354508\right) / 1.964265107\right) * 0.121 + \left(\left(\left[\text{sds}\right] - 0.638765048\right) / 0.580566115\right) * 0.122 + \left(\left(\left[\text{depth}\right] - (-178.978602)\right) / 254.033954\right) * -0.038 + \left(\left(\left[\text{sdsst}\right] - 1.45186854\right) / 0.89383613\right) * -0.674) / 1.1122$$

PC4

$$\text{Sqr}\left(\left(\left(\left[\text{sst}\right] - 22.92036681\right) / 4.297107161\right) * 0.403\right) + \left(\left(\left[\text{chloro}\right] - 1.45186854\right) / 0.89383613\right) * -0.244 + \left(\left(\left[\text{aspsin}\right] - 0.065376981\right) / 0.694239602\right) * 0.718 + \left(\left(\left[\text{aspcos}\right] - (-0.022372428)\right) / 0.718886936\right) * 0.154 + \left(\left(\left[\text{slope}\right] - 1.789354508\right) / 1.964265107\right) * -0.340 + \left(\left(\left[\text{sds}\right] - 0.638765048\right) / 0.580566115\right) * -0.313 + \left(\left(\left[\text{depth}\right] - (-178.978602)\right) / 254.033954\right) * 0.117 + \left(\left(\left[\text{sdsst}\right] - 1.45186854\right) / 0.89383613\right) * -0.112) / 0.9430$$

PC5

$$\text{Sqr}\left(\left(\left(\left[\text{sst}\right] - 22.92036681\right) / 4.297107161\right) * -0.051\right) + \left(\left(\left[\text{chloro}\right] - 1.45186854\right) / 0.89383613\right) * -0.088 + \left(\left(\left[\text{aspsin}\right] - 0.065376981\right) / 0.694239602\right) * -0.333 + \left(\left(\left[\text{aspcos}\right] - (-0.022372428)\right) / 0.718886936\right) * 0.868 + \left(\left(\left[\text{slope}\right] - 1.789354508\right) / 1.964265107\right) * -0.155 + \left(\left(\left[\text{sds}\right] - 0.638765048\right) / 0.580566115\right) * -0.194 + \left(\left(\left[\text{depth}\right] - (-178.978602)\right) / 254.033954\right) * -0.208 + \left(\left(\left[\text{sdsst}\right] - 1.45186854\right) / 0.89383613\right) * -0.140) / 0.8403$$

PC6

$$\text{Sqr}\left(\left(\left(\left[\text{sst}\right] - 22.92036681\right) / 4.297107161\right) * 0.186\right) + \left(\left(\left[\text{chloro}\right] - 1.45186854\right) / 0.89383613\right) * 0.537 + \left(\left(\left[\text{aspsin}\right] - 0.065376981\right) / 0.694239602\right) * 0.013 + \left(\left(\left[\text{aspcos}\right] - (-0.022372428)\right) / 0.718886936\right) * -0.181 + \left(\left(\left[\text{slope}\right] - 1.789354508\right) / 1.964265107\right) * -0.131 + \left(\left(\left[\text{sds}\right] - 0.638765048\right) / 0.580566115\right) * -0.395 + \left(\left(\left[\text{depth}\right] - (-178.978602)\right) / 254.033954\right) * -0.672 + \left(\left(\left[\text{sdsst}\right] - 1.45186854\right) / 0.89383613\right) * 0.136) / 0.5893$$

2.7.5 REFERENCIAS

- Allen, S. E., Vindeirinho, C., Thomson, R. E., Foreman, M. G. G. and Mackas, D. L. (2001). Physical and biological processes over a submarine canyon during an upwelling event. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 58: 671-684.
- Álvarez-Borrego, S. (1983). Gulf of California. 427-449. En: *Ketchum, B.H. Ecosystems of the world: Estuaries and enclosed seas*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. 500pp.
- Álvarez-Borrego, S. & Lara-Lara, J.R. (1991). The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. In: Dauphin, J.P. y B.R. Simoneit (Eds.). *The Gulf and peninsular province of the Gulf of California*. AAPG Memories. 47, 555-567.
- Baumgartner, M. F. (1997). The Distribution of Risso's dolphin (*Grampus griseus*) with respect to the physiography of the northern Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*. 13: 614-638.
- Baumgartner, M. F., Mullin, K. D., Nelson May, L. & Leming, T. D. (2001). Cetacean habitats in the northern Gulf of Mexico. *Fisheries Bulletin*. 99: 219-239.
- Bérubé, M., Aguilar A., Dendanto, D., Larsen, F., Notarbartolo di Sciara, G., Sears, R., Sigurjónsson, J., Urbán, J. & Palsboll, P.J. (1998). Population genetic structure of North Atlantic, Mediterranean Sea and Sea of Cortez fin whales, *Balaenoptera physalus* (Linnaeus 1758): analysis of mitochondrial and nuclear loci. *Molecular Ecology*. 7: 585-599.
- Bérubé, M., Urbán, J.R., Dizon, A.E., Brownell, R.L. & Palsboll, P.J. (2002). Genetic identification of a small and highly isolated population of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Sea of Cortez, México. *Conservation Genetics*. 3: 183-190.
- Bjorge, A. (2002). Chapter 2. How persistent are marine mammals habitats in an ocean of variability? Habitat use, home range and site fidelity in marine mammals. In: *Marine Mammals, Biology and conservation*. Edited by Peter G.H. Evans and Juan Antonio Raga.
- Brotons, L., Thuiller, W., Araujo, M. B. & Hirzel, A. H. (2004). Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography*. 27: 437- 448.
- Brown, C. W. & Winn, H. E. (1989). Relationship between the distribution of right whales, *Eubalaena glacialis*, and satellite-derived sea surface thermal structure in the Great South Channel. *Continental Shelf Research*. 9: 247-260.
- Buckland, S.T, D.R. Anderson, K.P. Burnham, J.L. Laake, D.L. Borchers & L. Thomas. (2001). *Introduction to distance sampling*. Oxford University Press, Oxford
- Cañadas, A., Sagarminaga, R. & Garcia-Tiscar, S. (2002). Cetacean distribution related with depth and slope in the Mediterranean waters off southern Spain. *Deep-Sea research*. 49: 2053-2073.
- Cárdenas H., G. (2008). Distribución y hábitat de zifidos en la costa sudoccidental del Golfo de California (Cetacea: Ziphiidae). *Tesis de Maestría*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México. 74 pp.
- Castro, R., A. S. Mascareñas, R. Durazo, y Collins, C. A. (2000). Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*. 26(4):561-583.
- Compton, R. C. (2004). Predicting key habitat and potential distribution of Northern bottlenose whales (*Hyperoodon ampullatus*) in northwest Atlantic ocean. Faculty of Science. Plymouth, University of Plymouth.
- Croll, D. A., Tershy, B. R., Hewitt, R. P., Demer, D. A., Fiedler, P. C., Smith, S. E., Armstrong, W., Popp, J. M., Kiekhefer, T., Lopez, V. R., Urban, J. y Gendron, D. (1998). An integrated approach to the foraging ecology of marine birds and mammals. *Deep-Sea research II*. 45: 1353-1371.
- Davis, R. W., Fargion, G. S., May, N., Leming, T. D., Baumgartner, M., Evans, E. W., Hansen, L. J. & Mullin, K. (1998). Physical habitat of cetaceans along the continental slope in the north-central and western Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*. 14: 490-507.

- Díaz G., C. F. (2006). Abundancia y movimientos del rorcual común, *Balaenoptera physalus*, en el Golfo de California. *Tesis de Maestría*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 49 pp.
- Enríquez, P. L. 1996. Ocurrencia, movimientos, estructura social y tamaño de las agregaciones del rorcual común *Balaenoptera physalus* (Lineaus, 1758) en el Golfo de California, México. *Tesis de Licenciatura*. UABCS. La Paz, B.C.S., México. 59 pp.
- Evans, P. G. H. (1990). European cetaceans and seabirds in oceanographic context. *Lutra*. 33: 95-125.
- Evans, P. G. H. & Hammond, P. S. (2004). Monitoring Cetaceans In Europe. *Mammal Review*. 1: 131-156.
- Ferguson, M. C., Barlow, J., Reilly, S. B. & Gerrodette, T. (2006). Predicting Cuvier's (*Ziphius cavirostris*) and Mesoplodon beaked whale population density from habitat characteristics in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Journal of Cetacean Research and Management*. 7: 287-299.
- Fernández, G. R. (2010). Ecology of the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus* (Montagu 1821), in Galician waters, NW Spain. *PhD Thesis*. Universidad de Vigo, España.
- Fielding, A. H. & Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/ absence models. *Environmental Conservation* 24: 38–49.
- Freeland, H. J. & Denman, K. L. (1982). A topographically controlled upwelling centre off southern Vancouver Island. *Journal of Marine Research*. 40: 1069-1093.
- Friedlaender, A. S., Halpin, P. N., Qian, S. S., Lawson, G. L., Wiebe, P. H., Thiele, D. & Read, A. J. (2006). Whale distribution in relation to prey abundance and oceanographic processes in shelf waters of the western Antarctic peninsula. *Marine Ecology Progress Series*. 317: 297-310.
- Gregr, E. J. & Trites, A. W. (2001). Predictions of critical habitat for five whale species in the waters of coastal British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 1265–1285.
- Hastie, G. D., Wilson, B., Wilson, L. J., Parsons, K. M. & Thompson, P. M. (2004). Functional mechanisms underlying cetacean distribution patterns: hotspots for Bottlenose dolphins are linked to foraging. *Marine Biology*. 144: 397-403.
- Hirzel, A. H., Helfer, V. & Metral, F. (2001). Assessing habitat-suitability models with a virtual species. *Ecological Modelling*. 145: 111-121.
- Hirzel, A. H., J. Hausser, D. Chessel & Perrin, N. (2002). Ecological Niche-factor analysis: How to compute habitat suitability maps without absence data? *Ecology* 83: 2027– 2036.
- Hunt G.L. & Schneider, D.C. (1987). Scale dependent processes in the physical and biological environment of seabirds. In *The Feeding Ecology of Seabirds and their Role in Marine Ecosystems*, Croxall JP (ed.). Cambridge University Press: Cambridge; 7–41.
- ITC. (2001). ILWIS 3.0 Academic. User's guide. International Training Center, Enschede, Nederland, 415 pp.
- Jaquet, N. & Gendron, D. (2002). Distribution and relative abundance of sperm whales in relation to key environmental features, squid landings and the distribution of other cetacean species in the Gulf of California, Mexico. *Marine biology*. 141(3): 591-601.
- Jaume-Shinkel, M. S. (2004). Hábitos alimentarios del rorcual común *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California mediante el uso de isótopos estables de nitrógeno y carbono. *Tesis de Maestría*. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 64 pp.
- Kenney, R. D. & Winn, H. E. (1987). Cetacean biomass densities near submarine canyons compared to adjacent shelf/slope areas. *Continental Shelf Research*. 7: 107-114.
- Lavín, M.F. & Marinone, S.G. (2003). An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. Pp. 173-204. In: Velasco Fuentes *et al.* (eds.). *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Laran, S. & Gannier, A. (2008). Spatial and temporal prediction of fin whale distribution in the northwestern Mediterranean Sea. – *ICES Journal of Marine Science*, 65: 1260–1269.

- Macleod, K., Fairbairns, R., Gill, A., Fairbairns, B., Gordon, J., Blair-Myers, C. & Parsons, E. C. M. (2004). Seasonal distribution of minke whales *Balaenoptera acutorostrata* in relation to physiography and prey off the Isle of Mull, Scotland. *Marine Ecology Progress Series*. 277: 263-274.
- MacLeod, C. D. (2005). Niche partitioning, distribution and competition in North Atlantic beaked whales. *PhD Thesis*. University of Aberdeen, Aberdeen, UK.
- MacLeod, C. D. & Zuur, A. F. (2005). Habitat utilization by Blainville's beaked whales off Great Abaco, northern Bahamas, in relation to seabed topography. *Marine Biology*. 147: 1-11.
- MacLeod, C., Mandelberg, L., Schweder, C., Bannon, S. M. & Pierce, G. (2008). A comparison of approaches for modelling the occurrence of marine animals. *Hidrobiologia*. 612:21–32.
- Mandelberg, L. (2004). A comparison of the predictive abilities of four approaches for modelling the distribution of cetaceans. *Mres.Thesis*, University of Aberdeen, Scotland, U.K.
- Mann K. & Lazier, J. R. (2006). *Dynamics of marine ecosystems: biological–physical interactions in the oceans*, 3rd ed. Blackwell Publishing, Boston, MA.
- Marubini, F., Gimona, A., Evans, P. G. H., Wright, P. J. & Pierce, G. J. (2009). Habitat preferences and interannual variability in occurrence of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* off northwest Scotland. *Marine Ecology Progress Series*. 381: 297–310.
- Meissner, A. M. (2009) Ecology of striped dolphins in the Northwestern Mediterranean Sea. *Mres. Thesis*. University of Aberdeen, Scotland, U.K.
- Panigada, S., Di Sciara, G. N., Zanardelli, M., Airoidi, S., Borsani, J. F. & Jahoda, M. (2005). Fin whales (*Balaenoptera physalus*) summering in the Ligurian Sea: distribution, encounter rate, mean group size and relation to physiographic variables. *J. Cetacean Res. Manage*. 7(2):137–145.
- Parra, G. J. (2006). Resource partitioning in sympatric delphinids: Space use and habitat preferences of Australian snubfin and Indo-Pacific humpback dolphins. *Journal of Animal Ecology* 75:862-874.
- Payne, P. M., Nicols, J. R., O'Brien, L. & Powers, K. D. (1986). The distribution of the Humpback whale, *Megaptera noveangliae*, on Georges Bank and in the Gulf of Main in relation to densities of the Sand Eel, *Ammodytes americanus*. *Fishery Bulletin*. 82: 271-7.
- Praca, E. & Gannier, A. (2008). Ecological niches of three teuthophageous odontocetes in the northwestern Mediterranean Sea. *Ocean Sci*. 4, 49-59, doi:10.5194/os-4-49-2008.
- Redfern, J. V., Ferguson, M. C., Becker, E. A., Hyrenbach, K. D., Good, C., Barlow, J., Kaschner, K., Baumgartner, M. F., Forney, K. A., Ballance, L. T., Fauchald, P., Halpin, P., Hamazaki, T., Pershing, A. J., Qian, S. S., Read, A., Reilly, S. B., Torres, L. & Werner, F. (2006). Techniques for cetacean–habitat modeling. *Marine Ecology Progress Series*. 310: 271–295.
- Reeves, R. R., Stewart, B. S., Clapham, P. J. & Powell. J. A. (2002). *Guide to Marine Mammals of the World*. National Audobon Society/Alfred A. Knopf, Inc., New York. 528pp.
- Rice, D. W. (1998). Marine Mammals of the World. Systematics and Distribution. *The Society for Marine Mammalogy*, Special Publication No. 4, Allen Press Inc, Lawrence, Kansas. 231pp.
- Robertson, M. P., Caithness, N. & Villet, M. H. (2001). A PCA based modelling technique for predicting environmental suitability for organisms from presence records. *Diversity and Distributions* 7: 15–27.
- Roden, G.I. & Groves, G.W. (1959). Recent oceanographic observations in the Gulf of California. *J. Mar. Res.* 18;10-35.
- Roden, G.I. (1964). Oceanographic aspects of the Gulf of California. In: T.j.H. Van Andel & G.G. Shor (Eds.) *Marine geology of the Gulf of California: a symposium*. AAPG Memoir 3; 30-58.
- Rojas-Bracho, L. (1984). Presencia y distribución del rorcual común, *Balaenoptera physalus* (Linnaeus, 1758) (Cetacea: Balaenopteridae) en el Golfo de California, México. *Tesis de Licenciatura*. UNAM. México D.F. 157 pp.

- Salvadeo, C. J. (2008). Análisis de la comunidad de odontocetos y la relación con su ambiente, en el extremo suroccidental del Golfo de California, México (2003-2006). *Tesis de Maestría*. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 63 pp.
- Santamaría-del Ángel, E., Álvarez-Borrego, S. & Müller-Karger, F.E. (1994). Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color imagery. *Journal of Geophysical Research*. 99: 7411-7421.
- Schweder, C. (2003). The use of principal component analysis (PCA)-based modelling for constructing predictive models of occurrence for large mobile marine mammals. *MSc. Thesis*. University of Aberdeen, UK.
- Smith, J. (2010). The Ecology of Cuvier ' s beaked whale , *Ziphius cavirostris* (Cetacea: Ziphiidae) , in the Bay of Biscay. *PhD Thesis*. National Oceanography Centre, Southampton.
- Tershy, B. R., Urbán, J., Breese, D., Rojas, L. & Findley, L. T. (1993). Are the fin whales resident to the Gulf of California? *Rev. Inv. Cient. Vol. 1 (No. Especial SOMEMMA 1)*: 69-72.
- Torres, L. G., Read, A. J. & Halpin, P. (2008). Fine-scale habitat modeling of a top marine predator: do prey data improve predictive capacity? *Ecological Applications*. 18: 1702- 1717.
- Ulloa, R., Torre, J., Bourillón, L., Gondor, A. y Alcanzar, N. (2006). Planeación Ecorregional para la Conservación Marina: Golfo de California y Costa Occidental de Baja California Sur. *Informe final a The Nature Conservancy*. Guaymas (México): Comunidad y Biodiversidad, A. C., 153 pp.
- Urbán R., J. (1996). La población del rorcual común, *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California. *Informe Final a la Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO)*. Proyecto B040. México. 102 pp.
- Urbán R., J. (2000). Familia Balaenopteridae. pp. 661-683. In S. T. Alvarez-Castañeda y J. L. Patton (eds.). *Mamíferos del noroeste de México II*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 873 pp.
- Urbán R., J., Rojas-Bracho, L., Guerrero-Ruíz, M., Jaramillo-Legorreta, A. & Findley, L.T. (2005). *Cetacean diversity and conservation in the Gulf of California*. In: Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico. Pp 276-297. J. E. Cartron, G.Ceballos, and R.S. Felger (eds.). Oxford University Press, New York.
- Waring, G. T., Hamazaki, T., Sheehan, D., Wood, G. & Baker, S. (2001). Characterization of beaked whale (Ziphiidae) and Sperm whale (*Physeter macrocephalus*) summer habitat in shelf-edge and deeper waters off the northeast U.S. *Marine Mammal Science*. 17: 703-717.
- Williams, A. K. (2003). The influence of probability of detection when modelling species occurrence using GIS and survey data. *PhD thesis*, Blacksburg University, Blacksburg, USA.
- Yen, P. P. W., Sydeman, W. J. & Hyrenbach, K. D. (2004). Marine bird and cetacean associations with bathymetric habitats and shallow-water topographies: implications for trophic transfer and conservation. *Journal of Marine Systems*. 50: 79-99.
- Zweig, M. H. & Campbell, G. (1993). Receiver-operating characteristic (ROC) plots: a fundamental evaluation tool in clinical medicine. *Clinical Chemistry*. 39: 561-577.

CAPÍTULO 3

RELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL RORCUAL COMÚN (*Balaenoptera physalus*) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA CON CARACTERÍSTICAS DE SU HÁBITAT UTILIZANDO UN MODELO DE PRESENCIA-AUSENCIA

3.1 INTRODUCCIÓN

3.1.1 Modelado ecológico

El propósito de un modelo de hábitat es que guíe la selección de las variables del hábitat, determine la herramienta estadística apropiada y dirija la interpretación o uso de los resultados del modelo (Redfern *et al.*, 2006).

Los resultados del estudio de Hirzel *et al.* (2001), Brotons (2004), y MacLeod *et al.* (2008), sugieren que las aproximaciones de presencia-ausencia proporcionan la mejor capacidad predictiva, y por lo tanto probablemente el mejor entendimiento de la distribución de las especies en relación con variables ecogeográficas. Como resultado, cuando sea posible implementarlas, tales aproximaciones de presencia-ausencia deben usarse.

El principal objetivo de este estudio es modelar la distribución y el uso de hábitat del rorcual común a partir de muestreos con transectos lineales realizados en una avioneta en el GC. Los muestreos cubrieron desde áreas poco profundas de la plataforma continental hasta áreas profundas asociadas con cuencas, trincheras y cañones submarinos. La utilización del hábitat del rorcual común se estudió modelando la variación de presencia-ausencia utilizando Modelos Aditivos Generalizados (GAMs).

Aunque los Modelos Lineales Generalizados (GLMs) pueden ser más robustos, hacen más supuestos sobre las relaciones entre las características del hábitat y la presencia de los organismos, por lo tanto, para asegurarnos que dichas relaciones fueran correctas decidimos utilizar GAMs, los cuales no asumen la forma de las relaciones *a priori*. Aunado a lo anterior, los GAMs son un método de presencia-ausencia apropiado para el análisis de datos que incluyen una combinación de variables predictivas continuas.

3.2 ANTECEDENTES

En México, el rorcual común *Balaenoptera physalus* se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2001 bajo la categoría de “protección especial”. Está considerada como una especie vulnerable en el libro rojo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y también está en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies en peligro de extinción (CITES) de 1973. Según la Comisión Ballenera Internacional (CBI) toda la región del Pacífico Norte está bajo la categoría de stock protegido (Jaume-Shinkel, 2004; Urbán *et al.* 2005).

Durante decenas de años, se sospechó que en el GC habita una población residente (Tershy *et al.* 1993; Urbán, 1996). Investigaciones recientes han confirmado que no solamente es una población residente, sino que también está genéticamente aislada de la del Pacífico Nororiental (Bérubé *et al.*, 1998; Bérubé *et al.*, 2002).

Utilizando la técnica de foto-identificación, Enríquez (1996) estimó el tamaño de la población del rorcual común del GC en alrededor de 296 (217-396) individuos, aunque de acuerdo con Gerrodette y Palacios (1996), la población para esta zona está conformada por 1,385 animales, con base en avistamientos obtenidos durante un crucero en el golfo en verano-otoño de 1993. La estimación poblacional más reciente para el GC es la propuesta por Díaz (2006) quien reporta alrededor de 600 individuos.

La población residente del rorcual común en el GC se alimenta y reproduce en la zona, aunque con base en recapturas fotográficas se mostró que algunos rorcuales realizan movimientos estacionales dentro del Golfo. A mediados de la primavera se desplazan del norte hacia localidades más sureñas, donde pasan el resto de la primavera y parte del verano, principalmente en aguas costeras, mientras que el resto del verano y el otoño lo pasan en aguas más profundas (Enríquez, 1996; Urbán 1996, 2000).

Se tienen registros en las siguientes localidades:

Baja California: en el GC existen numerosos avistamientos desde San Felipe hacia el sur en la bahía de San Luis Gonzaga, el Canal de Ballenas y Canal de Salsipuedes; Baja California Sur: muchos

registros en el GC desde Los Cabos hasta Santa Rosalía. La Bahía de La Paz es una zona importante de concentración de la especie; Sonora: se conocen numerosos avistamientos desde Puerto Peñasco hasta el sur en Puerto Libertad, Bahía Kino y Guaymas; Sinaloa: Bahía de Santa Bárbara (Urbán, 2000).

Rojas-Bracho (1984), realizó un estudio sobre la distribución del rorcual común en el GC durante varias campañas oceanográficas a bordo del B/O El Puma entre noviembre de 1981 y febrero de 1984. En su trabajo sugiere que se trata de una población residente con hábitos principalmente costeros, que se distribuye en la costa occidental del Golfo durante el invierno y la primavera, en la porción central durante el otoño y en la zona del Canal de Ballenas durante el verano.

Enríquez (1996), en su estudio sobre la distribución y movimientos del rorcual común en el GC entre febrero de 1993 y mayo de 1995, coincide con las observaciones de Rojas-Bracho (1984) acerca de los hábitos costeros del rorcual común durante el invierno y la primavera.

Díaz (2006) en su estudio confirmó la preferencia que tiene el rorcual común por el área que rodea las grandes islas, como había sido señalado anteriormente por Rojas-Bracho (1984), Enríquez (1996) y Urbán *et al.* (2005).

Gregg y Trites (2001) buscaron definir el hábitat crítico para cinco especies de ballenas a lo largo de la costa de Columbia Británica en términos del ambiente físico. Lo hicieron utilizando GLMs para determinar si la posición de las capturas históricas de ballenas registradas en Columbia Británica de 1948 a 1967 (variable dependiente) estaban relacionadas con seis variables: profundidad, pendiente, clase de profundidad, temperatura, salinidad y mes. Los modelos predijeron la probabilidad de presencia de cada especie de ballena basados en estas variables.

Para el rorcual común la predicción anual de hábitat sugiere que esta especie estaba presente principalmente en aguas alejadas de la costa, pero frecuentemente se encontraba también en mares costeros. Los autores sugirieron que la distribución histórica del rorcual común tiene una estrecha relación con las variables predictivas. Su estudio muestra que, aún en la presencia de una autocorrelación espacial y temporal no trivial, diferentes esfuerzos de muestreo

y la carencia de la concurrencia temporal de las variables independientes y dependientes, se pueden generar hipótesis razonables usando este tipo de análisis retrospectivo.

Panigada *et al.* (2005) utilizaron también GLMs para modelar la distribución del rorcual común en relación con variables fisiográficas en el Mar de Liguria, los cuales revelaron que la profundidad media fue la variable explicativa más significativa. Mencionan que en particular la relación entre los parámetros biológicos, incluyendo la abundancia de las presas y parámetros físicos remotamente detectados (por ejemplo SST, color y velocidad del viento) contribuirán a la identificación de áreas específicas que podrían ser consideradas como hábitats críticos para las especies de cetáceos.

Laran y Gannier (2008) caracterizaron el principal hábitat del rorcual común en el Mar Mediterráneo usando GLMs, considerando parámetros tanto fisiográficos como hidrobiológicos. La batimetría, Chl-a y SST caracterizaron significativamente el hábitat de esta especie.

Hirzel *et al.* (2001) y Brotons *et al.* (2004) encontraron que las predicciones realizadas con un modelo de presencia-ausencia (GLM) eran más acertadas que las obtenidas con un modelo de sólo-presencia (ENFA). Los primeros utilizaron un método de modelado basado en una especie virtual con predeterminadas preferencias de hábitat, y los segundos modelaron la distribución de especies de aves de bosque.

3.3 PREGUNTAS E HIPÓTESIS

¿Qué variables topográficas y oceanográficas del Golfo de California están más relacionadas con el uso de hábitat del rorcual común?

Se espera que la batimetría, concentración de clorofila a (productividad) y temperatura superficial del mar caractericen significativamente el hábitat del rorcual común.

¿Cuáles son las características de las áreas en las que se puede predecir una mayor probabilidad de presencia del rorcual común?

Se espera que la mayor probabilidad de presencia del rorcual común se encuentre en un área que coincida con las características oceanográficas que favorecen la presencia de sus presas, ya que la caracterización del hábitat como será considerada aquí, tiene dos suposiciones clave. La primera suposición es que las ballenas generalmente son vistas donde la comida es abundante, y la segunda, que las fuentes de comida están de alguna manera relacionadas con condiciones oceanográficas. Así mismo, se espera que la predicción de mayores probabilidades de presencia sea en áreas someras.

3.4 OBJETIVOS

3.4.1 Objetivo general

Definir el uso de hábitat del rorcual común en el GC, México con base en las características del hábitat empleando un modelo de presencia-ausencia. Identificar las variables que están más relacionadas con la presencia del rorcual común.

3.4.2 Objetivos específicos

- Conocer la variación de las variables oceanográficas (temperatura superficial y concentración de clorofila a (productividad primaria) y topográficas (profundidad) del GC.
- Conocer la relación del hábitat del rorcual común con variables ecogeográficas.
- Determinar cuáles variables están más relacionadas con la presencia del rorcual común.
- Estudiar los patrones espaciales y temporales de la distribución del rorcual común en el GC.

3.5 ÁREA DE ESTUDIO. Golfo de California.

La descripción del área de estudio se encuentra en el capítulo 1, sección 1.3.

3.6 MATERIALES Y MÉTODOS

3.6.1 Recolección de datos

Vuelos

Se realizaron cuatro series de vuelos sobre y a lo largo del GC: una en invierno y una en verano de 2005 y 2006, con la finalidad de registrar cetáceos a lo largo de transectos predefinidos de manera sistemática, utilizando el método de transectos lineales. Los vuelos fueron hechos a bordo de una avioneta de un solo motor tipo CESSNA 182 (propiedad de Environmental Flying Services), con tres tripulantes a bordo, dos observadores y un anotador-observador. Se voló a una altitud promedio de 274 m sobre el nivel del mar y a una velocidad promedio de 160 km/h. En cada avistamiento se registró la posición, hora del día, especie, número de organismos, presencia de crías, comportamiento, así como el ángulo (obtenido con un inclinómetro) al cual fueron avistados. Se utilizaron binoculares 7 X 50 para apoyo en la identificación. Cuando fue necesario se interrumpió el transecto (y esfuerzo) para verificar especie, número de organismos y comportamiento, regresando posteriormente al punto de interrupción para continuar con el transecto y esfuerzo. Además se utilizaron cámaras digitales de fotografía y video para confirmar la identificación.

3.6.2 Variables ecogeográficas

Variables topográficas

Profundidad

Los datos de profundidad utilizados en el modelo fueron proporcionados por Vasilis Valavanis, del Hellenic Centre for Marine Research. Se obtuvieron de la *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO) del sitio <http://www.gebco.net/>, teniendo la cuadrícula resolución de un minuto. Estos datos batimétricos fueron procesados en ArcGIS 9.3 como cuadrículas regulares.

Variables oceanográficas

Temperatura superficial del mar (SST) y concentración superficial de clorofila a (Chl_a)

Para los puntos de presencia-ausencia incluidos en el modelo los datos de SST y Chl-a fueron proporcionados por Vasilis Valavanis, del Hellenic Centre for Marine Research. Se utilizaron imágenes satelitales MODIS-AquaLevel 3, mensuales y semanales tanto de SST como de Chl-a realizadas a una resolución de 4 km. Fueron descargadas del sitio “Ocean Color” de la NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) y fueron procesadas en ArcGIS como cuadrículas regulares.

3.6.3 Modelado ecológico: Modelo Aditivo Generalizado (GAM)

Evaluamos las preferencias del hábitat del rorcual común incluyendo las variables en un Modelo Aditivo Generalizado (Generalised Additive Model, GAM por sus siglas en inglés) (Hastie y Tibshirani, 1990). Este análisis es apropiado para datos que incluyen una combinación de variables predictivas continuas (SST, Chl-a y profundidad) y categóricas (temporada).

Para el GAM se creó un modelo de presencia-ausencia utilizando los datos de avistamientos recolectados durante los vuelos (n=92), pero debido a que cuando se realizó el análisis todavía no se procesaban los datos con ArcGIS para determinar las ausencias, se hizo una selección de puntos aleatorios de los registros de presencia de las otras especies para utilizarlos como ausencia de rorcual común (n=164). Las variables iniciales consideradas como potenciales variables explicativas para incluir en el modelo y a las que se les hizo un análisis exploratorio de datos fueron: temporada, año, mes, hora, latitud, longitud, número de individuos, Beaufort, Chl-a (semanal y mensual), SST (semanal y mensual) y profundidad. La covarianza entre variables fue determinada utilizando *pair plots*, y cuando ésta era >0.8, entonces se escogía una de las dos variables para ser considerada en el GAM.

Para mejorar la precisión y poder predictivo de un modelo, el número de variables explicativas se debe reducir a un número razonable (Harrell *et al.*, 1996). De esta manera, una de las tareas más difíciles es decidir cuáles variables explicativas, o combinación de variables deben

de incluirse en el modelo (Guisan y Zimmermann, 2000). Con la finalidad de seleccionar el modelo que explicara la mayor parte de la variación utilizando la menor cantidad de variables, se realizó el procedimiento “hacia atrás paso a paso” (‘backwards stepwise’) utilizando el software BRODGAR 2.6.6 (Highland Statistics Ltd), asociado a R 2.9.1 (R Development Core Team).

Dicho procedimiento construye el modelo eliminando diferentes variables e investigando qué tanto mejoran el ajuste del mismo. De esta manera las variables que no mejoran el ajuste del modelo de una manera significativa son quitadas del modelo. El estadístico usado para determinar cuál era el mejor modelo en cada paso y para seleccionar el modelo final fue el Akaike Information Criterion (AIC—Chambers y Hastie, 1997).

El primer paso del proceso de selección comienza corriendo el modelo incluyendo todas las variables ecogeográficas y obteniendo el resultante valor del AIC. La selección paso a paso comenzó quitando del modelo una de las variables.

Cada vez que una de las variables era eliminada, el modelo se volvía a correr para ver que tanto se modificaba el AIC del primer paso. Si el AIC era menor que el AIC obtenido con todas las variables incluidas, entonces la variable se eliminaba de la selección, implicando que el modelo era mejor sin esa variable. Entre menor es el AIC el modelo es mejor. Si el AIC resultaba mayor, entonces se volvía a incluir a la variable en el modelo, y la siguiente variable era eliminada. Dicho proceso continuó hasta que todas las variables fueron probadas para obtener el mejor modelo final de acuerdo al AIC. Este proceso de selección de variables encuentra el modelo que proporciona el mejor ajuste de los datos expresado por el AIC.

El procedimiento de selección de las variables paso a paso hacia atrás se realizó con “smoothers”. Para limitar las relaciones a formas simples razonables y evitar un sobreajuste, a los smoothers se les asignó un valor de $K=4$ (i.e. 3 grados de libertad) (Pierce *et al.*, 2010). K (nudos o “knots”) representa qué tanto se puede mover el smoother: un smoother con K pequeño (por ejemplo $K=1$) nos daría casi una línea recta, mientras que dándole un valor alto de K al smoother podríamos ver la línea atravesando casi cada uno de los puntos de nuestros datos, con lo cual sería difícil ver una clara tendencia de la relación (Smith, 2010). En ecología, la forma de las relaciones raramente es muy compleja, por lo tanto si el mejor ajuste está representado por una curva muy

complicada (valor alto de K), es muy probable que el resultado sea un artefacto estadístico o “over-smoothing” (Pierce *et al.*, 2010).

3.7 RESULTADOS

3.7.1 Modelo Aditivo Generalizado (Selección de variables)

Normalmente es mejor no transformar las variables explicativas (Zuur *et al.*, 2007), pero con el análisis exploratorio de datos fue posible identificar que había unos cuantos valores extremos de profundidad, por lo que para reducir la influencia de dichos valores se transformó la variable profundidad aplicando la raíz cuadrada (Zuur *et al.*, 2007). Para las variables Chl-a y SST se consideraron inicialmente promedios tanto semanales como mensuales, pero para evitar efectos de colinearidad al final sólo se utilizaron los promedios semanales ya que daban un mejor ajuste al modelo. Latitud y longitud no fueron consideradas porque aún cuando pudieran resultar significativas, su interpretación sería sólo descriptiva, pero no tendrían poder para explicar lo que pasa en el sistema.

Habiendo realizado el procedimiento “paso a paso hacia atrás” (*backwards stepwise*) para seleccionar el modelo que explicara la mayor variación usando el mínimo número de variables, de las variables que se consideraron como potenciales variables explicativas de la presencia del rorcual común (temporada, año, hora, Beaufort, Chl-a semanal, SST semanal y profundidad), en el modelo final seleccionado en base al AIC más bajo se dejaron sólo tres.

Estas fueron profundidad, concentración de clorofila (promedio semanal) y Beaufort, con las cuales se explicó un 31.7% de la variación. De las tres sólo profundidad mostró un efecto altamente significativo ($p < 0.0001$), indicando con una relación lineal que a menores profundidades la presencia de rorcuales comunes incrementaba (Fig. 21a). Se observó una relación semi-lineal con la concentración de clorofila y una relación no lineal con Beaufort (Fig. 21b y 21c), encontrándose más rorcuales cuando el mar presenta estados de Beaufort entre 1 y 2.5. Sin embargo, aún cuando los efectos de clorofila y Beaufort eran efectos débiles ($p = 0.0269$ y 0.0391 respectivamente), el incluir dichas variables mejoraba el ajuste del modelo de acuerdo al AIC.

Además de utilizar el AIC como criterio para incluir o no estas variables, se aplicó una prueba de F para comparar los modelos donde se quitaba clorofila o Beaufort con el modelo que incluía las tres variables, obteniendo una diferencia significativa en ambos casos: quitando Beaufort del modelo ($F=3.3056$, $p= 0.03715$) y quitando clorofila del modelo ($F=4.7621$, $p= 0.03417$). Los smoothers de las variables incluidas en el modelo final se muestran a continuación:

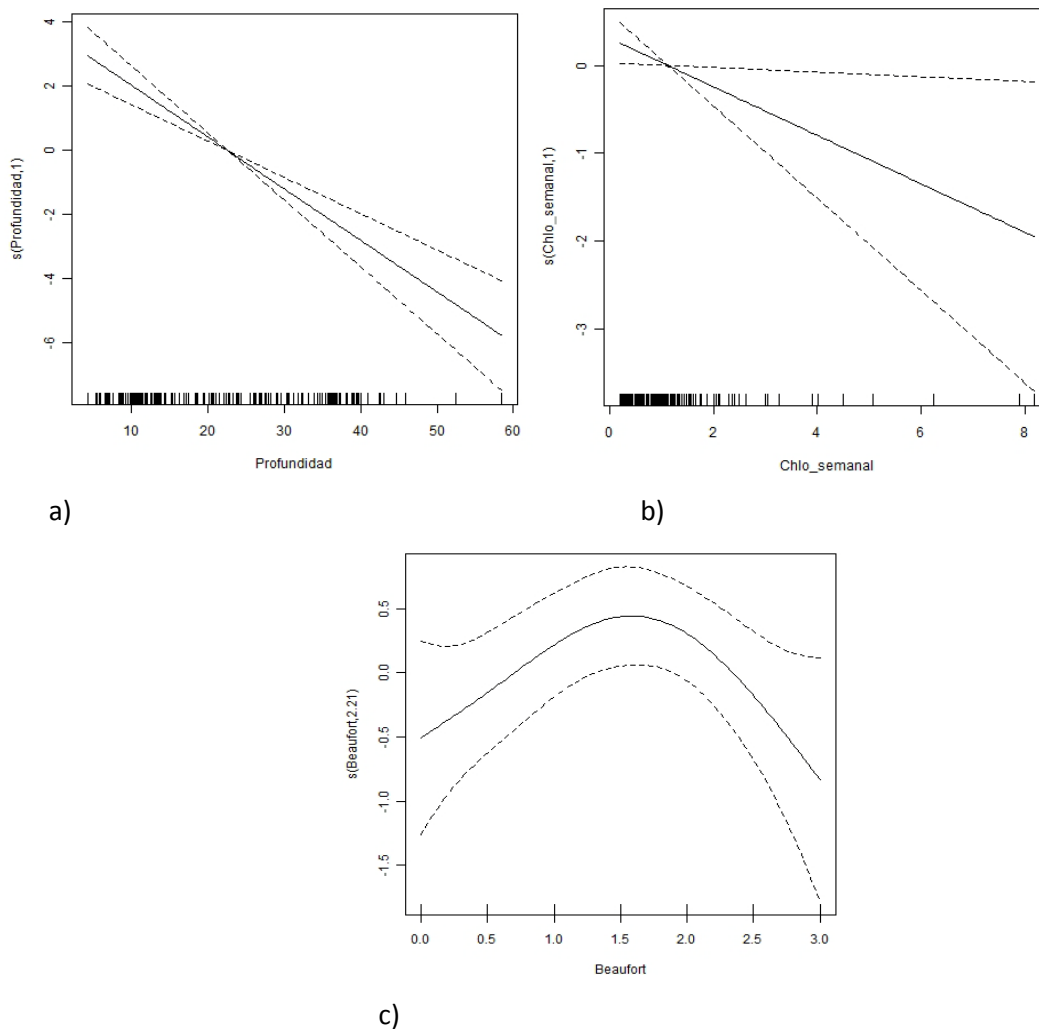


Figura 21. Efecto en la presencia del rorcual común de las variables incluidas en el modelo. a) Profundidad (transformación raíz cuadrada). b) Concentración de clorofila a. c) Beaufort. Las líneas continuas son los smoothers estimados y las líneas punteadas indican el intervalo de confianza de 95%.

3.8 DISCUSIÓN

3.8.1 Comparación con otros estudios de modelos de hábitat

3.8.1.1 GLMs vs GAMs

Una de las limitaciones encontrada para hacer este estudio, fue que al principio se carecía de los datos del esfuerzo realizado relacionado con los avistamientos, por lo que no se podía tener una alta precisión en cuanto a las ausencias registradas. Para superar dicha limitación se utilizaron los datos de presencia de otras especies como ausencias de la especie de estudio y así poder analizar los datos con un GAM.

Gregr y Trites (2001), Panigada *et al.* (2005) y Laran y Gannier (2008) utilizaron GLMs para los modelos de hábitat que hicieron, a diferencia de este estudio en el que se decidió utilizar GAMs. Smith (2010) afirma que entre GAMs y GLMs puede haber distintas ventajas y desventajas, por lo que éstas deben ser evaluadas de acuerdo al objetivo del estudio para poder elegir entre uno u otro método.

Aunque los GLMs pueden ser más robustos, hacen más supuestos sobre las relaciones entre las características del hábitat y la presencia del rorcual común. Para asegurarnos que dichas relaciones fueran correctas decidimos utilizar GAMs, los cuales no asumen la forma de las relaciones *a priori*. Aunado a lo anterior, el Modelo Aditivo Generalizado (GAM) es un método de presencia-ausencia apropiado para el análisis de datos que incluyen una combinación de variables predictivas continuas.

3.8.1.2 Respecto a la relación de las variables ecogeográficas con la presencia y distribución del rorcual común

Además de la distribución de las presas, la variable profundidad es un parámetro ampliamente usado para describir el uso de hábitat de los cetáceos (Davis *et al.*, 2001). A través del procedimiento “hacia atrás paso a paso” se redujo el número de variables explicativas hasta llegar a las que daban un mejor ajuste del modelo.

La importancia de la selección de la variable profundidad como la variable explicativa más significativa ya estaba anunciada por los resultados de Panigada *et al.* (2005). De igual manera, las variables seleccionadas en el modelo final confirman la consideración de otros factores, como los usados por Laran y Gannier (2008). Por otro lado, como mencionamos anteriormente, los estudios de Greg y Trites (2001), Panigada *et al.* (2005) y Laran y Garnier (2008), usando modelos lineales encontraron que las variables más relacionadas con la presencia del rorcual común fueron profundidad, pendiente, clase de profundidad, temperatura, salinidad y mes para el primero, profundidad media el segundo y batimetría, Chl-a y SST el último.

Dando por descontadas las diferencias entre los estudios, encontramos una coincidencia significativa con nuestro estudio sobre la relación de la presencia del rorcual común con la profundidad, y en menor medida, con la concentración de clorofila. Lo encontrado por estos autores estaría reforzando la importancia de la variable profundidad, y por tanto, lo acertado de la elección de dicha variable para esta investigación. De igual manera, las variables seleccionadas en el modelo final confirman la consideración de otros parámetros, como los usados por Laran y Gannier (2008).

A diferencia de los resultados de Gannier (2002), Panigada *et al.* (2005) y Laran y Gannier (2008), quienes encontraron que el rorcual común se encuentra principalmente en aguas alejadas de la costa, habiendo registrado la mayoría de sus avistamientos en aguas con profundidad mayor a 2000 m, en este estudio la mayoría de los avistamientos del rorcual común fueron registrados principalmente en aguas costeras con profundidad menor a 200 m. La presencia del rorcual común en aguas costeras es similar a lo encontrado en estudios previos realizados en la costa noreste de Estados Unidos y Canadá (Hain *et al.*, 1992). También está en acuerdo con Greg y Trites (2001), quienes aunque encontraron que la predicción anual de hábitat para el rorcual común sugiere que esta especie estaba presente principalmente en aguas alejadas de la costa de la Columbia Británica, también se encontraba frecuentemente en mares costeros.

Estas grandes diferencias de profundidad podrían deberse a que gran parte del área que muestrearon Laran y Gannier (2008) incluye extensas zonas donde la profundidad es alrededor de los 2000 m y que tienen una plataforma continental reducida, a diferencia del GC donde aunque la

parte sur presenta una variedad de cuencas que van desde los 600 m hasta los 3000 m en la zona de la boca, la parte norte es relativamente somera y está constituida principalmente por plataforma continental (con una profundidad promedio de 200 m y máxima de 600 m). Además, una zona donde se registraron muchos avistamientos del rorcual común es el Canal de Ballenas (entre la Isla Ángel de la Guarda y la Península de Baja California), el cual presenta un umbral somero de 450 m (Álvarez-Borrego, 1983; Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991).

Se ha sugerido además que algunas variables (e. g. pendiente) pueden ser importantes a pequeña escala, pero dicha importancia casi desaparece en los análisis a gran escala (Ferguson *et al.*, 2006). Smith (2010) sugiere que los estudios de hábitat de cetáceos idealmente deberían usar un marco con escala jerárquica que tome en cuenta la influencia relativa de procesos a fina, intermedia y gran escala.

Dado que los estudios realizados a grandes escalas no pueden extrapolarse a escalas más finas, es mejor empezar con escalas finas las cuales sí pueden extrapolarse a escalas mayores (Smith, 2010). El estudio realizado aquí estaría siguiendo ese principio, ya que la escala que se utilizó es lo suficientemente fina para poder extrapolar los resultados.

En cuanto a la estacionalidad, la afirmación de Gregr y Trites (2001) de que el movimiento del rorcual común en los mares costeros es producto de un efecto estacional, es congruente con los datos proporcionados sobre el rorcual común en el GC por Enríquez (1996) y Urbán (1996, 2000). Además coincide con lo encontrado por Rojas-Bracho (1994) y Enríquez (1996) acerca de los hábitos costeros del rorcual común durante el invierno y la primavera y que durante el verano se distribuye principalmente en la zona del canal de ballenas. Asimismo se confirmó la preferencia que tiene el rorcual común por el área que rodea las grandes islas como había sido señalado anteriormente por Rojas-Bracho (1984), Enríquez (1996), Urbán *et al.* (2005) y Díaz (2006).

3.9 CONCLUSIÓN

El modelo de presencia-ausencia presentado aquí es el primero en explorar la utilización del hábitat del rorcual común en el GC.

Los resultados del modelo de presencia-ausencia GAM muestran que la profundidad es la variable ecogeográfica más importante que puede ser usada para describir la distribución del rorcual común en el GC, lo cual coincide con los resultados de otros estudios (e.g. Panigada *et al.*, 2005) donde indican que dicha variable está fuertemente relacionada con la distribución de esta especie en esas respectivas áreas de estudio. La información del GAM muestra que la presencia del rorcual común en el GC tiene una relación lineal con profundidad (a mayor profundidad menor número de rorcuales), semi-lineal con la concentración de clorofila y una relación no lineal con Beaufort.

Este estudio es comparable con otros estudios donde también se ha mostrado una relación entre la presencia del rorcual común y variables ecogeográficas. Hay variables que en la mayoría de los casos se considerarán como determinantes de la distribución y presencia del rorcual común, quizá incluso sin importar la escala espacial utilizada, como se ha encontrado en el caso de otras investigaciones.

Los resultados de esta investigación son importantes porque incrementan el conocimiento y entendimiento del hábitat de esta especie y además pueden ayudar al entendimiento del hábitat del rorcual común y de otros rorcuales en una escala global optimizando los recursos para tal fin, si se realizan más estudios en áreas que tengan hábitats potenciales similares a los encontrados aquí.

3.10 REFERENCIAS

- Álvarez-Borrego, S. (1983). Gulf of California. 427-449. En: *Ketchum, B.H. Ecosystems of the world: Estuaries and enclosed seas*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. 500pp.
- Álvarez-Borrego, S. & Lara-Lara, J.R. (1991). The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. In: Dauphin, J.P. y B.R. Simoneit (Eds.). *The Gulf and peninsular province of the Gulf of California*. AAPG Memories. 47, 555-567.
- Baumgartner, M. F. (1997). The Distribution of Risso's dolphin (*Grampus griseus*) with respect to the physiography of the northern Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*. 13: 614-638.
- Bérubé, M., Aguilar A., Dendanto, D., Larsen, F., Notarbartolo di Sciara, G., Sears, R., Sigurjónsson, J., Urbán, J. & Palsboll, P.J. (1998). Population genetic structure of North Atlantic, Mediterranean Sea and Sea of Cortez fin whales, *Balaenoptera physalus* (Linnaeus 1758): analysis of mitochondrial and nuclear loci. *Molecular Ecology*. 7: 585-599.
- Bérubé, M., Urbán, J.R., Dizon, A.E., Brownell, R.L. & Palsboll, P.J. (2002). Genetic identification of a small and highly isolated population of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Sea of Cortez, México. *Conservation Genetics*. 3: 183-190.
- Bjorge, A. (2002). Chapter 2. How persistent are marine mammals habitats in an ocean of variability? Habitat use, home range and site fidelity in marine mammals. In: *Marine Mammals, Biology and conservation*. Edited by Peter G.H. Evans and Juan Antonio Raga.
- Brotens, L., Thuiller, W., Araujo, M. B. & Hirzel, A. H. (2004). Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography*. 27: 437- 448.
- Brown, C. W. & Winn, H. E. (1989). Relationship between the distribution of right whales, *Eubalaena glacialis*, and satellite-derived sea surface thermal structure in the Great South Channel. *Continental Shelf Research*. 9: 247-260.
- Castro, R., A. S. Mascareñas, R. Durazo, y Collins, C. A. (2000). Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*. 26(4):561-583.
- Chambers, J. M. & Hastie, T. J. (1997). *Statistical Models in Science*. Chapman and Hall, New York.
- Croll, D. A., Tershy, B. R., Hewitt, R. P., Demer, D. A., Fiedler, P. C., Smith, S. E., Armstrong, W., Popp, J. M., Kiekhefer, T., Lopez, V. R., Urbán, J. y Gendron, D. (1998). An integrated approach to the foraging ecology of marine birds and mammals. *Deep-Sea research II*. 45: 1353-1371.
- Davis, R. W., Fargion, G. S., May, N., Leming, T. D., Baumgartner, M., Evans, E. W., Hansen, L. J. & Mullin, K. (1998). Physical habitat of cetaceans along the continental slope in the north-central and western Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*. 14: 490-507.
- Davis, R.W., Ortega-Ortiz, J.G., Ribic, C.A., Evans, W.E., Biggs, D.C., Ressler, P.H., Cady, R.B., Leben, R.R., Mullin, K.D. and Würsig, B. (2001). Cetacean habitat in the northern ocean Gulf of Mexico. *Deep- Sea Res*. 49:121-42.
- Díaz G., C. F. (2006). Abundancia y movimientos del rorcual común, *Balaenoptera physalus*, en el Golfo de California. *Tesis de Maestría*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 49 pp.
- Enríquez, P. L. 1996. Ocurrencia, movimientos, estructura social y tamaño de las agregaciones del rorcual común *Balaenoptera physalus* (Lineaus, 1758) en el Golfo de California, México. *Tesis de Licenciatura*. UABCS. La Paz, B.C.S., México. 59 pp.
- Ferguson, M. C., Barlow, J., Reilly, S. B. & Gerrodette, T. (2006). Predicting Cuvier's (*Ziphius cavirostris*) and Mesoplodon beaked whale population density from habitat characteristics

- in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Journal of Cetacean Research and Management*. 7: 287-299.
- Gannier, A. (2002). Summer distribution of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the northwestern Mediterranean Marine Mammals Sanctuary. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 57: 135–150.
- Gerrodette, T. y Palacios, D. M. N. (1996). Estimates of cetacean abundance in EEZ waters of the eastern Tropical Pacific. *Southwest Fisheries and Science Center. Administrative Report LJ-96-10*. 28 pp.
- Gregr, E. J. & Trites, A. W. (2001). Predictions of critical habitat for five whale species in the waters of coastal British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 1265–1285.
- Guisan, A. & Zimmermann, N.E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135, 147–186.
- Hain, J.H.W., Ratnaswamy, M.J., Kenney, R.D. & Winn, H.E. (1992). The fin whale, *Balaenoptera physalus*, in waters of the northeastern United States continental shelf. *Rep. int. Whal. Commn.* 42: 653-69.
- Harrell, F.E., Lee, K.L. & Mark, D.B. (1996). Multivariable prognostic models: Issues in developing models, evaluating assumptions and adequacy, and measuring and reducing errors. *Stat. Med.* 15, 361–387.
- Hastie, T. J. & Tibshirani, R.J. (1990). Generalized Additive Models. *Chapman and Hall*, New York.
- Hirzel, A. H., Helfer, V. & Metral, F. (2001). Assessing habitat-suitability models with a virtual species. *Ecological Modelling*. 145: 111-121.
- Hunt G.L. & Schneider, D.C. (1987). Scale dependent processes in the physical and biological environment of seabirds. In *The Feeding Ecology of Seabirds and their Role in Marine Ecosystems*, Croxall JP (ed.). Cambridge University Press: Cambridge; 7–41.
- Jaume-Shinkel, M. S. (2004). Hábitos alimentarios del rorcual común *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California mediante el uso de isótopos estables de nitrógeno y carbono. *Tesis de Maestría*. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 64 pp.
- Lavín, M.F. & Marinone, S.G. (2003). An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. Pp. 173-204. In: Velasco Fuentes *et al.* (eds.). *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Laran, S. & Gannier, A. (2008). Spatial and temporal prediction of fin whale distribution in the northwestern Mediterranean Sea. – *ICES Journal of Marine Science*, 65: 1260–1269.
- MacLeod, C., Mandleberg, L., Schweder, C., Bannon, S. M. & Pierce, G. (2008). A comparison of approaches for modelling the occurrence of marine animals. *Hidrobiologia*. 612:21–32.
- Mandleberg, L. (2004). A comparison of the predictive abilities of four approaches for modelling the distribution of cetaceans. *Mres.Thesis*, University of Aberdeen, Scotland, U.K.
- Marubini, F., Gimona, A., Evans, P. G. H., Wright, P. J. & Pierce, G. J. (2009). Habitat preferences and interannual variability in occurrence of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* off northwest Scotland. *Marine Ecology Progress Series*. 381: 297–310.
- Panigada, S., Di Sciara, G. N., Zanardelli, M., Airoidi, S., Borsani, J. F. & Jahoda, M. (2005). Fin whales (*Balaenoptera physalus*) summering in the Ligurian Sea: distribution, encounter rate, mean group size and relation to physiographic variables. *J. Cetacean Res. Manage.* 7(2):137–145.
- Parra, G. J. (2006). Resource partitioning in sympatric delphinids: Space use and habitat preferences of Australian snubfin and Indo-Pacific humpback dolphins. *Journal of Animal Ecology* 75:862-874.

- Payne, P. M., Nicols, J. R., O'Brien, L. & Powers, K. D. (1986). The distribution of the Humpback whale, *Megaptera noveangliae*, on Georges Bank and in the Gulf of Main in relation to densities of the Sand Eel, *Ammodytes americanus*. *Fishery Bulletin*. 82: 271-7.
- Pierce, G. J., Caldas, M., Cedeira, J., Santos, M. B., Llavona, A., Covelo, P., Martinez, G., Torres, J., Sacau, M. & López, A. (2010). Trends in cetacean sightings along the Galician coast, north-west Spain, 2003–2007, and inferences about cetacean habitat preferences. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 90(8): 1547–1560.
- Redfern, J. V., Ferguson, M. C., Becker, E. A., Hyrenbach, K. D., Good, C., Barlow, J., Kaschner, K., Baumgartner, M. F., Forney, K. A., Ballance, L. T., Fauchald, P., Halpin, P., Hamazaki, T., Pershing, A. J., Qian, S. S., Read, A., Reilly, S. B., Torres, L. & Werner, F. (2006). Techniques for cetacean–habitat modeling. *Marine Ecology Progress Series*. 310: 271–295.
- Reeves, R. R., Stewart, B. S., Clapham, P. J. & Powell, J. A. (2002). *Guide to Marine Mammals of the World*. National Audobon Society/Alfred A. Knopf, Inc., New York. 528pp.
- Rice, D. W. (1998). Marine Mammals of the World. Systematics and Distribution. *The Society for Marine Mammalogy*, Special Publication No. 4, Allen Press Inc, Lawrence, Kansas. 231pp.
- Roden, G.I. & Groves, G.W. (1959). Recent oceanographic observations in the Gulf of California. *J. Mar. Res.* 18;10-35.
- Roden, G.I. (1964). Oceanographic aspects of the Gulf of California. In: T.j.H. Van Andel & G.G. Shor (Eds.) *Marine geology of the Gulf of California: a symposium*. AAPG Memoir 3; 30-58.
- Rojas-Bracho, L. (1984). Presencia y distribución del rorcual común, *Balaenoptera physalus* (Linnaeus, 1758) (Cetacea: Balaenopteridae) en el Golfo de California, México. *Tesis de Licenciatura*. UNAM. México D.F. 157 pp.
- Salvadeo, C. J. (2008). Análisis de la comunidad de odontocetos y la relación con su ambiente, en el extremo suroccidental del Golfo de California, México (2003-2006). *Tesis de Maestría*. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 63 pp.
- Santamaría-del Ángel, E., Álvarez-Borrego, S. & Müller-Karger, F.E. (1994). Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color imagery. *Journal of Geophysical Research*. 99: 7411-7421.
- Smith, J. (2010). The Ecology of Cuvier ' s beaked whale , *Ziphius cavirostris* (Cetacea: Ziphiidae) , in the Bay of Biscay. *PhD Thesis*. National Oceanography Centre, Southampton.
- Tershy, B. R., Urbán, J., Breese, D., Rojas, L. & Findley, L. T. (1993). Are the fin whales resident to the Gulf of California? *Rev. Inv. Cient. Vol. 1 (No. Especial SOMEMMA 1)*: 69-72.
- Torres, L. G., Read, A. J. & Halpin, P. (2008). Fine-scale habitat modeling of a top marine predator: do prey data improve predictive capacity? *Ecological Applications*. 18: 1702- 1717.
- Urbán R., J. (1996). La población del rorcual común, *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California. *Informe Final a la Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO)*. Proyecto B040. México. 102 pp.
- Urbán R., J. (2000). Familia Balaenopteridae. pp. 661-683. In S. T. Alvarez-Castañeda y J. L. Patton (eds.). *Mamíferos del noroeste de México II*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 873 pp.
- Urbán R., J., Rojas-Bracho, L., Guerrero-Ruíz, M., Jaramillo-Legorreta, A. & Findley, L.T. (2005). *Cetacean diversity and conservation in the Gulf of California*. In: Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico. Pp 276-297. J. E. Cartron, G.Ceballos, and R.S. Felger (eds.). Oxford University Press, New York.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Smith, G. M. (2007). *Analysing Ecological Data*. Springer, New York. 672 pp.

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN

Y

CONCLUSIONES GENERALES

4.1 Resumen y principales aportaciones de los capítulos

Los objetivos principales de esta tesis fueron identificar el uso del hábitat, la relación de la presencia y distribución espacial y temporal del rorcual común en el Golfo de California con las características de su hábitat (variables ecogeográficas), así como realizar predicciones de dicha distribución.

En el **capítulo uno** se presentó una **introducción** incluyendo generalidades de la especie de estudio (rorcual común *Balaenoptera physalus*) y del modelado de hábitat, la descripción del área de estudio, así como una **breve descripción de los objetivos principales de los estudios realizados en los capítulos dos y tres.**

Con los resultados del capítulo dos se demostró que los modelos de sólo-presencia (usando avistamientos obtenidos de manera oportunística) pueden servirnos para entender la relación de la presencia del rorcual común con las características de su hábitat así como para producir mapas de la distribución potencial de las especies, siempre y cuando se tenga un grupo de datos independiente (obtenidos de manera sistemática) con el que se pueda evaluar el funcionamiento del modelo producido.

Además, en ese capítulo así como en el tercero, también se identificó la relación que tiene la presencia del rorcual común con las características de su hábitat (en este caso considerando ocho variables ecogeográficas). Con el modelo encontramos que la presencia del rorcual común está relacionada principalmente con pendiente, desviación estándar de la pendiente, temperatura y profundidad. De acuerdo con el modelo el rorcual común en el GC habita en zonas menos profundas con un fondo marino complejo, factores que pueden contribuir con los procesos de mezcla, alta productividad, surgencias y áreas de frentes.

Una vez identificada la relación entre la presencia del rorcual común en el GC y las ocho variables ecogeográficas utilizadas, se creó un modelo de predicción de la distribución espacial y temporal del rorcual común en el GC utilizando los datos oportunísticos. Se evaluó su capacidad predictiva, encontrando que el modelo funciona significativamente mejor (AUC=0.70, $p < 0.0001$)

que un modelo aleatorio (AUC=0.5) y que predice de una manera confiable la distribución del rorcual común en el GC a partir de variables oceanográficas y topográficas.

En el capítulo tres se estudió el uso de hábitat del rorcual común en el GC en relación con variables oceanográficas, topográficas, temporales y espaciales construyendo un modelo de presencia-ausencia empleando Modelos Aditivos Generalizados (GAM).

Se empleó el procedimiento “hacia atrás paso a paso” (‘backwards stepwise’), con el cual se construyó el modelo eliminando diferentes variables e investigando qué tanto mejoraban el ajuste del mismo. De esta manera las variables que no mejoraron el ajuste del modelo de una manera significativa fueron quitadas del mismo, dejando sólo las que están más relacionadas con la presencia del rorcual común. Estas fueron profundidad, concentración de clorofila (promedio semanal) y Beaufort con las cuales se explicó un 31.7% de la variación.

En este **capítulo cuatro se presenta la discusión y conclusiones generales** sobre el uso de hábitat del rorcual común en el Golfo de California, sobre los modelos empleados para determinarlo, de las limitaciones encontradas, así como de la importancia y alcances del estudio realizado.

4.2 DISCUSIÓN GENERAL

4.2.1 Uso de hábitat: comparación de los resultados obtenidos entre estudios

En ambos estudios realizados (capítulos dos y tres) se identificó una fuerte relación entre la presencia y distribución del rorcual común y las características de su hábitat, por lo que estos estudios son comparables con otros donde también se ha mostrado dicha relación. Hay variables que en la mayoría de los casos se considerarán como determinantes de la distribución y presencia del rorcual común (e. g. profundidad, pendiente, D. E. pendiente), quizá incluso sin importar la escala espacial utilizada, como se ha encontrado en el caso de otras investigaciones en diferentes áreas de estudio.

Los resultados del modelo de hábitat empleando Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) (modelo de presencia-ausencia) en el capítulo tres son consistentes con los del modelo de hábitat del capítulo dos donde se utilizó el Análisis de Componentes Principales (PCA) (modelo de sólo-presencia) para las variables consideradas en común en ambos capítulos.

Aún cuando en el capítulo tres se determinaron las variables más relacionadas con la presencia y distribución del rorqual común con una mayor precisión del sentido de dicha relación (por ejemplo para la variable profundidad) empleando modelos aditivos generalizados, el análisis de componentes principales puede ser muy útil cuando los datos de ausencia son limitados o no se cuenta con ellos.

Se sugiere aplicar una combinación de diferentes técnicas cuando sea posible para determinar el uso del hábitat y distribución de las especies, ya que las limitaciones de una de las técnicas en particular podrían ser compensadas por la eficacia de alguna otra.

4.2.2 Modelos de presencia-ausencia vs modelos de sólo-presencia

Mandleberg (2004) y MacLeod *et al.* (2008) compararon el funcionamiento de tres modelos de sólo-presencia (incluyendo el PCA) con uno de presencia-ausencia utilizados para modelar la distribución de una marsopa en la parte occidental de Escocia. Dichos autores no encontraron diferencias estadísticas significativas entre los modelos de sólo-presencia y los de presencia-ausencia, sugiriendo que los modelos de sólo-presencia pueden ser usados con la misma eficiencia que los modelos de presencia-ausencia.

En esta tesis no se compararon directamente técnicas de modelado, sin embargo el modelo de sólo-presencia creado (capítulo dos) fue validado utilizando datos de presencia-ausencia y los resultados son comparables con lo encontrado en el capítulo tres.

Contrario a los resultados encontrados por Mandleberg (2004) y MacLeod *et al.* (2008), Hirzel *et al.*, (2001) en previos estudios utilizaron un método de modelado basado en una especie virtual con predeterminadas preferencias de hábitat, y encontraron que las predicciones

realizadas con un modelo de presencia-ausencia (GLM) eran más acertadas que las obtenidas con un modelo de sólo-presencia (ENFA).

Brotons *et al.* (2004) apoyaron estos resultados y encontraron que las predicciones de la distribución de especies de aves de bosque realizadas con GLM (presencia-ausencia) son más precisas que las obtenidas utilizando ENFA (sólo-presencia). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, los modelos de sólo-presencia pueden ser muy útiles para modelar la distribución de las especies cuando los datos de ausencia no están disponibles (Brotons *et al.*, 2004; Mandleberg, 2004; Praca y Gannier, 2008; MacLeod *et al.*, 2008). Además, MacLeod *et al.*, (2008) señalan que los descubrimientos del estudio de Brotons *et al.* (2004) fueron el resultado de modelos realizados para 30 especies en lugar de comparaciones directas entre modelos para una misma especie.

Los modelos de sólo-presencia no tienen un funcionamiento significativamente menor que los modelos de presencia-ausencia para la misma área, y ambos tipos de modelos proporcionan resultados similares, prediciendo la máxima probabilidad de presencia en áreas con características similares (Mandleberg, 2004; MacLeod *et al.*, 2008).

Hirzel *et al.* (2001) demostraron que independientemente de la calidad de los datos, ENFA se podía fortalecer en términos del tamaño de la muestra. Smith (2010) reconoce que la principal limitación de su estudio fue precisamente el bajo número de avistamientos, pero que para superar este problema utilizó los avistamientos oportunistas. Smith (2010) demostró que los avistamientos oportunistas pueden ser utilizados en la construcción de modelos para comprender las preferencias de hábitat y producir mapas de la distribución potencial. Lo anterior apoya la decisión de haber utilizado este tipo de avistamientos en nuestro estudio del capítulo dos.

Se puede concluir que la selección del mejor modelo depende de las características del grupo de datos que se utilizará así como de los objetivos del proceso de modelado (Valavanis *et al.* 2008). Así mismo los diferentes enfoques con frecuencia se pueden complementar entre sí para proporcionar una imagen más completa del hábitat y distribución de una especie en particular.

4.3 CONCLUSIONES GENERALES

Es la primera vez que se construye un modelo de predicción de hábitat del rorcual común en el GC y los modelos presentados aquí son los primeros en explorar a detalle la relación de la presencia del rorcual común con las características de su hábitat.

Este estudio es importante porque contribuye al conocimiento del uso del hábitat del rorcual común en el GC, y porque apoya la información que se ha obtenido de esta misma especie en otras partes del mundo.

Los modelos de sólo-presencia requieren de menos datos que los modelos de presencia-ausencia, ya que no se necesita tener datos de las rutas recorridas ni de las ausencias (quedando así menos afectados por las falsas ausencias) y de esta manera se puede sacar el máximo provecho de la información disponible.

El capítulo dos proporcionó predicciones significativas de hábitat de la distribución del rorcual común usando datos recolectados de manera oportunística. Esto sugiere que los modelos de sólo-presencia pueden ser usados además de los modelos de presencia-ausencia para producir mapas de predicción de la distribución potencial de las especies en relación con las variables ecogeográficas, siempre y cuando se tenga un grupo de datos independiente (recolectados de manera sistemática) con el que se pueda evaluar el funcionamiento del modelo producido.

El entendimiento de la presencia y distribución de los organismos en relación a las características de su hábitat es cada vez más importante en términos de la evaluación y modelado de la distribución y movimiento de las especies. Esta información es importante para evaluar y determinar las áreas clave que necesitan protegerse con la finalidad de mitigar el impacto antropogénico sobre los hábitats y organismos marinos (Smith, 2010).

Los modelos predictivos pueden proporcionar un método valioso para la identificación de dichas áreas para mamíferos marinos y centrar la investigación futura en resultados a corto plazo, lo que tendrá implicaciones importantes a largo plazo.

Como se mostró en estos estudios, si la presencia de una especie está relacionada con una combinación determinada de variables ecogeográficas identificables, podemos usar esta información para construir un modelo que nos permita producir mapas en los que se muestren las áreas donde es más probable que esté presente la especie y aquellas donde la probabilidad de que esté ausente sea mayor.

Aún cuando el modelado espacial está siendo cada vez más usado, es importante tener en cuenta que para modelar de una manera precisa la distribución de las especies en relación a las características de su hábitat, los datos usados para construir el modelo necesitan ser representativos del rango completo de todas las combinaciones de hábitat posibles (por ejemplo tener un muestreo adecuado que cubra el rango completo del ambiente disponible para las especies de estudio) (MacLeod, 2005; Smith, 2010). Si existieran grandes diferencias entre las posibles combinaciones de las características del hábitat y las que se muestrean, entonces cualquier modelo producido podría ser una falsa representación de la distribución real de la especie (MacLeod, 2005; Smith, 2010).

Emplear modelos de sólo-presencia puede ser una manera muy eficiente en términos económicos y de optimización de tiempo para tener una investigación como punto de partida, siendo esta una gran ventaja sobre todo cuando se quieren investigar patrones a grande escala, que de otra manera requerirían un gasto considerable para llevar a cabo el trabajo de campo. Así mismo pueden complementar estudios a pequeña escala y de esta manera permitir enfocar la investigación y los esfuerzos de manejo.

El modelo de predicción aquí creado también podría aplicarse en otras partes del mundo, para hacer comparaciones y evaluar si la relación de la distribución y presencia del rorcual común con las características del hábitat en otros sitios es similar a la encontrada para el rorcual común en el GC. De esta manera se incrementaría el conocimiento que se tiene sobre esta especie en una escala global, pudiendo actuar en consecuencia para realizar planes de manejo más efectivos para su conservación.

Si extrapoláramos los resultados obtenidos de un estudio realizado en una escala grande a una escala menor, las aproximaciones no serían tan exactas. Por lo tanto se recomienda iniciar con un estudio realizado en una escala de resolución fina la cual pueda ser extrapolada a escalas mayores.

Respecto a la decisión sobre qué tipos de modelos es mejor emplear, lo observado durante la realización y el desarrollo de estos dos estudios coincide con la afirmación realizada por MacLeod *et al.* (2008) y Valavanis *et al.* (2008) quienes concluyen que la selección del mejor modelo depende de las características del grupo de datos que se utilizará así como de los objetivos del proceso de modelado.

Así mismo los diferentes enfoques con frecuencia se pueden complementar entre sí para proporcionar una imagen más completa del hábitat y distribución de una especie en particular.

4.4 REFERENCIAS GENERALES

- Álvarez-Borrego, S. (1983). Gulf of California. 427-449. En: *Ketchum, B.H. Ecosystems of the world: Estuaries and enclosed seas*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. 500pp.
- Álvarez-Borrego, S. & Lara-Lara, J.R. (1991). The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. In: Dauphin, J.P. y B.R. Simoneit (Eds.). *The Gulf and peninsular province of the Gulf of California*. AAPG Memories. 47, 555-567.
- Badán-Dangón, A., C.J. Koblinsky & T. Baumgartner. (1985). Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta*. 8(1): 13-22.
- Baumgartner, M. F. (1997). The Distribution of Risso's dolphin (*Grampus griseus*) with respect to the physiography of the northern Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*. 13: 614-638.
- Bjorge, A. (2002). Chapter 2. How persistent are marine mammals habitats in an ocean of variability? Habitat use, home range and site fidelity in marine mammals. In: *Marine Mammals, Biology and conservation*. Edited by Peter G.H. Evans and Juan Antonio Raga.
- Brotans, L., Thuiller, W., Araujo, M. B. & Hirzel, A. H. (2004). Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography*. 27: 437- 448.
- Brown, C. W. & Winn, H. E. (1989). Relationship between the distribution of right whales, *Eubalaena glacialis*, and satellite-derived sea surface thermal structure in the Great South Channel. *Continental Shelf Research*. 9: 247-260.
- Castro, R., A. S. Mascareñas, R. Durazo, y Collins, C. A. (2000). Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*. 26(4):561-583.
- Croll, D. A., Tershy, B. R., Hewitt, R. P., Demer, D. A., Fiedler, P. C., Smith, S. E., Armstrong, W., Popp, J. M., Kiekhefer, T., Lopez, V. R., Urbán, J. y Gendron, D. (1998). An integrated

- approach to the foraging ecology of marine birds and mammals. *Deep-Sea research II*. 45: 1353-1371.
- Davis, R. W., Fargion, G. S., May, N., Leming, T. D., Baumgartner, M., Evans, E. W., Hansen, L. J. & Mullin, K. (1998). Physical habitat of cetaceans along the continental slope in the north-central and western Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*. 14: 490-507.
- Ferguson, M. & Barlow, J. (2001). Spatial distribution and density of cetaceans in the Eastern Tropical Pacific Ocean based on summer/fall research vessel surveys in 1986-96. *Administrative Report LJ-01-04*. Southwest Fisheries Science Center.
- Gregg, E. J. & Trites, A. W. (2001). Predictions of critical habitat for five whale species in the waters of coastal British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 1265–1285.
- Hirzel, A. H., Helfer, V. & Metral, F. (2001). Assessing habitat-suitability models with a virtual species. *Ecological Modelling*. 145: 111-121.
- Hunt G.L. & Schneider, D.C. (1987). Scale dependent processes in the physical and biological environment of seabirds. In *The Feeding Ecology of Seabirds and their Role in Marine Ecosystems*, Croxall JP (ed.). Cambridge University Press: Cambridge; 7–41.
- Jaume-Shinkel, M. S. (2004). Hábitos alimentarios del rorcual común *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California mediante el uso de isótopos estables de nitrógeno y carbono. *Tesis de Maestría*. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 64 pp.
- Lavín, M.F. & Marinone, S.G. (2003). An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. Pp. 173-204. In: Velasco Fuentes *et al.* (eds.). *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Laran, S. & Gannier, A. (2008). Spatial and temporal prediction of fin whale distribution in the northwestern Mediterranean Sea. – *ICES Journal of Marine Science*, 65: 1260–1269.
- MacLeod, C. D. (2005). Niche partitioning, distribution and competition in North Atlantic beaked whales. *PhD Thesis*. University of Aberdeen, Aberdeen, UK.
- MacLeod, C., Mandleberg, L., Schweder, C., Bannon, S. M. & Pierce, G. (2008). A comparison of approaches for modelling the occurrence of marine animals. *Hidrobiologia*. 612:21–32.
- Mandleberg, L. (2004). A comparison of the predictive abilities of four approaches for modelling the distribution of cetaceans. *Mres.Thesis*, University of Aberdeen, Scotland, U.K.
- Marubini, F., Gimona, A., Evans, P. G. H., Wright, P. J. & Pierce, G. J. (2009). Habitat preferences and interannual variability in occurrence of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* off northwest Scotland. *Marine Ecology Progress Series*. 381: 297–310.
- Monestiez, P., Dubroca, L., Bonnin, E., Durbec, J.-P. & Guinet, C. (2006). Geostatistical modelling of spatial distribution of *Balaenoptera physalus* in the Northwestern Mediterranean Sea from sparse count data and heterogeneous observation efforts. *Ecological Modelling* 193: 615–628.
- Parra, G. J. (2006). Resource partitioning in sympatric delphinids: Space use and habitat preferences of Australian snubfin and Indo-Pacific humpback dolphins. *Journal of Animal Ecology* 75:862-874.
- Payne, P. M., Nicols, J. R., O'Brien, L. & Powers, K. D. (1986). The distribution of the Humpback whale, *Megaptera noveangliae*, on Georges Bank and in the Gulf of Main in relation to densities of the Sand Eel, *Ammodytes americanus*. *Fishery Bulletin*. 82: 271-7.
- Praca, E. & Gannier, A. (2008). Ecological niches of three teuthophageous odontocetes in the northwestern Mediterranean Sea. *Ocean Sci.* 4, 49-59, doi:10.5194/os-4-49-2008.
- Redfern, J. V., Ferguson, M. C., Becker, E. A., Hyrenbach, K. D., Good, C., Barlow, J., Kaschner, K., Baumgartner, M. F., Forney, K. A., Ballance, L. T., Fauchald, P., Halpin, P., Hamazaki, T.,

- Pershing, A. J., Qian, S. S., Read, A., Reilly, S. B., Torres, L. & Werner, F. (2006). Techniques for cetacean–habitat modeling. *Marine Ecology Progress Series*. 310: 271–295.
- Reeves, R. R., Stewart, B. S., Clapham, P. J. & Powell, J. A. (2002). *Guide to Marine Mammals of the World*. National Audubon Society/Alfred A. Knopf, Inc., New York. 528pp.
- Rice, D. W. (1998). Marine Mammals of the World. Systematics and Distribution. *The Society for Marine Mammalogy*, Special Publication No. 4, Allen Press Inc, Lawrence, Kansas. 231pp.
- Roden, G.I. & Groves, G.W. (1959). Recent oceanographic observations in the Gulf of California. *J. Mar. Res.* 18;10-35.
- Roden, G.I. (1964). Oceanographic aspects of the Gulf of California. In: T.j.H. Van Andel & G.G. Shor (Eds.) *Marine geology of the Gulf of California: a symposium*. AAPG Memoir 3; 30-58.
- Salvadeo, C. J. (2008). Análisis de la comunidad de odontocetos y la relación con su ambiente, en el extremo suroccidental del Golfo de California, México (2003-2006). *Tesis de Maestría*. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 63 pp.
- Santamaría-del Ángel, E., Álvarez-Borrego, S. & Müller-Karger, F.E. (1994). Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color imagery. *Journal of Geophysical Research*. 99: 7411-7421.
- Smith, J. (2010). The Ecology of Cuvier ' s beaked whale , *Ziphius cavirostris* (Cetacea: Ziphiidae) , in the Bay of Biscay. *PhD Thesis*. National Oceanography Centre, Southampton.
- Torres, L. G., Read, A. J. & Halpin, P. (2008). Fine-scale habitat modeling of a top marine predator: do prey data improve predictive capacity? *Ecological Applications*. 18: 1702- 1717.
- Urbán R., J., Rojas-Bracho, L., Guerrero-Ruíz, M., Jaramillo-Legorreta, A. & Findley, L.T. (2005). *Cetacean diversity and conservation in the Gulf of California*. In: Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico. Pp 276-297. J. E. Cartron, G.Ceballos, and R.S. Felger (eds.). Oxford University Press, New York.
- Valavanis, V. D., Pierce, G. J., Zuur, A. F., Palialexis, A., Saveliev, A., Katara, I. & Wang, J. (2008). Modelling of essential fish habitat based on remote sensing, spatial analysis and GIS. *Hydrobiologia* 612: 5-20.
- Woodley, T. H. & Gaskin, D. E. (1996). Environmental characteristics of north Atlantic Right and Fin whale habitat in the lower Bay of Fundy. *Canadian journal of Zoology*. 74: 75-84.