



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

MODELADO DE LA PRESENCIA DE TURSIONES
(*Tursiops truncatus*) EN LA ENSENADA DE LA PAZ,
MÉXICO, A PARTIR DE MONITOREO ACÚSTICO
PASIVO.

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Biología Marina)

P r e s e n t a

Marco Friedrich Walter Gauger

La Paz, Baja California Sur, junio de 2021.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 18:30 horas del día 07 del mes de junio de 2021, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"MODELADO DE LA PRESENCIA DE TURSIONES (*Tursiops truncatus*) EN LA ENSENADA DE LA PAZ, MÉXICO, A PARTIR DE MONITOREO ACÚSTICO PASIVO."

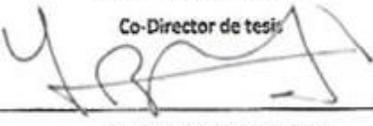
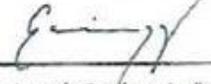
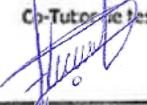
Presentada por el alumno:

Marco Friedrich Walter Gauger

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN Biología Marina

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

 _____ Dr. Javier Caraveo Patiño Co-Director de tesis	 _____ Dr. Eduardo Romero Vivas Co-Director de tesis
 _____ Dr. Eduardo F. Balart Páez Co-Tutor de tesis	 _____ Dr. Joaquín Gutiérrez Jagüey Co-Tutor de tesis
 _____ Dr. Myron A. Peck Co-Tutor de tesis	
 _____ Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro, Directora de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos	

La Paz, Baja California Sur, a 06 de junio de 2021.

Los miembros del comité de tesis del estudiante Marco Friedrich Walter Gauger del Programa de Doctorado en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el VoBo dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio:
iThenticate
- Filtros utilizados:
Citas excluidas
Bibliografía excluida
- Porcentajes de similitud:
9 % (Máximo permitido 20%)

US) EN LA		Citas excluidas	9%
		Bibliografía excluida	SIMILAR
Resumen de Coincidencias			
1	Internet 318 palabras Copiado el 07-Abr-2021 tesis.ipn.mx		1%
2	Internet 136 palabras Copiado el 13-Ene-2019 cibnor.repositorioinstitucional.mx		1%
3	Internet 127 palabras Copiado el 15-Sep-2011 www.uabcs.mx		1%
4	Internet 102 palabras Copiado el 22-Oct-2020 aprenderly.com		<1%
5	Internet 75 palabras Copiado el 17-Abr-2021 ieya.uv.cl		<1%
6	Internet 72 palabras Copiado el 16-Jun-2003 www.bakio.com		<1%
7	Internet 61 palabras Copiado el 14-Dic-2018 www.biblioteca.cicimar.ipn.mx		<1%

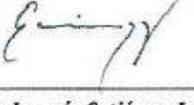
Firmas del comité


 Dr. Javier Caraveo Patiño
Co-Director de tesis


 Dr. Eduardo Romero Vivas
Co-Director de tesis


 Dr. Eduardo F. Balart Páez
Co-Tutor de tesis


 Dr. Myron A. Peck
Co-Tutor de tesis


 Dr. Joaquín Gutiérrez Jagüey
Co-Tutor de tesis



Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dr. Javier Caraveo Patiño
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.
Co-Director de Tesis

Dr. Eduardo Romero Vivas
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.
Co-Director de Tesis

Dr. Eduardo Francisco Balart Páez
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.
Co-Tutor de Tesis

Dr. Joaquín Gutiérrez Jagüey
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.
Co-Tutor de Tesis

PhD Myron A. Peck
Royal Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ)
Co-Tutor de Tesis

Comité Revisor de Tesis

Dr. Javier Caraveo Patiño
Dr. Eduardo Romero Vivas
Dr. Eduardo Francisco Balart Páez
Dr. Joaquín Gutiérrez Jagüey
PhD Myron A. Peck

Jurado de Examen

Dr. Javier Caraveo Patiño
Dr. Eduardo Romero Vivas
Dr. Eduardo Francisco Balart Páez
Dr. Joaquín Gutiérrez Jagüey
PhD Myron A. Peck

Suplentes

Dr. Fausto Valenzuela Quiñonez
Dr. Fernando Von Borstel Luna

Resumen

El tursión o tonina (*Tursiops truncatus*) es una especie ampliamente distribuida en aguas templadas y tropicales alrededor del mundo. Un depredador tope dentro de la Ensenada de La Paz, laguna costera dentro de la Bahía de La Paz, Golfo de California, México. Actualmente esta especie es catalogada a nivel internacional como centinela de la salud de los océanos, lo que ha incrementado el interés por saber cuáles variables ambientales describen mejor su presencia en las áreas costeras. Por ello se estudió su presencia en diferentes condiciones climáticas y oceanográficas (cíclicas) como posibles efectos directos o indirectos mediante modelos ecológicos y monitoreo acústico pasivo. Mediante salidas al mar (enero a noviembre 2017), se comprobó que los tursiones seguían frecuentando las partes interiores de la laguna, en tanto que se implementó un monitoreo acústico pasivo en el canal (junio 2017 a mayo 2019, 21 despliegues, 640 h), para obtener información diurna y nocturna de alta resolución temporal. La presencia de los tursiones fue definida por la detección de sus silbidos y caracterizada en Encuentros (intervalos irregulares) y Actividad acústica (dp10min/h intervalos regulares). Los delfines fueron detectados en la Ensenada de La Paz durante 21 de 21 despliegues en todas las estaciones del año. Sin embargo, su presencia fluctuaba estacionalmente bajo diferentes patrones cíclicos (Fase Lunar, Marea y Hora). La categorización de las variables en componentes directas e indirectas facilitó distinguir que las últimas tenían una mayor influencia en el Modelo Aditivo Generalizado (GAM) global (desviación explicada: 22.6 vs. 45.2 % respectivamente). Las interacciones entre variables directas e indirectas en los GAMs agrupados demostraron relaciones significativas entre las condiciones ambientales y el uso diurno (Hora del día) de la laguna. El empleo de modelos heurísticos usando Redes Neuronales Artificiales (ANN) complementó tal información. Ambos modelos demuestran que la dinámica de los tursiones, es un atributo clave de los ecosistemas, debido a su flexibilidad y sensibilidad para reaccionar a cambios ambientales de diferentes escalas temporales y espaciales. Por ello este estudio ratifica la importancia de los tursiones como centinelas de los cambios ambientales en los ecosistemas marinos.

Palabras claves: Bioacústica, silbidos, patrón diurno nocturno, modelos ecológicos, laguna costera

ORCID: 0000-0003-1823-7973

Vo.Bo.



Dr. Javier Caraveo Patiño
Co-Director de Tesis



Dr. Eduardo Romero Vivas
Co-Director de Tesis

Summary

The bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) is a worldwide species distributed in temperate and tropical waters. It is a top predator found in the Ensenada de La Paz, a lagoon within the Bahía de La Paz, Gulf of California, Mexico. Currently this species is internationally considered as a sentinel of the health of the oceans, and as such, there is a growing interest in knowing which environmental variables best describe its presence in coastal areas. In this work, its presence under cyclic environmental and oceanographic (cyclical) conditions was studied using ecological models that relate their presence, assessed through passive acoustic monitoring, and variables directly related to the species and indirect related through their preys. Their presence in the inner parts of the lagoon was confirmed through visual campaigns from January to November 2017. Day and night passive acoustic monitoring provided higher temporal resolution through 21 deployments (640 hr recordings) from June 2017 to May 2019. Whistles, as an acoustic proxy for dolphin presence, were represented by Encounters (irregular intervals) and by Acoustic Activity (regular intervals, dp10min/h). Whistles were present in all 21 deployments through all the year, although fluctuating due to seasonal and cyclic patterns (moon phase, tides, and hour). Indirect variables had a higher influence (45.2% explained deviation) than direct variables (22.6%) in the global Generalized Additive Model (GAM), highlighting the benefits of this approach. Interactions among both types of variables in the grouped GAMs related environmental conditions and daytime use of the lagoon (variable Hour), information that was complemented through heuristic models based on Artificial Neural Networks. Bottlenose dolphin dynamics is a key attribute of ecosystems due to its sensitivity to environmental changes at spatial and temporal scales, as shown by both models. Consequently, this study confirms the importance of this species as sentinels of environmental change in marine ecosystems.

Key words: Bioacoustics, whistles, diel pattern, ecological model, costal lagoon

ORCID: 0000-0003-1823-7973

Vo.Bo.

Dr. Javier Caraveo Patiño
Co-Director de Tesis

Dr. Eduardo Romero Vivas
Co-Director de Tesis

Dedicatoria

Para mis GeKos y el amor de mi vida. Gracias por su paciencia y apoyo.

Alles ist aus dem Wasser entsprungen!

Alles durch das Wasser erhalten!

Ozean schenk uns dein ewiges Walten!

Johann Wolfgang von Gothe (Faust II)

Agradecimientos

Este estudio fue realizado gracias a la beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT; número: 616366) y con el apoyo de Posgrado mediante la beca de extensión del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Agradezco a estas dos instituciones y en especial a la Dra. Gracia Alicia Gomez Anduro y al personal de Posgrado por el apoyo durante este Doctorado.

A mis Co-Directores de Tesis el Dr. Javier Caraveo Patiño y Dr. Eduardo Romero Vivas por orientarme y apoyarme durante este proyecto. A mis Co-Tutores de Tesis el Dr. Eduardo Francisco Balart Páez, Dr. Joaquín Gutiérrez Jagüey, Dr. Myron A. Peck por el apoyo técnico, teórico, y en especial su tiempo, muchas gracias.

Agradezco al Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón quien prestó dos kayaks para este trabajo. Agradezco al equipo técnico del CIBNOR, en especial a Claudia Jeannette Pérez Estrada y a la Dra. Noemi Bocanegra Castillo por el apoyo en el Laboratorio.

A la Dr. Susanne Still por su orientación y apoyo en redes neuronales durante mi estancia en la University of Hawaii at Manoa.

A mis compañeros de Posgrado y amigos en todo el mundo para su apoyo emocional, muchas gracias.

Agradezco también a mis Padres y Suegros que me ayudaron a finalizar este proyecto.

Contenido

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	v
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	xi
Abreviaturas	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	8
3. JUSTIFICACIÓN	10
4. HIPÓTESIS	12
5. OBJETIVOS	13
5.1. Objetivo general	13
5.2. Objeyivos particluares.....	13
6. MATERIALES Y MÉTODOS	14
6.1. Área de estudio	14
6.2. Avistamientos de tursiones en la Ensenada de La Paz.....	15
6.3. Monitoreo acústico en la Ensenada de La Paz.....	16
6.4. Préprocesamiento de datos acústicos	17
6.5. Presencia de tursiones	17
6.6. Variables.....	18
6.6.1. Variables indirectas	19
6.6.2. Variables directas	23
6.6.3. Variables técnicas	24
6.7. Análisis estadístico	24
6.7.1. Presencia continua de tursiones en la Ensenada de La Paz	25
6.7.2. Patrones rítmicos.....	27
6.7.3. Modelos ecológicos de tursiones en la Ensenada de La Paz	28
6.7.3.1. Modelos additivos generalizados	29
6.7.3.2. Redes neuronales artificiales	30
7. RESULTADOS	32
7.1. Presencia continua de tursiones en la Ensenada de La Paz.....	32

7.1.1.	Avistamientos oportunistas de tursiones en la Ensenada de La Paz	32
7.1.2.	Patrones de la Actividad Acústica y de los Encuentros	34
7.2.	Patrones rítmicos	43
7.2.1.	Modelos ecológicos de la presencia de tursiones en la Ensenada de La Paz.....	46
7.2.2.	Interacciones entre las variaciones estacionales y patrones rítmicos	49
7.2.3.	Modelos heurísticos de la presencia y no detección de tursiones en la Ensenada de La Paz.....	51
8.	DISCUSIÓN	60
8.1.	Presencia continua de los tursiones en la Ensenada de La Paz	60
8.1.1.	Avistamientos de los tursiones en la Ensenada de La Paz	60
8.1.2.	Patrones acústicos	61
8.2.	Patrones rítmicos	63
8.3.	Modelos ecológicos de la presencia y no detección de tursiones en la Ensenada de La Paz.....	64
8.4.	Estimación de la Actividad Acústica y Presencia de los turisones mediante monitoreo acústico.....	66
9.	CONCLUSIONES	73
10.	LITERATURA CITADA	74
11.	ANEXOS	93
A:	Descripción detallada de los modelos estadísticos	93
B:	La selección en adelante del GLME con base en la suma de los Encuentros: formula del modelo, el número de parámetros, $\delta AICc$ diferencia con el modelo seleccionado (*), número de coeficientes, AICcwt.	97
C:	La selección en adelante del GLME en base de la suna dp10min: formula del modelo, el número de parámetros, $\delta AICc$ diferencia con el modelo seleccionado (*), número de coeficientes, ponderaciones del AICc.	97
D:	Selección del GAM global siguiendo la selección en adelante.	98
E:	Los coeficientes del modelo l un GAM agrupado con coeficientes de penalización compartido para la variable Hora por grupo de despliegues.	99
F:	Los coeficientes del modelo l un GAM agrupado con coeficientes de penalización individuales para la variable Hora por grupo de despliegues.	99
G:	Ejemplos de silbidos grabados con el Registrador Acústico usando diferentes grabadoras (formato '.wav' 44.1 kHz a 16 bit) con Adobe Audition 3.0 (Hanning window, window width 100 %, según Azevedo et al., 2007).	100
H:	Visualización del ruido emitido de motores de una embarcación (formato '.wav' 44.1 kHz a 16 bit, 1 min 20 s) con Adobe Audition 3.0 (Hanning window, window width 100 %).	101
I:	Temperatura superficial del mar durante salidas a La Ensenada de La Paz.	101

J: Artículo aceptado - Passive acoustic monitoring of the bottlenose dolphin <i>Tursiops truncatus</i> to determine continuous presence in Ensenada de La Paz, Mexico.....	102
K: Artículo sometido - Diel influences on bottlenose dolphin acoustic detection in a coastal lagoon in the southwestern Gulf of California	115

Lista de figuras

Figura 1: Un tursión o tonina (<i>Tursiops truncatus</i>) entrando a la Ensenada de La Paz.....	4
Figura 2: Distribución de tursiones de acuerdo con los registros de Ocean Biodiversity Information System (OBIS), Fuente: (https://obis.org/ ; librería “robis” versión 2.3.9; en el programa R), Datum: WGS 1984, proyección: latlong.....	5
Figura 3: Ubicación del área en el estado Baja California Sur, México (A), batimetría aproximada de la Ensenada de La Paz (B). Fuente: Foto del satélite Landsat 8 tomado el 15.08.2018; Límites de tierra y poblado digitales del CONAGUA; Datum: WGS 1984, zona UTM: 12 N, proyección: EPSG 32612.	14
Figura 4: Área del estudio visual (avistamientos) y acústico (PAM) de tursiones en La Ensenada de la Paz y el sureste de la Bahía de La Paz. Fuente: Límites de tierra y poblado digitales del CONAGUA; Datum: WGS 1984, zona UTM: 12 N, proyección: EPSG 32612. (PAM monitoreo acústico pasivo).....	15
Figura 5: Registrador Acústico usado en este estudio.....	16
Figura 6: Agrupamiento de los silbidos en los Encuentros y Actividad Acústica (dp10m/h) en relación con el tiempo (10 min) entre silbidos.	18
Figura 7: Estimaciones de clorofila mediante el satélite MODIS en dos polígonos ELAP y BLAP procesado mediante la librería “raster” del programa R. Fuente: ERDDAP (Simons, 2011) 04.01.2017, Límites de tierra y poblado digitales del CONAGUA; Datum: WGS 1984, zona UTM: 12 N, proyección: EPSG 32612.	21
Figura 8: Diagrama de flujo con el árbol de decisión para la estadística descriptiva.....	25
Figura 9: Trayectorias de las salidas al campo realizadas entre el 31 de enero y el 30 de noviembre del 2017 (A), y los avistamientos de tursiones (B). Fuente: Límites de tierra y poblado digitales del CONAGUA; Datum: WGS 1984, zona UTM: 12 N, proyección: EPSG 32612.	32
Figura 10: El esfuerzo de las salidas (A), localización de los avistamientos (B), y las fechas de los avistamientos de los tursiones durante las prospecciones en la Ensenada de la Paz entre junio y noviembre 2017 (C). Fuente: Límites de tierra digitales del CONAGUA; Datum: WGS 1984, zona UTM: 12 N, proyección: EPSG 32612.	34
Figura 11: Ubicación de las seis posiciones donde los Registradores Acústicos fueron desplegados incluyendo el número (N) de despliegues analizados en la Ensenada de La Paz. Fuente: Foto del satélite Landsat 8 tomado el 15.08.2018; Límites de tierra y poblado digitales del CONAGUA; Datum: WGS 1984, zona UTM: 12 N, proyección: EPSG 32612.....	35
Figura 12: Diagrama de caja y bigote de la Actividad Acústica (dp10min/h) agrupado por los despliegues con prueba de Dunn (significado: negro: $p < 0.05$; gris: $p < 0.01$) y temperatura superficial del mar (círculos vacíos).	37
Figura 13: Diagrama de caja y bigote de los Encuentros por hora agrupados por los despliegues con prueba de Dunn (significado: negro: $p < 0.05$; gris: $p < 0.01$) y temperatura superficial del mar (círculos vacíos).....	37
Figura 14: Agrupamiento jerárquico mediante componentes principales de los 21 despliegues en tres grupos (A: dendrograma de los grupos, B: PCA de los grupos y C: diagrama de con bigote con prueba de Dunn).....	38
Figura 15: Dendrograma jerárquico de 21 despliegues y mapa de calor con variables ambientales usado en el análisis HCPC y la Actividad Acústica. Los valores fueron normalizados para una mejor diferenciación visual de los grupos.	39
Figura 16: Prueba de signos para comparar la presencia de tursiones en la Ensenada de La Paz	

durante el día y la noche con base en el promedio del estimador M de Encuentros por hora (A) y de Actividad Acústica (dp10min/h ; B).....	41
Figura 17: Estimación de Encuentros considerando el Esfuerzo (A), la SST (C) y Día/Noche mediante un modelo generalizado de efectos mixtos (C).....	42
Figura 18: Coeficientes del modelo generalizado de efectos mixtos con base en los Encuentros.	42
Figura 19: Estimación de la Actividad Acústica (sumatoria) considerando el Esfuerzo (A) y la SST mediante un modelo generalizado de efectos mixtos (B).....	43
Figura 20: Coeficientes del modelo generalizado de efectos mixtos de la Actividad Acústica (sumatoria).....	43
Figura 21: Mapa CircSizer de la Actividad Acústica por Hora (A) y Fase Lunar (C), y de los Encuentros por Hora (B) y Fase Lunar (D; LN: luna nueva; LC: luna creciente; LL: luna llena y LM: luna menguante; azul: detecciones aumentan significativamente; rojo: detecciones disminuyen significativamente; morado: sin cambios significativos; gris: insuficientes datos).	44
Figura 22: Mapa CircSizer de las detecciones de torsiones por grupo que desviaron significativamente de la uniformidad - Actividad Acústica en may-jul (A) y oct-mar (B), y los Encuentros en may-jul (C; azul: detecciones aumentan significativamente; rojo: detecciones disminuyen significativamente; morado: sin cambios significativos; gris: insuficientes datos)....	45
Figura 23: Prueba de múltiple colinealidad mediante correlaciones de Spearman significativas de las variables explicativas probadas en los GAMs.	47
Figura 24: Modelos de las detecciones acústicas de torsiones en la Ensenada de La Paz mediante un GAM global, modelo S y modelo I (LN: luna nueva, LC: luna creciente, LL: luna llena, LM: luna menguante).	48
Figura 25: Diferencias en la Actividad Acústica en el transcurso del día por GAM agrupado.....	51
Figura 26: Parametrización de la ANN ejecutando 410 combinaciones de la tasa de atenuación y el tamaño de la capa oculta.	52
Figura 27: Precisión de ANN ejecutando combinaciones de la tasa de atenuación entre 0.04 y 0.20 y un tamaño de la capa oculta entre 3 y 20 nodos.	53
Figura 28: Arquitectura de la ANN con 11 variables explicativas, 16 nodos en la capa oculta, una tasa de atenuación de 0.12 y una función de activación logarítmica en la capa de salida.	53
Figura 29: Importancia de las variables mediante valores absolutos de las ponderaciones (A) y mediante el análisis de las características (B, loss ce: función de pérdida de entropía cruzada).	54
Figura 30: Efecto de las variables en la predicción de los Encuentros (las no detecciones no fueron representados) de SST (A), Profundidad (B), Boca (C) y Día/noche (D), mediante efectos acumulados locales (ALE), parcelas de la dependencia parcial (PDP) y expectativas condicionales individuales (ICE).	56
Figura 31: Efecto de las variables rítmicas en la predicción de los Encuentros (las no detecciones no fueron representadas) del efecto de la Fase Lunar (A), el seno y coseno de la Hora (B), la Marea, y el Cambio de la Marea (C), mediante efectos acumulados locales (ALE) y las parcelas de la dependencia parcial (PDP). (LN: luna nueva, LC: luna creciente, LL: luna llena, LM: luna menguante, las ICE no se pueden estimar para dos variables)	57
Figura 32: Nivel de interacciones entre las variables de la ANN final.	58
Figura 33: Interacciones de la variable L_{sin} (A), SST (B) y H_{sin} (C) con las otras variables.....	58
Figura 34: Presencia normalizada de los torsiones estudiados en la Ensenada de La Paz y áreas adyacentes por métodos visuales (A & B) y acústicos (C); A: Bahía de La Paz (2000/01, Salinas Zacarías, 2005: ind./km; 2007/08, Pardo et al., 2013: ind./km ²); B: Ensenada de La Paz (2005/06,	

Marcín-Medina, 2010: ind./km); C: Actividad Acústica (2017/19, dp10min/h) durante el estudio presente.61

Lista de tablas

Tabla 1: Variables indirectas consideradas en el estudio de los tursiones en la Ensenada de La Paz.	22
Tabla 2: Variables directas consideradas en el estudio de los tursiones en la Ensenada de La Paz.....	23
Tabla 3: Variables técnicas consideradas en el estudio de los tursiones en la Ensenada de La Paz	24
Tabla 4: Total de salidas al campo entre el 31 de enero y el 30 de noviembre del 2017 (fecha, tipo de salida, esfuerzo en km, inicio y fin en UTC de la trayectoria, número de grupos de tursiones avistados, número mínimo y máximo de tursiones, y mantenimiento de equipo).....	33
Tabla 5: Información de los 21 despliegues (i.e. estación, día inicial y esfuerzo). Las detecciones de silbidos fueron agrupadas por Encuentros, y sumatoria de detecciones positivas en intervalos de 10-minutos (dp10min).	36
Tabla 6: Los coeficientes del GAM global.	46
Tabla 7: Modelos generalizados aditivos de la Actividad Acústica de los tursiones en la Ensenada de La Paz agrupados por Hora, SST, Fase Lunar, y Marea y Cambio de la Marea.	50

Abreviaturas

AIC	Akaike Information Criteria (es: Criterio de información de Akaike)
AICc	AIC para pocos datos
AIC _{wt}	AIC weight (es: ponderaciones del AIC)
ALE	Accumulated Local Effects (es: efectos acumulados locales)
ANN	Artificial neural networks (es: redes neuronales artificiales)
ANOVA	Analysis of Variance (es: análisis de varianza)
EMM	Estimated marginal mean (es: media marginal estimada)
GAM	Generalized additive model (es: modelo aditivo generalizado)
GLM	Generalized linear model (es: modelo lineal generalizado)
GLME	Generalized linear mixed effect model (es: modelos lineales generalizados mixtos)
HCPC	Hierarchical Clustering by Principal Components (es: Agrupamiento jerárquico mediante componentes principales)
ICE	Individual Conditional Expectation (es: expectativas condicionales individuales)
lime	local Interpretable model-agnostic explanations (es: explicaciones locales interpretables agnósticas del modelo)
MAXENT	Maximum Entropy (es: modelos de máxima entropía)
PDP	Partial Dependency Plots (es: arcelas de la dependencia parcial)
RME	Root mean error (es: error medio cuadrático)
UTC	Universal Time Code (es: hora universal)

1. INTRODUCCIÓN

Entender los mecanismos que influyen en la productividad de los ecosistemas marinos es difícil por sus grandes dimensiones, su restringida accesibilidad y las limitaciones del muestreo cuantitativo (Buckland *et al.*, 2001; Yang, 2005; Scales *et al.*, 2014; Mcowen *et al.*, 2015). Actualmente hay marcos teóricos que demuestran la utilidad de ciertas especies en los ecosistemas que sirven como indicadores del bienestar (Zacharias y Roff, 2001; Heink y Kowarik, 2010), como por ejemplo las aves (e.g. Wanless *et al.*, 2007; Frederiksen *et al.*, 2011; Engelhard *et al.*, 2014), y los mamíferos marinos (e.g. Kakuschke y Prange, 2007; MacLeod *et al.*, 2007; Bossart, 2011). Actualmente algunas especies de mamíferos marinos son considerados centinelas de la salud de los ecosistemas marinos por su particular historia de vida (Moore, 2008; Bossart, 2011); porque tienen una larga esperanza de vida (Moore, 2008), una residencia prolongada en las áreas costeras (Verborgh *et al.*, 2009; Calambokidis *et al.*, 2010; Matkin *et al.*, 2014), una posición clave en la redes alimentarias, y amplios depósitos de grasa donde se acumulan diferentes elementos como: metales pesados, productos químicos y toxinas generadas por actividades antropogénicas (e.g. Das *et al.*, 2003; Wells *et al.*, 2004; Kakuschke y Prange, 2007). En particular los odontocetos requieren una alimentación diaria rica en energía (p. ejemplo 5.0 - 32 kg de peces por día equivalente a 3.0 – 6.5 % de peso individual) (e.g. Barros, 1990; Santos *et al.*, 2001; Kastelein *et al.*, 2002; Spitz *et al.*, 2012) y dentro de los odontocetos en particular los delfines seleccionan su alimento en función de sus altos requerimientos energéticos diarios (Spitz *et al.*, 2012; McCluskey *et al.*, 2016).

Se ha demostrado que diferentes especies de depredadores silvestres tienden a seleccionar sus presas en función de sus cualidades nutricionales, por ejemplo contenidos proteicos y lipídicos (Machovsky-Capuska *et al.*, 2016); además por su contenido de ciertos contenidos de ácidos grasos. En particular, para los mamíferos marinos una alimentación enriquecida en ácidos grasos omega-6, nutrientes esenciales para el mantenimiento continuo de los tejidos activos, y durante la reproducción para el desarrollo del sistema nervioso central (Caraveo-Patiño *et al.*, 2009). Esto puede explicar la aglomeración de los cetáceos en general y de los odontocetos en específico en las zonas costeras, o bien las migraciones ocasionales, frecuentes o estacionales entre las zonas oceánicas y/o polares, y las áreas costeras (sub-)tropicales; dinámicas que

podrían estar ligadas tanto a satisfacer una demanda energética (Spitz *et al.*, 2006; Kiszka *et al.*, 2015), o bien la demanda continua de ácidos grasos omega-6 (Caraveo-Patiño *et al.*, 2009).

La presencia y la distribución de los odontocetos en las zonas costeras de alimentación son efecto también de cambios en las diferentes condiciones físicas del ambiente marino como la profundidad, la distancia a la costa (Marini *et al.*, 2015); está influida por la presencia de estructuras antropogénicas (Castellote *et al.*, 2015; Carlucci *et al.*, 2016), condiciones físicas dinámicas relacionadas a la temperatura (e.g. Salvadeo *et al.*, 2009; Fury y Harrison, 2011; Pardo *et al.*, 2013), la marea (e.g. Bailey *et al.*, 2013; de Boer *et al.*, 2014; Fernandez-Betelu *et al.*, 2019; Zein *et al.*, 2019), la fase lunar (e.g. Benoit-Bird *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2015; Simonis *et al.*, 2017), y la hora del día (e.g. Benoit-Bird y Au, 2003; Carlström, 2005; Richard *et al.*, 2017).

La repetición previsible de los patrones cíclicos de las condiciones abióticas del ambiente en las áreas costeras ocasiona la agregación de recursos alimenticios (i.e. disponibilidad) tanto para peces e invertebrados como para sus depredadores, que ocurren rítmicamente (Gibson, 2003); lo cual también influyen en la accesibilidad de las presas para los depredadores, porque cambios de la marea y de la corriente facilitan el forrajeo en áreas someras (Rypel *et al.*, 2007; Hammerschlag *et al.*, 2010), lo cual se ha demostrado que ocurre en particular para los tursiones (e.g. Leatherwood, 1975; Silber y Fertl, 1995; Lewis y Schroeder, 2003; Engleby y Powell, 2019).

Los cetáceos pueden reaccionar rápido a los flujos energéticos que fluyen en las redes alimentarias que usan, desde la línea base (i.e. productividad primaria) hasta los depredadores (e.g. Ainley *et al.*, 2006; MacLeod *et al.*, 2007; Ford *et al.*, 2010). Por lo cual las interacciones entre los patrones estacionales y cíclicos pueden alterar su presencia espaciotemporal y afectar directa o indirectamente dependiendo como fluyen los diferentes elementos nutricionales a través de la red alimentaria; tal como sucede en peces (Zárate-Hernández *et al.*, 2012; McCluskey *et al.*, 2016), o como se ha reportado también en tursiones (Fernandez-Betelu *et al.*, 2019) y marsopas (Zein *et al.*, 2019). Lo cual sugiere clasificar esta información en variables directas e indirectas en la modelación ecológica, como se recomienda en la conceptualización de los mismos (Guisan y Zimmermann, 2000; Guisan *et al.*, 2002).

La influencia de las mismas variables físicas rítmicas en presas y depredadores (i.e. tursiones) representa una *relación sincrónica depredador-presa*. Por lo tanto, es relevante considerar también otras variables que pueden influir la presencia de los odontocetos y la disponibilidad o la accesibilidad de sus presas con mayor o menor precisión. Otras posibles variables son variables abióticas explicativas como la temperatura superficial del mar, la profundidad y/o la distancia a la costa, la entrada a un estuario, o las estructuras antropogénicas posibles variables que influyen principalmente a los delfines (e.g. Salvadeo *et al.*, 2009; Marini *et al.*, 2015; Carlucci *et al.*, 2016).

La productividad primaria (Chl-a) o la disponibilidad del material orgánico (distancia de manglares) son posibles variables indirectas. Los delfines como todos los cetáceos se adaptaron a una vida completamente acuática que afectó todo su cuerpo, incluso el uso de sonidos para la ecolocalización durante el forrajeo y la orientación en agua turbia y durante la noche (Nummela *et al.*, 2004; Yovel y Au, 2010; Berta *et al.*, 2014) y usan diferentes tipos de sonidos para la comunicación (Janik y Sayigh, 2013; Berta *et al.*, 2014; Churchill *et al.*, 2016). Otra de sus adaptaciones a la vida acuática fue el desarrollo del descanso parcial, durante cual un hemisferio del cerebro es inactivo por periodos relativamente cortos (0.6 – 20 min), mientras que el otro hemisferio controla la respiración (Sekiguchi y Kohshima, 2003; Lyamin *et al.*, 2008; Wright *et al.*, 2017). En consecuencia, los cetáceos no dependen de un ritmo circadiano como sus ancestros terrestres; la actividad continua durante el día y la noche sustentan esta adaptación de los cetáceos, como se ha demostrado que ocurre en diferentes especies (e.g. Carlström, 2005; Baumann-Pickering *et al.*, 2015; Castellote *et al.*, 2015; Deconto y Monteiro-Filho, 2016). Sin embargo, se necesita para el estudio de las variaciones rítmicas de la presencia de cualquier cetáceo una metodología de muestreo como la acústica. La cual, a diferencia de los censos visuales, puede registrar su presencia continuamente; y ha permitido estudiar en diferentes especies de cetáceos las diferencias de su actividad durante el día, la noche y el crepúsculo (e.g. Carlström, 2005; Stafford *et al.*, 2005; Baumann-Pickering *et al.*, 2015; Castellote *et al.*, 2015). Se puede identificar actividades de forrajeo y orientación (por ejemplo clics) (e.g. Benoit-Bird y Au, 2003; Kyhn *et al.*, 2012; Au *et al.*, 2013; Hodge *et al.*, 2013) o comunicación (por ejemplo silbidos) para la identificación de individuos y la cohesión de grupos (Janik *et al.*, 2013; Luís *et al.*, 2016).

El tursión o tonina (*Tursiops truncatus*, Fig.1) (Montagu, 1821) es una especie cosmopolita ideal para estudiar procesos ecosistémicos costeros a nivel mundial (Fig.2), son parte de los ecosistemas costeros y oceánicos (Culik, 2012); su distribución a esta escala se explica aparentemente por la temperatura, una variable directa, e indirectamente por la distribución de sus presas (Wells y Scott, 2002). Su captura y domesticación le han convertido, entre los cetáceos, la especie más estudiada (Hill y Lackups, 2010; Hammond *et al.*, 2012; Janik y Sayigh, 2013). Su historia de vida la hacen sensible a los cambios ambientales y los efectos antropogénicos (Bossart, 2011; Todd *et al.*, 2015; Altherr y Hodgins, 2018); por lo que se le ha denominado “centinela ambiental” a nivel mundial (Wells *et al.*, 2004; Bossart, 2011); debido a ello es crucial considerar su monitoreo en los estudios del impacto ambiental (EIA) (BSH, 2013), de áreas protegidas de los ecosistemas costeros y ribereños (e.g. Hoyt, 2012; Castellote *et al.*, 2015).



Figura 1: Un tursión o tonina (*Tursiops truncatus*) entrando a la Ensenada de La Paz.

Esta especie frecuenta las zonas costeras para forrajear (e.g. Acevedo, 1991; Barros y Wells, 1998; Marcín-Medina, 2010; Melo *et al.*, 2010; Rossman, Berens McCabe, *et al.*, 2015), socializar

(Marcín-Medina, 2010; Luís *et al.*, 2016) y criar (Marcín-Medina, 2010; Rossman, Ostrom, *et al.*, 2015; Sprogis *et al.*, 2016). Pero su presencia en estos hábitats depende posiblemente de la disponibilidad de alimentos con suficiente carga energética (Kastelein *et al.*, 2002; McCluskey *et al.*, 2016) y sus contenidos elevados de ácidos graso omega-6 (Williams *et al.*, 1987).

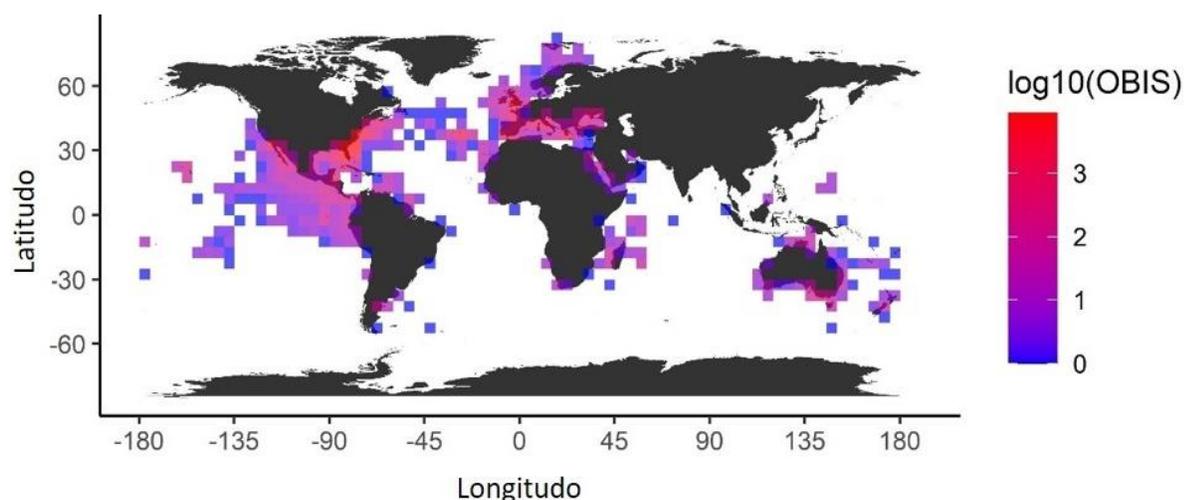


Figura 2: Distribución de tursiones de acuerdo con los registros de Ocean Biodiversity Information System (OBIS), Fuente: (<https://obis.org/>; librería “robis” versión 2.3.9; en el programa R), Datum: WGS 1984, proyección: latlong.

Se ha demostrado que la disponibilidad espaciotemporal de las posibles presas afecta la presencia continua de los tursiones en las áreas costeras (Fury, 2009; Marcín-Medina, 2010; McCabe *et al.*, 2010; O’Brien *et al.*, 2010); sin embargo, también afectan la presencia de poblaciones que no son residentes y que usan estas áreas de forma estacional (Salinas Zacarías, 2005; Louis *et al.*, 2014; Taylor *et al.*, 2016).

Los estuarios y lagunas costeras son importantes hábitats para las hembras, porque representan zonas protegidas que sirven como áreas de crianza (Kastelein *et al.*, 2002; Valadez-Suárez, 2002; Rossman, Berens McCabe, *et al.*, 2015; Sprogis *et al.*, 2016). Algunos estudios describen también la importancia para la alimentación de hembras resaltando las diferencias entre hembras, machos y sub-adultos (Blanco *et al.*, 2001; Pate y McFee, 2012; Hernandez-Milian *et al.*, 2015; Rossman, Berens McCabe, *et al.*, 2015; Rossman, Ostrom, *et al.*, 2015; Secchi *et al.*, 2017).

Para facilitar la modelación del fenómeno ecológico “la presencia de tursiones dentro de un ecosistema lagunar”, su medición debería reflejar la realidad de la manera más veraz posible, así

como también la relacionada a los factores biológicos y abióticos involucrados en la dinámica del fenómeno. En este contexto, es necesario poder muestrear cuantitativamente la población de tursiones de cualquier laguna, desde un sitio representativo, como las entradas, para inferir su presencia. Con el fin de poder diferenciar la relevancia de las variables que están más o menos involucradas tanto con la presencia como de la ausencia de los tursiones. Debido a que los modelos ecológicos basados únicamente en la presencia pueden tener sesgos espaciales y de detección (MacLeod *et al.*, 2008; Phillips *et al.*, 2009; Virgili *et al.*, 2017), se requiere un muestreo cuantitativo que sirva para diferenciar los dos posibles escenarios ecológicos del fenómeno, presencia y ausencia (i.e. no-detección). Igualmente es relevante incluir en la medición del fenómeno datos nocturnos.

Por lo anterior, es recomendable medir el fenómeno con métodos visuales y acústicos, con el fin de poder comparar ambas estrategias metodológicas. Sin embargo, tanto los avistamientos como los datos acústicos son generalmente considerados conteos, lo que significa que su análisis y su modelación requieren métodos de análisis que pueden tratar datos anómalos, relaciones no lineales entre las variables, efectos aleatorios, datos direccionales, etc. (Zuur *et al.*, 2009, 2010; O'Hara y Kotze, 2010; Landler *et al.*, 2018; Pedersen *et al.*, 2019).

El avance tecnológico de los dispositivos acústicos para el estudio de los odontocetos (se han revisado en diferentes estudios (e.g. Mellinger *et al.*, 2007; Sousa-Lima *et al.*, 2013)), y la disponibilidad de computadores rápidas para ejecutar modelos predictivos versátiles permiten modelar el fenómeno de una manera simple, y posibilita visualizar y predecir la presencia de los tursiones con mayor precisión espacial y temporal en un hábitat costero determinado.

Es importante considerar que la oceanografía física de cualquier laguna costera puede presentar dinámicas físicas y químicas muy diversas. Por ejemplo, el cambio de la marea puede causar flujos y reflujos dinámicos, que a su vez puede ocasionar cambios en las condiciones fisicoquímicas de la columna de agua cada seis a doce horas dependiendo del ciclo de marea. Se puede medir estas condiciones continuamente mediante el uso de equipos CTD (una herramienta para medir corriente, temperatura y densidad en diferentes profundidades); idealmente se requerían varios equipos en diferentes localidades del área de estudio y con una frecuencia de muestreo adecuada. Sin embargo, estos equipos son muy costosos y el riesgo de perderlos es muy alto. Como alternativa se puede usar datos modelados como información del

ciclo de la marea y datos de percepción remota (Salvadeo *et al.*, 2009; Becker *et al.*, 2010). Cabe mencionar que la mayoría de los sensores satelitales que miden diariamente las condiciones oceanográficas y que ofrecen datos de libre acceso son calibrados para cuerpos de agua profundas y a gran escala (Olsen *et al.*, 2015; Herrera-Cervantes, 2019; NOAA NMFS SWFSC ERD, 2020b), por lo cual las mediciones no son necesariamente exactas considerando las dinámicas rápidas y la batimetría heterogénea en las zonas costeras (Yang, 2005). Como alternativa es posible usar sensores más exactos (e.g. Landsat 7 y 8, Sentinel 1 -4), pero no ofrecen información diaria y calibrada; por lo que es necesario realizar estudios comparativos (e.g. Moradi *et al.*, 2016; Lins *et al.*, 2017; Matus-Hernández *et al.*, 2018).

A pesar de la amplia disponibilidad de datos satelitales, y representar una alternativa para inferir datos relevantes de variables ambientales *in situ* en la escala espaciotemporal requerida, es recomendable estudiar la presencia de los tursiones en una laguna costera de forma continua, pero con la consideración de medir al mismo tiempo variables bióticas y abióticas durante diferentes estaciones del año.

2. ANTECEDENTES

La Ensenada de La Paz (Fig.3) es una laguna que es frecuentada por una población semiresidente de tursiones y muestra una semiestacionalidad marcada (Marcín-Medina, 1997, 2010). Es un cuerpo de agua que se comunica por una sola entrada a otro mayor, la Bahía de La Paz, la cual está dentro del Golfo de California, México (Fig.3). Es una laguna que muestra presencia antropogénica constante por la urbanización, la pesca y el turismo de la ciudad de La Paz, Baja California Sur; lo cual se asume afecta los manglares y los peces (Mendoza-Salgado *et al.*, 2011; López-Rasgado *et al.*, 2012), las aves (Verdugo-Díaz *et al.*, 2017), y posiblemente también los mamíferos marinos (Labrada-Martagón *et al.*, 2005; Marcín-Medina *et al.*, 2016).

La Ensenada de La Paz es una laguna que se caracteriza por corrientes fuertes (0.68 ms^{-1}) causadas por una marea semidiurna mixta que varía entre 1.0 y 1.8 m por día (Obeso-Nieblas *et al.*, 2008; Bermúdez Contreras *et al.*, 2014), lo cual la hace un área de estudio altamente dinámica desde el punto de vista abiótico. Se ha supuesto mediante estadística descriptiva que los tursiones que la frecuentan pertenecen a la misma población que frecuentan el sur de la Bahía de La Paz (Acevedo, 1991; Flores-Ramírez *et al.*, 1996; Marcín-Medina, 1997; Salinas Zacarías, 2005; Salvadeo *et al.*, 2009; Pardo *et al.*, 2013). Se han sugerido modelos conceptuales para explicar su presencia en la laguna a partir de variables abióticas; por ejemplo la marea, que afecta la sincronización de su ocurrencia (Acevedo, 1991), o bien como los tursiones de diferentes poblaciones se mueven entre esta laguna y la Bahía de La Paz (Salinas Zacarías, 2005).

Los únicos modelos numéricos que se han empleado para explicar la presencia de las tursiones de esta zona fueron realizados recientemente con datos observacionales muestreados en 1995-1996 y 2005-2006 (Marcín-Medina, 1997, 2010; Moreno-Zuñiga, 2013); sin embargo, estos datos fueron capturados con el fin de describir el comportamiento de los tursiones en un plano espaciotemporal usando el método focal. Esta metodología es cualitativa porque requiere que la embarcación siga a los tursiones por un tiempo justo cuando un grupo ha sido avistado; en consecuencia, el esfuerzo entre avistamiento y no-detección no son comparables (Karniski *et al.*, 2014). Originalmente, se analizaron los avistamientos mediante los modelos aditivos generalizados (GAM, Generalized Additive Model) para cuantificar el comportamiento y entender porque los tursiones prefirieron ciertas localidades en diferentes épocas del año (Marcín-Medina, 1997, 2010). Un segundo estudio (Moreno-Zuñiga, 2013) analizó los

avistamientos por estación usando los modelos lineales generalizados (GLMs, Generalized Linear Model) y los modelos de máxima entropía (MAXENT, Maximum Entropy). Este tipo de investigación es muy útil para describir cuales variables explican mejor su presencia, pero tiene alta probabilidad de sesgos ya que consideraron únicamente la presencia y ignoraron la ausencia o no-detección en los tres modelos, tampoco consideraron variables indirectas, variables que actúan sobre las posibles presas, o directas, sobre los tursiones; como se ha señalado anteriormente (Wells et al., 1980; Scott et al., 1990; Wells y Scott, 2002).

3. JUSTIFICACIÓN

Los tursiones (*Tursiops truncatus*) son considerados a nivel mundial centinelas de la salud de los ecosistemas marinos (Wells *et al.*, 2004; Bossart, 2011), frecuentan las zonas costeras para cubrir diferentes clases de necesidades como alimentación (Marcín-Medina, 2010; McCluskey *et al.*, 2016; Sprogis *et al.*, 2016), socialización y descanso (Marcín-Medina, 2010); dentro de estos hábitats es común observar a grupos de madres con crías, probablemente porque son áreas que proporcionan condiciones abióticas (aguas calmas y protegidas) que favorecen la crianza y la exclusión de algunos depredadores. También, es posible que provean recursos alimenticios durante todo el año, que por su alta diversidad de fuentes de carbono proporcionan también nutrientes de alta calidad (Whitmore *et al.*, 2005; López-Rasgado *et al.*, 2012, 2016; Payán-Alcacio, 2015). En particular se ha sugerido que los tursiones, así como todos los mamíferos marinos, requieren satisfacer continuamente, a partir de su dieta, ciertos montos nutricionales de ácidos grasos omega-6, cuya provisión se relaciona con el mantenimiento de la estructura de los tejidos activos y la reproducción exitosa (Williams *et al.*, 1987).

Por lo anterior es relevante resaltar durante la modelación de la presencia de estos centinelas la necesidad de considerar posibles interacciones entre variables de diferentes escalas temporales, con el fin permitir cierta flexibilidad espaciotemporal (Fernandez-Betelu *et al.*, 2019; Zein *et al.*, 2019; Gregorietti *et al.*, 2021). Esta concepción ecológica resulta más relevante al intentar representar los cambios ecosistémicos de cualquier hábitat. Es de mayor relevancia si el propósito es identificar áreas costeras claves para la conservación y manejo a partir del monitoreo de especies de relevancia importancia ecológica y conservación, como los tursiones; especies claves consideradas en las normas internacionales y mexicanas para la protección y la conservación de la vida silvestre (Diario Oficial de la Federación, 2000; Sajevea *et al.*, 2007; NORMA Oficial Mexicana, 2010; Hammond *et al.*, 2012; Hoyt, 2012).

El estudio acústico de los tursiones durante el día y la noche en la Ensenada de La Paz, puede servir como estudio base para monitorear que condiciones ambientales se relacionan con su presencia y ausencia, así como los ciclos y ritmos temporales bajo los cuales ocurren. Entender estos cambios puede ayudar a tomar decisiones en conservación y manejo relacionados a los

tursiones, y a todas las especies que integran las redes alimentarias del ecosistema de las cuales dependen también la pesca y el turismo.

Sin embargo, antes de dirigir una investigación focalizada sobre las posibles conexiones tróficas entre la red trófica de estos hábitats costeros como La Ensenada de La Paz, es indispensable primero corroborar con evidencia científica si la presencia de estos cetáceos es continua o estacional; si la hora del día, la época del año, o las condiciones de la marea, entre otras variables ambientales, se relacionan más o menos con la presencia o ausencia de estos centinelas ecosistémicos. En particular porque ya existe evidencia que los patrones de comportamiento de los tursiones son flexibles, no permanecen fijas durante todo el año (Fernandez-Betelu *et al.*, 2019; Gregoriotti *et al.*, 2021). En consecuencia, el análisis estadístico debe considerar posibles interacciones entre escalas temporal cortas, largas y la interacción entre variables; con el fin de poder estudiar estas relaciones en una modelación estadística versátil; como por ejemplo los modelos aditivos generalizados (GAM) (Hastie y Tibshirani, 1990; Wood *et al.*, 2016; Pedersen *et al.*, 2019), o modelos heurísticos como las redes neuronales artificiales (ANN) (Samarasinghe, 2006; Christin *et al.*, 2019). Ambos tipos de modelos permiten describir relaciones no lineales entre la variable de respuesta y las variables descriptivas.

Por lo anterior, es relevante resaltar que el propósito principal de este estudio fue encontrar las variables claves que describen mejor la presencia y ausencia de los tursiones en la Ensenada de La Paz. Encontrar la contribución de las variables indirectas que influyen a sus posibles presas y las directas que influyen a los tursiones, mediante el uso de datos acústicos integrados en diferentes marcos de modelación ecológica (i.e. GAMs y ANN).

4. HIPÓTESIS

La presencia de los tursiones en la Ensenada de La Paz fluctúa en función de patrones estacionales y rítmicos, como la fase lunar, la marea y la hora del día, los cuales afectan a los animales de manera directa (afectan solo los tursiones) o indirecta, (afectan la red alimentaria utilizada por los tursiones). Las interacciones entre efectos directos e indirectos cambian en diferentes condiciones estacionales, lo cual requiere el uso de una modelación apropiada.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Analizar las contribuciones de las variables ecológicas directas e indirectas y sus interacciones que afectan la presencia de los tursiones en la Ensenada de La Paz a diferentes escalas temporales (diaria y estacional), mediante el uso de acústica pasiva y modelos predictivos.

5.2. Objeivos particluares

1. Corroborar la presencia continúa (durante el día y la noche) de tursiones en la Ensenada de La Paz.
2. Identificar las variables cíclicas que provocan patrones rítmicos asosiados a la presencia de los tursiones en la Ensenada de La Paz.
3. Demostrar que la presencia diaria y estacional de los tursiones en la Ensenada de La Paz, se relacionan a variables ambientales directas (que afectan solo a los tursiones) e indirectas (que afectan en general a la red alimentaria).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Área de estudio

La Ensenada de La Paz, es una laguna semicerrada en el sureste de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México (Fig.3.A). La laguna tiene una profundidad de 3 a 10 m en el canal y de 1 a 3 m al interior (Fig.3.B). Con un área de 52.1 km² y una marea de hasta 1.6 m, el volumen de agua que pasa por el canal está estimado en hasta 0.083 km³ lo que resulta en una hidrografía dinámica con valores de hasta 0.68 m/s (Gómez-Valdés *et al.*, 2003; Bermúdez Contreras *et al.*, 2014).

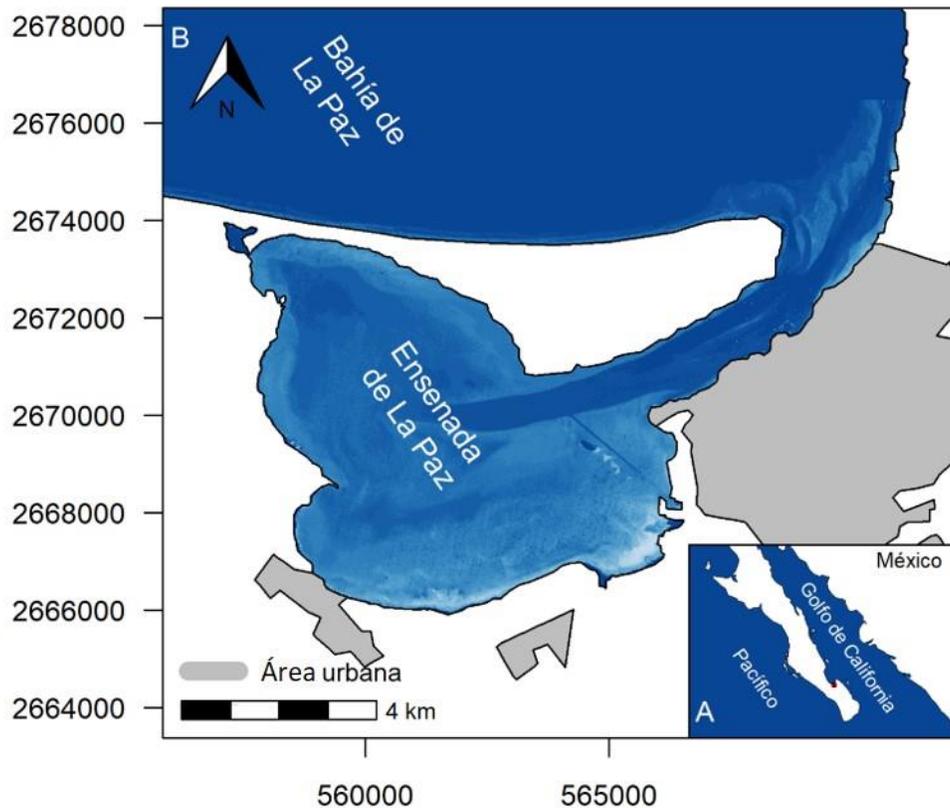


Figura 3: Ubicación del área en el estado Baja California Sur, México (A), batimetría aproximada de la Ensenada de La Paz (B). Fuente: Foto del satélite Landsat 8 tomado el 15.08.2018; Límites de tierra y poblado digitales del CONAGUA; Datum: WGS 1984, zona UTM: 12 N, proyección: EPSG 32612.

En la entrada al canal hay un área somera de aproximadamente 1.5 m de profundidad que queda al descubierto durante marea baja (Fig.3.B). En este estudio se asume que la presencia de este bajo pudiese limitar la detección de silbidos al exterior del canal.

6.2. Avistamientos de tursiones en la Ensenada de La Paz

Se realizó un estudio para determinar la continuidad de la presencia de los tursiones al sureste de la Bahía de La Paz y en la Ensenada de La Paz (Fig.4) por métodos visuales durante un año. Los avistamientos fueron realizados de forma oportunista durante salidas para otros estudios que cubrieron La Ensenada de La Paz y partes del sureste de la Bahía de La Paz, o durante salidas para cambiar equipos para el monitoreo acústico (PAM, passive acoustic monitoring) en el canal.

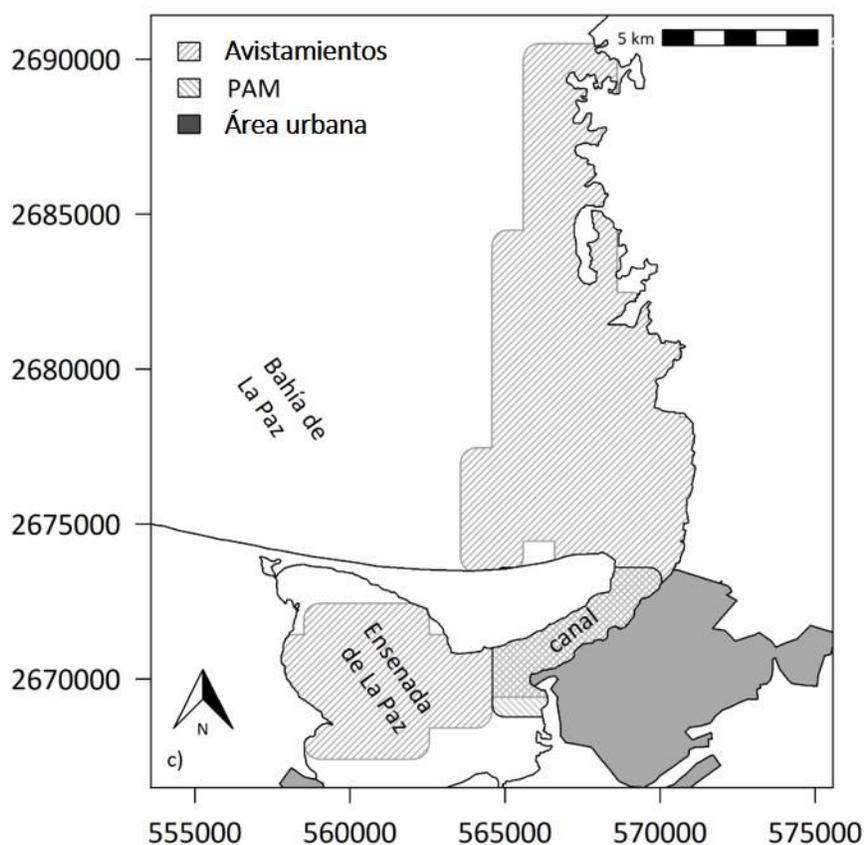


Figura 4: Área del estudio visual (avistamientos) y acústico (PAM) de tursiones en La Ensenada de la Paz y el sureste de la Bahía de La Paz. Fuente: Límites de tierra y poblado digitales del CONAGUA; Datum: WGS 1984, zona UTM: 12 N, proyección: EPSG 32612. (PAM monitoreo acústico pasivo)

Las salidas fueron realizadas a bordo de embarcación de aproximadamente 7 m de eslora, equipada con un motor fuera de borda. Todas las salidas se realizaron durante la mañana, iniciando normalmente a las 09:00 am, y duraron entre dos y seis horas. En cada una de ellas se registró la posición geográfica de la embarcación desde el inicio hasta el final mediante un GPS (GARMIN GPS 72). Las detecciones visuales fueron registradas por uno o dos observadores y de

cada detección se anotó la siguiente información: hora de la primera observación, número de individuos, distancia aproximada a la embarcación, dirección en que nadaron. El esfuerzo de los recorridos fue representado por km², junto con las posiciones geográficas de los avistamientos superpuestos (librerías “raster” versión 3.0-12, “rgdal” versión 1.5-8, del programa R). El número de observaciones en la Ensenada de La Paz fueron presentados en una gráfica de barras (librería “stats” versión 3.6.3, del programa R).

6.3. Monitoreo acústico en la Ensenada de La Paz

Se realizó un monitoreo acústico pasivo (PAM) anual para describir la presencia de tursiones en la Ensenada de La Paz durante diferentes condiciones ambientales. Los Registradores Acústicos para este estudio (Fig.5) fueron ensamblados en el CIBNOR. Las especificaciones del equipo acústico usado en este estudio fueron seleccionadas para grabar silbidos de tursiones (May-Collado y Wartzok, 2008; Janik y Sayigh, 2013) en localidades de baja profundidad, con un acceso fácil al equipo y usando material de bajo costo. El equipo consiste en una grabadora de audio (rango de frecuencia 20 -22000 Hz, frecuencia de muestreo 44.1 kHz) conectada a un hidrófono omnidireccional basado en el diseño simple de hidrófonos (Joy *et al.*, 2012; Gauger *et al.*, 2020), acoplado a un recipiente que podía contener una grabadora y una batería externa.

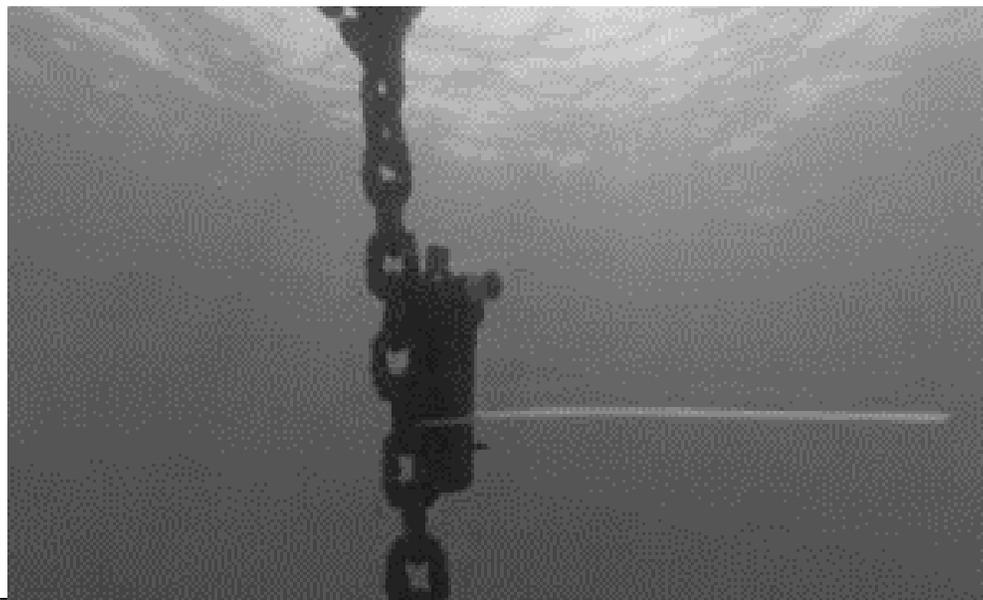


Figura 5: Registrador Acústico usado en este estudio.

La calibración del hidrófono (respuesta en frecuencia 10 – 100 kHz, sensibilidad -205 ± 3 dB re 1 V/ μ Pa) siguió la metodología de Bustamante y colegas (Bustamante *et al.*, 2017) y el desempeño del registrador fue evaluado continuamente durante el estudio. Los Registradores Acústicos fueron colocados o recuperados con el uso de la embarcación o kayak, dependiendo de las condiciones climáticas.

6.4. Préprocesamiento de datos acústicos

Las señales acústicas obtenidas de las grabaciones fueron anotadas visualmente a partir de los espectrogramas en ventanas de 4 segundos (Adobe Audition, versión 3.0, 512 puntos transformada rápida de Fourier [FFT], ventana de Hanning, traslape del 50%, rango dinámico de -110 a 180 dB, 0-22 kHz). La ganancia de las grabaciones fue compensada antes del análisis para equilibrar las posibles diferencias de sensibilidad de los elementos. Las diferentes señales encontradas fueron clasificadas en: silbidos (Anexo G), posibles señales de peces, aves y barcos (Anexo H). Para los análisis posteriores los sonidos de interés fueron anotados en un archivo de texto (csv), registrando el nombre del archivo, estación, día, hora, inicio y fin, y en su caso el traslape con algún ruido de fondo particular.

6.5. Presencia de tursiones

Bajo un esquema de presencia vs no detección los silbidos encontrados fueron interpretados como verdaderos positivos a la presencia de tursiones. Los silbidos fueron asignados a esta especie ya que son los únicos odontocetos que frecuentan la Ensenada de La Paz (Acevedo, 1991; Marcín-Medina, 1997, 2010). La presencia de los tursiones se midió mediante agregaciones de silbidos en intervalos regulares e irregulares.

Actividad Acústica - Intervalos regulares.- La Actividad Acústica son los intervalos regulares de 10 minutos por hora con al menos una detección positiva (dp10min/h, detecciones positivas en intervalos de 10-minutos por hora).

Encuentro – Intervalos irregulares.- Los encuentros son intervalos irregulares con una o más detecciones positivas siempre cuando el tiempo entre detecciones sea menor que diez minutos (Fig.6).

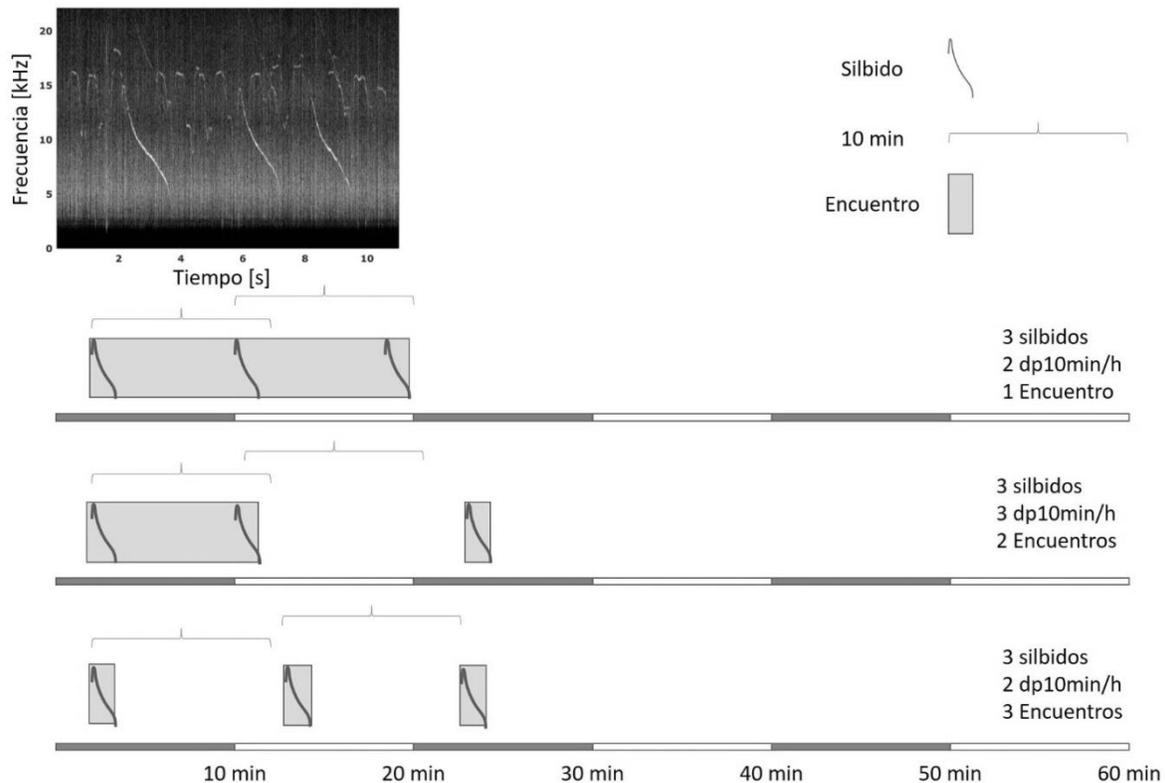


Figura 6: Agrupamiento de los silbidos en los Encuentros y Actividad Acústica (dp10m/h) en relación con el tiempo (10 min) entre silbidos.

Estos conceptos fueron establecidos siguiendo la metodología propuesta para los chasquidos de marsopas (*Phocoena phocoena*, Carlström, 2005). Los silbidos tienen un ciclo de trabajo corto al igual que los chasquidos (Au y Ou, 2014), lo que sugiere que los intercambios de los silbidos tienen una estructura temporal que permite agruparlos de forma similar a los chasquidos.

6.6. Variables

Debido a que hay variables que influyen la distribución de los tursiones directamente (variables fisiográficas), y otras que lo hacen indirectamente, como la disponibilidad de presas (Wells et al., 1980; Scott et al., 1990; Wells y Scott, 2002), se clasificaron las diferentes variables con el fin de poder relacionar la Actividad Acústica y los Encuentros bajo diferentes condiciones ambientales y escenarios ecológicos, e identificar las variables claves que describen mejor la presencia y ausencia de los tursiones en la Ensenada de La Paz. Se consideraron dos diferentes clases de variables (i.e. indirectas y directas), según estén asociadas a una interacción trófica, o a un efecto directo a los tursiones

6.6.1. Variables indirectas

Fase lunar (Fase Lunar, Lsin y Lcos): La luna refleja la luz del sol durante la noche, por lo tanto su posición relativa afecta la actividad de las presas y depredadores durante la noche (e.g. Ramos *et al.*, 2011); impacta también la amplitud y la frecuencia de la marea, la cual puede ser diurna o semidiurna (Lavin y Marinone, 2003): los parámetros de la marea influyen en las migraciones de peces y de invertebrados marinos en las lagunas y estuarios (Gibson, 2003) así como también en la presencia de algunas especies de delfines (*Stenella longirostris* y *Lagenorhynchus obscurus*, Benoit-Bird *et al.*, 2009; *Delphinus delphis*, Simonis *et al.*, 2017). En este estudio, la fase lunar se considera como una variable indirecta porque no impacta directamente la capacidad de los tursiones de forrajear, sino indirectamente la presencia y la disponibilidad de sus presas; a las cuales si les puede afectar la marea (e.g. Fernandez-Betelu *et al.*, 2019).

Usando la posición geográfica del área de estudio, el día y la hora, se obtuvo la fase lunar-(Tabla 1). Al ser un valor cíclico, la fase lunar fue transformada mediante la librería “lunar” (versión 0.1-04) del programa R (R Core Team, 2020) a un valor radial (Fase Lunar) para usar una prueba de estadística circular, o para casos que no reconocen condiciones circulares se transformó un valor cíclico a dos valores senoidales mediante las ecuaciones siguientes:

$$L_{sin} = \sin\left(\frac{2*\pi*c_i}{1}\right) \quad (1)$$

$$L_{cos} = \cos\left(\frac{2*\pi*c_i}{1}\right) \quad (2)$$

Donde c_i representa la fase lunar (0-1) y 1 es el valor máximo de la fase lunar.

Marea, Flujo y Cambio de la Marea: Como se mencionó anteriormente la amplitud y la frecuencia de la marea se consideraron como variables indirectas; por afectar la disponibilidad de peces e invertebrados (Gibson, 2003). Diferentes estudios discuten la posibilidad que la presencia de los tursiones se sincroniza con la marea, o porque la marea favorece una agregación de sus posibles presas en ciertas localidades lagunares (e.g. Mendes *et al.*, 2002), o la marea impacta las migraciones rítmicas de los peces e invertebrados marinos entre las lagunas o estuarios y las aguas adyacentes (e.g. Fury y Harrison, 2011; Fernandez-Betelu *et al.*, 2019). Frecuentemente, se determina el impacto de la marea y de las corrientes a la presencia de los tursiones mediante un análisis factorial (marea baja, flujo, marea alta y reflujos) (e.g. Marcín-Medina, 2010; Fury y Harrison, 2011; Fernandez-Betelu *et al.*, 2019). Sin embargo, la

laguna costera de este estudio presenta una marea semidiurna mixta (Obeso-Nieblas *et al.*, 1993); por ello se decidió considerar la Marea, el Flujo, y el Cambio de la Marea como variables numéricas. Estos atributos permiten medir las condiciones dinámicas de la marea.

Se obtuvieron los valores de la marea en la Ensenada de La Paz a partir de un modelo (González *et al.*, 2009) que predice la marea en diferentes localidades del México, y se generó la variable Marea (Tabla 1); de ellos se calcularon dos índices de corriente: el Flujo, la diferencia de la Marea en el pasado inmediato (durante los últimos 60 min), y el Cambio de la Marea, que representa las relaciones no lineales de la aceleración y la desaceleración de la corriente (usando la primera derivada de una función cúbica de la Marea durante los últimos 180 min). Los periodos fueron distintos por la predictibilidad del fenómeno; el Cambio de la Marea incorpora más informaciones que el Flujo, porque representa un periodo de tiempo más extenso, y la diferencia del Flujo puede describir el cambio de la corriente (marea alta o baja) pero no la dirección del cambio del signo; el cambio de los signos de cada valor describe la presencia o ausencia de aceleración (positivo), desaceleración (negativo) independientemente si es flujo o reflujos.

Duración del Día: La Duración del Día es una variable indirecta porque influye la productividad y la actividad de los organismos. El inicio y el fin del día fueron definidos mediante la librería “suncalc” (versión 0.5.0, Tabla 1), que utiliza la posición geográfica y el día para calcular la hora (HH:MM) del anochecer y del amanecer nautico.

Temperatura superficial del mar (SST, SST_BLAP, y delta_SST): La temperatura superficial del mar (SST) se consideró una variable indirecta, porque no afecta el metabolismo de los tursiones, por ser termoreguladores (Noren *et al.*, 1999). Sin embargo, la SST influye la estratificación del agua y a la productividad primaria (Martínez-López *et al.*, 2001), y la tasa de procesos metabólicos en los organismos ectotérmicos (Drinkwater *et al.*, 2010; Jusup *et al.*, 2017).

Los valores de la SST se obtuvieron vía remota para la Ensenada de La Paz y para la Bahía de La Paz mediante los datos del satélite MODIS (JPL MUR MEaSURES Project, 2010) que fueron descargados de la plataforma ERDDAP (Simons, 2011) y se procesaron con la librería “raster” (versión 3.0-12) del programa R (Tabla 1). SST representa el promedio de los valores diarios de la temperatura superficial del mar en un polígono de 4 por 4 km en la Ensenada de La Paz (ELAP, Fig.7), mientras que SST_BLAP representa el promedio de los valores diarios de la temperatura

superficial del mar en un polígono de 4 por 4 km en la boca de la Ensenada de La Paz (BLAP, Fig.7); delta_SST es la diferencia entre ambas variables.

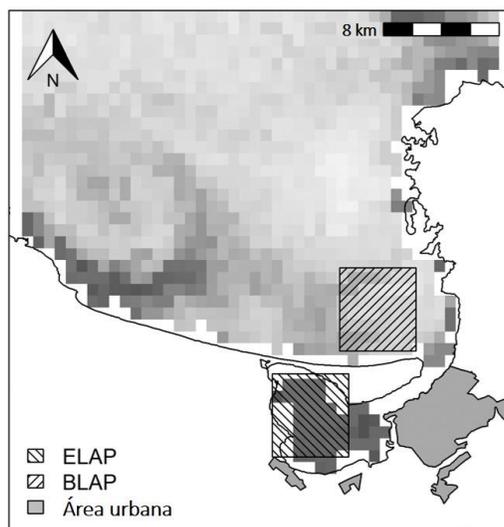


Figura 7: Estimaciones de clorofila mediante el satélite MODIS en dos polígonos ELAP y BLAP procesado mediante la librería “raster” del programa R. Fuente: ERDDAP (Simons, 2011) 04.01.2017, Límites de tierra y poblado digitales del CONAGUA; Datum: WGS 1984, zona UTM: 12 N, proyección: EPSG 32612.

Clorofila (Chl): La clorofila (Chl mg m^{-3}) es una variable derivada de la productividad primaria. En este trabajo la Chl se usó como variable indirecta. La Chl se ha asociado a la distribución de los tursiones (e.g. Smith *et al.*, 1986; Salvadeo *et al.*, 2009; Giannoulaki *et al.*, 2016); y es un atributo de las redes tróficas marinas que afecta todos los niveles (e.g. Díaz-Uribe *et al.*, 2012). En este estudio se usaron valores de Chl derivados de percepción remota obtenidos de los satélites MODIS (NOAA NMFS SWFSC ERD, 2020a); los datos del área de estudio fueron descargados de la plataforma ERDDAP y procesada con la librería “raster” del programa R (Tabla 1). Chl es una estimación de los valores diarios estimados en un polígono de 4 por 4 km en la Ensenada de La Paz (ELAP, Fig.7).

Fondo: La presencia de los tursiones en la Ensenada de La Paz ya fue asociada con fondos arenosos durante un estudio visual (Marcín-Medina, 2010). Para estudiar los efectos del sedimento a la presencia de los tursiones se determinó visualmente la composición del sedimento alrededor de las estaciones PAM durante buceos dedicados al mantenimiento de las estaciones (Tabla 1).

Debido a que los ensamblajes de peces se asocian con ciertos tipos de sustratos (e.g. Balart *et al.*, 1997; Legendre *et al.*, 1997; Reis-Filho *et al.*, 2016), se han usado estas asociaciones como variable indirecta para predecir la presencia de tursiones en modelos ecológicos (e.g. Torres, 2009; Eierman y Connor, 2014; McCluskey *et al.*, 2016).

Tabla 1: Variables indirectas consideradas en el estudio de los tursiones en la Ensenada de La Paz.

variable	descripción	tipo	rango	resolución	Fuente
Fase Lunar	Posición relativa de la luna que fue transformado a un valor radial para la estadística circular	numérico, circular	0.0 y 1.0 luna nueva, 0.5 luna llena	60 min	librerías “lunar” y “circular” en R
L_{\sin} y L_{\cos}	Fase lunar transformada en seno y coseno	numérico	0.0-1.0	hora	ecuación 1 & 2
Marea	Altura del mar relativo a NN (puerto de Amsterdam) en metros	numérico	-0.92 – 0.81	10 min	
Flujo	Diferencia de la Marea durante los últimos 60 minutos	numérico	-0.043 – 0.058	10 min	<u>REDMAR</u> 04.06.2019
Cambio de la Marea	Pendiente de la primera derivada de la Marea durante los últimos 180 minutos	numérico	-0.0033 – 0.0037	10 min	
Duración del Día	Tiempo entre amanecer y atardecer	numérico	8 – 14	1 min	librería “suncalc” en R
SST	Temperatura superficial del mar [°C] (ELAP)	numérico	19.6 – 30.4	día, 750 m	
SST_BLAP	Temperatura superficial del mar [°C] del suroeste de la Bahía de La Paz (BLAP)	numérico	21.03 – 29.90	día, 750 m	ERDDAP
delta_SST	Diferencia entre SST y SST_BLAB	numérico	-0.41 – 0.66	día, 750 m	07.03.2020
Chl	Clorofila [mg m^{-3}] medida por el sensor NOAA (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)	numérico	0.21 – 82.7	día, 750 m	
Fondo	Tipo de fondo (arena, lodo, escombros)		1 – 3	2 pruebas	Observación visual durante buceo

REDMAR: <http://redmar.cicese.mx/emmc/DATA/LPAZ/MIN/>

ERDDAP: <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>

6.6.2. Variables directas

Tabla 2: Variables directas consideradas en el estudio de los tursiones en la Ensenada de La Paz

variable	descripción	tipo	rango	resolución	f fuente
Día/Noche	Día solar verdadero	Categorico	0 & 1	hora	librería “suncalc” en R
Hora	Hora del día en hora local que fue transformado a un valor radial para la estadística circular.	Categorico, circular	0 – 24	hora	librería “circular” en R
H_{\sin} y H_{\cos}	Variable hora transformada en seno y coseno	Numérico	0.0-1.0	hora	ecuación 1 & 2
Costa	Distancia de la costa [km]	numérico	0.1 – 1.1	5 m	QGIS 3.6
Boca	Distancia de la estación a la entrada de la Ensenada de La Paz [km]	numérico	1.0 – 7.0	5 m	QGIS 3.6
Manglar	Distancia del manglar más cercano [km]	numérico	0.1 – 3.5	5 m	QGIS 3.6
Profundidad	Profundidad [m]	numérico	1.5 – 5.0	0.5 m	Computadora de buceo

Día/Noche, Hora, H_{\sin} , H_{\cos} : El día, la noche y la hora son fenómenos que repercuten directamente a los tursiones. Debido a que el ciclo circadiano no define las horas de actividad y de descanso en los tursiones (e.g. Sekiguchi y Kohshima, 2003; Castellote *et al.*, 2015), en este estudio se anotó para cada encuentro la siguiente información: sí ocurrió durante el día o la noche y la hora exacta. La última es a una resolución más fina para averiguar si Día/Noche (resolución temporal gruesa) no capturaron la variación observada. Mediante la librería “suncalc”, que utiliza la posición geográfica y la fecha se estimó la hora exacta (HH:MM) del anochecer y amanecer náutico.

La hora es un valor cíclico que fue transformado en un valor radial (Hora) para usar una prueba estadística circular o para casos que no reconocen condiciones circulares en dos valores

senoidales (H_{\sin} y H_{\cos}) mediante las ecuaciones 1 y 2, donde c_j representa la hora (1-24) y 24 es el valor máximo de la hora (Tabla 2).

Distancia: Se estimaron tres valores de distancia, entre cada estación y la costa (Costa), el manglar más cercano (Manglar), y la entrada a la Ensenada de La Paz (Boca) entre boya 19 y la punta del Mogote mediante el programa QGIS 3.6 (Tabla 2).

Profundidad: Se ha observado una relación negativa entre la presencia de los tursiones y la profundidad lo que puede ser usado pasar disquir entre diferentes ecotipos (Toth *et al.*, 2012) o adentro de estuarios y lagunas (e.g. Ingram y Rogan, 2002; Bowen, 2011).

La profundidad de cada posición fue verificada durante dos ocasiones usando una computadora de buceo (MARES Puck dive computer, Tabla 2).

6.6.3. Variables técnicas

Esfuerzo: Se estimaron los minutos analizados por hora de información grabada, debido a que el tiempo analizado no fue siempre 60 min (Tabla 2).

Tabla 3: Variables técnicas consideradas en el estudio de los tursiones en la Ensenada de La Paz

variable	descripción	tipo	rango	resolución	fuelle
Esfuerzo	Minutos analizados por hora de información grabada.	numérico	1 – 60	1 min	
Despliegues	Nombre de los archivos grabados durante el despliegue y la recuperación del equipo acústico	numérico	Més y orden numérico del preprocesamiento acústico (e.g. 01_11)	8 - 48 h	

6.7. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos, las visualizaciones gráficas y los modelos de la presencia de los tursiones en la Ensenada de La Paz fueron realizados mediante diferentes librerías del software estadístico R versión 3.6.3 para Windows (R Core Team, 2020).

Se realizaron las pruebas de Anderson-Darling para corroborar la normalidad (librería “nortest” versión 1.0-4) y de Levene para corroborar la homocedasticidad (librería “car” versión 3.0-8)

tanto para los datos de Encuentros como de Actividad Acústica. Las pruebas siguientes fueron seleccionadas con base en un árbol de decisión (Fig.8).

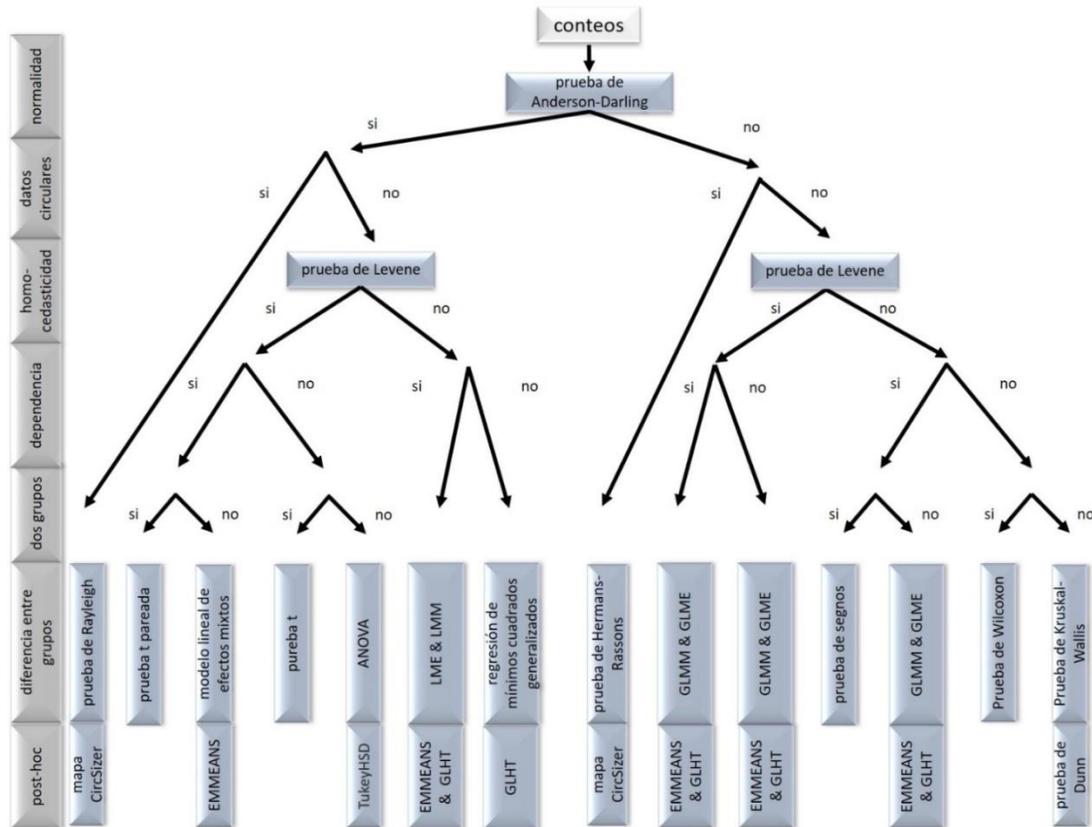


Figura 8: Diagrama de flujo con el árbol de decisión para la estadística descriptiva.

6.7.1. Presencia continua de tursiones en la Ensenada de La Paz

La prueba de Kruskal-Wallis fue realizada para explorar las diferencias de las variables Encuentros y Actividad Acústica entre despliegues y meses (librería “stats”, versión 3.6.3). En el caso de una diferencia significativa se realizaron pruebas *post-hoc* Dunn mediante la librería “rstatix” (versión 0.5.0) y se visualizaron las diferencias de los valores entre despliegues mediante un diagrama de caja y bigote para especificar cuáles grupos difirieron (librería “ggpubr”, versión 0.4.0).

La prueba de signos (Sign test, librería “signmedian.test”, versión 1.5.1) fue usada para explorar la diferencia de presencia de tursiones durante día y noche debido al número de datos; para ello se agregaron los Encuentros y la Actividad Acústica por la variable Día/Noche mediante diferentes métodos porque algunos representaron valores atípicos con muchos ceros que no permitían estimar el promedio clásico (suma; mediana; promedio winsorizado con la librería

“psych”, versión 2.0.12; y estimador M, con la librería “MASS”, versión 7.3-51.5). Lo anterior con el fin de identificar si en la mayoría de estos la hipótesis nula corroboraba que no había diferencia significativa entre Día/Noche.

Adicionalmente, para poder corroborar si había diferencias significativas entre Día/Noche tanto para los Encuentros como para la Actividad Acústica se realizaron modelos lineales generalizados de efectos mixtos (GLME, generalized linear mixed effect model, Anexo A), para corroborar los resultados de las pruebas de signos con un método multivariado. Ambas estrategias pueden considerar medidas repetitivas (dependencia entre mediciones) mediante la sustracción de los dos valores (prueba de signos) o como variable aleatoria (GLME) (Zuur *et al.*, 2009), pero la prueba de signos es univariada e ignora posibles variaciones causadas por diferencias de SST en los diferentes periodos estacionales, y el esfuerzo del muestreo (Esfuerzo). Los GLME se realizaron mediante el uso de la librería “glmmTMB” (versión 1.1-23). La intención fue modelar la Actividad Acústica y los Encuentros por hora en relación con diferentes variables explicativas fijas (e.g. Esfuerzo, SST, Día/Noche), una variable explicativa aleatoria (despliegue) y variables de respuesta (Encuentros y Actividad Acústica). La parametrización de los modelos se llevó a cabo mediante el método de la selección en avance (incluyendo el factor aleatorio antes de las otras variables explicativas). Cabe resaltar que en los modelos se trató la presencia de los tursiones como conteos, y consideraron una estructura negativa binominal (para evitar la probable sobreparametrización). El modelo más parsimonioso fue elegido mediante la librería “bbmle” (versión 1.0.23.1) calculando el valor mínimo del criterio de información de Akaike (AIC, Akaike Information Criteria) (Akaike, 1973; Anderson *et al.*, 1998) usando una corrección por conjuntos de datos pequeños ($\delta AICc$, $n < 100$) y las ponderaciones del AICc (por sus siglas en inglés: $AICc_{wt}$) (Wagenmakers y Farrell, 2004). Las suposiciones del modelo final fueron controladas excluyendo las variables en presencia de multicolinealidad ($-0.7 < \rho < 0.7$) o si las pruebas de normalidad y homocedasticidad de los residuos resaltaron la insuficiencia de un modelo (Guisan *et al.*, 2002). Se visualizaron las medias marginales estimadas (EMM por sus siglas en inglés) mediante la librería “emmeans” (versión 1.5.4) para diferenciar el impacto de las variables explicativas fijas. Se estimó el tamaño del efecto de una variable (Cohen’s d) mediante la librería “ggeffects” (versión 1.0.2) para estimar e interpretar su impacto para la predicción (Cohen’s d; bajo: $0.2 > d < 0.5$, medio_ $0.5 > d < 0.8$, alto: $d > 0.8$) teniendo en cuenta el intervalo de confianza (Nakagawa y Cuthill, 2007).

Se seleccionaron seis variables explicativas indirectas (Duración del Día, SST, SST_BLAP, delta_SST, Chl, Fase Lunar) para describir la condición ambiental de los despliegues. Las otras variables explicativas ambientales tenían una resolución temporal más fina que variaron entre hora, y en consecuencia no fueron consideradas (Tabla 1, Tabla 2). Se aplicó la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO, librería “parameter”, versión 0.7.0) a estas variables para seleccionar cuales eran adecuadas ($KMO > 0.5$) (Kaiser y Rice, 1974) para ejecutar luego un análisis de componentes principales (PCA, por su sigla en inglés). El PCA se realizó mediante la librería “FactoMineR” (versión 2.2) con el fin de explorar similitudes entre las condiciones ambientales de los despliegues mediante un agrupamiento jerárquico mediante componentes principales (HCPC, por sus siglas en inglés). Los componentes principales del PCA que representaron el 70% o más de los datos fueron seleccionados para construir un dendrograma jerárquico (Husson *et al.*, 2010); de acuerdo con la estructura de este dendrograma, se decidió el número de clúster en los que se dividieron los despliegues usando el método del vecino más próximo (k-medias). Por último, se corroboró si los patrones de la Actividad Acústica y de los Encuentros por hora diferían entre los grupos. Para este fin se aplicó una prueba de Levene seguido por una prueba de Kruskal-Wallis y una prueba *post-hoc* Dunn (librería “rstatix”) y se visualizaron las diferencias de los valores entre despliegues mediante un diagrama de caja y bigote.

6.7.2. Patrones rítmicos

Con la finalidad de poder identificar los patrones rítmicos de los tursiones con diferentes variables explicativas cíclicas, la Actividad Acústica y Encuentros se transformaron a datos circulares (i.e. valores radiales) con la librería “circular” (versión 0.4-93), y así saber si los datos presentaron una distribución uniforme, correspondiente a una distribución normal en el caso de datos circulares a lo largo de la circunferencia del círculo, o si se agruparon en una o dos direcciones (Crujeiras, 2017). Se usaron las pruebas de Rayleigh para corroborar la distribución unimodal y Hermans-Rasson para una distribución multimodal de los datos (Landler *et al.*, 2019) mediante la librería “CircMLE” (versión 0.2.3) para todos los datos y para datos agrupados por clúster.

Una vez corroborada una desviación de una distribución uniforme, se visualizó la variable de respuesta en función de las dos variables explicativas circulares (Hora y Fase Lunar) mediante un mapa CircSiZer (Oliveira *et al.*, 2014); para ello se usó la librería “NPCirc” (versión 2.0.1); en el

gráfico resultante las regiones con un desvío negativo significativo están coloreadas en rojo, la situación opuesta en azul, las regiones sin cambios significativos o escaso de datos están representadas en morado y gris.

6.7.3. Modelos ecológicos de tursiones en la Ensenada de La Paz

En la sección anterior se realizaron pruebas de hipótesis simples para establecer la relación entre las variables respuestas y explicativas. Sin embargo, la presencia de los tursiones depende de múltiples factores y las relaciones no son lineales, por lo tanto, es necesario combinar diferentes herramientas estadísticas. Una de ellas son modelos multivariados que son suficientemente flexibles para incorporar múltiples variables y sus interacciones; pero también son suficientemente rígidos para controlar cuales interacciones son objetivamente relevantes (Anderson *et al.*, 1998).

Existe una gran variedad de modelos multivariados utilizados con cetáceos como, por ejemplo, los modelos aditivos generalizados (GAMs) (Hastie y Tibshirani, 1990), cada uno con sus ventajas, desventajas y suposiciones (Redfern *et al.*, 2006). Sin embargo, debe elegirse cuidadosamente el modelo adecuado en base del tipo de las variables explicativas (e.g. numérico, categórico, direccional, transformaciones, etc.), del número de datos, de la presencia de dependencias (e.g. medidas repetidas, autocorrelación), así como la pregunta de investigación. Esto permite recrear la realidad observada definiendo *a priori* las relaciones entre una de las variables de respuesta (Actividad Acústica) y las variables explicativas, y el tipo de interacciones entre ellas. Sin embargo, el conocimiento previo no evita una equivocada representación estadística de un fenómeno o la falla de reconocer una interacción relevante entre variables. Por lo tanto, es necesario corroborar los resultados con un tipo de modelos alternativo, como por ejemplo un método del aprendizaje automático (e.g. Lantz, 2015), por ejemplo, el uso de redes neuronales (ANN: Artificial Neural Network por sus siglas en inglés) (Samarasinghe, 2006), que están basados en los datos e ignoran cualquier conocimiento previo, por lo cual la importancia de las diferentes variables explicativas (i.e. condiciones ambientales) emerge como parte de la modelación del fenómeno.

La presencia de los tursiones (i.e. variables de respuesta) representan conteos, un tipo de dato que tiende a desviarse de la suposición de normalidad y homocedasticidad (O'Hara y Kotze, 2010; Zuur *et al.*, 2010). Por otro lado, las variables explicativas utilizadas (Tabla 1, Tabla 2)

representan datos numéricos, factoriales y circulares que fueron divididos en componentes directos que influyen a los tursiones inmediatamente y en componentes indirectos que influyen a los tursiones mediante la red alimentaria.

Por lo anterior, el análisis de la modelación ecológica se realizó mediante el uso de diferentes modelos ecológicos. Primero se usaron GAMs para identificar las variables explicativas relevantes. Los modelos GAM son útiles para combinar este tipo de datos con diferentes distribuciones estadísticas (e.g. Poisson, negativo binomial, etc.), son flexibles en cuanto al incumplimiento de la normalidad y homocedasticidad, permiten considerar variables aleatorias, y parametrizar dependencias en los datos (Zuur *et al.*, 2009). Posteriormente se usó un modelo heurístico, una ANN, con el fin de explorar la coincidencia entre ambos tipos de aproximación conceptual en la importancia de las variables como parte de la modelación del fenómeno.

6.7.3.1. Modelos aditivos generalizados

Los GAMs son derivados de los modelos generalizados lineales y demuestran una gran versatilidad para parametrizar la parametrización de una interacción específica entre dos o más variables sin importar sus dimensiones, considerando variables factoriales como variables aleatorias para considerar estructura en los datos (Wood *et al.*, 2016; Pedersen *et al.*, 2019). Usan funciones suavizantes (“splines”) para estimar relaciones no lineales (Hastie y Tibshirani, 1990). Un spline es una función compuesta por secciones polinómicas (k). En este estudio se utilizaron tensores cúbicos, splines, o circulares. Cada función suavizante representa una variable explicativa y se estima la variable de respuesta con la suma de las funciones suavizantes (Wood *et al.*, 2016). Una explicación más extensa está en el apartado de anexos (Anexo A).

En este estudio los modelos GAMs fueron parametrizados mediante la librería “mgcv” (versión 1.8-33) para modelar la Actividad Acústica como variable de respuesta. La parametrización se llevó a cabo mediante el método selección en avance.

Los modelos trataron la presencia de los tursiones como conteos, y consideraron una estructura Poisson. El modelo más parsimonioso fue elegido mediante la librería “bbmle” calculando el valor mínimo del AIC (Anderson *et al.*, 1998), usando la ponderación del AIC (por sus siglas en inglés: AIC_{wt}) (Wagenmakers y Farrell, 2004).

Las suposiciones del modelo final fueron controladas excluyendo las variables en presencia de multicolinealidad ($-0.7 < \rho < 0.7$, mediante la librería “ggcorrplot” versión 0.1.3) o si las pruebas de normalidad y de homocedasticidad de los residuos resaltaron la insuficiencia de un modelo. Para obtener la contribución de cada variable (Fase Lunar, Cambio de la Marea, Marea, SST, Hora, Profundidad, Distancia, Esfuerzo) en el GAM final se calculó el valor de la desviación explicada excluyendo las variables de forma alternada mientras que los coeficientes del modelo permanecieron fijos¹.

Se ejecutaron GAMs agrupados que estaban anidados en el GAM final (GAM global) que les daba la libertad de parametrizar diferentes variables explicativas (Fase Lunar, Hora, SST y Marea y Cambio de la Marea) por condición ambiental (grupos definidos por el HCPC) usando diferentes niveles de libertad (Pedersen *et al.*, 2019) para corroborar si la variabilidad ambiental era suficientemente representada por el GAM global. Se seleccionó el GAM agrupado más parsimonioso mediante el AIC más bajo y el AIC_{wt} más alto. Para la comparación posterior de los suavizadores agrupados dentro del GAM agrupado final, se exportaron los patrones de los suavizadores individuales y se normalizó un suavizador con el otro para visualizar diferencias significativas entre dos grupos (may-jul vs. ago-oct vs oct-mar) siguiendo la metodología de Rose y colaboradores (Rose *et al.*, 2012).

6.7.3.2. Redes neuronales artificiales

Las ANNs son capaces de ajustar relaciones no lineales entre las variables explicativas y de respuesta a través de la versatilidad de las neuronas (Samarasinghe, 2006); ellas contienen múltiples neuronas lo cual les permite resolver relaciones lineales, monótonicas y no lineales. Para resolver un problema (clasificación o regresión) las ANNs manipulan iterativamente marcos de datos que contienen las variables explicativas (capa de entrada) mediante una multiplicación de matrices (ponderaciones, capa oculta) y regresan una predicción de forma vectorial hasta que se encuentra una solución requerida u óptima (Samarasinghe, 2006). Una más detallada explicación se encuentra en el apartado Anexos (Anexo A).

Como modelo de clasificación se usó una red neuronal perceptrón multicapa (una capa de entrada, una capa oculta y una capa de salida) mediante la librería “nnet” (versión 7.3-12); en la

¹ Wood, S [citado 26 de mayo de 2018]. Recuperado a partir de: <https://stat.ethz.ch/pipermail/r-help/2007-October/142743.html>

cual todos los perceptrones de una capa estaban conectados con los perceptrones de la capa siguiente. Se manejó una función de aprendizaje con retropropagación estándar y una tasa de atenuación constante.

Como variable de respuesta a la ANN se creó un set balanceado de Encuentros (positivos) e intervalos sin detecciones (negativos), seleccionados al azar sin devolución. Como variables explicativas se seleccionaron las variables explicativas directas e indirectas identificadas por el GAM más parsimonioso (SST, Marea, Cambio de la Marea, Día/Noche, Distancia, Profundidad, Fondo, H_{\sin} , H_{\cos} , L_{\sin} , L_{\cos}). Las variables cíclicas fueron transformadas en dos componentes senoidales (ecuaciones 1 y 2), porque las ANNs generalmente no consideran este tipo de variables correctamente, a excepción del uso de las neuronas circulares (Kirby y Miranda, 1996) o el análisis de wavelet (Shekarzifard *et al.*, 2012).

Todas las variables fueron normalizadas entre 0 y 1, y divididas en tres sets (entrenamiento, prueba y validación; 56, 14, y 30 % como está indicado por la librería “caret” versión 6.0-86) antes de iniciar el proceso de aprendizaje. Los primeros dos sets fueron usados para entrenar la ANN y el último para validar el resultado. Al inicio se creó una red de tres neuronas en la capa oculta y una tasa de atenuación de 0.1. Se determinó la precisión de la ANN mediante una matriz de confusión usando la librería “caret”. Luego se ejecutaron otras ANNs con diferentes parámetros (21 diferentes tasas de atenuación, 20 diferentes tamaños repetidos 200 veces), mediante la librería “caret” hasta encontrar los parámetros adecuados (i.e. mejor precisión de la predicción del set de prueba). La ANN final se visualizó mediante la librería “NeuralNetTools” (versión 1.5.2). La importancia de las variables de la ANN fue calculada mediante la función “varImp” de la librería “caret” y mediante la función “Featureimp” de la librería “iml” (versión 0.10.0) (Fisher *et al.*, 2018; Molnar, 2018). Se ejecutó la función “Interaction” de la librería “iml” para medir el nivel de interacción entre las variables explicativas. El efecto de una o dos variables a la vez fue analizado y visualizado mediante los efectos acumulados locales (ALE, Accumulated Local Effects, por sus siglas en inglés) (Apley y Zhu, 2020), mediante parcelas de la dependencia parcial (PDP, Partial Dependency Plots, por sus siglas en inglés) (Friedman, 2001; Gevrey *et al.*, 2003) y mediante expectativas condicionales individuales (ICE, Individual Conditional Expectation, por sus siglas en inglés, librerías “iml” y “DALEX” versión 2.0.1) (Molnar, 2018, 2020).

7. RESULTADOS

7.1. Presencia continua de tursiones en la Ensenada de La Paz

7.1.1. Avistamientos oportunistas de tursiones en la Ensenada de La Paz

Entre enero y noviembre 2017 se realizaron 21 salidas al campo que cubrieron la Ensenada de La Paz mientras que una parte cubrió también una parte del sur de la Bahía de La Paz (9 salidas, Fig.9). El esfuerzo visual total del estudio fue de 894.3 km y 90.2 horas (Tabla 4).

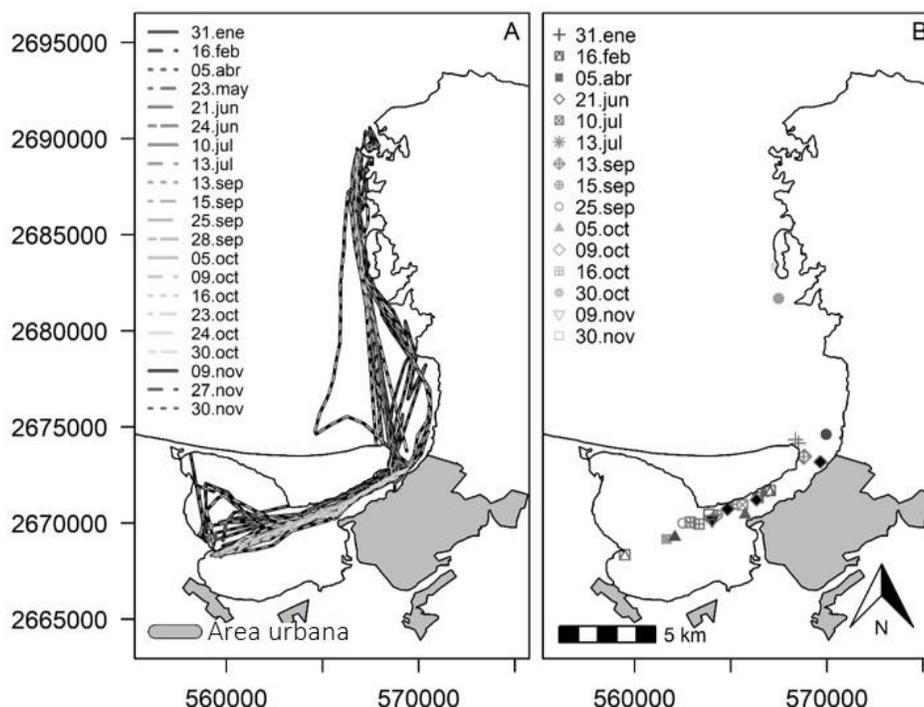


Figura 9: Trayectorias de las salidas al campo realizadas entre el 31 de enero y el 30 de noviembre del 2017 (A), y los avistamientos de tursiones (B). Fuente: Límites de tierra y poblado digitales del CONAGUA; Datum: WGS 1984, zona UTM: 12 N, proyección: EPSG 32612.

En 14 de las 21 salidas se avistaron un total de 27 grupos de tursiones (Fig.9, Tabla 4). El número (mínimo y máximo) de tursiones avistados fue una estimación debido a que no todos los animales estaban al mismo instante en la superficie; por ello el número total de tursiones avistados varió entre 104 y 128 individuos, entre 1 y 34 ind. por avistamiento, un promedio de entre 3.85 a 4.74 (Tabla 4). En el canal ocurrieron 11 de los 27 avistamientos, 14 al interior de la Ensenada de La Paz y 2 en la entrada del puerto de Pichilingue (Fig.9).

Tabla 4: Total de salidas al campo entre el 31 de enero y el 30 de noviembre del 2017 (fecha, tipo de salida, esfuerzo en km, inicio y fin en UTC de la trayectoria, número de grupos de tursiones avistados, número mínimo y máximo de tursiones, y mantenimiento de equipo).

fecha	tipo	esfuerzo [km]	inicio [utc]	fin [utc]	grupos	mín.	máx.	hidrófonos
31. ene	L8	60.0	16:15	20:10	1	2	-	
16. feb	L8	65.1	15:55	21:55	2	8	9	
05. abr	L8	60.9	15:23	19:35	3	10	11	
23. may	L8	71.8	14:10	20:45	0	0	0	
21. jun	ELAP	25.2	15:47	20:15	1	4	4	In
24. jun	L8	63.3	15:30	20:15	0	0	0	Out
10. jul	L8	70.0	15:00	21:02	2	8	8	In
13. jul	ELAP	38.9	15:12	20:50	1	5	5	Out
13. sep	ELAP	12.5	15:00	18:45	1	6	8	In
15. sep	ELAP	27.9	15:20	18:00	1	4	6	Out
25. sep	ELAP	32.3	15:10	18:36	2	7	7	In & Out
28. sep	L8	80.8	15:00	21:00	0	0	0	In & Out
05. oct	ELAP	28.1	15:51	19:54	2	1	4	In & Out
09. oct	ELAP	25.1	15:11	18:12	1	4	5	In & Out
16. oct	ELAP	25.3	18:40	22:20	2	3	4	In & Out
23. oct	ELAP	25.6	15:16	20:30	0	0	0	In & Out
24. oct	UABCS	36.2	20:27	23:37	0	0	0	
30. oct	L8	70.5	16:26	22:57	3	24	34	In & Out
09. nov	ELAP	25.5	16:08	20:12	4	14	18	In & Out
27. nov	ELAP	24.0	16:25	18:30	0	0	0	In & Out
30. nov	ELAP	25.3	15.34	20:27	1	4	5	Out
total		894.3	4.1 días		27	104	128	

L8: estudio de plancton para calibrar fotos del satélite Landsat 8 (Matus-Hernández *et al.*, 2018); ELAP: salidas para poner los hidrófonos; UABCS: salida con el curso de bioacústica de cetáceos de la Universidad Autónoma de Baja California Sur; In: colocar hidrófono; Out: rescatar hidrófono

Durante las salidas dedicadas para el despliegue o el rescate del equipo acústico, se avistaron grupos de tursiones durante 12 de las 16 salidas (Fig.10.C, Tabla 4). Los tursiones fueron avistados en una trayectoria recta entre el canal y la punta del Comitán, ahí el esfuerzo fue mayor (Fig.10.A). Diecisiete avistamientos ocurrieron en el canal y las partes interiores de la Ensenada de La Paz (10 y 7 de 18, Fig.10.B).

Grabaciones simultáneas de avistamientos y grabaciones con hidrófonos confirmaron que los silbidos de los tursiones eran similares a los silbidos grabados durante los despliegues.

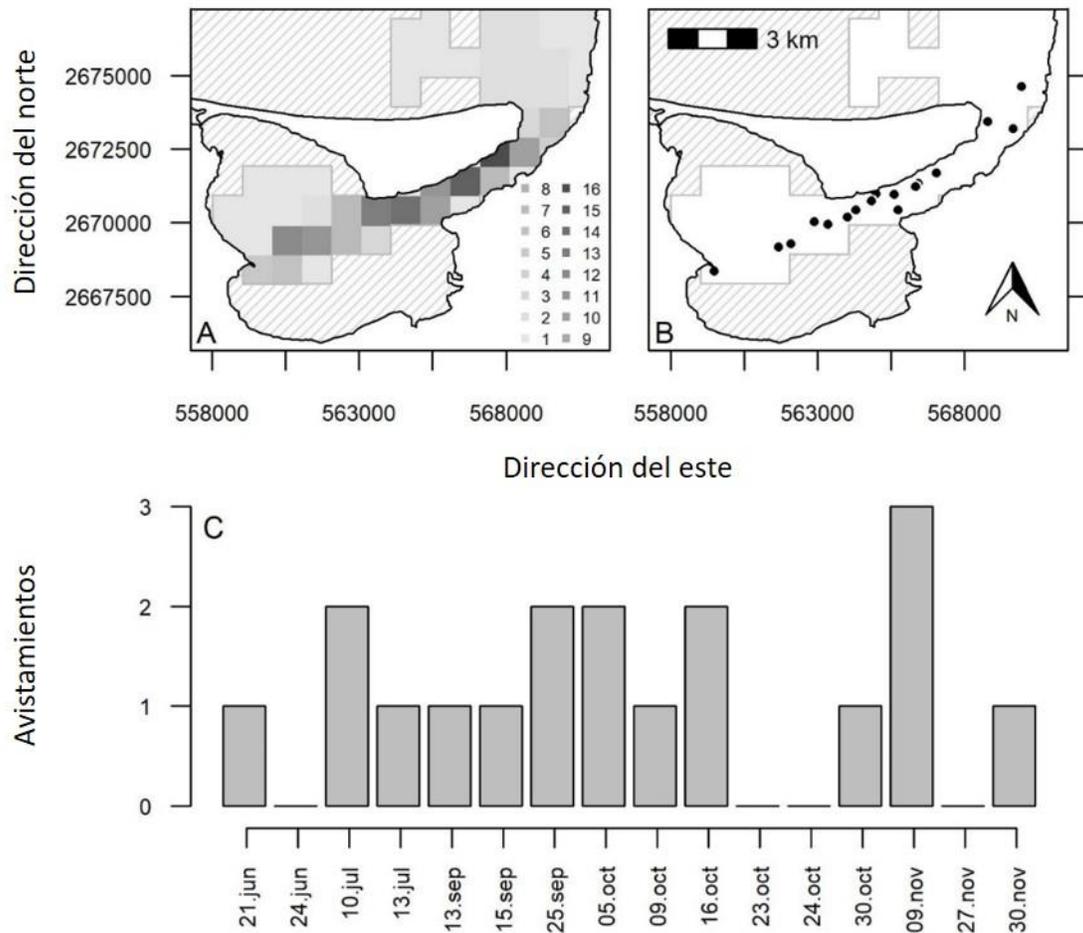


Figura 10: El esfuerzo de las salidas (A), localización de los avistamientos (B), y las fechas de los avistamientos de los tursiones durante las prospecciones en la Ensenada de la Paz entre junio y noviembre 2017 (C). Fuente: Límites de tierra digitales del CONAGUA; Datum: WGS 1984, zona UTM: 12 N, proyección: EPSG 32612.

7.1.2. Patrones de la Actividad Acústica y de los Encuentros

El monitoreo acústico pasivo se realizó entre junio 2017 y mayo 2019. Se analizaron datos de 21 despliegues para estimar la presencia de tursiones en el canal que conecta la Ensenada y la Bahía de La Paz (Fig.11, Tabla 5). El funcionamiento del equipo acústico fue probado y controlado continuamente durante este estudio.

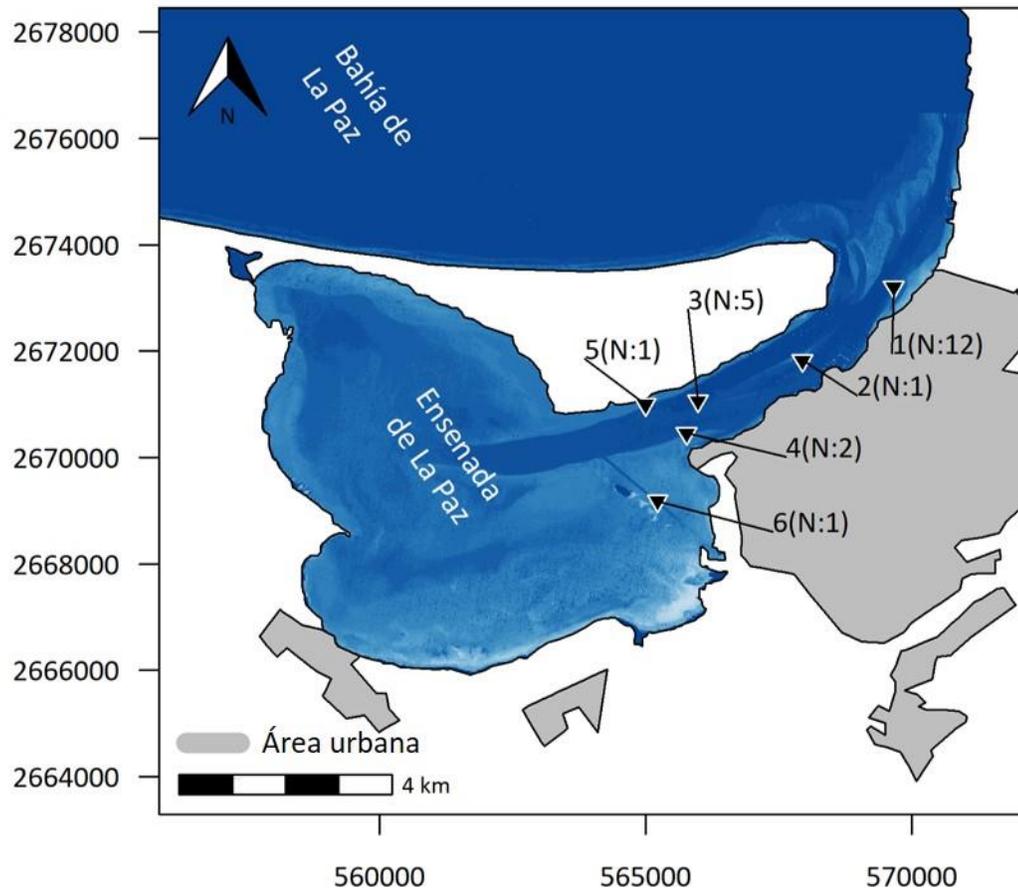


Figura 11: Ubicación de las seis posiciones donde los Registradores Acústicos fueron desplegados incluyendo el número (N) de despliegues analizados en la Ensenada de La Paz. Fuente: Foto del satélite Landsat 8 tomado el 15.08.2018; Límites de tierra y poblado digitales del CONAGUA; Datum: WGS 1984, zona UTM: 12 N, proyección: EPSG 32612.

Las detecciones registradas (13,442 silbidos) fueron grabadas durante 266 de 640 horas, 711 de 3678 intervalos de 10-minutos o 383 encuentros, respectivamente (Tabla 5). La Actividad Acústica (dp10min/h) no presentó una distribución normal (prueba de Anderson-Darling: $p < 0.001$), ni fue homocedástica por despliegue o mes (prueba de Levene: $p < 0.001$ y $p < 0.001$ respectivamente). Similarmente, la variable Encuentros rechazó la presunción de normalidad (prueba de Anderson-Darling: $p < 0.001$), y de homocedasticidad (prueba de Levene) tanto por despliegue en general ($p < 0.001$), como por mes ($p < 0.001$).

Tabla 5: Información de los 21 despliegues (i.e. estación, día inicial y esfuerzo). Las detecciones de silbidos fueron agrupadas por Encuentros, y sumatoria de detecciones positivas en intervalos de 10-minutos (dp10min).

despliegue	estación	día inicial	esfuerzo [h]	silbidos	encuentros	suma dp10min
01_11 ^s	1	18. ene. 2018	26.8	23	12	17
02_12 ^s	1	3. feb. 2018	13.5	28	14	17
03_14 ^s	1	3. marzo 2019	20.4	33	16	20
03_15 ^s	4	28. marzo 2019	26.9	261	39	67
05_16 ^s	3	18. mayo 2019	26.8	136	23	32
05_17 ^s	6	18. mayo 2019	27	2	1	2
06_01 ^o	1	21. jun. 2017	49	555	41	68
06_21 ^s	4	28. jun. 2018	24.3	6028	14	88
07_02 ^o	1	13. jul. 2017	26.8	2244	33	80
07_18 ^s	4	12. jul. 2018	33.7	166	36	50
07_20 ^s	4	6. jul. 2018	24.3	3418	14	86
08_19 ^s	4	4. ago. 2018	6.8	18	3	6
09_03 ^o	1	13. sep. 2017	47.1	21	12	14
09_04 ^o	1	25. sep. 2017	7.6	1	1	1
09_05 ^s	4	25. sep. 2017	49.7	318	28	48
10_06 ^s	1	9. oct. 2017	46.9	21	14	15
10_07 ^s	5	16. oct. 2017	27	67	27	37
10_08 ^s	1	23. oct. 2017	42.9	20	16	16
10_09 ^s	1	30. oct. 2017	30.5	7	5	5
11_10 ^s	1	9. nov. 2017	25.7	16	11	12
11_13 ^s	4	27. nov. 2017	29.2	59	23	30

^s: SONY ICD-PX470 (SONY Cooperation Tokio, Japón), ^o: el Olympus Digital Voice Recorder WS-822 (Olympus Imaging Corp./ Tokio, Japón)

La prueba de Kruskal Wallis de la Actividad Acústica (dp10min/h) demostró diferencias significativas entre las fechas mensuales de despliegues (despliegue: $\text{Chi}^2 = 182.2$, $p < 0.001$; mes: $\text{Chi}^2 = 120.44$, $p < 0.001$; Fig.12). Las cuales difirieron significativamente entre los despliegues con altas tasas de detecciones en junio y julio y valores bajos entre septiembre y octubre (Dunn: $p < 0.05$), mientras que la Actividad Acústica en febrero y marzo representó valores intermediarios que no difirieron de los otros meses (Fig.12).

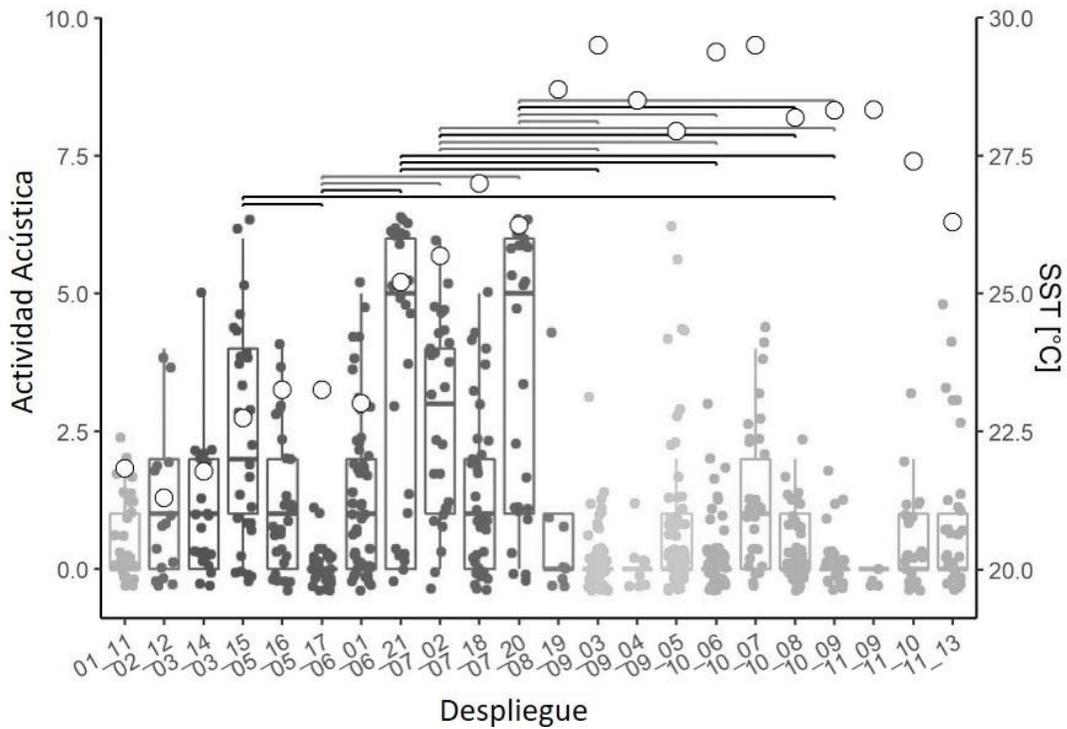


Figura 12: Diagrama de caja y bigote de la Actividad Acústica (dp10min/h) agrupado por los despliegues con prueba de Dunn (significado: negro: $p < 0.05$; gris: $p < 0.01$) y temperatura superficial del mar (círculos vacíos).

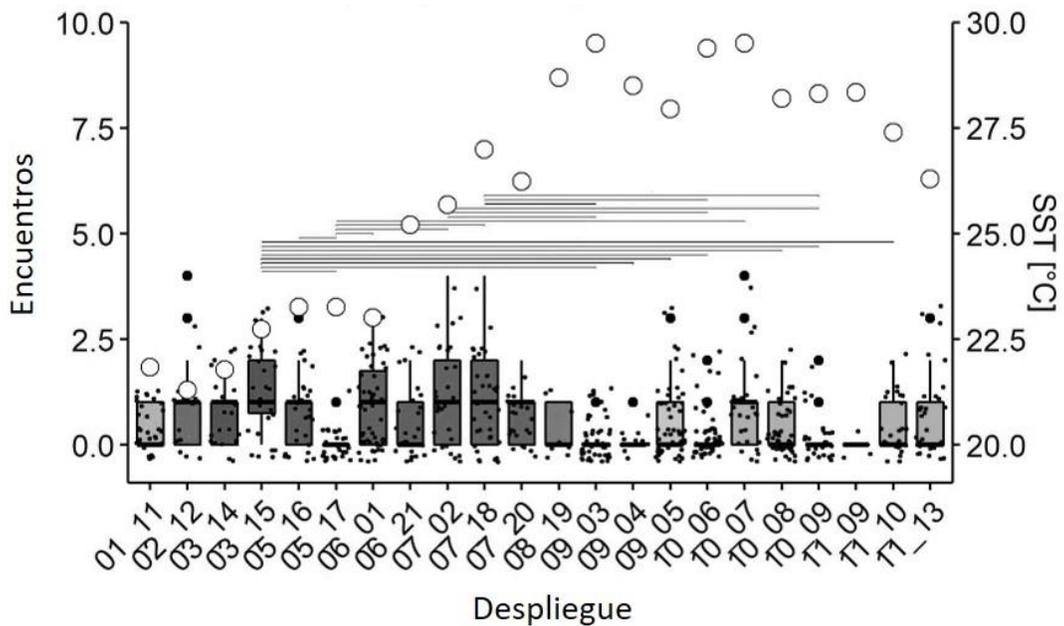


Figura 13: Diagrama de caja y bigote de los Encuentros por hora agrupados por los despliegues con prueba de Dunn (significado: negro: $p < 0.05$; gris: $p < 0.01$) y temperatura superficial del mar (círculos vacíos).

La prueba de Kruskal Wallis de los Encuentros por hora demostró diferencias significativas entre los despliegues y los meses (despliegue: $\text{Chi}^2 = 104.98$, $p < 0.001$; mes: $\text{Chi}^2 = 53.5$, $p < 0.001$; Fig.13). Las cuales difirieron significativamente entre los despliegues con altas tasas de detecciones en marzo, junio y julio, y valores bajos en mayo, septiembre y octubre (Dunn: $p < 0.05$, Fig.13).

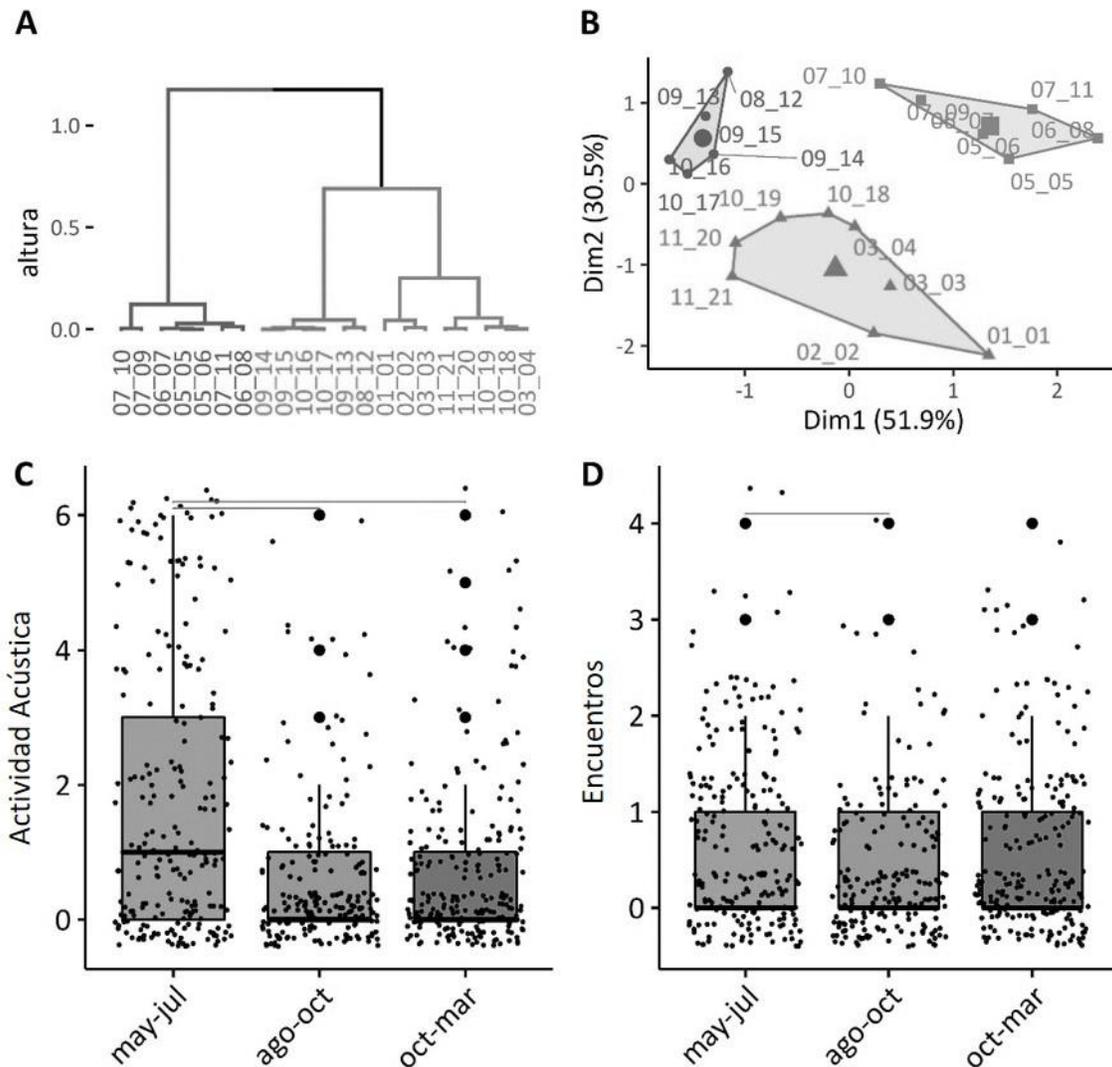


Figura 14: Agrupamiento jerárquico mediante componentes principales de los 21 despliegues en tres grupos (A: dendrograma de los grupos, B: PCA de los grupos y C: diagrama de con bigote con prueba de Dunn).

Para averiguar si las variaciones estacionales de los tursiones fueron acompañadas por diferentes condiciones ambientales, con los despliegues se realizó un agrupamiento jerárquico

mediante componentes principales seguido por una comparación de los valores acústicos por grupo; para el análisis se consideraron tres variables ambientales (SST, Chl y Duración del Día; Kaiser-Meyer-Olkin: $KMO = 0.52$). Los dos componentes principales del PCA explicaron 82.4 % de los datos y fueron usados para calcular el dendrograma jerárquico (Fig.14.A), lo que a su vez sugirió agrupar los despliegues en tres grupos (Fig.14.B): el grupo de siete despliegues entre mayo y julio (may-jul: 219 horas; 406 dp10min), otro de seis despliegues entre agosto y la mitad de octubre (ago-oct: 194 horas; 121 dp10min), y un último de ocho despliegues entre la mitad de octubre y marzo (oct-mar: 227 horas; 184 dp10min). Los despliegues entre mayo y julio fueron caracterizados por una SST intermedia, valores de Chl de intermedios a altos y una Duración del Día larga; mientras que los despliegues entre agosto y la mitad de octubre fueron categorizados por una SST alta, baja concentración de Chl y Duración del Día intermedia; finalmente el grupo del período entre la mitad de octubre y marzo fue caracterizado por SST altas o bajas, valores intermedios a altos de Chl y Duración del Día intermedia (Fig.15).

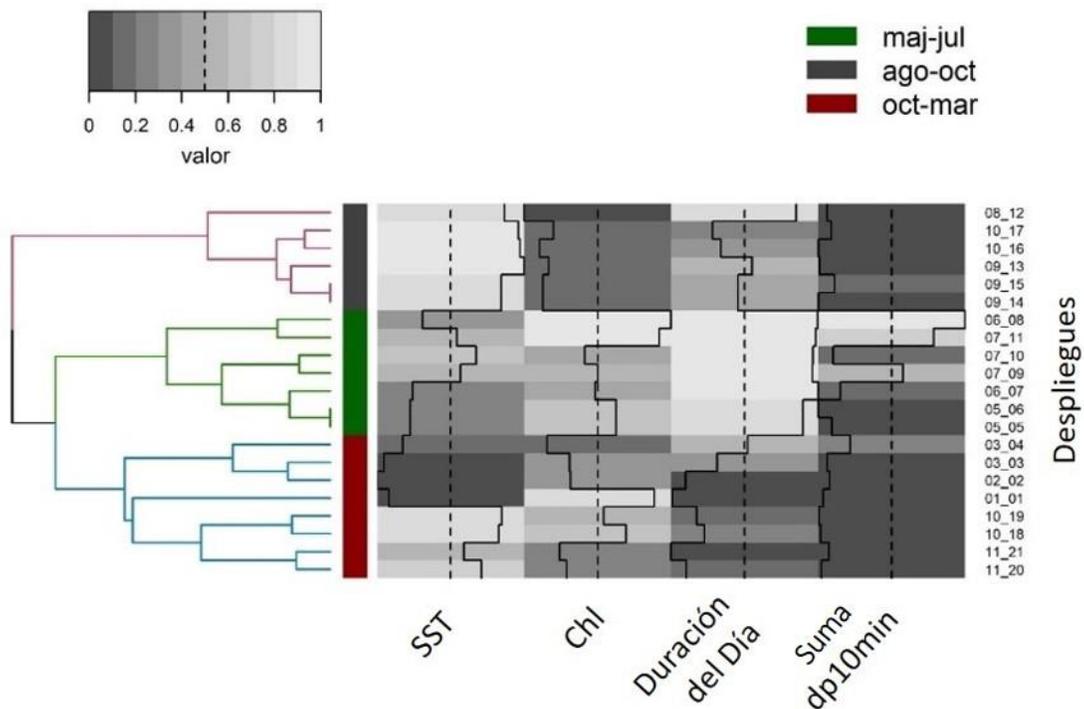


Figura 15: Dendrograma jerárquico de 21 despliegues y mapa de calor con variables ambientales usado en el análisis HCPC y la Actividad Acústica. Los valores fueron normalizados para una mejor diferenciación visual de los grupos.

La Actividad Acústica y los Encuentros por hora no fueron homocedásticos (prueba de Levene: $p < 0.001$, $p = 0.0012$). La Actividad Acústica entre estos tres grupos fue significativamente diferente (dp10min/h: $\text{Chi}^2 = 55.153$; $p < 0.001$, Fig.14.C). Los valores del grupo de may-jul difirieron del de oct-mar y del de ago-oct (prueba de Dunn: $p < 0.001$), pero no hubo diferencias significativas entre el de ago-oct y oct-mar (prueba de Dunn: $p = 0.102$). Los Encuentros por hora difirieron significativamente entre grupos (dp10min/h: $\text{Chi}^2 = 14.12$; $p < 0.001$, Fig.14.C); el grupo de may-jul fue significativamente diferente al de ago-oct (prueba de Dunn: $p < 0.0002$), pero no del de ago-oct, ni con el de oct-mar (prueba de Dunn: $p = 0.153$), tampoco entre los de may-jul y oct-mar (prueba de Dunn: $p = 0.174$).

Para averiguar si hubo una diferencia significativa en la presencia de tursiones entre día y noche se aplicaron dos análisis estadísticos. El árbol de decisión propuso una prueba de signos para los Encuentros (prueba de Levene: $p = 0.027$) y un GLME para la Actividad Acústica (prueba de Levene: día y noche: $p = 0.385$). Aquí se aplicaron ambos análisis para ambas variables de respuesta (Actividad Acústica y Encuentros) para poder comparar los dos resultados.

La prueba del signo no mostró una diferencia significativa entre el día y la noche cuando se compararon la suma y la media de los Encuentros ($p = 0.80$, $p = 0.17$), mientras que la comparación del promedio winsarizado y del estimador-M demostraron diferencias significativas e indicaron que se registraron más Encuentros durante la noche que durante el día ($p = 0.049$, $p = 0.022$, Fig.16.A). En comparación la Actividad Acústica no mostró diferencia significativa entre día y noche ($p > 0.145$, Fig.16.B).

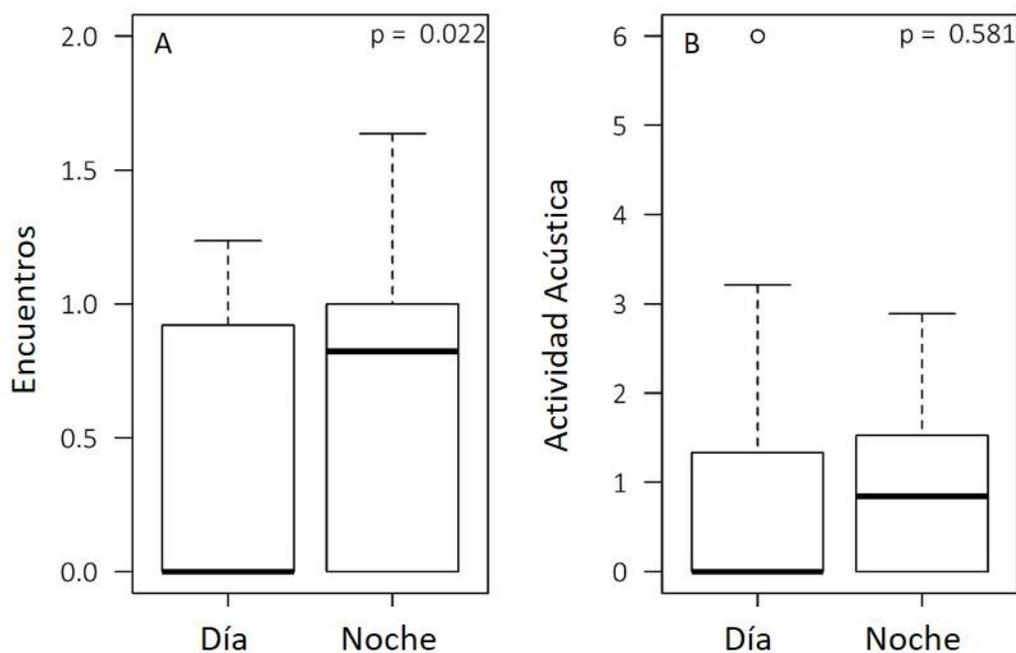


Figura 16: Prueba de signos para comparar la presencia de tursiones en la Ensenada de La Paz durante el día y la noche con base en el promedio del estimador M de Encuentros por hora (A) y de Actividad Acústica (dp10min/h ; B).

Similarmente el modelo generalizado de efectos mixtos más parsimonioso de los Encuentros consideró las variables SST, Esfuerzo y Día/Noche ($AIC_{wt} = 0.213$, Anexo B); este demostró que la suma de los Encuentros era más alta durante la noche que durante el día (Fig.17.C). El Esfuerzo era la variable con más efecto seguido por las variables Día/Noche y SST (Fig.17.C y B). El efecto del Esfuerzo era positivo y de alta consideración con un intervalo de confianza relativamente pequeño (Fig.18, Cohen's d: 2.02; CI: 1.55 – 2.49), sin reducir su posible impacto. El efecto de la variable Día/Noche era de media consideración, pero su intervalo de confianza era amplio (Fig.18, Cohen's d: 0.55; CI: 0.08 – 1.02), reduciendo su posible impacto. El efecto de SST era negativo (Fig.17.B) y de bajo impacto con intervalo de confianza amplio (Fig.18, Cohen's d: -0.48; CI: -0.95 – -0.01).

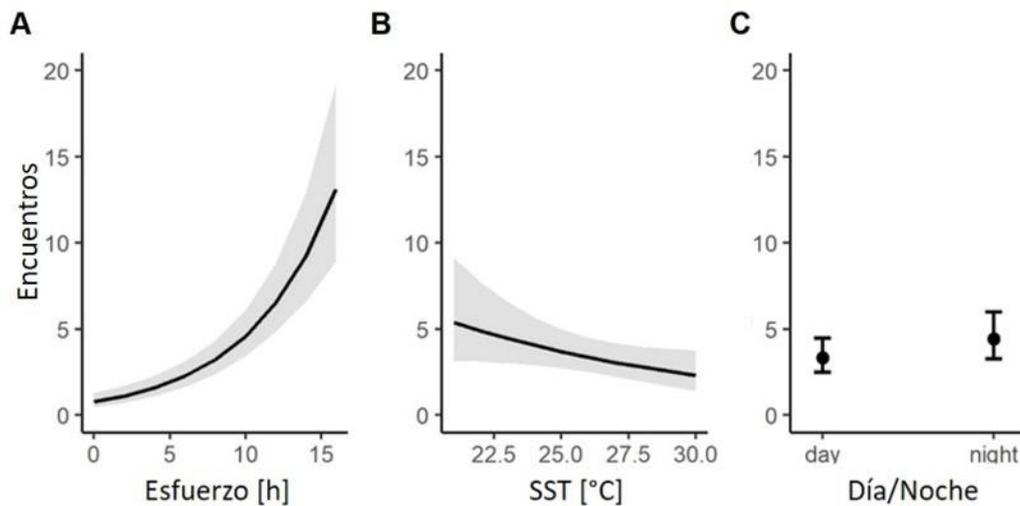


Figura 17: Estimación de Encuentros considerando el Esfuerzo (A), la SST (B) y Día/Noche mediante un modelo generalizado de efectos mixtos (C).

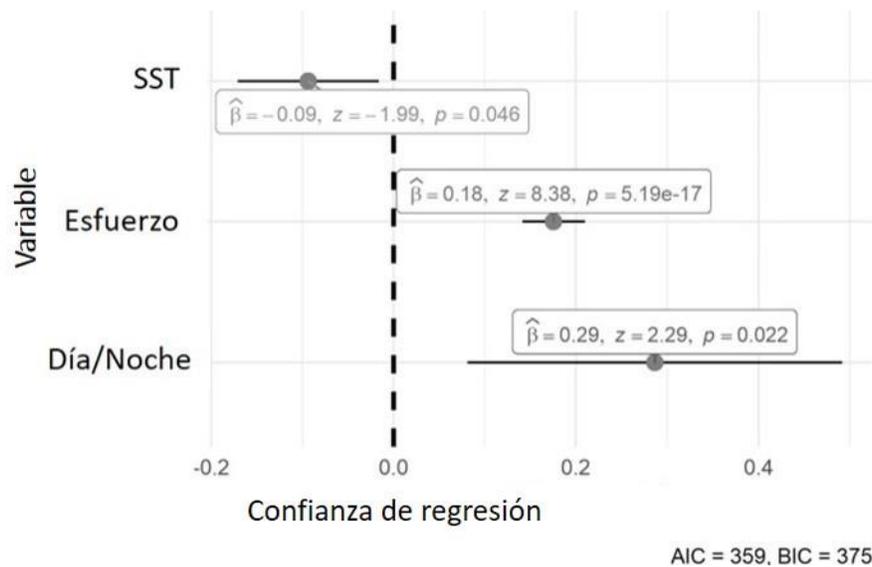


Figura 18: Coeficientes del modelo generalizado de efectos mixtos con base en los Encuentros.

El modelo generalizado de efectos mixtos con base en la Actividad Acústica más parsimonioso considero las variables SST y el Esfuerzo ($AIC_{wt} = 0.376$, Anexo C); éste indicó que la Actividad Acústica no se distinguía entre la noche y el día. El Esfuerzo era la variable con más efecto seguido por la SST (Fig.19.A y B). El efecto del Esfuerzo era positivo y de alta consideración con un intervalo de confianza relativamente pequeño (Fig.20, Cohen's d : 2.29; CI: 1.82 – 2.76), sin reducir su posible impacto. El efecto de SST era negativo y de bajo impacto con intervalo de confianza amplio (Fig.20, Cohen's d : -0.54; CI: -1.00 – -0.01).

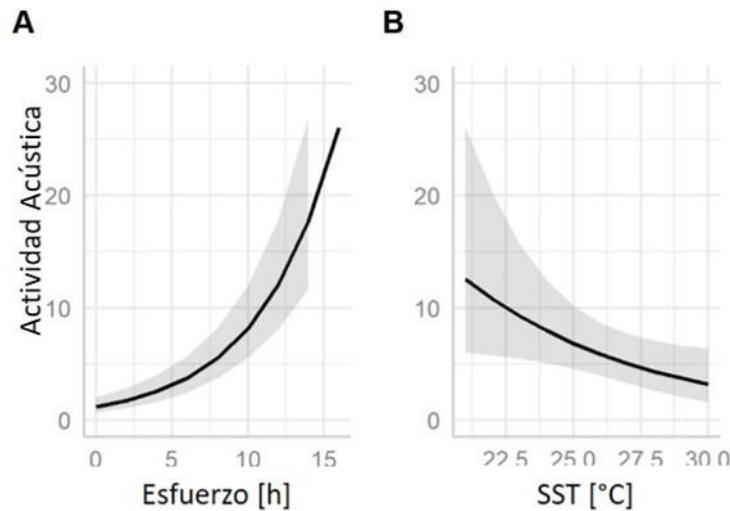


Figura 19: Estimación de la Actividad Acústica (sumatoria) considerando el Esfuerzo (A) y la SST mediante un modelo generalizado de efectos mixtos (B).

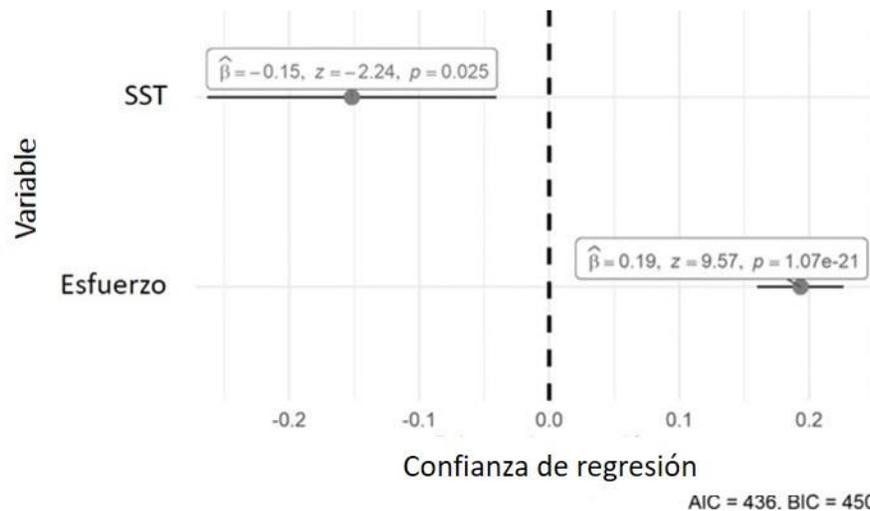


Figura 20: Coeficientes del modelo generalizado de efectos mixtos de la Actividad Acústica (sumatoria).

7.2. Patrones rítmicos

La Actividad Acústica y los Encuentros desviaron significativamente de la uniformidad al respecto de las variables Fase Lunar (Actividad Acústica: $T = 42.1$, $p < 0.001$; Encuentros: $T = 1278.42$, $p < 0.001$) y Hora (Actividad Acústica: $T = 14.9$, $p < 0.001$; Encuentros: $T = 1252.56$, $p < 0.001$).

La Actividad Acústica aumentó significativamente después de luna llena, menguante y antes de luna llena, mientras que las detecciones fueron más bajas después de luna llena y después de luna creciente (Fig.21.A). Similarmente, los Encuentros indicaron dos aumentos y dos

disminuciones. El primer aumento ocurrió entre luna llena y luna menguante, y a la mitad entre luna menguante y luna nueva; el segundo ocurrió después de luna nueva y la mitad hasta luna creciente, mientras que las disminuciones ocurrieron antes de luna nueva, y entre la mitad entre luna creciente y luna nueva. Los valores antes y después de luna llena no difirieron significativamente (Fig.21.B).

Respecto de la variable Hora hubo una diferencia entre Actividad Acústica y Encuentros. La Actividad Acústica disminuyó significativamente entre las 19:00 y 21:00 horas y aumentó entre las 05:00 y las 08:00 horas (Fig.21.C) indicando una presencia mayor entre las 08:00 y 19:00 horas y una presencia menor entre las 21:00 y 05:00 horas. Similarmente, los Encuentros disminuyeron significativamente entre las 19:00 y 21 horas y aumentaron entre las 05:00 y las 08:00 horas. Pero los Encuentros aumentaron también entre las 18:00 y 19:00 horas y disminuyeron entre las 10:00 y 12:00 horas y entre las 03:00 y 04:00 horas (Fig.21.D).

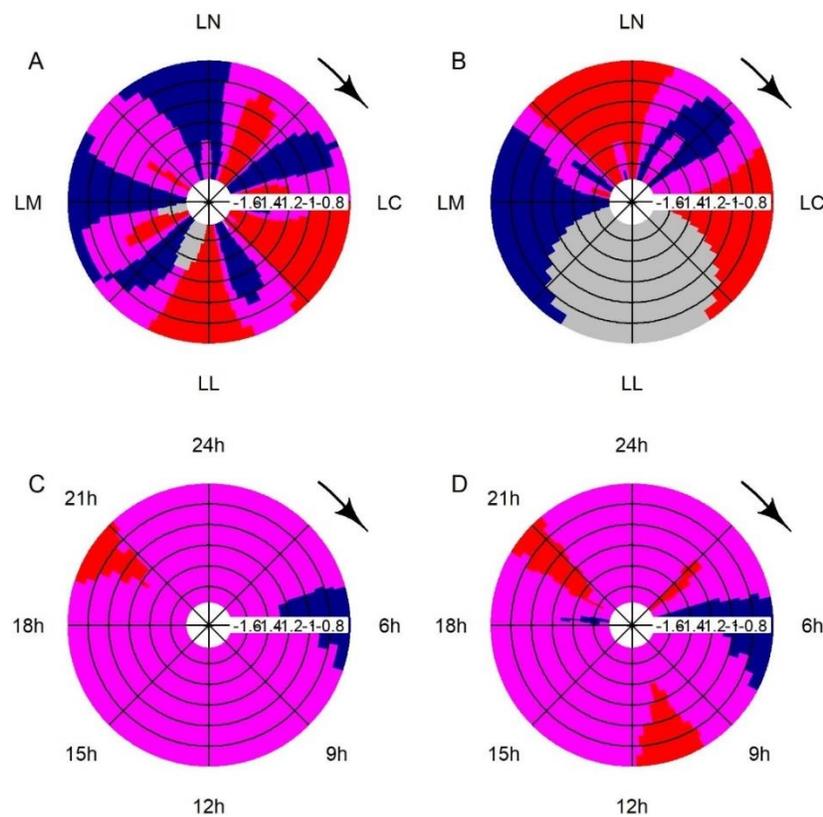


Figura 21: Mapa CircSizer de la Actividad Acústica por Hora (A) y Fase Lunar (C), y de los Encuentros por Hora (B) y Fase Lunar (D; LN: luna nueva; LC: luna creciente; LL: luna llena y LM: luna menguante; azul: detecciones aumentan significativamente; rojo: detecciones disminuyen significativamente; morado: sin cambios significativos; gris: insuficientes datos).

La figura 22 muestra la prueba de Hermans-Rasson de la Actividad Acústica con relación a la variable Hora dividido por grupo e indica una desviación significativa de la uniformidad en el grupo may-jul ($T = 20.12$, $p = 0.001$) y oct-mar ($T = 7.88$, $p = 0.024$), pero no en ago-oct ($T = 2.64$, $p = 0.600$). En may-jul la Actividad Acústica aumentó significativamente entre las 6 y 9 horas, disminuyó entre las 20 y 22 horas, y aumentó nuevamente entre las 1 y 4 horas de la mañana (Fig.22.A). En oct-mar la Actividad Acústica aumentó significativamente entre las 5 y 8 horas, disminuyó entre 10 y 11 horas, aumentó entre las 14 y 15 horas, y disminuyó nuevamente entre las 18 y 21 horas de la tarde (Fig.22.B).

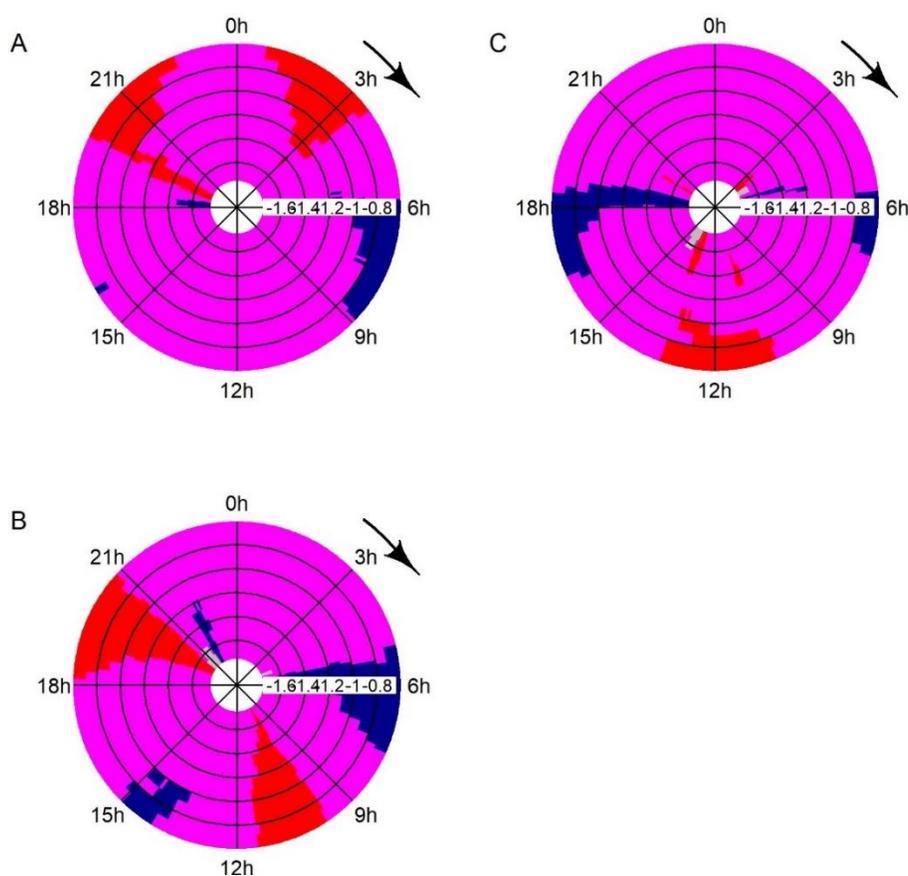


Figura 22: Mapa CircSizer de las detecciones de tursiones por grupo que desviaron significativamente de la uniformidad - Actividad Acústica en may-jul (A) y oct-mar (B), y los Encuentros en may-jul (C; azul: detecciones aumentan significativamente; rojo: detecciones disminuyen significativamente; morado: sin cambios significativos; gris: insuficientes datos).

La prueba de Hermans-Rasson de los Encuentros con relación a la variable Hora dividido por grupos indica una desviación significativa de la uniformidad en may-jul ($T = 9.17$, $p = 0.013$) pero

no en los otros dos grupos (ago-oct: $T = 2.50$, $p = 0.620$, oct-mar: $T = 3.94$, $p = 0.301$). En may-jul los Encuentros aumentaron significativamente entre las 6 y 7 horas, disminuyó entre las 10 y 14 horas y aumentó nuevamente entre las 16 y 19 horas de la tarde (Fig.22.C).

Dividir los Encuentros y la Actividad Acústica con relación a Fase Lunar por grupos no fue factible porque no había suficientes datos.

7.2.1. Modelos ecológicos de la presencia de tursiones en la Ensenada de La Paz

El GAM final seleccionado entre 26 modelos con el valor menor del AIC y el AIC_{wt} más alto fue el modelo nombrado 24 (mod24; AIC = 1687.01; AIC_{wt} = 95.65). Este GAM incorporó ocho variables (Tabla 6), después de excluir otras variables por colinealidad (Fig.23), y siguiendo los criterios de selección en avance (Anexo D). Las variables indirectas incluidas en el GAM final (global) contribuyeron en un 45.2 % (SST: 34.3 %, Fase Lunar: 8.3 %, Marea y Cambio de la Marea: 2.6 %) mientras que las variables directas contribuyeron en un 22.6 % de la desviación explicada (Hora: 4.2 % y variables estáticas 14.0 %, Fig.24). El modelo desarrollado solamente con base en variables indirectas (AIC = 1823.87) o directas (AIC = 1806.09) mostró un poder explicativo menor que el modelo global.

Tabla 6: Los coeficientes del GAM global.

variable	tipo de variable	coeficiente	p	desviación explicada	desviación relativa
todas		-1.936	3.85e-5	0.385	
s(Fase Lunar)ⁱ	suavizador cúbico cíclico	2.906	< 2e-16	0.353	8.31
te(Cambio de la Marea, Marea)ⁱ	tensor spline	3.313	9.73e ⁻⁰³	0.375	2.60
s(SST)ⁱ	thin plate	6.674	< 2e ⁻¹⁶	0.253	34.29
s(Hora)^d	suavizador cúbico cíclico	4.499	1.03e ⁻⁰³	0.369	4.16
s(Profundidad)^d	thin plate	2.13	1.49e ⁻⁰⁴	0.362	5.97
s(Boca)^d	thin plate	2.761	1.06e ⁻⁰⁵	0.354	8.05
Esfuerzo^d	lineal	0.028	3.92e ⁻⁰⁴	0.368	4.42

^d: variable directa, ⁱ: variable indirecta, s: smooth spline; te: tensor spline; La desviación relativa de las variables explicativas fue obtenida por medio de la desviación explicada cuando se omitió la variable en cuestión del GAM final, pero sin cambiar los coeficientes de las otras variables explicativas (AIC 1687.01; N = 640).

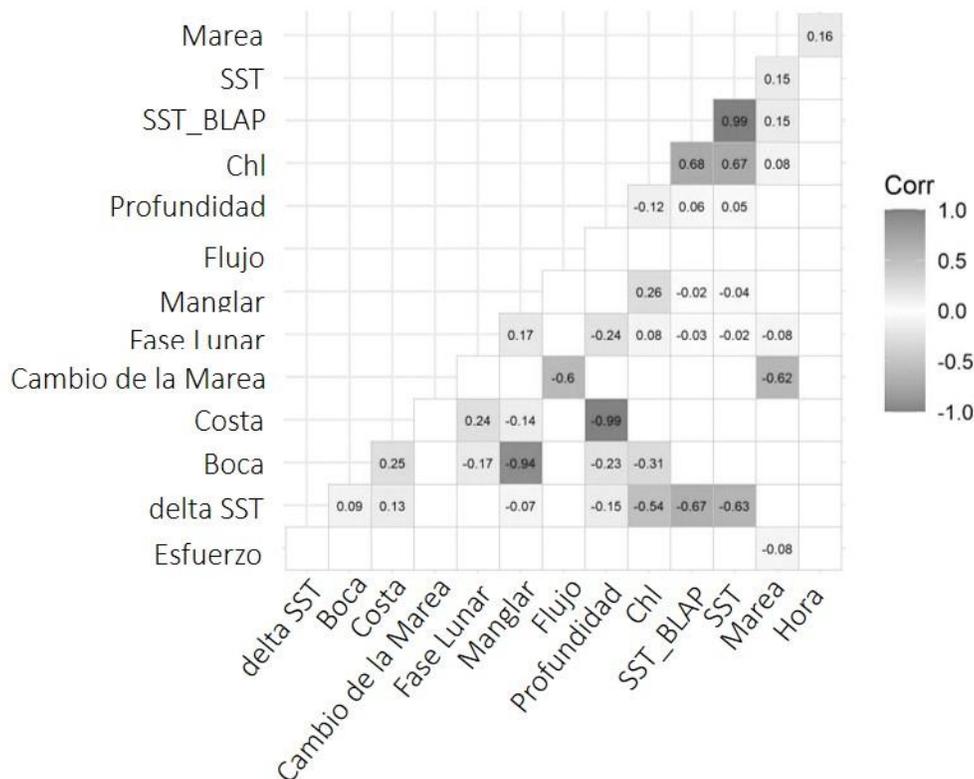


Figura 23: Prueba de múltiple colinealidad mediante correlaciones de Spearman significativas de las variables explicativas probadas en los GAMs.

El GAM final indicó que se detectaron significativamente más tursiones entre 22.7 y 26.4°C (mayo, junio, julio y despliegue 11_13), y significativamente menos tursiones a valores superiores a 27.4°C (agosto hasta fin de noviembre, Fig.24). Además, las detecciones de tursiones fueron significativamente más altas entre luna creciente y luna nueva, y significativamente más bajas ente luna menguante y luna llena (Fig.24). Los tursiones fueron detectados durante todas las condiciones de la Marea, pero las detecciones fueron menores cuando el Cambio de la Marea aumentaba y cuando el nivel del mar era relativamente alto (Marea > -0.26 m). Con relación a las variables directas se puede notar que las detecciones fueron significativamente menores entre las 01:00 y 03:00 horas y significativamente más altas entre las 18:00 y 21:00 horas. Las detecciones disminuyeron adicionalmente con un aumento de Profundidad (>1.5 m) y de la distancia desde la entrada a la laguna (Boca > 5500 m). La estación con el menor número de detecciones era la estación más somera y lejana (la estación 6, Fig.24). En esta estación se grabaron pocas detecciones (2 silbidos en 24 horas) lo que afectó la modelación de los suavizadores de Profundidad y Boca.

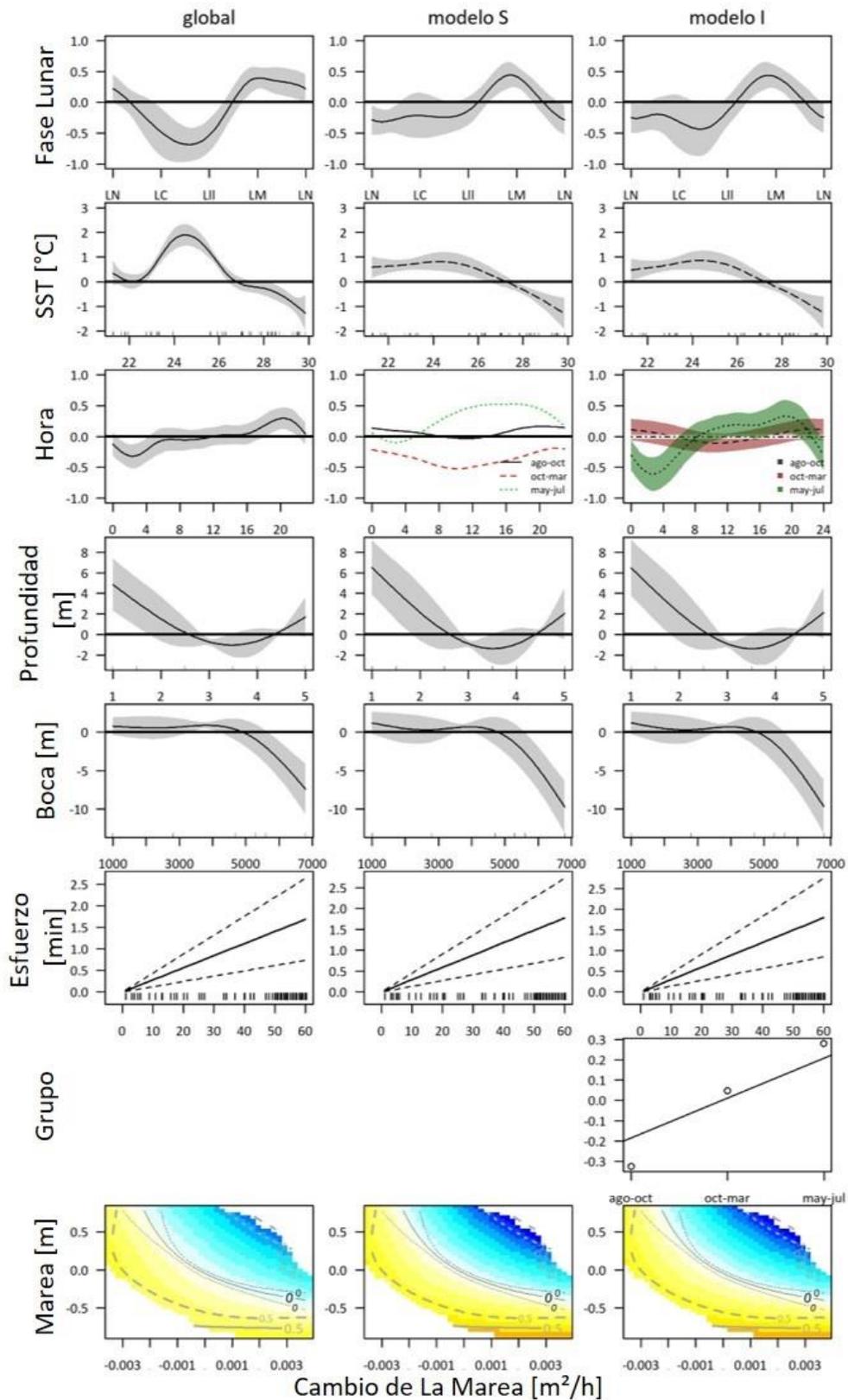


Figura 24: Modelos de las detecciones acústicas de tursiones en la Ensenada de La Paz mediante un GAM global, modelo S y modelo I (LN: luna nueva, LC: luna creciente, LL: luna llena, LM: luna menguante).

7.2.2. Interacciones entre las variaciones estacionales y patrones rítmicos

En el GAM global se asumió que el comportamiento de los tursiones se mantuvo constante durante el estudio, y, por lo tanto, no se consideraron diferentes interacciones entre las variables. Para corroborar esta presunción se consideraron diferentes interacciones entre las variables explicativas y las condiciones ambientales definidas mediante HCPC (Fig.14). Se obtuvieron 16 modelos que eran anidados dentro del GAM global. Los GAMs agrupados difirieron del GAM global en la forma de la parametrización de los suavizadores agrupados (GI, I, GS & S, i.e. (Pedersen *et al.*, 2019)) y cuáles eran las variables explicativas agrupadas (SST, Fase Lunar, Hora y el tensor spline de Marea y Cambio de la Marea, Tabla 7). El AIC de seis de estos modelos era significativamente menor que el AIC del GAM global ($\delta AIC < -4$, Tabla 7); cuatro de estos modelos no fueron considerados más, porque uno o más de las variables no agrupadas eran inválidas ($p > 0.05$), y excluyendo estas variables redujo la desviación explicada del modelo.

Los dos GAMs restantes agruparon la variable Hora (Tabla 7), de los cuales el modelo S mantuvo todas las variables explicativas ($p < 0.01$, Anexo E) y el modelo I obtuvo valores p inválidos por los suavizadores individuales de ago-oct y oct-mar (Anexo F). El modelo S es más parsimonioso que el modelo I (i.e. menos coeficientes) y representa el modelo con el AIC menor ($\delta AIC = -6.8$). Al contrario, el valor de las ponderaciones del AIC favorece el modelo I ($AIC_{wt-I} = 0.296$; $AIC_{wt-S} = 0.011$). La representación visual del modelo I era adicionalmente más informativa que la visualización del modelo S, debido a que en el modelo S los tres suavizantes de la variable Hora comparten el intervalo de confianza, mientras que en el modelo I existen intervalos individuales por cada suavizante, lo que facilita identificar las diferencias significativas entre grupos.

Tabla 7: Modelos generalizados aditivos de la Actividad Acústica de los tursiones en la Ensenada de La Paz agrupados por Hora, SST, Fase Lunar, y Marea y Cambio de la Marea.

Variable	estadística	modelos			
		GS	S	GI	I
Hora	δAIC	-6.85	-7.58	-14.06	-14.87
	AIC_{wt}	0.011	0.011	0.296	0.351
	no significativo	gs-Hora	-	gs-Hora; is-Hora; ago-oct y oct-mar	is-Hora: ago-oct y oct-mar
	δAIC	3.38	3.62	-1.78	3.67
	AIC_{wt}	0.002	0.003	0.029	0.004
	no significativo	Marea y Hora	Marea y Hora	is-SST: Aug-Oct y Oct-Mar; Marea; Hora; re: grupo	Marea; Hora
SST	δAIC	0.25	3.03	-3.12	-0.56
	AIC_{wt}	0.001	0	0.277	0.002
	no significativo	Marea y Hora	Marea y Hora	is-Fase Lunar: ago-oct y oct-mar; Marea; Hora	is-Fase Lunar: ago-oct y oct-mar; Marea; Hora
	δAIC	0.27	7.38	-15.76	-5.23
	AIC_{wt}	0.003	0.001	0.007	0.003
	no significativo	gs y Marea	ss-Hora	gs-Marea; is-Marea: ago-oct y oct-mar; Hora	is-Marea: ago-oct & oct-mar; Hora
Marea y Cambio de la Marea	δAIC	0.27	7.38	-15.76	-5.23
	AIC_{wt}	0.003	0.001	0.007	0.003
	no significativo	gs y Marea	ss-Hora	gs-Marea; is-Marea: ago-oct y oct-mar; Hora	is-Marea: ago-oct & oct-mar; Hora

gs: suavizador global; ss: suavizador compartido (shared); is: suavizador individual; re: factor aleatorio.

La incertidumbre si los suavizadores diferían significativamente requería una comparación posterior para contrastar y diferenciar patrones específicos entre grupos de un modelo e identificar diferencias en la modelación de este patrón cíclico. Esta comparación demostró que en ambos modelos existía una diferencia entre dos grupos (Fig.25) con significativamente menos detecciones durante el día en oct-mar que en may-jul (modelo S: 06:00 – 21:00; modelo I: 07:00 – 21:00).

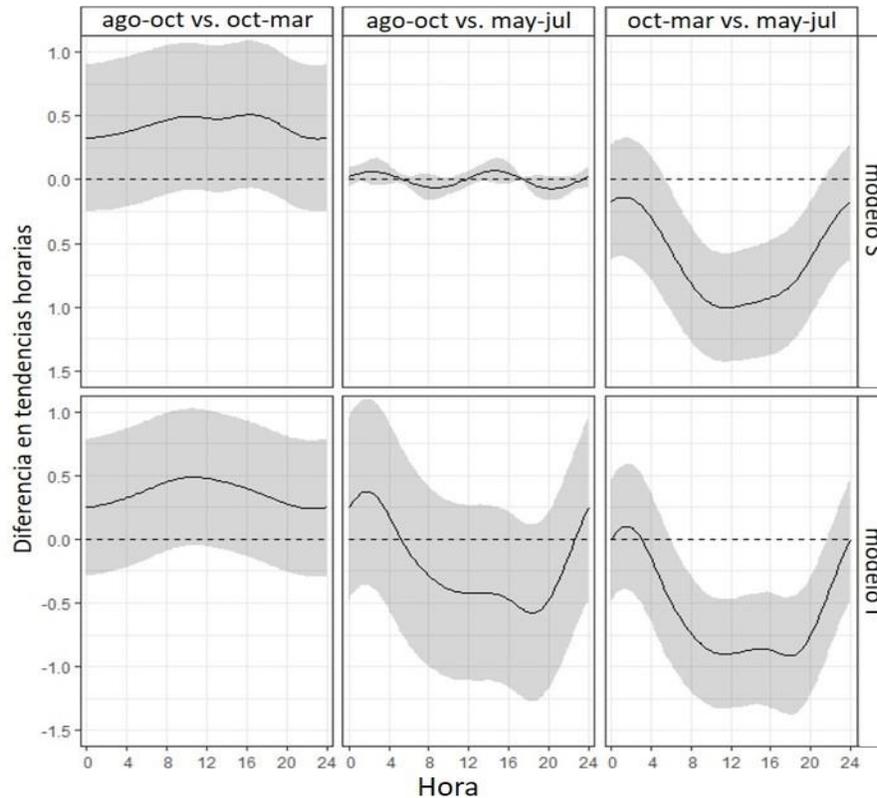


Figura 25: Diferencias en la Actividad Acústica en el transcurso del día por GAM agrupado.

A pesar de esta diferencia ambos modelos agrupados difirieron similarmente del modelo global (Fig.24); en el GAM global el suavizador de la Fase Lunar demostró un mínimo y un máximo bien definido (luna menguante y nueva vs. luna creciente y llena), mientras que los GAMs agrupados tendieron a tener valores significativamente más bajos durante la luna nueva. Adicionalmente, el suavizador de la SST fue menos curvado en los GAMs agrupados que en el GAM global demostrando una relación más lineal con un efecto significativamente positivo si la SST era inferior a 26.3 °C y negativo si la SST era superior a 27.4°C (Fig.24).

La agrupación de más variables llevó a un sobreajuste de los datos y no resultó en un modelo más significativo.

7.2.3. Modelos heurísticos de la presencia y no detección de tursiones en la Ensenada de La Paz

Para corroborar los resultados de los GAMs se desarrolló una red neuronal artificial (ANN), en la cual se usaron variables explicativas similares como en los GAMs, porque se había demostrado

su relevancia y su efecto en la presencia de los tursiones en la Ensenada de La Paz (Fig.24, Tabla 6).

La precisión de la primera aproximación de la ANN (3 nodos, tasa de atenuación 0.1) demostró que era necesario controlar la parametrización de la ANN para reducir el error de la predicción (precisión = 0.657, kappa = 0.315). Con este fin se ejecutó la ANN con amplias especificaciones (21 diferentes tasas de atenuación, 20 diferentes tamaños repetidos 200 veces) para encontrar el rango de parámetros adecuados. Las predicciones del set de validación de estas ejecuciones variaron entre 0.59 y 0.729 (Fig.26). Las ANNs con las mayores precisiones fueron obtenidas usando una tasa de atenuación entre 0.04 y 0.20 y 3 a 20 nodos.

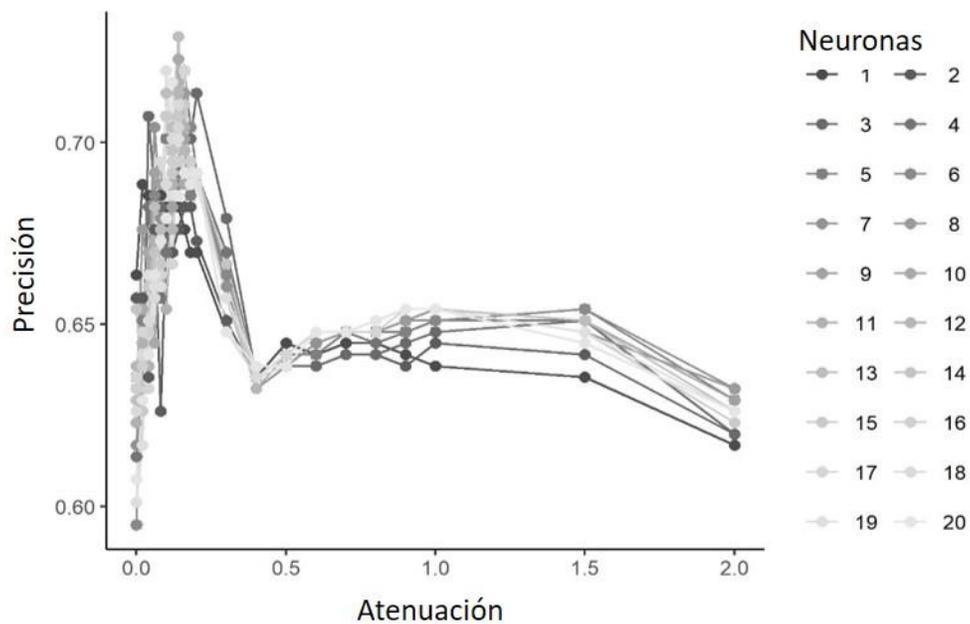


Figura 26: Parametrización de la ANN ejecutando 410 combinaciones de la tasa de atenuación y el tamaño de la capa oculta.

Se repitió este proceso seleccionando los parámetros ideales (tamaño 3 a 20 nodos, tasa de atenuación 0.04 a 0.20 con paso de 0.01) y mezclando aleatoriamente el conjunto de datos antes de cada repetición (200 veces). La precisión de estas repeticiones varió entre 0.553 y 0.733 (Fig.27) y el valor kappa entre 0.271 y 0.427.

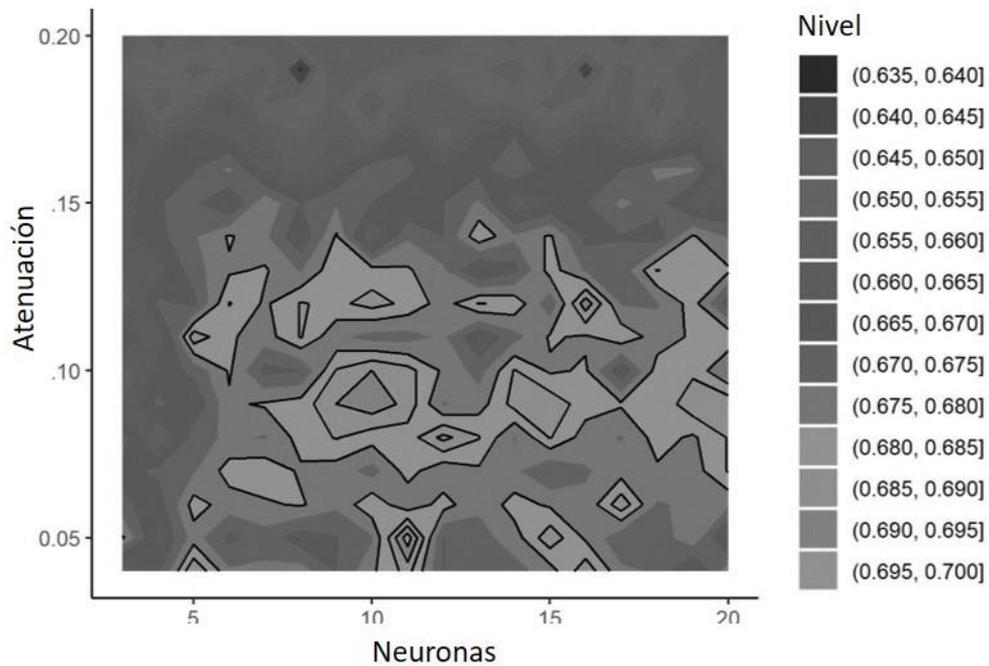


Figura 27: Precisión de ANN ejecutando combinaciones de la tasa de atenuación entre 0.04 y 0.20 y un tamaño de la capa oculta entre 3 y 20 nodos.

La ANN con la mayor predicción del conjunto de entrenamiento (precisión = 0.711, CI = 0.670-0.749, kappa 0.427, CI = 0.388-0.466) tenía 16 nodos y una tasa de atenuación de 0.12 (Fig.28). La predicción del conjunto de validación fue de 0.652 (CI = 0.586 – 0.713) y un valor kappa de 0.304.

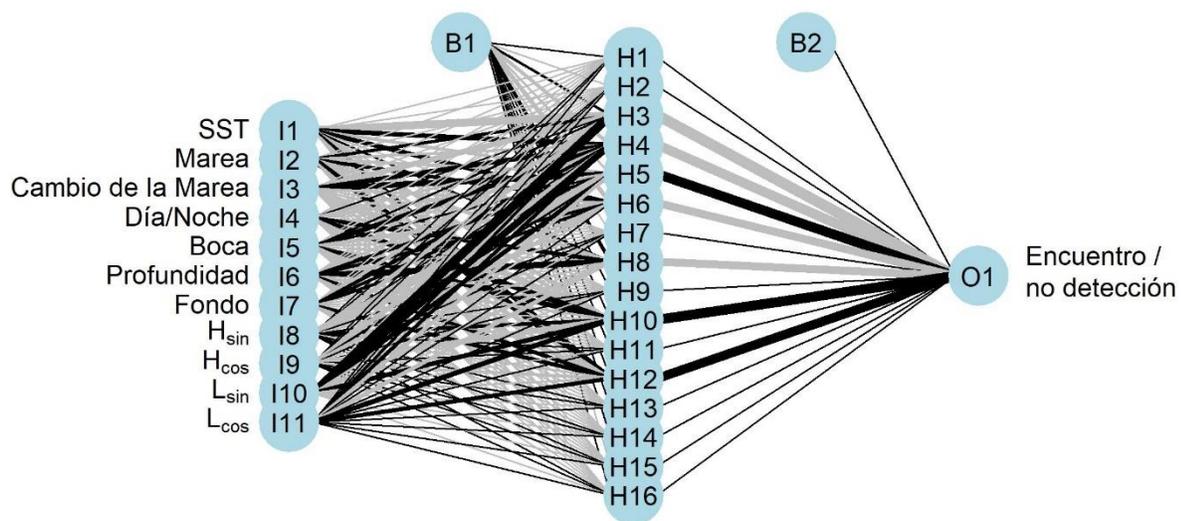


Figura 28: Arquitectura de la ANN con 11 variables explicativas, 16 nodos en la capa oculta, una tasa de atenuación de 0.12 y una función de activación logarítmica en la capa de salida.

Las variables más importantes según las ponderaciones acumuladas fueron H_{sin} , Día/Noche, y L_{cos} . Mientras que las variables menos importantes fueron el H_{cos} y Fondo (Fig.29.A). En comparación, el análisis de características indica que las variables más importantes fueron SST, L_{sin} , H_{cos} , y Cambio de la Marea (Fig.29.B); las demás variables tienden a mostrar valores negativos.

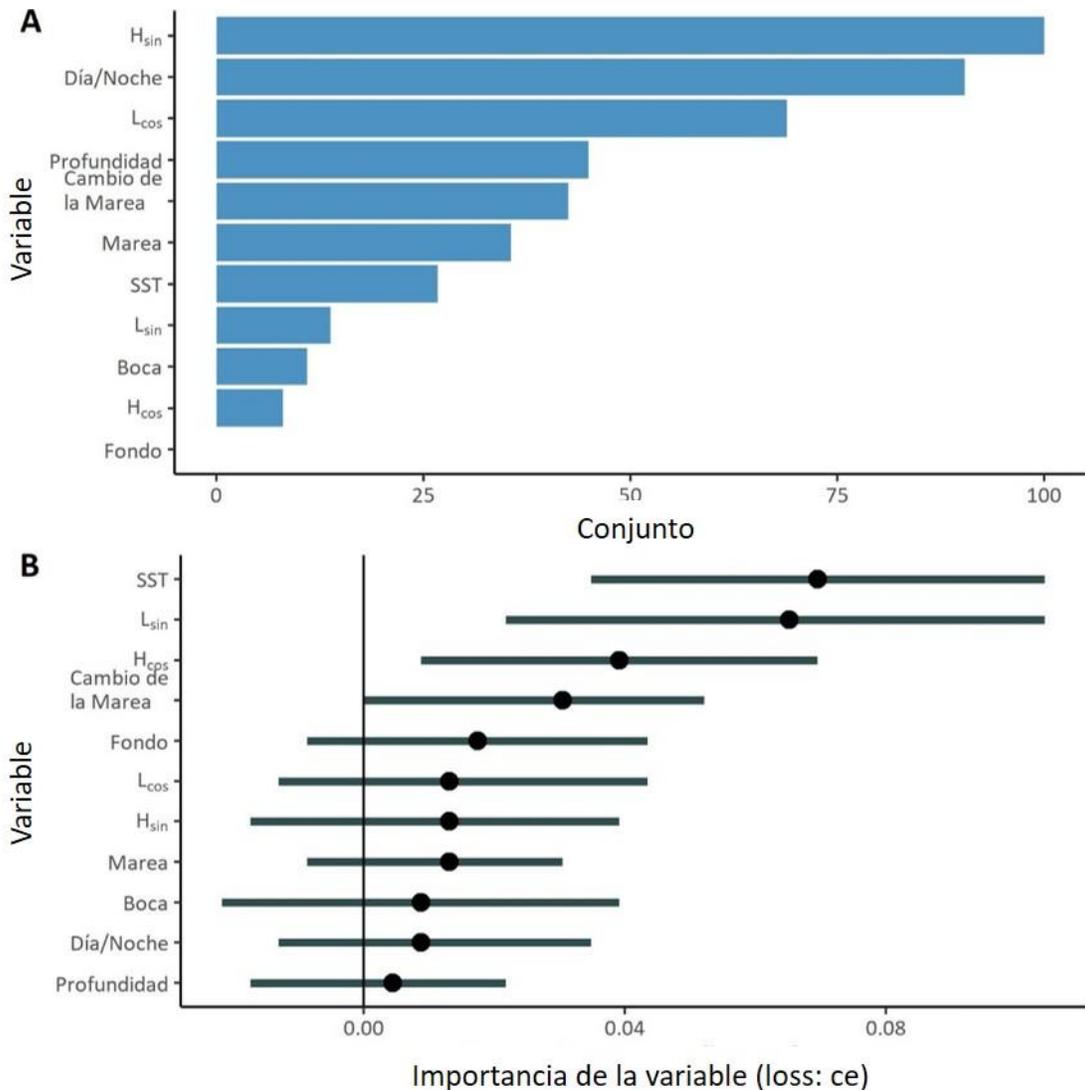


Figura 29: Importancia de las variables mediante valores absolutos de las ponderaciones (A) y mediante el análisis de las características (B, loss ce: función de pérdida de entropía cruzada).

Los valores de ALE y de PDP demuestran que la probabilidad de encontrar tursiones es máxima entre 21 y 25°C (Fig.30.A); por el contrario, cuando SST sobrepasa 27° C el ALE es negativo y la probabilidad es menor a 50 %. La mayoría de las curvas individuales (ICE) tienen una tendencia

negativa fuerte (80-90 a 40-0 %) y las que tienen una tendencia positiva tienen un rango amplio (0 a 50%) lo que causa probablemente un aumento inicial de la probabilidad (Fig.30.A).

El impacto de Profundidad a la detección de los tursiones es negativo con una leve inclinación (Fig.30.B). En sitios con una Profundidad menor a 3.0 m la probabilidad de un Encuentro es mayor a 50% mientras que el ALE es positiva.

La relación entre la variable Boca y la detección de tursiones es positiva (Fig.30.C), y si Boca es mayor a 3,5 km el ALE es positivo y el DPD no se distingue de cero. Una notable parte de los ICE aumenta y en general el rango de las probabilidades es amplio, lo que puede afectar que el ALE aumenta localmente entre 5.0 y 6.0 km. Sin embargo, el GAM estimó más permanencia de tursiones a menos de 6.0 km de distancia de la Boca y preferentemente a una profundidad de 1.5 m. Por el contrario, la ANN estimó una mayor frecuencia por los tursiones a una distancia de la Boca de 5.5 km, pero a una muy semejante Profundidad (1 m).

El efecto de la variable Día/Noche al nivel global es positivo, pero el ALE indica que los tursiones tienden a aparecer más durante el día que durante la noche, mientras que el DPD no se distingue de cero (Fig.30.D).

Durante y después de la luna menguante la probabilidad de detectar tursiones era más alta que entre la luna nueva y la luna llena (Fig.31.A, $PDP > 0.55$) y los valores de ALE indican similarmente un aumento en este momento. Los valores de ALE indican también un aumento entre la luna creciente y luna llena. La menor probabilidad de detectar tursiones fue entonces después de luna nueva y luna llena (Fig.30.A).

Además, hubo más detecciones entre las 21 y 6 horas ($PDP > 0.55$, $ALE > 0.05$) y menos detecciones entre las 10 y 18 horas ($PDP < 0.45$, $ALE < -0.05$) y a las 3 horas ($ALE < -0.05$, Fig.31.B).

La ANN predice más detecciones durante la marea alta cuando la corriente hacia la laguna aumentaba ($ALE > 0$: $Marea > 0.5$ & $Cambio\ de\ la\ Marea > 0.0$, Fig.31.C) o cuando la Marea es alta y la corriente hacia la Bahía de La Paz aumentaba ($ALE > 0$: $Marea < 0.25$ & $Cambio\ de\ la\ Marea < 0.0$). Al contrario, el PDP indica más Encuentros cuando la corriente hacia la laguna aumentaba ($Cambio\ de\ la\ Marea > 0.025$) y con un nivel de agua mayor a -0.5 m ($PDP > 0.54$) y

menos Encuentros con un valor de Marea mayor a 0.0 cuando la corriente desacelera (PDP < 0.45 Fig.31.C).

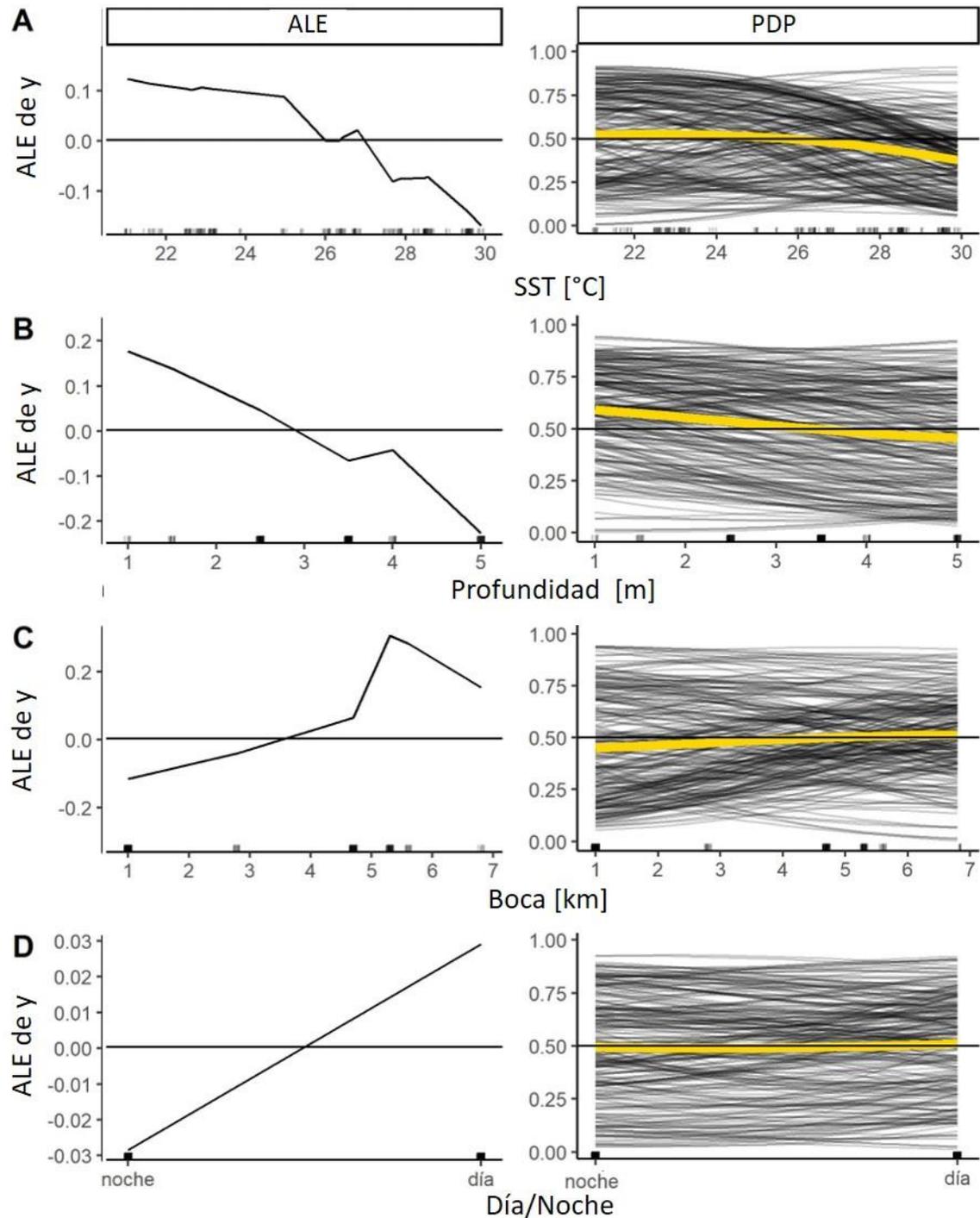


Figura 30: Efecto de las variables en la predicción de los Encuentros (las no detecciones no fueron representados) de SST (A), Profundidad (B), Boca (C) y Día/noche (D), mediante efectos acumulados locales (ALE), parcelas de la dependencia parcial (PDP) y expectativas condicionales individuales (ICE).

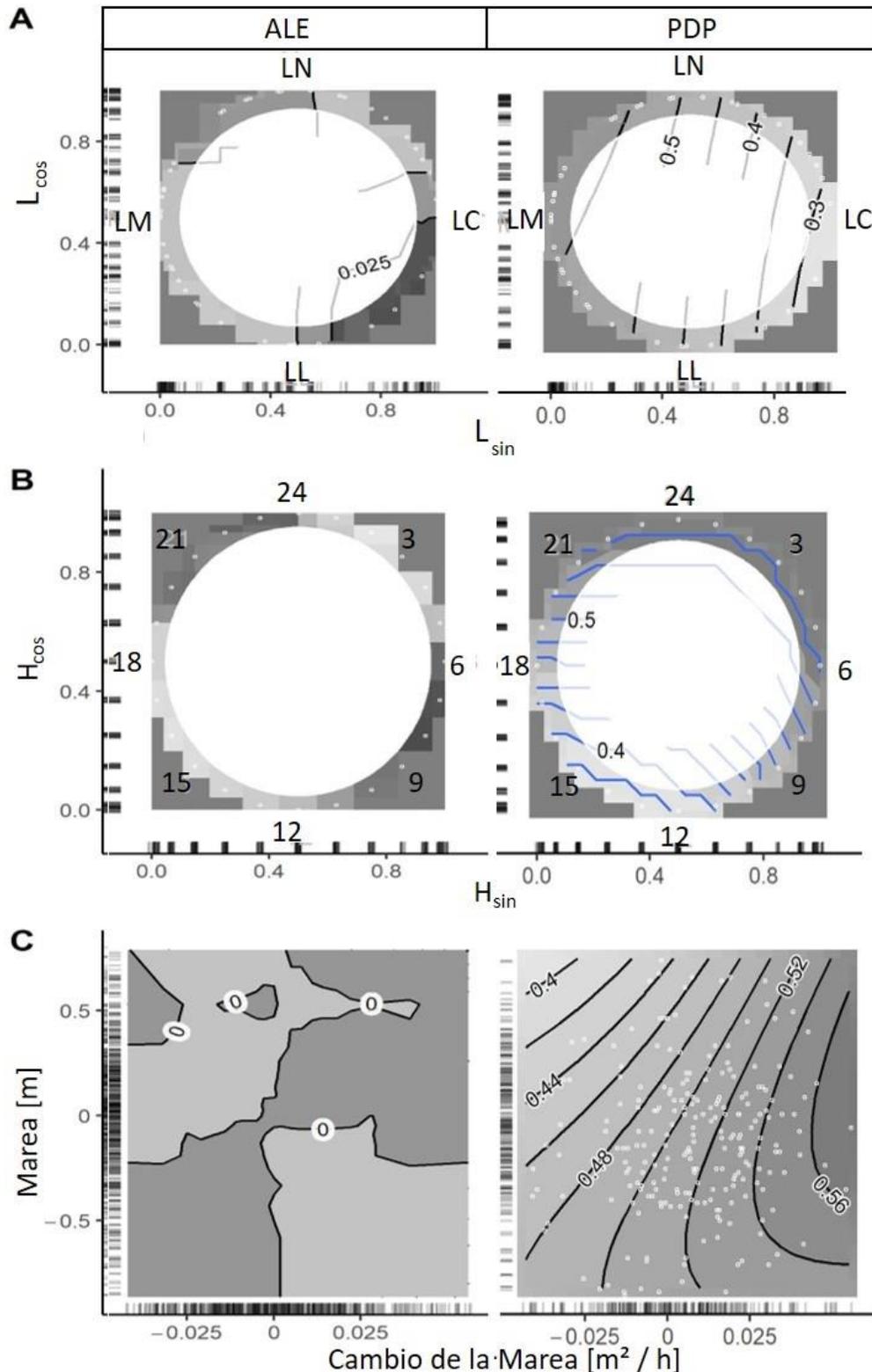


Figura 31: Efecto de las variables rítmicas en la predicción de los Encuentros (las no detecciones no fueron representadas) del efecto de la Fase Lunar (A), el seno y coseno de la Hora (B), la Marea, y el Cambio de la Marea (C), mediante efectos acumulados locales (ALE) y las parcelas de la dependencia parcial (PDP). (LN: luna nueva, LC: luna creciente, LL: luna llena, LM: luna menguante, las ICE no se pueden estimar para dos variables)

El nivel de interacciones entre las variables fue mayor con las variables L_{sin} , H_{sin} y SST, y menor con las variables Profundidad y Fondo (Fig.32). De estas tres variables con más interacciones L_{sin} presentó más interacciones con SST (Fig.33.A), SST presentó más interacciones con L_{sin} , Fondo y Boca Fig.33.B), y H_{sin} más interacciones con Día/Noche, L_{cos} y Cambio de la Marea (Fig.33.C).

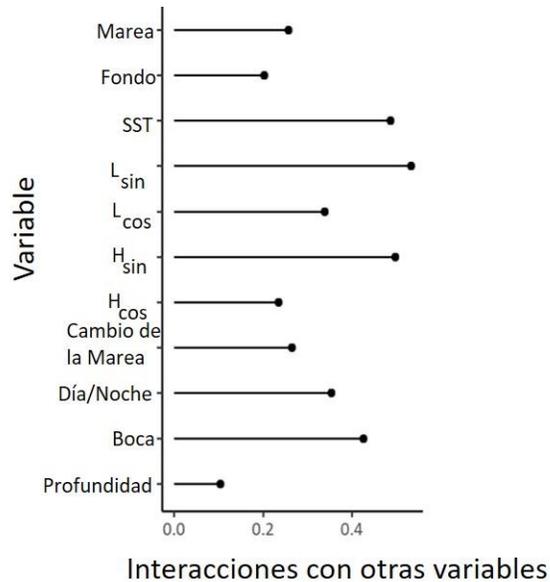


Figura 32: Nivel de interacciones entre las variables de la ANN final.

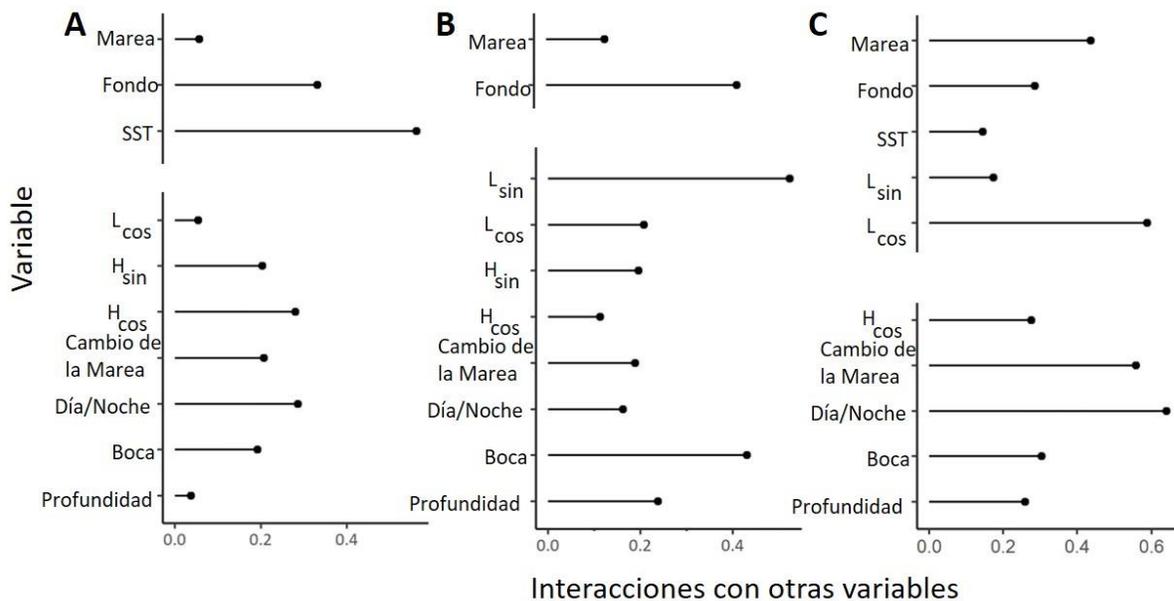


Figura 33: Interacciones de la variable L_{sin} (A), SST (B) y H_{sin} (C) con las otras variables.

El promedio total de la Actividad Acústica en este estudio fue sesgado por una tasa más alta y un patrón diurno fuerte en los meses de mayo, junio, y julio (Fig.14), y la prueba de Hermans-Rasson de la Actividad Acústica por Hora dividido por grupo (e.g. HCPC) indicó una desviación

significativa de la uniformidad en el grupo may-jul, pero también en oct-mar (Fig.22). Esto llevó a modelar la variable Hora por condición ambiental en los GAMs agrupados (Fig.23). Los suavizadores en el modelo S comparten la banda de confianza, y en consecuencia no fue posible determinar una diferencia significativa entre los tres suavizadores, lo que indica que el modelo I representa mejor la Actividad Acústica observada que el modelo S. A diferencia de los GAMs agrupados la ANN no diferenciaba entre grupo. No hay interacciones fuertes entre H_{cos} y SST (Fig.32), sin embargo, SST y H_{cos} son dos de las tres variables más importantes de la ANN (Fig.29). Las interacciones más fuertes entre SST y otras variables fue con L_{sin} y Boca (Fig.33). Esta información no indica necesariamente la estructura observada en el HCPC, pero, de cualquier forma, la importancia de SST y H_{sin} demuestran una relevancia entre la condición ambiental y la hora del día.

8. DISCUSIÓN

8.1. Presencia continua de los tursiones en la Ensenada de La Paz

8.1.1. Avistamientos de los tursiones en la Ensenada de La Paz

Los tursiones fueron los únicos odontocetos avistado en la Ensenada de La Paz y una parte del sur de la Bahía de La Paz, lo que corroboró estudios previos (Acevedo, 1991; Marcín-Medina, 1997, 2010; Salinas Zacarías, 2005). La mayoría de los avistamientos ocurrieron en el canal (10 de 18 avistamientos); lo cual ya se había reportado en estudios anteriores (1989, 1996/97, 2005/06), donde se les ha visto forrajeando (Acevedo, 1991; Marcín-Medina, 1997, 2010) y demuestra un uso continuo de la zona.

Este estudio propone el monitoreo acústico como mejor estrategia metodológica para estimar la continuidad temporal de los tursiones en la Ensenada de La Paz. Se corroboró la presencia continua de los tursiones en diferentes condiciones ambientales con una metodología que permitió un mayor esfuerzo temporal. Se ha señalado que los censos visuales tienden a subestimar la presencia de los tursiones (e.g. Thomsen *et al.*, 2005). En particular por la fuerte dinámica de la laguna, la cual puede afectar la detección de la presencia de los tursiones (Acevedo, 1991; Salinas Zacarías, 2005; Moreno-Zuñiga, 2013).

No obstante que la batimetría en la boca de la Ensenada no es homogénea, lo que puede afectar la probabilidad de la propagación de silbidos desde la Bahía hacia la entrada a la Ensenada de La Paz, cabe señalar que los tursiones pueden usar dos rutas para entrar a la laguna; la primera siguiendo la costa pegada al “Mogote” (i.e. el banco de arena que separa la Ensenada de la Bahía de La Paz); y la segunda, en línea recta del norte hasta llegar a la costa, cerca de la empresa CEMEX, donde ya se les ha reportado forrajeando (Acevedo, 1991; Marcín-Medina, 2010). Dichas observaciones permiten asumir que los animales que fueron avistados al exterior de la laguna posiblemente entraron antes o después a la Ensenada de La Paz, probablemente mediante la ruta del norte. Los avistamientos pueden corroborar esta suposición porque los tursiones fueron observados principalmente en el canal o dentro de la laguna (15 de 18 avistamientos), y necesitaron pasar por los Registradores Acústicos para entrar al área de estudio.

8.1.2. Patrones acústicos

Las detecciones de la Actividad Acústica relativamente altas de febrero, marzo, junio, y julio; y las que fueron relativamente bajas en mayo, y entre agosto a enero (Fig.34.C); concuerdan con los estudios previos en el área de estudio (Fig.34.B) (Marcín-Medina, 2010). Otros estudios previos (Salinas Zacarías, 2005; Pardo *et al.*, 2013) sugieren que los tursiones se agregan al fin de la primavera en la Bahía de La Paz (Fig.34.A) justo cuando la producción primaria en esta bahía es alta (e.g. Durán-Campos *et al.*, 2019), y también coincide con un cambio importante en la variedad de peces en el área (e.g. González-Acosta *et al.*, 2005; Payán-Alcacio, 2015); lo cual podrían representar posibles cambios en las composiciones de nutrientes de las presas de los tursiones.

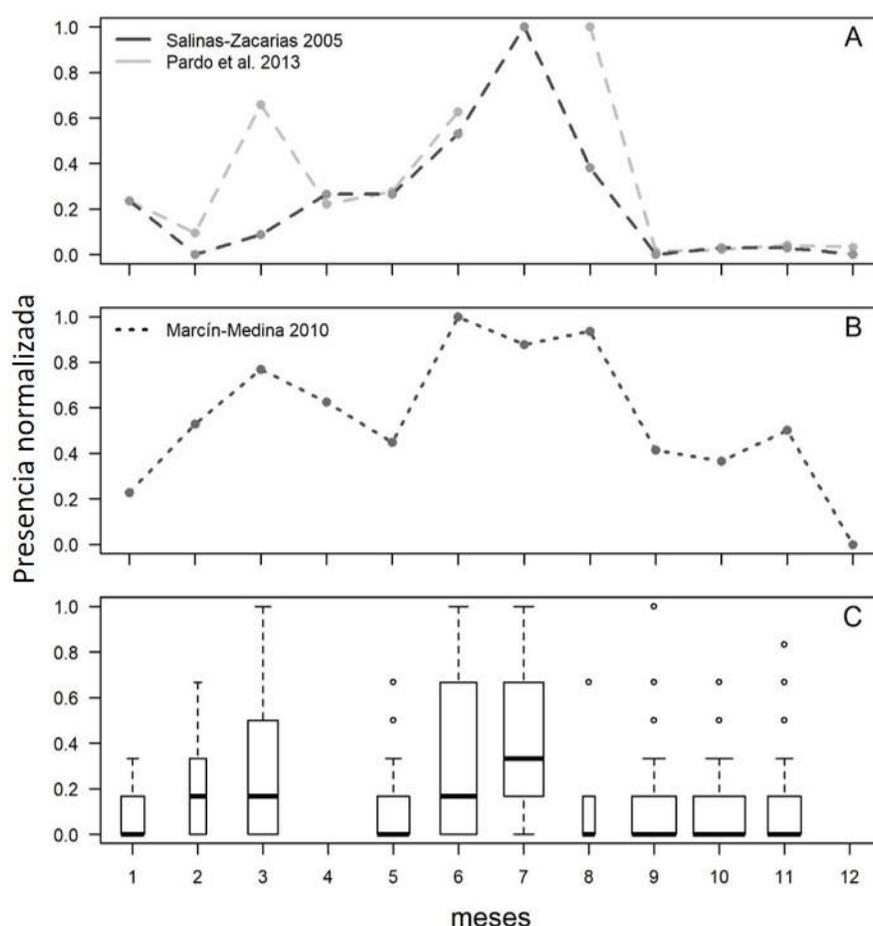


Figura 34: Presencia normalizada de los tursiones estudiados en la Ensenada de La Paz y áreas adyacentes por métodos visuales (A & B) y acústicos (C); A: Bahía de La Paz (2000/01, Salinas Zacarías, 2005: ind./km; 2007/08, Pardo et al., 2013: ind./km²); B: Ensenada de La Paz (2005/06, Marcín-Medina, 2010: ind./km); C: Actividad Acústica (2017/19, dp10min/h) durante el estudio presente.

El mayor número de observaciones y de detecciones acústicas ocurrieron en los meses de verano, cuando la temperatura superficial del mar (SST) era al alrededor de 25°C. Esta periodicidad resalta la continuidad de la presencia de tursiones y coincide con estudios anteriores de décadas en la misma área o áreas adyacentes (Salinas Zacarías, 2005; Marcín-Medina, 2010) exceptuando los valores bajos en agosto pudieran ser más bien el resultado de un menor esfuerzo en este mes (Fig.34.C, 8 h).

Independientemente de que la Ensenada de La Paz sea un área pequeña, el cambio de la temperatura a lo largo del año se relacionó con la presencia de los tursiones como se demostró también con metodologías visuales (Marcín-Medina, 2010); lo cual también ocurre a una escala mucho más grande (e.g Pardo *et al.*, 2013), en donde las temperaturas altas y en particular los 25°C, representan un punto de inflexión en cuanto los patrones de presencia de los tursiones aumentan (Salvadeo *et al.*, 2009).

El análisis de los datos acústicos sugiere una periodicidad en la presencia de los tursiones en el área de estudio. Sin embargo, la Ensenada de La Paz es dominada por las condiciones del monzón (Mercado-Santana *et al.*, 2017) y las fechas tradicionalmente usadas para delimitar las estaciones (i.e. 21 de marzo, 21 de junio, 21 de septiembre y 21 de diciembre) no representan realmente las condiciones ambientales marinas. En cambio, el análisis HCPC realizado para distinguir los periodos indicó tres grupos, agosto-mitad de octubre, mitad de octubre-marzo y mayo-julio. Estos resultados son parecidos a los de Payán-Alcacio (2015), que analizando la comunidad de peces de la Ensenada de La Paz encontró una separación parecida a lo largo del año: los meses fríos (dic-mar) con la menor biodiversidad, los meses cálidos (jul-nov) con la mayor biodiversidad, y una temporada de transición (apr-jun) con una biodiversidad intermedia.

En este estudio mediante acústica pasiva se corroboró la hipótesis que los tursiones hacen un uso continuo de la Ensenada de La Paz durante día y noche, y en diferentes condiciones ambientales a lo largo del año, lo cual no se había podido corroborar con censos visuales en estudios previos (e.g. Acevedo, 1991; Salinas Zacarías, 2005; Marcín-Medina, 2010). Además, se consideró importante corroborar también la hipótesis de una posible diferencia significativa entre día y noche mediante diferentes herramientas estadísticas para demostrar que la integración de ulteriores variables puede influir de manera importante para llegar a una posible conclusión y aceptar o refutar esta hipótesis. Por ejemplo, con los promedios del estimador-M

se encontró una diferencia significativa en el caso de los Encuentros, pero no en la Actividad Acústica. Cabe señalar, que la diferencia entre los resultados de Encuentros y Actividad Acústica en los promedios del estimador-M y los GLME puede ser causa de la agrupación de los silbidos. Se interpretó a los Encuentros como un índice de que los tursiones frecuentan la Ensenada de La Paz independientemente de su duración (máx. 308 min), mientras que la Actividad Acústica indica la permanencia en un sitio. Posiblemente el inicio de un Encuentro tiene una gran importancia porque el instante cuando ocurre la primera detección está influenciado por las condiciones ambientales que pueden ser favorables (i.e. que fomenten directa o indirectamente la permanencia de los tursiones por un tiempo prolongado, y en consecuencia incrementen la probabilidad de ser detectado por la acústica pasiva), o que ocurra lo contrario (i.e. que no sean favorables, e incluso sean desfavorables y disminuyan la probabilidad de que ocurra otra detección, reflejándose en el tránsito más que en la permanencia).

8.2. Patrones rítmicos

La prueba de Hermans-Rasson demostró que los Encuentros y la suma de la Actividad Acústica se desviaron de la uniformidad con respecto a la Fase Lunar. La representación visual de las dos variables señaló un aumento durante la luna menguante y una disminución durante la luna creciente (Fig.21.A y B). Sin embargo, es posible que estas diferencias pueden ser causadas por el número limitado de despliegues, un número diferente de Encuentros y suma de dp10min que no cubren igualmente la Fase Lunar ($N_E = 386$, $N_{horas} = 640$, i.e. el muestreo no era uniforme).

La visualización circular al nivel de Hora es consistente entre las dos variables respuesta (i.e. Encuentros y Actividad Acústica). Es importante mencionar que la visualización de los Encuentros demuestra más detalle que la Actividad Acústica (Fig.21.C y D), lo cual está posiblemente asociado a las condiciones que caracterizaron el inicio de cada Encuentro. El hecho que los Encuentros duraron unos segundos o minutos ($N_{short}=308$), más que 10 minutos ($N_{long} = 78$; 20%), o más de una hora (8 Encuentros), sugiere una alta importancia del canal para los tursiones, en cuanto es plausible que los tursiones se quedaron en el canal por un tiempo extendido y que no lo utilizaron únicamente para el tránsito a las partes interiores de la laguna; idea que se había discutido en estudios previos (Acevedo, 1991; Marcín-Medina, 2010).

8.3. Modelos ecológicos de la presencia y no detección de tursiones en la Ensenada de La Paz

Los GLME fueron usadas para verificar el uso continuo de los tursiones durante el año, mientras que los GAMs y la ANN fueron parametrizados para responder la hipótesis principal de este estudio: cuales variables afectan a los animales de manera directa (afectan solo los tursiones) o indirecta (afectan la red alimentaria utilizada por los tursiones), y como varían estos en el contexto de la variabilidad estacional del ecosistema.

Ambos tipos de modelos, GAM y ANN, fueron adaptados para capturar las relaciones no lineales entre la variable respuesta y las variables explicativas observadas con métodos descriptivos (Rosenblatt, 1957; Hastie y Tibshirani, 1990). Bajo la consideración que los GAMs son modelos aditivos que incluyen las interacciones entre variables mediante una orden específica del usuario (Wood *et al.*, 2016; Pedersen *et al.*, 2019); lo cual adjudica una flexibilidad a este tipo de herramientas en cuanto al uso de diferentes tipos de variables *a priori*, pero es importante resaltar que ello demanda un conocimiento previo de las relaciones entre las variables. Sí se desconocen las interacciones se corre el riesgo de descartar una variable relevante y explicar el fenómeno desde una perspectiva abiótica o biótica incompleta o equivocada. Por lo contrario, los modelos heurísticos como las ANN facilitan automáticamente las interacciones entre todas las variables y permiten dar solución a éste problema (e.g. Samarasinghe, 2006; Tsang *et al.*, 2018).

Cabe señalar que en este estudio el aporte de las variables indirectas en el GAM global fue mayor que el aporte de las variables directas (45.2 vs. 22.6 % de la desviación explicada; Tabla 5); incluso si el modelo utiliza únicamente una de las dos clases de variables (indirecto 27.4 %, directo 32.1%). En la ANN el mayor aporte al modelo depende del método de evaluación. El procedimiento mediante valores absolutos de las ponderaciones indica que dos variables directas (H_{\sin} y Profundidad) y dos variables indirectas (Día/Noche y L_{\cos}) eran las más importantes (Fig.29.A). Por otro lado, el procedimiento mediante el análisis de las características indica que las variables más importantes eran tres variables indirectas (SST, L_{\sin} , Cambio de la Marea) y una variable directa (H_{\cos}), mientras que el aporte de las otras variables era menor (Fig.29.B).

Este estudio favoreció la segunda aproximación, porque solamente el hecho que la ponderación de una variable es pequeña, no significa que su contribución es pequeña, i.e. el número de interacciones con otras variables puede ser más relevante. La estimación de la importancia mediante permutaciones de las variables estima el cambio del error de las predicciones cuando se reorganizan los elementos de las variables (i.e. permutan), lo que demuestra la sensibilidad de las predicciones (Gevrey *et al.*, 2003; Fisher *et al.*, 2018; Molnar, 2018). Sin embargo, hay otras posibilidades de estimar la importancia de una variable, como los valores de Shapley (Lundberg y Lee, 2016), el análisis lime (local Interpretable Model-Agnostic Explanations) (Ribeiro *et al.*, 2016), o un análisis de sensibilidad (Pizarroso *et al.*, 2020); pero no todas son aplicables porque proporcionan métodos para una observación determinada (Lundberg y Lee, 2016; Ribeiro *et al.*, 2016), mientras que se focalizó aquí en una interpretación global.

Los GAMs y la ANN de este estudio son complementarias ya que ambas abordan el análisis de datos desde diferentes aproximaciones matemáticas (i.e. regresión y clasificación, respectivamente), por lo que la estructura de los datos y variables respuesta son diferentes. La Actividad Acústica representa intervalos regulares por hora (dp10min/h) y los Encuentros son intervalos irregulares individuales. Por esta razón se usaron principalmente las mismas variables en ambos tipos de modelos lo que permitió una interpretación ecológica, por un lado, y el uso de ambas herramientas para interpretar el fenómeno desde ambas perspectivas matemáticas. Idealmente se hubiera presentado un GAM y una ANN de cada conjunto de datos lo que ya se había presentado en un análisis preliminar con una parte de los Encuentros presentados en este estudio (N = 240) (Gauger *et al.*, 2019); aun cuando en esta primera aproximación la clasificación de los Encuentros fue exitosa con ambos métodos, con un mayor número de datos, el mismo análisis demostró un GAM inconsistente (i.e. intercepto no significativo), y la validación de los supuestos del modelo binomial demostró una distribución anormal de los residuos independientemente del número de variables incluidas en el modelo.

Posibles razones por no converger no son solamente el número diferente de los Encuentros (270 vs. 383), también es importante el mayor número de Encuentros con duración larga (38 vs. 75), por ejemplo, el rango más amplio de la duración de los Encuentros (max: 100 vs. 308 min). Posiblemente, las dos diferencias más notables entre los dos análisis fue el número de las estaciones consideradas (donde se pusieron los Registradores Acústicos, 4 vs 6 estaciones,

aumento al fin del canal), y la tipología de representación de las variables de Hora y Fase lunar (representaciones lineales y valores senoidales; Fig.21, Fig.30). Sin embargo, son necesarios más datos para encontrar una solución a este tipo de problemática.

8.4. Estimación de la Actividad Acústica y Presencia de los tursiones mediante monitoreo acústico

La temperatura superficial del mar (SST), una variable indirecta, explicó la proporción más alta de la desviación del GAM (Actividad Acústica, Fig.24) y también fue catalogada de alta importancia para la ANN (Encuentros, Fig.29.C); mientras que obtuvo un efecto mediano para el GLME (Encuentro, Fig.17 y Actividad Acústica, Fig.19). Ambos el GAM y la ANN indicaron que una SST superior a los 27°C (e.g. agosto-fin de noviembre) determina una menor permanencia y frecuencia de los tursiones en el área; en particular el GAM indicó una permanencia mayor de los animales con SST entre 22.7 a 26.3°C (mayo-julio). En comparación el GLME indicó incluso que la variable SST puede tener también un efecto negativo con respecto al número de los Encuentros ($\beta = -0.09$) y la Actividad Acústica ($\beta = -0.15$), pero diferentemente a los otros modelos no indicó una desviación del promedio. Este resultado corroboró el punto de inflexión en los 25°C discutido previamente (Salvadeo *et al.*, 2009), pero una disminución en la presencia de los tursiones a temperaturas más altas.

Los tursiones responden indirectamente a la SST en cuanto son organismos endotérmicos; al contrario, sus presas están influenciadas directamente por el efecto de la temperatura del medio ambiente en los procesos metabólicos (e.g. Drinkwater *et al.*, 2010); incluso quizás en su distribución debido al efecto de la SST en los procesos oceanográficos (e.g. Aceves-Medina *et al.*, 2008). En general, se ha demostrado que la temperatura del agua influye en el crecimiento de los peces que frecuentan La Ensenada de La Paz (e.g. Galván-Piña *et al.*, 2003; Ramos-Lozano *et al.*, 2014); en su biomasa (González-Acosta *et al.*, 2005: marzo vs. octubre; Payán-Alcacio, 2015: diciembre-enero vs. septiembre) y complejidad taxonómica (Payán-Alcacio *et al.*, 2021: diciembre-febrero vs. junio, septiembre y octubre).

Los picos de las detecciones acústicas reportados en este trabajo no coinciden con los picos estacionales de los peces conocidos para la Ensenada de La Paz; en particular durante los meses de septiembre, octubre y noviembre, los valores de Actividad Acústica y Encuentros son bajos

mientras que la biomasa y biodiversidad de los peces está a su máximo. Patrones parecidos fueron reportados anteriormente (Salinas Zacarías, 2005; Pardo *et al.*, 2013) mediante observaciones visuales de los tursiones en la adyacente Bahía de La Paz, mientras que Marcín-Medina (2010) reportó avistamientos moderados hasta el mes de noviembre en la Ensenada de La Paz. Es posible que los datos disponibles para la ocurrencia de los peces en los manglares (e.g. González-Acosta *et al.*, 2005; Payán-Alcacio, 2015) representan principalmente peces juveniles; como se ha demostrado en algunos estudios de la estructura de tallas de peces (e.g. López-Rasgado *et al.*, 2016; Reis-Filho *et al.*, 2016); los cuales por su tamaño no concuerdan con el rango de posibles presas de los tursiones, ya que el tamaño de presas preferentemente consumido por los tursiones es menor al 24.4 % de su largura (MacLeod *et al.*, 2006), más bien entre 7.7 y 48.5 cm, como reportado en diferentes estudios estomacales (e.g. Barros y Wells, 1998; Blanco *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2001). Los tursiones podrían aprovechar presas pequeñas, incluso peces sub-adultos que viven en los manglares, sin embargo, sus posibles presas no se limitan únicamente a los manglares. Más aún si se considera el número de especies que ocurre en estos hábitats de la Ensenada de La Paz (González-Acosta *et al.*, 2005: 34 especies; Payán-Alcacio, 2015: 54 especies), el cual representa solamente una pequeña parte de las 533 especies de peces que se registraron en la Ensenada de La Paz y áreas adyacentes (González-Acosta *et al.*, 2018).

El único estudio alimentario de los tursiones de la Ensenada y Bahía de La Paz no identificó las especies relevantes de peces por focalizarse principalmente en otro tipo de presas, como los cefalópodos (Díaz-Gamboa, 2009); por lo que descartó especies como la liza (*Mugil cephalus*), uno de los peces dominantes en La Ensenada de La Paz (González-Acosta *et al.*, 2005; Payán-Alcacio, 2015; López-Rasgado *et al.*, 2016), ya reportada como posible presa de los tursiones en estudios visuales en el área de estudio (Marcín-Medina, 2010), además de haber sido encontrada en los estómagos de tursiones muestreados en otros lugares (e.g. Fury y Harrison, 2011; Secchi *et al.*, 2017).

Por otro lado, los datos reportados para la composición de tallas de peces de algunos sitios (e.g. estero Zacatecas) demuestran que no hay cambios estadísticamente significativos entre mayo-octubre e noviembre-abril (López-Rasgado *et al.*, 2016). Si se considera este dato es posible que la disminución de los tursiones en la Ensenada de La Paz entre junio-julio (pico máximo) y

agosto-febrero (pico mínimo) se podría relacionar o bien a los cambios de biomasa de sus presas y/o a los cambios de las necesidades nutricionales de los tursiones. Un posible escenario es aquel donde los ensamblajes de peces no cambian estacionalmente, pero si su biomasa en la temporada fría, lo que repercutiría en la disminución de la presencia de los tursiones durante esta época del año. Otro escenario es que, si los ensamblajes de peces no cambian estacionalmente, ni la biomasa de tales especies, es posible que las necesidades fisiológicas de los tursiones si lo hagan y requieran otros tipos de presas externas para satisfacerlos. En ambos escenarios la SST pudiera relativizar el mantenimiento de la población local de los tursiones a lo largo del año y sería un efecto abiótico indirecto.

La temperatura del agua puede tener también un efecto negativo en la detección de los tursiones, por la correlación positiva entre la velocidad del sonido y la densidad del agua, la cual depende de la temperatura y la salinidad (Katsnelson *et al.*, 2012); esto significa que el perfil vertical de la densidad puede afectar la velocidad del sonido y su propagación geométrica, porque la dirección de la propagación de una señal puede cambiar cuando la misma pasa entre dos cuerpos de agua con densidades diferentes; esto puede causar que emerjan zonas donde no se detectan sonidos a pesar de la proximidad del emisor (e.g. Turl y Thomas, 1992; Katsnelson *et al.*, 2012). En este estudio no se consideró este efecto físico de la propagación del sonido. La corriente en la laguna es normalmente fuerte, puede alcanzar hasta 0.68 ms^{-1} (Obeso-Nieblas *et al.*, 1993), por lo cual se asumió que el agua del canal no estaba estratificada (Tabla 15). Si esta suposición es incorrecta habría mayor probabilidad de detecciones en la mañana que en la tarde. El efecto de la temperatura entre día y noche afectaría las detecciones de los tursiones; como la profundidad no cambió al largo del año, porque se dejaron los Registradores Acústicos en el mismo canal, el error sería perceptible a lo largo del año. Por el contrario, si esta suposición es correcta existe la misma probabilidad de detectar silbidos en la mañana y en la tarde, porque el efecto de la temperatura entre día y noche no afectaría las detecciones de los tursiones, el efecto de la temperatura sería indetectable o un error constante. En cualquiera de los escenarios, un análisis heurístico, como las redes neuronales, permitiría detectar el posible efecto en la detección de los tursiones por la variable Día/Noche especialmente en la época cálida (mayo a noviembre). Los resultados de la ANN corroboraron que esta variable no tenía

relevancia, no hay interacción entre variable SST, Día/Noche, H_{\sin} o H_{\cos} ; por lo tanto, el efecto de la estratificación fue imperceptible.

Por otro lado, además de la SST, la clorofila (Chl) es también una variable relacionada a la productividad biológica del área de estudio y demostró un valor de correlación mayor a 0.7 (Fig.22), por lo tanto fue excluida como variable por consideraciones de la colinealidad (Zuur *et al.*, 2010; Dormann *et al.*, 2013).

Mientras que el cambio estacional de la temperatura puede influir en la abundancia y la biomasa de las posibles presas, los patrones cíclicos de Fase Lunar y de Marea (ambas variables indirectas), pueden afectar la accesibilidad de los depredadores tope a sus presas, como se ha señalado en peces (e.g. Hammerschlag *et al.*, 2010; Ramos *et al.*, 2011). Pero aún es poca la información sobre la influencia de estos patrones cíclicos abióticos y el posible efecto a las presas de los tursiones en la Ensenada de La Paz (Leija-Tristán *et al.*, 1992).

Se ha señalado que es muy importante clasificar las variables explicativas en componentes directos, indirectos o recursos para poder reflejar un modelo realístico de cualquier ecosistema (Guisan y Zimmermann, 2000). La importancia de las variables indirectas, relacionadas a las presas de los tursiones, ya se han sugerido como factores importantes que influyen su distribución (Wells *et al.* 1980; Scott *et al.*, 1990; Wells y Scott 2002). Algunos estudios han señalado que son estas variables indirectas, como la densidad de las presas, que quizás son afectadas por otras variables que influyen más en su distribución (e.g. Davis *et al.*, 2002; Blasi y Boitani, 2012). En este estudio la Actividad Acústica y el número de Encuentros aumentó significativamente durante la luna menguante y nueva (prueba de Herman Rasson, GAM y ANN), lo cual puede relacionarse con una mayor oportunidad para el forrajeo de presas; como se ha discutido en otros estudios de otras poblaciones de tursiones (e.g. Simonis *et al.*, 2017; Fernandez-Betelu *et al.*, 2019; Cárdenas Hinojosa *et al.*, 2020). También porque se sabe que las poblaciones de peces muestran una relación con las condiciones de la marea (e.g. Gibson *et al.*, 1996; Gibson, 2003; Gómez-Valdés *et al.*, 2003).

La Actividad Acústica indica que la permanencia de los tursiones era menor cuando la Marea era relativamente alta (> -0.26 m) y el Cambio de la Marea aumentaba (GAM), mientras que la probabilidad de frecuentar el área (ANN) aumentaba solamente cuando el Cambio de la Marea

y la Marea tenían valores aproximadamente positivos (Cambio de la Marea > 0.0 , Marea > -0.25) o negativos (Cambio de la Marea < 0.0 , Marea < -0.25). Se ha demostrado que los tursiones siguen a los peces (e.g. Mendes *et al.*, 2002; Fury y Harrison, 2011; Bailey *et al.*, 2013) los cuales entran a los estuarios y lagunas en función de la marea (Gibson, 2003). Los peces se agregan probablemente acerca de la pluma y en otras áreas de alta turbulencias donde frecuentemente se acumula plancton (e.g. Franks, 1992) o peces presas (e.g. Reis-Filho *et al.*, 2016). Se ha sugerido que los tursiones usan estas zonas de aglomeraciones de fauna para alimentarse (e.g. Mendes *et al.*, 2002; Cox, 2015), lo cual concuerda con otros estudios que documentaron un aumento de la presencia de los tursiones en las lagunas costeras y su relación con la marea (e.g. Acevedo, 1991; Ingram y Rogan, 2002; Bowen, 2011). Esto demuestra que Fase Lunar y la condición de la marea como variables numéricas son componentes importantes si el área de estudio depende de una oceanográfica dinámica que no se refleja en variables factoriales (e.g. Marcín-Medina, 2010; Fury y Harrison, 2011).

Las variables indirectas mencionadas anteriormente son importantes indicadores ecológicos para la presencia de los tursiones en lagunas y estuarios, porque representan variables relevantes para la presencia de posibles presas, lo que se manifiesta en la aglomeración de tursiones cerca de estas áreas (e.g. Ingram y Rogan, 2002; Marcín-Medina *et al.*, 2016; McCluskey *et al.*, 2016). Se ha sugerido que los tursiones frecuentan estos hábitats posiblemente para obtener alimentos con una alta carga energética (e.g. Spitz *et al.*, 2012; McCluskey *et al.*, 2016), o porque ofrecen ciertos nutrientes fisiológicamente importante para los tejidos activos que no encuentren en otras áreas (e.g. Williams *et al.*, 1987; Caraveo-Patiño *et al.*, 2009). Estos requerimientos alimenticios posiblemente hagan que los tursiones entren en momentos específicos debido a la accesibilidad (marea, fase lunar), o por el comportamiento de las presas preferidas que se aglomeran probablemente en una hora particular del día. Lo cual puede ser aprovechado por los tursiones porque su actividad es muy flexible, no está establecida por la luz del día, ya que la necesidad de descanso no es circadiana (Lyamin *et al.*, 2008), además, su modo de orientación y forrajeo tampoco necesitan la luz del día (Au *et al.*, 2012). Actualmente hay estudios con otra metodología (análisis de composición isotópica en piel) que demuestran como la especie hace uso de estos hábitats (e.g. Fernández *et al.*, 2011; Rossman, Berens McCabe, *et al.*, 2015; Secchi *et al.*, 2017).

En este estudio se demostró un cambio de la presencia de los tursiones entre el anochecer y el amanecer (01:00 – 04:00 hs, GAM global; 21:00 – 07:00 h, ANN), es decir la variable directa Hora. Es posible que ello esté relacionado con la biomasa y los cambios de la composición de las especies de presas. Las comunidades de peces de las áreas lagunares pueden presentar cambios en biomasa y composición en diferentes horas del día y la noche, como se ha reportado en algunas zonas estuarinas, donde una mayor biomasa y menor diversidad se registran durante amanecer y anochecer (e.g. Zárate-Hernández *et al.*, 2012). Esto puede representar una adaptación de las presas para minimizar el riesgo del encuentro con los depredadores (Gibson *et al.*, 1996); que por el contrario es una posibilidad para maximizar el tiempo del forrajeo para los depredadores (e.g. Gibson, 2003; Moxley *et al.*, 2020); en particular para los tursiones recientemente se ha reportado en estudios en áreas abiertas con silbidos, que la frecuencia puede ser mayor durante la noche que durante el día (e.g. Lin *et al.*, 2015; Gregoriotti *et al.*, 2021). En este estudio cabe mencionar que el efecto de esta variable directa puede variar también a lo largo del año, en particular entre mayo y julio (20:00 – 04:00 GAM agrupado). Lo cual también se ha documentado por el estudio de Gregoriotti y colaboradores (2021), quienes demostraron variaciones estacionales. Incluso también puede ser detectado con chasquidos (Fernandez-Betelu *et al.*, 2019), donde los patrones de la hora y la marea resultaron afectar la presencia de los tursiones con relación a las estaciones del año, porque los tursiones reaccionaron posiblemente a los cambios estacionales de la productividad y ensamblajes de sus presas.

En este estudio teóricamente habría sido posible incluir el agrupamiento ambiental también en la ANN, pero el algoritmo usado no permitió limitar las interacciones entre las variables, lo que se habría requerido si se quisiera hacer una comparación entre la ANN y los GAMs. En este estudio se prefirió asumir que las condiciones ambientales no afectan solamente ciertas variables; por el contrario, el propio análisis heurístico debería señalar las interacciones relevantes entre las variables explicativas.

Los dos modelos ecológicos empleados en el estudio actual estimaron una relación muy semejante entre la presencia de los tursiones y la Profundidad, aunque difirieron relativamente en cuanto al efecto de la distancia a la Boca de la laguna. La relación negativa entre la presencia de los tursiones y la profundidad, y la distancia de la entrada a una laguna se ha demostrado en

otros estudios (e.g. Ingram y Rogan, 2002; Bowen, 2011). Cabe mencionar que la metodología usada en el estudio actual detecta animales en largas distancias y cinco de las seis localidades de muestreo estaban al borde o en medio del canal, mientras que la estación donde se detectaron solamente 2 silbidos en 24 horas (2 dp10m y 1 encuentro, estación 6) se encontró a 1.0 km del canal en agua somera (1.0 m); esto redujo posiblemente la probabilidad de presencia de los tursiones (i.e. accesibilidad limitada) y de la detección de los tursiones (i.e. interacciones de los sonidos con el fondo). Sin embargo, es relevante señalar que la ANN tiene una mayor sensibilidad a datos como los detectados en la estación más distante de la entrada y proporcionó información de la poca influencia de la variable Profundidad en relación con las otras.

Este trabajo evidencia que ambos tipos de modelos ecológicos consideran de forma diferente las variables explicativas y las formas de agrupación de los datos, lo que complementa el análisis de los datos y habilita la posibilidad de generar una comparación de los resultados desde diferentes perspectivas. En lo general ambas metodologías coinciden en como los datos se comportan con respecto a las variables explicativas usadas. Diferentemente del GAM, la ANN tiene la ventaja de apoyar en la toma de decisión y es sensible en cuanto a la influencia de una variable a la predicción. Por ejemplo, la Profundidad es una variable relevante en el GAM ($p < 0.01$, tabla 5), y se puede calcular la contribución de este valor a la desviación explicada (5.97 %), lo que indica que es una variable más importante que la Hora del día, el Esfuerzo y la Marea. Por el contrario, la ANN para esta variable tiene un valor alto en relación con la suma de las ponderaciones absolutas, pero el análisis mediante ponderaciones indica rechazar la variable por tener una influencia reducida a la predicción.

9. CONCLUSIONES

- La presencia de los tursiones en la Ensenada de La Paz es continuo, ocurre durante el día y la noche. Cambia a lo largo del año y fluctúa bajo patrones cíclicos a diferentes escalas temporales.
- La presencia de los tursiones es dinámica y se evidencia que los tursiones reaccionan sensiblemente a los cambios ambientales en diferentes escalas temporales y espaciales, lo que enfatiza la importancia de los tursiones como centinelas de la salud de los ecosistemas marinos.
- Se demuestra que la presencia de los tursiones en un ecosistema es un fenómeno altamente complejo, en donde los factores bióticos y abióticos juegan un papel importante. Se corrobora la recomendación de muchos estudios previos de clasificar las diferentes fuentes de información para la interpretación ecológica y se hace evidente que se requiere al menos dos tipos de modelado (a priori y heurístico) para estudiar un fenómeno ecológico como la presencia de tursiones en una laguna costera.
- Se comprueban las ventajas que el monitoreo acústico pasivo ofrece para estudiar la presencia continua de tursiones en la Ensenada de La Paz.

10. LITERATURA CITADA

Acevedo, A. (1991). Behaviour and movements of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in the entrance to Ensenada De La Paz, Mexico. *Aquatic Mammals*, 17(3): 137–147.

Aceves-Medina, G., Saldierna-Martínez, R., Hinojosa-Medina, A., Jiménez-Rosenberg, S. P. A. A., Hernández-Rivas, M. E. y Morales-Ávila, R. (2008). Vertical structure of larval fish assemblages during diel cycles in summer and winter in the southern part of Bahía de La Paz, México. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76(4): 889–901. doi:10.1016/j.ecss.2007.08.016.

Ainley, D. G., Ballard, G. y Dugger, K. M. (2006). Competition among penguins and cetaceans reveals trophic cascades in the western Ross Sea, Antarctica. *Ecology*, 87(8): 2080–2093. doi:10.1890/0012-9658(2006)87[2080:CAPACR]2.0.CO;2.

Akaike, H. (1973). Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle, En: *Proceedings of 2nd International Symposium on Information Theory*, 267–281. doi:10.1007/978-1-4612-0919-5_38.

Altherr, S. y Hodgins, N. (2018). Small cetaceans, big problems A global review of the impacts of hunting on small whales, dolphins and porpoises. Washington, Munich & Brookfield House.

Anderson, D. R., Burnham, K. P. y Thompson, W. L. (2000). Null hypothesis testing: Problems, prevalence, and an alternative. *Journal of Wildlife Management*, 64(4): 912–923. doi:10.2307/3803199.

Anderson, D. R., Burnham, K. P. y White, G. C. (1998). Comparison of Akaike information criterion and consistent Akaike information criterion for model selection and statistical inference from capture-recapture studies. *Journal of Applied Statistics*, 25(2): 263–282. doi:10.1080/02664769823250.

Apley, D. W. y Zhu, J. (2020). Visualizing the effects of predictor variables in black box supervised learning models, *Journal of the Royal Statistical Society. Series B: Statistical Methodology*, 82(4): 1059–1086. doi:10.1111/rssb.12377.

Au, W. W. L., Giorli, G., Chen, J., Copeland, A., Lammers, M., Richlen, M., Jarvis, S., Morrissey, R., Moretti, D. y Klinck, H. (2013). Nighttime foraging by deep diving echolocating odontocetes off the Hawaiian islands of Kauai and Ni'ihau as determined by passive acoustic monitors. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(5): 3119–27. doi:10.1121/1.4798360.

Au, W. W. L. y Lammers, M. O. (2014). Cetacean acoustics, En: *Springer Handbook of Acoustics*. Springer, New York, NY, pp. 843–875.

Au, W. W. L. y Ou, H. Helen (2014) Temporal signal processing of dolphin biosonar echoes from salmon prey, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136(2): EL67-EL71. doi:10.1121/1.4885480.

Azevedo, A. F., Oliveira, A. M., Rosa, L. D. y Lailson-Brito, J. (2007). Characteristics of whistles from resident bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in southern Brazil. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(5): 2978–2983. doi:10.1121/1.2713726.

Bailey, H., Corkrey, R., Cheney, B. y Thompson, P. M. (2013). Analyzing temporally correlated dolphin sightings data using generalized estimating equations. *Marine Mammal Science*, 29(1): 123–141. doi:10.1111/j.1748-7692.2011.00552.x.

- Balart, E. F., Castro-Aguirre, J. L. y de Lachica-Bonilla, F. (1997). Análisis comparativo de las comunidades ícticas de fondos blandos y someros de la Bahía de la Paz. En: *La Bahía de La Paz, investigación y conservación*, UABCS, CICIMAR, SCRIPPS, La Paz, pp. 163–176.
- Barros, N. B. (1990). Food habitats of bottlenose dolphins in the Southeastern United States, En: *The bottlenose dolphin*, Academic Press, Inc., San Diego, pp. 309–328.
- Barros, N. B. y Wells, R. S. (1998). Prey and feeding patterns of resident bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Sarasota bay, Florida. *Journal of Mammalogy*, 79(3): 1045–1059. doi:10.2307/1383114.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. M. y Walker, S. C. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1).1-48 doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Baumann-Pickering, S., Roch, M. A., Wiggins, S. M., Schnitzler, H. U. y Hildebrand, J. A. (2015). Acoustic behavior of melon-headed whales varies on a diel cycle. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69(9): 1553–1563. doi:10.1007/s00265-015-1967-0.
- Bazúa-Durán, C. y Au, W. W. L. (2002). The whistles of Hawaiian spinner dolphins. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 112(6): 3064–3072. doi:10.1121/1.1508785.
- Becker, E. A., Forney, K. A., Ferguson, M. C., Foley, D. G., Smith, R. C., Barlow, J. y Redfern, J. V. (2010). Comparing California current cetacean-habitat models developed using in situ and remotely sensed sea surface temperature data. *Marine Ecology Progress Series*, 413: 163–183. doi:10.3354/meps08696.
- Benoit-Bird, K. J. y Au, W. W. L. (2003). Prey dynamics affect foraging by a pelagic predator (*Stella longirostris*) over a range of spatial and temporal scales. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 53: 364–373. doi:10.1007/s00265-003-0585-4.
- Benoit-Bird, K. J., Dahood, A. D. y Würsig, B. (2009). Using active acoustics to compare lunar effects on predator-prey behavior in two marine mammal species. *Marine Ecology Progress Series*, 395: 119–135. doi:10.3354/meps07793.
- Bermúdez Contreras, A., Osegura Cházaro, M. y Flores Irigollen, A. (2014). Estimado Grueso De Energía Cinética En Las Corrientes Marinas De La Ensenada De La Paz. *Ciencia desde el Occidente*, 1(1): 35–38.
- Berta, A., Ekdale, E. G. y Cranford, T. W. (2014). Review of the Cetacean Nose: Form, Function, and Evolution. *Anatomical Record*, 297(11): 2205–2215. doi:10.1002/ar.23034.
- Blanco, C., Raga, J. A. y Salomón, O. (2001). Diet of the Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Western Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81: 1053–1058. doi:10.1017/S0025315401005057.
- Blasi, M.F. y Pace, D.S., (2006). Interactions between bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) and the artisanal fishery in Filicudi Island (Italy). En: *European Research on Cetaceans, 20th Annual Conference of ECS*. 2-7 April 2006, Gdynia, Polonia.
- de Boer, M. N., Simmonds, M. P., Reijnders, P. J. H. y Aarts, G. (2014). The influence of topographic and dynamic cyclic variables on the distribution of small cetaceans in a shallow coastal system. *PLoS ONE*, 9(1): e86331. doi:10.1371/journal.pone.0086331.

- Bolker, B. M., Brooks, M. E., Clark, C. J., Geange, S. W., Poulsen, J. R., Stevens, M. H. H. y White, J. S. S. (2009). Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(3): 127–135. doi:10.1016/j.tree.2008.10.008.
- Bossart, G. D. (2011). Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. *Veterinary Pathology*, 48(3): 676–690. doi:10.1177/0300985810388525.
- Bowen, S. R. (2011). *Diet of bottlenose dolphins Tursiops truncatus in the Northwest Florida Panhandle and foraging. Tesis de maestría inedita*. Savannah State University. Savannah.
- BSH (2013). Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt (StUK4) Stand: Oktober 2013.
- Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L. y Thomas, L. (2001). *Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations*. Oxford Univ. Press, Oxford, UK.
- Bustamante, O. A., Romero Vivas, E. y Beristain, S. (2013). Design and field test of a low-cost-portable linear array for marine mammal localization. En: *Proceedings of Meetings on Acoustics ICA 2013*, pp. 010002–010002. doi:10.1121/1.4800535.
- Bustamante, O., Beristain, S. y Romero Vivas, E. (2017). Calibración de un hidrófono de bajo costo en el rango sónico mediante una computadora personal utilizando el método de reciprocidad. En: *23° Congreso Internacional Mexicano de Acústica*. Xalapa, México, pp. 157–168.
- Calambokidis, J., Laake, J. L. y Klimek, A. (2010). *Abundance and population structure of seasonal gray whales in the Pacific Northwest, 1998-2008*. Disponible en: www.cascadiaresearch.org [consulta: 11 marzo 2021]
- Caldwell, D. K. y Caldwell, M. C. (1971). Underwater pulsed sounds produced by captive spotted dolphins, *Stenella plagiodon*. *Cetology*, 1: 1–7.
- Caraveo-Patiño, J., Wang, Y., Soto, L. A., Ghebremeskel, K., Lehane, C. y Crawford, M. A. (2009). Eco-physiological repercussions of dietary arachidonic acid in cell membranes of active tissues of the Gray whale. *Marine Ecology*, 30(4): 437–447. doi:10.1111/j.1439-0485.2009.00289.x.
- Cárdenas Hinojosa, G., de Cueva, H., Gerrodette, T. y Jaramillo-legorreta, A. M. (2020). Distribution of the acoustic occurrence of dolphins during the summers 2011 to 2015 in the Upper Gulf of California, Mexico. *PeerJ*, 8: 1–25. doi:10.7717/peerj.9121.
- Carlström, J. (2005). Diel Variation in Echolocation Behavior of Wild Harbor Porpoises. *Marine Mammal Science*, 21(1):1–12. doi:10.1111/j.1748-7692.2005.tb01204.x.
- Carlucci, R., Fanizza, C., Cipriano, G., Paoli, C., Russo, T. y Vassallo, P. (2016). Modeling the spatial distribution of the striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*) and common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Gulf of Taranto (Northern Ionian Sea, Central-eastern Mediterranean Sea). *Ecological Indicators*, 69: 707–721. doi:10.1016/j.ecolind.2016.05.035.
- Castellote, M., Brotons, J. M., Chicote, C., Gazo, M. y Cerdà, M. (2015). Long-term acoustic monitoring of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in marine protected areas in the Spanish Mediterranean Sea. *Ocean & Coastal Management*, 113: 54–66. doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.05.017.

- Christin, S., Hervet, É. y Lecomte, N. (2019). Applications for deep learning in ecology. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(10): 1632–1644. doi:10.1111/2041-210X.13256.
- Churchill, M., Martinez-Caceres, M., de Muizon, C., Mnieckowski, J. y Geisler, J. H. (2016). The Origin of High-Frequency Hearing in Whales. *Current Biology*, 26(16): 2144–2149. doi:10.1016/j.cub.2016.06.004.
- Clausen, K. T., Wahlberg, M., Beedholm, K., DeRuiter, S. y Madsen, P. T. (2011). Click communication in harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Bioacoustics*, 20(1): 1–28. doi:10.1080/09524622.2011.9753630.
- Cox, S. L. (2015). *The Role of Physical Oceanography on the Distributions and Foraging Behaviours of Marine Mammals and Seabirds in Shelf-Seas. Tesis Doctoral inédita*. Plymouth University, School of Marine Science and Engineering, Plymouth.
- Crujeiras, R. M. (2017). An introduction to statistical methods for circular data. *Boletín de Estadística e Investigación Operativa*, 33(2): 85–107.
- Culik, B. M. (2012). *Odontocetes-the toothed whales. Distribution, behaviour, migration and threats*. UNEP/CMS Secretariat. Oxford.
- Das, K., Debacker, V., Pillet, S. y Bouquegneau, J. (2003). Heavy metals in marine mammals. En: *Toxicology of marine mammals*. Taylor & Francis, London, pp. 135–167.
- 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. y Würsig, B. (2002). Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(1), 121-142. doi: 10.1016/S0967-0637(01)00035-8 141e153.
- Deconto, L. S. y Monteiro-Filho, E. L. A. (2016). Day and night sounds of the Guiana dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae) in southeastern Brazil. *Acta Ethologica*, 19: 61–68. doi:10.1007/s10211-015-0223-y.
- Diario Oficial de la Federación (2000). *Ley general de vida silvestre*. México, Distrito Federal. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_190118.pdf [consulta: 17 septiembre 2019].
- Díaz-Gamboa, R. E. (2009). *Relaciones tróficas de los cetáceos teutófagos con el calmar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California. Tesis inédita*. Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz.
- Díaz-Uribe, J. G., Arreguín-Sánchez, F., Lercari-Bernier, D., Cruz-Escalona, V. H., Zetina-Rejón, M. J., Del-Monte-Luna, P. y Martínez-Aguilar, S. (2012). An integrated ecosystem trophic model for the North and Central Gulf of California: An alternative view for endemic species conservation. *Ecological Modelling*. 230: 73–91. doi:10.1016/j.ecolmodel.2012.01.009.
- Ding, W., Würsig, B. y Evans, W. (1995). Whistles of bottlenose dolphins: comparisons among populations. *Aquatic Mammals*, 21(1): 65–77.
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J. R. G., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P. J., Münkemüller, T., McClean, C., Osborne, P. E., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A. K., Zurell, D. y Lautenbach, S. (2013). Collinearity: A review of

methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1): 27–46. doi:10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x.

Drinkwater, K. F., Beaugrand, G., Kaeriyama, M., Kim, S., Ottersen, G., Perry, R. I., Pörtner, H. O., Polovina, J. J. y Takasuka, A. (2010). On the processes linking climate to ecosystem changes. *Journal of Marine Systems*, 79(3–4): 374–388. doi:10.1016/j.jmarsys.2008.12.014.

Durán-Campos, E., Monreal-Gómez, M. A., Salas de León, D. A. y Coria-Monter, E. (2019). Zooplankton functional groups in a dipole eddy in a coastal region of the southern Gulf of California. *Regional Studies in Marine Science*, 28: 100588. doi:10.1016/j.rsma.2019.100588.

Dyndo, M., Wiśniewska, D. M., Rojano-Doñate, L. y Madsen, P. T. (2015). Harbour porpoises react to low levels of high frequency vessel noise. *Scientific Reports*, 5(1): 11083. doi:10.1038/srep11083.

Eierman, L. E. y Connor, R. C. (2014). Foraging behavior, prey distribution, and microhabitat use by bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in a tropical atoll. *Marine Ecology Progress Series*, 503: 279–288. doi:10.3354/meps10721.

Engelhard, G. H., Peck, M. A., Rindorf, A., Smout, S. C., Van Deurs, M., Raab, K., Andersen, K. H., Garthe, S., Lauerburg, R. A. M. M., Scott, F., Brunel, T., Aarts, G., Van Kooten, T. y Dickey-Collas, M. (2014). Forage fish, their fisheries, and their predators: Who drives whom? *ICES Journal of Marine Science*, 71(1): 90–104. doi:10.1093/icesjms/fst087.

Engleby, L. K. y Powell, J. R. (2019). Detailed observations and mechanisms of mud ring feeding by common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Florida Bay. *Marine Mammal Science*, 35(3): 1162–1172.

Erbe, C., Reichmuth, C., Cunningham, K., Lucke, K. y Dooling, R. (2016). Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. *Marine Pollution Bulletin*, 103(1–2): 15–38. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.12.007.

Fernández, R., García-Tiscar, S., Santos, M. B., López, A., Martínez-Cedeira, J. A., Newton, J. y Pierce, G. J. (2011). Stable isotope analysis in two sympatric populations of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*: Evidence of resource partitioning? *Marine Biology*, 158(5): 1043–1055. doi:10.1007/s00227-011-1629-3

Fernandez-Betelu, O., Graham, I. M., Cornulier, T. y Thompson, P. M. (2019). Fine scale spatial variability in the influence of environmental cycles on the occurrence of dolphins at coastal sites. *Scientific Reports*, 9(1): 1–12. doi:10.1038/s41598-019-38900-4.

Fisher, A., Rudin, C. y Dominici, F. (2018). All Models are Wrong, but Many are Useful: Learning a Variable's Importance by Studying an Entire Class of Prediction Models Simultaneously. *arXiv preprint arXiv: 1801.01489v4*.

Flores-Ramírez, S., Urbán R., J., Villarreal-Chávez, G. y Valles-Jiménez, R. (1996). Cambios espaciales y temporales de la estructura comunitaria de los cetáceos en Bahía de La Paz, B.C.S., México (1988-1991). *Ciencias Marinas*, 22(2): 151–173.

Ford, J. K. B., Ellis, G. M., Olesiuk, P. F. y Balcomb, K. C. (2010). Linking killer whale survival and prey abundance: food limitation in the oceans' apex predator? *Biology Letters*, 6(1): 139–142. doi:10.1098/rsbl.2009.0468.

- Franks, P. J. S. (1992). Sink or swim: Accumulation of biomass at fronts. *Marine Ecology Progress Series*, 82: 1–12. doi:10.3354/meps082001.
- Frederiksen, M., Elston, D. A., Edwards, M., Mann, A. D. y Wanless, S. (2011). Mechanisms of long-term decline in size of lesser sandeels in the North Sea explored using a growth and phenology model, *Marine Ecology Progress Series*, 432: 137–147. doi:10.3354/meps09177.
- Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *Annals of Statistics*, 29(5):1189–1232. doi:10.2307/2699986.
- Fury, C. A. (2009). *Abundance, behaviour and habitat use patterns of Indo-Pacific bottlenose dolphins (Tursiops aduncus) in the Clarence and Richmond River estuaries in northern New South Wales, Australia, October, Tesis doctoral inedita*. Southern Cross University, Lismore.
- Fury, C. A. y Harrison, P. L. (2011). Seasonal variation and tidal influences on estuarine use by bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93(4):389–395. doi:10.1016/j.ecss.2011.05.003.
- Galván-Piña, V. H., Galván-Magaña, F., Abitia-Cárdenas, L. A., Gutiérrez-Sánchez, F. J. y Rodríguez-Romero, J. (2003). Seasonal structure of fish assemblages in Rocky and sandy habitats in Bahía de La Paz, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 72(1):19–35.
- Gauger, M. F., Caraveo-Patiño, J. y Romero-Vivas, E. (2020). Passive acoustic monitoring of the bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* to determine continuous presence in Ensenada de La Paz, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 55(3):238–249. doi:10.22370/rbmo.2020.55.3.2588.
- Gauger, M., Gutierrez-Jagüey, J., Caraveo-Patiño, J. y Romero-Vivas, E. (2019) A whistle in the model - prediction of bottlenose dolphin presence by an Artificial Neural Network, En: *World Marine Mammal Conference (WMMC), 9 December 2019 - 12 December 2019*. Barcelona, Spain.
- Gevrey, M., Dimopoulos, I. y Lek, S. (2003). Review and comparison of methods to study the contribution of variables in artificial neural network models. *Ecological Modelling*, 160(3):249–264. doi:10.1016/S0304-3800(02)00257-0.
- Giannoulaki, M., Markoglou, E., Valavanis, V. D., Alexiadou, P., Cucknell, A. y Frantzis, A. (2016). Linking small pelagic fish and cetacean distribution to model suitable habitat for coastal dolphin species, *Delphinus delphis* and *Tursiops truncatus*, in the Greek Seas (Eastern Mediterranean). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 27(2): 436-451. doi:10.1002/aqc.2669.
- Gibson, R. N. (2003). Go with the flow: tidal migration in marine animals. *Hydrobiologia*, 503: 153–161.
- Gibson, R. N., Robb, L., Burrows, M. T. y Ansell, A. D. (1996). Tidal, diel and longer term changes in the distribution of fishes on a Scottish sandy beach. *Marine Ecology Progress Series*, 130(1–3): 1–17. doi:10.3354/meps130001.
- Gómez-Valdés, J., Delgado, J. A. y Dworak, J. A. (2003). Overtides, compound tides, and tidal-residual current in Ensenada de la Paz lagoon, Baja California Sur, Mexico. *Geofísica Internacional*, 42(4): 623–634.

- González-Acosta, A. F., Balart, E. F., Ruiz-Campos, G., Espinosa-Pérez, H., Cruz-Escalona, V. H. y Hernández-López, A. (2018). Diversidad y conservación de los peces de la bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(3): 459–482. doi:10.22201/ib.20078706e.2018.3.2145.
- González-Acosta, A. F., de la Cruz-Agüero, G., de la Cruz, J. y Ruiz-Campos, G. (2005). Seasonal pattern of the fish assemblage of El Conchalito mangrove swamp , La Paz Bay , Baja California Sur , Mexico. *Hidrobiológica*, 15(2): 205–214.
- González, J. I., Soto, R. y Ochoa, J. (2009). *Predicción de mareas en México. Ensenada, Baja California, México*. Oceanografía Física, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). <http://predmar.cicese.mx/> [consulta: 7 julio 2020].
- Gregoriotti, M. Papale, E., Ceraulo, M., de Vita, C., Silvia Pace, D., Tranchida, G., Mazzola, S. y Buscaino, G. (2021). Acoustic presence of dolphins through whistles detection in mediterranean shallow waters. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(1): 1–12. doi: 10.3390/jmse9010078
- Guisan, A. y Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2–3): 147–186. doi: 10.1016/S0304-3800(00)00354-9
- Guisan, A., Edwards, T. C. y Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, 157(2–3): 89–100. doi:10.1016/S0304-3800(02)00204-1.
- Günther, F. y Fritsch, S. (2010). Neuralnet: Training of neural networks. *R Journal*, 2(1): 30–38. doi:10.32614/rj-2010-006.
- Hammerschlag, N., Morgan, A. B. y Serafy, J. E. (2010). Relative predation risk for fishes along a subtropical mangrove-seagrass ecotone. *Marine Ecology Progress Series*, 401: 259–267. doi:10.3354/meps08449.
- Hammond, P. S., Bearzi, G., Bjørge, A., Forney, K. A., Karkzmarski, L., Kasuya, T., Perrin, W. F., Scott, M. D., Wang, J. Y., Wells, R. S. y Wilson, B. (2012). *Tursiops truncatus*, Common Bottlenose Dolphin. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 8235: 17. doi:10.2305/IUCN.UK.2012.RLTS.T22563A17347397.en.
- Hastie, T. y Tibshirani, R. (1990). Generalized Additive Models. *Monographs on Statistics and Applied Probability*. Chapman and Hall/CRC, London.
- Heiler, J., Elwen, S. H., Kriesell, H. J. y Gridley, T. (2016). Changes in bottlenose dolphin whistle parameters related to vessel presence, surface behaviour and group composition. *Animal Behaviour*, 117: 167–177. doi:10.1016/j.anbehav.2016.04.014.
- Heink, U. y Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10(3): 584–593. doi:10.1016/j.ecolind.2009.09.009.
- Hernandez-Milian, G., Berrow, S., Santos, M. B., Reid, D. y Rogan, E. (2015). Insights into the trophic ecology of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Irish water. *Aquatic Mammals*, 41(2): 226–239. doi:10.1578/AM.41.2.2015.226.

Herrera-Cervantes, H. (2019). Sea surface temperature, ocean color and wind forcing patterns in the Bay of La Paz, Gulf of California: Seasonal variability. *Atmosfera*, 32(1): 25–38. doi:10.20937/ATM.2019.32.01.03.

Hiebeler, D. (2010). Matlab / R Reference.

Hill, H. y Lackups, M. (2010). Journal Publication Trends Regarding Cetaceans Found in Both Wild and Captive Environments: What do we Study and Where do we Publish? *International Journal of Comparative Psychology*, 23(3): 414–534. doi:10.5811/westjem.2013.7.18472.

Hodge, L. E. W., Bell, J. T., Kumar, A. y Read, A. J. (2013). The influence of habitat and time of day on the occurrence of odontocete vocalizations in Onslow Bay, North Carolina. *Marine Mammal Science*, 29(4): E411-E427 doi:10.1111/mms.12006.

Hoyt, E. (2012) *Marine protected areas for whales, dolphins and porpoises: A world handbook for cetacean habitat conservation*. Routledge, London.

Husson, F., Josse, J. y Pages, J. (2010). Principal component methods - hierarchical clustering - partitional clustering: why would we need to choose for visualizing data? *Applied Mathematics Department*, 1-17. doi:https://doi.org/http://factominer.free.fr/docs/HPCP_husson_josse.pdf.

Ingram, S. N. y Rogan, E. (2002). Identifying critical areas and habitat preferences of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Marine Ecology Progress Series*, 244: 247–255. doi:10.3354/meps244247.

Janik, V. M., King, S. L., Sayigh, L. S. y Wells, R. S. (2013). Identifying signature whistles from recordings of groups of unrestrained bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Marine Mammal Science*, 29(1): 109–122. doi:10.1111/j.1748-7692.2011.00549.x.

Janik, V. M. y Sayigh, L. S. (2013). Communication in bottlenose dolphins: 50 years of signature whistle research. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 199(6):479–489. doi:10.1007/s00359-013-0817-7.

Joy, K., Hamilton, J. y Babb, I. (2012). Simple hydrophone design. COSEE TEK ~ University of Connecticut, pp. 1–15. Disponible en: <http://www.coseetek.net/programs/TTE/acoustics/> [consulta: 20 april 2017].

JPL MUR MEaSURES Project (2010). GHRSSST Level 4 MUR Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis, PO.DAAC, CA, USA. doi:http://dx.doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04.

Jusup, M., Sousa, T., Domingos, T., Labinac, V., Marn, N., Wang, Z. y Klanjšček, T. (2017). Physics of metabolic organization. *Physics of Life Reviews*, 20: 1–39. doi:10.1016/j.plrev.2016.09.001.

Kaiser, H. F. y Rice, J. (1974). Little Jiffy, Mark Iv. *Educational and Psychological Measurement*, 34(1): 111–117. doi:10.1177/001316447403400115.

Kakuschke, A. y Prange, A. (2007). The influence of metal pollution on the immune system a potential stressor for marine mammals in the North Sea. *International Journal of Comparative Psychology*, 20: 179–193.

Karniski, C., Patterson, E., Krzyszczyk, E., Foroughirad, V., Stanton, M. A. y Mann, J. (2014). A comparison of survey and focal follow methods for estimating individual activity budgets of cetaceans. *Marine Mammal Science*, 31(3): 839-852. doi:10.1111/mms.12198.

- Kastelein, R. A., Vaughan, N., Walton, S. y Wiepkema, P. R. (2002). Food intake and body measurements of Atlantic bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in captivity, *Marine Environmental Research*, 53: 199–218.
- Katsnelson, B., Lynch, J. y Petnikov, V. (2012). *Fundamentals of Shallow Water Acoustics, Monograph Series in Underwater Acoustics*. Springer Science & Business Media, New York.
- Kirby, M. J. y Miranda, R. (1996). Circular Nodes in Neural Networks. *Neural Computation*, 8(2): 390–402. doi:10.1162/neco.1996.8.2.390.
- Kiszka, J. J., Heithaus, M. R. y Wirsing, A. J. (2015). Behavioural drivers of the ecological roles and importance of marine mammals. *Marine Ecology Progress Series*, 523: 267–281. doi:10.3354/meps11180.
- Kyhn, L. A., Tougaard, J., Thomas, L., Duve, L. R., Stenback, J., Amundin, M., Desportes, G. y Teilmann, J. (2012). From echolocation clicks to animal density—Acoustic sampling of harbor porpoises with static dataloggers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(1): 550–560. doi:10.1121/1.3662070.
- Labrada-Martagón, V., Aurióles-Gamboa, D. y Martínez-Díaz, S. F. (2005). Natural and human disturbance in a rookery of the California sea lion (*Zalophus californianus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 4(2):175–185. doi:10.5597/lajam00080.
- Landler, L., Ruxton, G. D. y Malkemper, E. P. (2018). Circular data in biology: advice for effectively implementing statistical procedures. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 72(8): 1–10. doi:10.1007/s00265-018-2538-y.
- Landler, L., Ruxton, G. D. y Malkemper, E. P. (2019). The Hermans-Rasson test as a powerful alternative to the Rayleigh test for circular statistics in biology. *BMC Ecology*, 19(1): 4–11. doi:10.1186/s12898-019-0246-8.
- Lantz, B. (2015). *Machine Learning with R*. 2nd ed. Packt publishing Ltd., Birmingham.
- Lavin, M. F. y Marinone, S. G. (2003). *An overview of the physical oceanography of the Gulf of California*. Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics, pp. 173–204.
- Leatherwood, S. (1975). Some observations of feeding behavior of bottle-nosed dolphins (*Tursiops truncatus*) in the northern Gulf of Mexico and (*Tursiops cf. T. gilli*) off southern California, Baja California, and Nayarit, Mexico. *Marine Fisheries Review*, 37(9): 10–16.
- Legendre, P., Galzin, R. y Harmelin-Vivien, M. L. (1997). Relating behavior to habitat: solutions to the fourth-corner problem. *Ecology*, 78(2): 547–562.
- Leija-Tristán, A., de León-González, J. A. y Rodríguez-Garza, H. (1992). Variación diurna de la ictiofauna intermareal de otoño en la Laguna de La Paz, Baja California Sur, México. *Publicaciones Biológicas*, 6(2):149–154.
- Lewis, J. S. y Schroeder, W. W. (2003). Mud Plume Feeding, A Unique Foraging Behavior of the Bottlenose Dolphin in the Florida Keys, Gulf of Mexico. *Science*, 21(1): 9. doi:10.18785/goms.2101.09.

- Lin, T.-H., Yu, H.-Y., Chen, C.-F. y Chou, L.-S. (2015). Passive acoustic monitoring of the temporal variability of odontocete tonal sounds from a long-term marine observatory. *PLoS ONE*, 10(4): 1–16. doi:10.1371/journal.pone.0123943.
- Lins, R. C., Martinez, J. M., Marques, D. da M., Cirilo, J. A. y Fragoso, C. R. (2017). Assessment of chlorophyll-a remote sensing algorithms in a productive tropical estuarine-lagoon system. *Remote Sensing*, 9(6): 1–19. doi:10.3390/rs9060516.
- López-Rasgado, F. J., Herzka, S. Z., Del-Monte-Luna, P., Serviere-Zaragoza, E., Balart, E. F. y Lluch-Cota, S. E. (2012). Fish assemblages in three arid mangrove systems of the Gulf of California: Comparing observations from 1980 and 2010. *Bulletin of Marine Science*, 88(4): 919–945. doi:10.5343/bms.2011.1111.
- López-Rasgado, F. J., Lluch-Cota, S. E., Balart, E. F. y Herzka, S. Z. (2016). Variation in isotopic trophic structure and fish diversity in mangrove systems subject to different levels of habitat modification in the Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 92(4): 399–422. doi:10.5343/bms.2015.1100.
- Louis, M., Viricel, A., Lucas, T., Peltier, H., Alfonsi, E., Berrow, S., Brownlow, A., Covelo, P., Dabin, W., Deaville, R., De Stephanis, R., Gally, F., Gauffier, P., Penrose, R., Silva, M. A., Guinet, C. y Simon-Bouhet, B. (2014). Habitat-driven population structure of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in the North-East Atlantic. *Molecular Ecology*, 23(4): 857–874. doi:10.1111/mec.12653.
- Luís, A. R., Couchinho, M. N. y dos Santos, M. E. (2016). Signature whistles in wild bottlenose dolphins: long-term stability and emission rates. *Acta Ethologica*, 19(2): 113–122. doi:10.1007/s10211-015-0230-z.
- Lundberg, S. y Lee, S.-I. (2016). An unexpected unity among methods for interpreting model predictions, arXiv preprint arXiv: 1611.07478:1–6. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1611.07478>. [consulta: 27 marzo 2020]
- Lyamin, O. I., Manger, P. R., Ridgway, S. H., Mukhametov, L. M. y Siegel, J. M. (2008). Cetacean sleep: An unusual form of mammalian sleep. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32(8): 1451–1484. doi:10.1016/j.neubiorev.2008.05.023.
- Machovsky-Capuska, G. E., Coogan, S. C. P., Simpson, S. J., Raubenheimer, D. y Bshary, R. (2016). Motive for Killing: What Drives Prey Choice in Wild Predators? *Ethology*, 122(9): 703–711. doi:10.1111/eth.12523.
- MacLeod, C. D., Mandleberg, L., Schweder, C., Bannon, S. M. y Pierce, G. J. (2008). A comparison of approaches for modelling the occurrence of marine animals. *Hydrobiologia*, 612(1): 21–32. doi:10.1007/s10750-008-9491-0.
- MacLeod, C. D., Santos, M. B., López, A. y Pierce, G. J. (2006). Relative prey size consumption in toothed whales: Implications for prey selection and level of specialization. *Marine Ecology Progress Series*, 326: 295–307. doi:10.3354/meps326295.
- MacLeod, C. D., Santos, M. B., Reid, R. J., Scott, B. E. y Pierce, G. J. (2007). Linking sandeel consumption and the likelihood of starvation in harbour porpoises in the Scottish North Sea: Could climate change mean more starving porpoises? *Biology Letters*, 3(2): 185–188. doi:10.1098/rsbl.2006.0588.

Marcín-Medina, R. (1997). *Comportamiento del tursión (Tursiops truncatus Montagu, 1821) en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de maestría inédita*. Instituto Politécnico Nacional, La Paz.

Marcín-Medina, R. (2010). *Uso del hábitat del tursión (Tursiops truncatus) en relación a factores ambientales y antropogénicos en la Ensenada y sur de la Bahía de La Paz, BCS, México, Tesis de maestría inédita*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz.

Marcín-Medina, R., Laniel, D. G., Vadillo, E. R., Calderón, J. L. y Rodríguez, R. R. (2016). The link between critical habitat for Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) and the mangrove of Ensenada de La Paz: A case study, En: *The Arid Mangrove Forest from Baja California Peninsula Volume 2. Environmental Research Advances*, pp. 53–68.

Marini, C., Fossa, F., Paoli, C., Bellingeri, M., Gnone, G. y Vassallo, P. (2015). Predicting bottlenose dolphin distribution along Liguria coast (northwestern Mediterranean Sea) through different modeling techniques and indirect predictors. *Journal of Environmental Management*, 150: 9–20. doi:10.1016/j.jenvman.2014.11.008.

Marley, S. A., Salgado Kent, C. P., Erbe, C. y Parnum, I. M. (2017). Effects of vessel traffic and underwater noise on the movement, behaviour and vocalisations of bottlenose dolphins in an urbanised estuary. *Scientific Reports*, 7(1):1–14. doi:10.1038/s41598-017-13252-z.

Martínez-López, A., Cervantes-Duarte, R., Reyes-Salinas, A. y Valdez-Holguín, J. E. (2001). Cambio estacional de clorofila en la Bahía de La Paz, B. C. S., México. *Hidrobiológica*, 11(1): 45–52.

Matkin, C. O., Ward Testa, J., Ellis, G. M. y Saulitis, E. L. (2014). Life history and population dynamics of southern Alaska resident killer whales (*Orcinus orca*). *Marine Mammal Science*, 30(2): 460–479. doi:10.1111/mms.12049.

Matus-Hernández, M. Á., Herna, N. Y. y Martínez-Rincón, R. O. (2018). Predictive performance of regression models to estimate Chlorophyll-a concentration based on Landsat imagery. *PLoS ONE*, 13(10):1–18. doi:10.1371/journal.pone.0205682.

May-Collado, L. J. y Wartzok, D. (2008). A Comparison of Bottlenose Dolphin Whistles in the Atlantic Ocean: Factors Promoting Whistle Variation. *Journal of Mammalogy*, 89(5): 1229–1240. doi:10.1644/07-MAMM-A-310.1.

McCabe, E. J. B., Gannon, D. P., Barros, N. B. y Wells, R. S. (2010). Prey selection by resident common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Sarasota Bay, Florida. *Marine Biology*, 157(5): 931–942. doi:10.1007/s00227-009-1371-2.

McCluskey, S. M., Bejder, L. y Loneragan, N. R. (2016). Dolphin prey availability and calorific value in an estuarine and coastal environment, *Frontiers in Marine Science*, 3, pp. 1–23. doi:10.3389/fmars.2016.00030.

McCowan, B. (1995). A new quantitative technique for categorising whistles using simulated signals and whistles from captive bottlenose dolphins. *Ethology*, 100(3): 177–193.

McCowan, C. J., Cheung, W. W. L., Rykaczewski, R. R., Watson, R. A. y Wood, L. J. (2015). Is fisheries production within Large Marine Ecosystems determined by bottom-up or top-down forcing? *Fish and Fisheries*, 16(4): 623–632. doi:10.1111/faf.12082.

- Mellinger, D., Stafford, K., Moore, S., Dziak, R. y Matsumoto, H. (2007). An Overview of Fixed Passive Acoustic Observation Methods for Cetaceans. *Oceanography*, 20(4): 36–45. doi:10.5670/oceanog.2007.03.
- Melo, C. L. C., Santos, R. A., Bassoi, M., Araújo, A. C., Lailson-Brito, J., Dorneles, P. R. y Azevedo, A. F. (2010). Feeding habits of delphinids (Mammalia: Cetacea) from Rio de Janeiro State, Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(8): 1509–1515. doi:10.1017/S0025315409991639.
- Mendes, S., Turrell, W., Lütkebohle, T. y Thompson, P. (2002). Influence of the tidal cycle and a tidal intrusion front on the spatio-temporal distribution of coastal bottlenose dolphins. *Marine Ecology Progress Series*, 239: 221–229. doi:10.3354/meps239221.
- Mendoza-Salgado, R. A., Lechuga-Devéce, C. H., Amador, E. y Pedrín-Aviles, S. (2011). La calidad ambiental de los manglares de B.C.S. En: *Los Manglares de la Península de Baja California*. La Paz: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto politécnico nacional (CICIMAR-IPN), Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIB), Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). pp. 9–28.
- Mercado-Santana, J. A., Santamaría-del-Ángel, E., González-Silvera, A., Sánchez-Velasco, L., Gracia-Escobar, M. F., Millán-Núñez, R. y Torres-Navarrete, C. (2017). Productivity in the Gulf of California large marine ecosystem. *Environmental Development*, 22: 18–29. doi:10.1016/j.envdev.2017.01.003.
- Molnar, C. (2018). iml: An R package for Interpretable Machine Learning, *Journal of Open Source Software*, 3(26): 786. doi:10.21105/joss.00786.
- Molnar, C. (2020). *Interpretable Machine Learning: A Guide for Making Black Box Models*. Lulu.com. Disponible en: <https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/> [consulta: 5 octubre 2020]
- Montagu, G. (1821). Description of a species of *Delphinus*, which appears to be new. *Memoirs Wernerian Natural History Society*, 3: 75–82.
- Moore, S. E. (2008). Marine Mammals as Ecosystem Sentinels. *American Society of Mammalogists*, 89(3): 534–540.
- Moradi, N., Hasanlou, M. y Saadatseresht, M. (2016). Ocean color retrieval using Landsat-8 imagery in coastal case 2 waters (case study Persian and Oman Gulf). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 41: 1161–1164. doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B8-1161-2016.
- Moreno-Zuñiga, J. E. (2013). *Modelos predictivos para el uso de habitat del tursion en la Ensenada de La Paz. Tesis de maestría*, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F.
- Morisaka, T. y Connor, R. C. (2007). Predation by killer whales (*Orcinus orca*) and the evolution of whistle loss and narrow-band high frequency clicks in odontocetes. *Journal of Evolutionary Biology*, 20(4):1439–1458. doi:10.1111/j.1420-9101.2007.01336.x.
- Morisaka, T., Shinohara, M. y Nakahara, F. (2005). Geographic variations in the whistles among three Indo-Pacific bottlenose dolphin *Tursiops aduncus* populations in Japan. *Fisheries Science*, 71: 568–576.

Moxley, J. H., Skomal, G., Chisholm, J., Halpin, P. y Johnston, D. W. (2020). Daily and seasonal movements of cape cod gray seals vary with predation risk. *Marine Ecology Progress Series*, 644: 215–228. doi:10.3354/meps13346.

Nakagawa, S. y Cuthill, I. C. (2007). Effect size, confidence interval and statistical significance: A practical guide for biologists. *Biological Reviews*, 82(4): 591–605. doi:10.1111/j.1469-185X.2007.00027.x.

Nakagawa, S., Johnson, P. C. D. y Schielzeth, H. (2017). The coefficient of determination R^2 and intra-class correlation coefficient from generalized linear mixed-effects models revisited and expanded, *Journal of the Royal Society Interface*, 14(134). doi:10.1098/rsif.2017.0213.

NOAA NMFS SWFSC ERD (2020a). Chlorophyll-a, Aqua MODIS, NPP, 0.0125°, West US, EXPERIMENTAL, 2002-present (1 Day Composite), Lon+/-180. Disponible en: https://coastwatch.noaa.gov/cw_html/OceanColor_Science_Quality_VIIRS_SNPP.html [Consulta: 1 junio de 2020].

NOAA NMFS SWFSC ERD (2020b). SST, GOES Imager, Day and Night, Western Hemisphere, 2006-present (Hourly). Disponible en: <http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/index.html?page=1&itemsPerPage=1000> [Consultado: 1 enero de 2020].

Noren, D. P., Williams, T. M., Berry, P. y Butler, E. (1999). Thermoregulation during swimming and diving in bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Journal of Comparative Physiology - B Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 169(2): 93–99. doi:10.1007/s003600050198.

NORMA Oficial Mexicana (2010). *Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo*. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010 [consulta en: 1 marzo 2017].

Nummela, S., Thewissen, J. G. M., Bajpal, S., Hussain, S. T. y Kumar, K. (2004). Eocene evolution of whale hearing. *Nature*, 430(7001): 776–778. doi:10.1038/nature02720.

O'Brien, J. M., Berrow, S. D., Ryan, C., Mcgrath, D., O'Connor, I. A. N., Pesante, G., Burrows, G., Massett, N., Klötzer, V. y Whooley, P. (2010). A note on long-distance matches of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) around the Irish coast using photo-identification. *Journal of Cetacean Resource Management*, 11(1): 69–74.

O'Hara, R. B. y Kotze, D. J. (2010). Do not log-transform count data. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(2): 118–122. doi:10.1111/j.2041-210X.2010.00021.x.

Obeso-Nieblas, M., Jiménez-Illescas, A. R. y Troyo-Dieguez, S. (1993). Modelación hidrodinámica de la marea en la Ensenada de La Paz, B.C.S. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, 8(1): 1–11.

Obeso-Nieblas, M., Shirasago-Germán, B., Gaviño-Rodríguez, J., Perez-Lezama, E., Obeso-Huerta, H. y Jiménez-Illescas, Á. (2008). Variabilidad hidrográfica en Bahía de La Paz, Golfo de California, México (1995-2005). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43(3): 559–567. doi:10.4067/S0718-19572008000300015.

- Oliveira, M., Crujeiras, R. M. y Rodríguez-Casal, A. (2014). CircSiZer: An exploratory tool for circular data. *Environmental and Ecological Statistics*, 21(1): 143–159. doi:10.1007/s10651-013-0249-0.
- Olsen, P. M., Kolden, C. A. y Gadamus, L. (2015). Developing theoretical marine habitat suitability models from remotely-sensed data and traditional ecological knowledge. *Remote Sensing*, 7(9): 11863–11886. doi:10.3390/rs70911863.
- Osiecka, A. N., Jones, O. y Wahlberg, M. (2020). The diel pattern in harbour porpoise clicking behaviour is not a response to prey activity. *Scientific Reports*, 10(1): 1–7. doi:10.1038/s41598-020-71957-0.
- Pardo, M. A., Silverberg, N., Gendron, D., Beier, E. y Palacios, D. M. (2013). Role of environmental seasonality in the turnover of a cetacean community in the southwestern Gulf of California. *Marine Ecology Progress Series*, 487: 245–260. doi:10.3354/meps10217.
- Pate, S. M. y McFee, W. E. (2012). Prey Species of Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) from South Carolina Waters. *Southeastern Naturalist*, 11(1): 1–22.
- Payán-Alcacio, J. A. (2015). *Diversidad Funcional De La Comunidad De Peces En Hábitats De Manglar En La Bahía De La Paz, B.C.S. México. Tesis de Maestría inédita*, Instituto Politécnico Nacional, La Paz.
- Payán-Alcacio, J. Á., De La Cruz-Agüero, G., Cruz-Escalona, V. H. y Moncayo-Estrada, R. (2021). Fish communities in high-latitude mangrove in north-western Mexico. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 51(1): 1–11. doi:10.3897/aiep.51.63429.
- Pedersen, E. J., Miller, D. L., Simpson, G. L. y Ross, N. (2019). Hierarchical generalized additive models in ecology: An introduction with mgcv. *PeerJ*, (7): e6876. doi:10.7717/peerj.6876.
- Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J. y Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: Implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications*, 19(1): 181–197. doi:10.1890/07-2153.1.
- Pizarroso, J., Portela, J. y Muñoz, A. (2020). NeuralSens: Sensitivity Analysis of Neural Networks, *arXiv preprint arXiv: 2002.11423*. doi:10.18637/jss.v000.i00.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <https://www.r-project.org/>. [Consulta en: 17 marzo 2021].
- Ramos-Lozano, L. J., González-Acosta, A. F., de la Cruz-Agüero, G. y Ruiz-Campos, G. (2014). Seasonal variation in the composition and abundance of mojarra species (Teleostei: Gerreidae) In a mangrove ecosystem in the gulf of California, México, En: *The Arid Mangrove Forest From Baja California Peninsula*, pp. 93–103.
- Ramos, J. A. A., Barletta, M., Dantas, D. V., Lima, A. R. A. y Costa, M. F. (2011). Influence of moon phase on fish assemblages in estuarine mangrove tidal creeks. *Journal of Fish Biology*, 78(1): 344–354. doi:10.1111/j.1095-8649.2010.02851.x.
- 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. y Werner, F. (2006). Techniques for cetacean-habitat modeling. *Marine Ecology Progress Series*, 310: 271-295. doi:10.3354/meps310271.
- Reis-Filho, J. A., Giarrizzo, T. y Barros, F. (2016). Tidal migration and cross-habitat movements of fish assemblage within a mangrove ecotone, *Marine Biology*, 163(5): 111. doi:10.1007/s00227-016-2885-z.
- Ribeiro, M. T., Singh, S. y Guestrin, C. (2016). Why should I trust you? Explaining the predictions of any classifier. En: *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 1135–1144. doi:10.1145/2939672.2939778.
- Richard, G., Filatova, O. A., Samarra, F. I. P., Fedutin, I. D., Lammers, M. y Miller, P. J. (2017). Icelandic herring-eating killer whales feed at night, *Marine Biology*, 164(2): 1–13. doi:10.1007/s00227-016-3059-8.
- Roch, M. A., Soldevilla, M. S., Burtenshaw, J. C., Henderson, E. E. y Hildebrand, J. A. (2007). Gaussian mixture model classification of odontocetes in the Southern California Bight and the Gulf of California. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(3): 1737–1748. doi:10.1121/1.2400663.
- Rose, N. L., Yang, H., D., T. S. y Simpson, G. L. (2012). An assessment of the mechanisms for the transfer of lead and mercury from atmospherically. *Geochimica et cosmochimica acta*, 82: 113–135. doi:10.1016/j.gca.2010.12.026.
- Rosenblatt, F. (1957). *The perceptron, a perceiving and recognizing automaton Project Para.*, Cornell Aeronautical Laboratory, New York.
- Rossmann, S., Berens McCabe, E., Barros, N. B., Gandhi, H., Ostrom, P. H., Stricker, C. A. y Wells, R. S. (2015). Foraging habits in a generalist predator: Sex and age influence habitat selection and resource use among bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Marine Mammal Science*, 31(1): 155–168. doi:10.1111/mms.12143.
- Rossmann, S., Ostrom, P. H., Stolen, M., Barros, N. B., Gandhi, H., Stricker, C. A. y Wells, R. S. (2015). Individual specialization in the foraging habits of female bottlenose dolphins living in a trophically diverse and habitat rich estuary. *Oecologia*, 178(2): 415–425. doi:10.1007/s00442-015-3241-6.
- Rypel, A. L., Layman, C. a. y Arrington, D. A. (2007). Water depth modifies relative predation risk for a motile fish taxon in Bahamian tidal creeks. *Estuaries and Coasts*, 30(3): 518–525. doi:10.1007/BF03036517.
- Sajeva, M., Carimi, F. y Mcgough, N. (2007). The convention on international trade in endangered species of Wild Fauna and Flora (CITES), Making Treaties Work: Human Rights, Environment and Arms Control. 134–160. doi:10.1017/CBO9780511494345.008.
- Salinas Zacarías, M. A. (2005). *Ecología de los Tursiones, Turisops truncatus, en la Bahía de La Paz, B.C.S. Tesis Doctoral inédita*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas Instituto Politécnico Nacional, La Paz.
- Salvadeo, C. J., Gómez-Gallardo, U. A., Lluch-Belda, D. y Urbán R., J. (2009). The odontocete community and its environment in the southwestern Gulf of California. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 7(1–2): 23–32. doi:10.5597/lajam00130.

- Samarasinghe, S. (2006). *Neural Networks for Applied Sciences and Engineering: from fundamentals to complex pattern recognition*. Taylor & Francis Group, L.L.C., New York.
- Santos, M. B., Pierce, G. J., Reid, R. J., Patterson, I. A. P., Ross, H. M. y Mente, E. (2001). Stomach contents of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Scottish waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81(5): 873. doi:10.1017/S0025315401004714.
- Scales, K. L., Miller, P. I., Hawkes, L. A., Ingram, S. N., Sims, D. W. y Votier, S. C. (2014). On the front line: Frontal zones as priority at-sea conservation areas for mobile marine vertebrates. *Journal of Applied Ecology*, 51(6): 1575–1583. doi:10.1111/1365-2664.12330.
- Scott, M.D., Wells, R.S. y Irvine, A.B. (1990). A long-term study of bottlenose dolphins on the west coast of Florida. En: *The Bottlenose Dolphin*. Academic Press, San Diego, CA, pp. 235-244.
- Secchi, E. R., Botta, S., Wiegand, M. M., Lopez, L. A., Fruet, P. F., Genoves, R. C. y Di Tullio, J. C. (2017). Long-term and gender-related variation in the feeding ecology of common bottlenose dolphins inhabiting a subtropical estuary and the adjacent marine coast in the western South Atlantic. *Marine Biology Research*, 13(1): 121–134. doi:10.1080/17451000.2016.1213398.
- Sekiguchi, Y. y Kohshima, S. (2003). Resting behaviors of captive bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Physiology and Behavior*, 79(4–5): 643–653. doi:10.1016/S0031-9384(03)00119-7.
- Shekarrizfard, M., Karimi-Jashni, A. y Hadad, K. (2012). Wavelet transform-based artificial neural networks (WT-ANN) in PM10 pollution level estimation, based on circular variables. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(1): 256–268. doi:10.1007/s11356-011-0554-9.
- Silber, G. y Fertl, D. (1995). Intentional beaching by bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Colorado River Delta, Mexico. *Aquatic Mammals*, 21: 183–186.
- Simonis, A. E., Roch, M. A., Bailey, B., Barlow, J., Clemesha, R. E. S., Iacobellis, S., Hildebrand, J. A. y Baumann-Pickering, S. (2017). Lunar cycles affect common dolphin *Delphinus delphis* foraging in the Southern California Bight. *Marine Ecology Progress Series*, 577: 221–235. doi:10.3354/meps12247.
- Simons, R. A. (2011). The Environmental Research Division's Data Access Program. Disponible en: <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html> [Consulta: 1 junio de 2018].
- Smith, R. C., Dustan, P., Au, D., Baker, K. S. y Dunlap, E. A. (1986). Distribution of cetaceans and sea-surface chlorophyll concentrations in the California Current. *Marine Biology*, 91(3): 385–402. doi:10.1007/BF00428633.
- Sousa-Lima, R. S., Norris, T. F., Oswald, J. N. y Fernandes, D. P. (2013). A Review and Inventory of Fixed Autonomous Recorders for Passive Acoustic Monitoring of Marine Mammals. *Aquatic Mammals*, 39(1): 24–53. doi:10.1578/AM.39.1.2013.
- Spitz, J., Rousseau, Y. y Ridoux, V. (2006). Diet overlap between harbour porpoise and bottlenose dolphin: An argument in favour of interference competition for food? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 70(1–2): 259–270. doi:10.1016/j.ecss.2006.04.020.
- Spitz, J., Trites, A. W., Becquet, V., Brind'Amour, A., Cherel, Y., Galois, R. y Ridoux, V. (2012). Cost of Living Dictates what Whales, Dolphins and Porpoises Eat: The Importance of Prey Quality on Predator Foraging Strategies, PLoS ONE, 7(11). doi:10.1371/journal.pone.0050096.

- Sprogis, K. R., Pollock, K. H., Raudino, H. C., Allen, S. J., Kopps, A. M., Manlik, O., Tyne, J. A. y Bejder, L. (2016). Sex-Specific Patterns in Abundance, Temporary Emigration and Survival of Indo-Pacific Bottlenose Dolphins (*Tursiops aduncus*) in Coastal and Estuarine Waters. *Frontiers in Marine Science*, 3: 1–15. doi:10.3389/fmars.2016.00012.
- Stafford, K. M., Moore, S. E. y Fox, C. G. (2005). Diel variation in blue whale calls recorded in the eastern tropical Pacific. *Animal Behaviour*, 69(4):951–958. doi:10.1016/j.anbehav.2004.06.025.
- Taylor, A. R., Schacke, J. H., Speakman, T. R., Castleberry, S. B. y Chandler, R. B. (2016). Factors related to common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) seasonal migration along South Carolina and Georgia coasts, USA. *Animal Migration*, 3(1):14–26. doi:10.1515/ami-2016-0002.
- Thomsen, F., Ugarte, F. y Evans, P. G. H. (2005). Estimation of $g(0)$ in line transect surveys of cetaceans. *European Cetacean Society Newsletter*, 44 p. 52.
- Todd, V. L. G., Todd, I. B., Gardiner, J. C., Morrin, E. C. N., Macpherson, N. A., Dimarzio, N. A. y Thomsen, F. (2015). A review of impacts of marine dredging activities on marine mammals. *ICES Journal of Marine Science*, 72(2): 328–340. doi:10.1093/icesjms/fsu187.
- Torres, L. G. (2009). A kaleidoscope of mammal, bird and fish: Habitat use patterns of top predators and their prey in Florida Bay. *Marine Ecology Progress Series*, 375: 289–304. doi:10.3354/meps07743.
- Toth, J. L. et al. (2012). Defining bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) stocks based on environmental, physical, and behavioral characteristics. *Marine Mammal Science*, 28(3): 461–478. doi: 10.1111/j.1748-7692.2011.00497.x.
- Tsang, M., Cheng, D. y Liu, Y. (2018). Detecting statistical interactions from neural network weights. En: *6th International Conference on Learning Representations, ICLR 2018 - Conference Track Proceedings*, pp. 1–21.
- Turl, C. W. y Thomas, J. A. (1992). Possible Relationship Between Oceanographic Conditions and Long-Range Target Detection by a False Killer Whale, En: *Marine Mammal Sensory Systems*, pp. 421–432. doi:10.1007/978-1-4615-3406-8_28.
- Valadez-Suárez, M. S. (2002). *Abundancia y residencia del tursión, Tursiops truncatus (Cetacea: Delphinidae) en la Ensenada de La Paz, B.C.S. 1989-1994 Tesis de licenciatura inédita*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz. Disponible en: <https://www.dropbox.com/s/wtdtc9j6fe2wji0/TtruncatusAbundanciaEnsenadaLaPaz-TesisLic2002.pdf> [Consulta: 23 agosto de 2017].
- Verborgh, P., De Stephanis, R., Pérez, S., Jaget, Y., Barbraud, C. y Guinet, C. (2009). Survival rate, abundance, and residency of long-finned pilot whales in the strait of Gibraltar. *Marine Mammal Science*, 25(3): 523–536. doi:10.1111/j.1748-7692.2008.00280.x.
- Verdugo-Díaz, G., Verdugo-Moreno, S. A., Rodríguez Olachea, D. E. y Ojeda Ramos, E. R. (2017). Estructura de la comunidad de avifauna asociada al manglar el conchalito, bcs, México bajo diferentes condiciones de marea. *CICIMAR Océánides*, 32(1):1–9.
- Virgili, A., Racine, M., Authier, M., Monestiez, P. y Ridoux, V. (2017). Comparison of habitat models for scarcely detected species. *Ecological Modelling*, 346: 88–98. doi:10.1016/j.ecolmodel.2016.12.013.

- Wagenmakers, E. J. y Farrell, S. (2004). AIC model selection using Akaike weights. *Psychonomic Bulletin and Review*, 11(1): 192–196. doi:10.3758/BF03206482.
- Wang, Z.-T., Nachtigall, P. E., Akamatsu, T., Wang, K. X., Wu, Y. P., Liu, J. C., Duan, G. Q., Cao, H. J. y Wang, D. (2015). Passive acoustic monitoring the diel, lunar, seasonal and tidal patterns in the biosonar activity of the Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the Pearl River Estuary, China. *PLoS ONE*, 10(11): 1–24. doi:10.1371/journal.pone.0141807.
- Wanless, S., Frederiksen, M., Daunt, F., Scott, B. E. y Harris, M. P. (2007). Black-legged kittiwakes as indicators of environmental change in the North Sea: Evidence from long-term studies. *Progress in Oceanography*, 72(1): 30–38. doi:10.1016/j.pocean.2006.07.007.
- Wells, R.S., Scott, M.D., (2002). Bottlenose dolphins. En: *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press, San Diego.
- Wells, R.S., Irvine, A.B., Scott, M.D., (1980). The social ecology of inshore odontocetes. En: *Cetacean Behavior: Mechanisms and Functions*. John Wiley & Sons, New York, NY, pp. 263-318.
- Wells, R., Rhinehart, H., Hansen, L., Sweeney, J., Townsend, F., Stone, R., Casper, D. R., Scott, M., Hohn, A. y Rowles, T. (2004). Bottlenose Dolphins as Marine Ecosystem Sentinels: Developing a Health Monitoring System. *EcoHealth*, 1(3): 246–254. doi:10.1007/s10393-004-0094-6.
- Whitmore, R. C., Brusca, R. C., León de la Luz, J. L., González-Zamorano, P., Mendoza-Salgado, R., Amador-Silva, E. S., Holguin, G., Galván-Magaña, F., Hastings, P. A., Catron, J.-L. E., Felger, R. S., Seminoff, J. A. y McIvor, C. C. (2005). The ecological importance of mangroves in Baja California sur: conservation implication for an endangered ecosystem, En: *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, Oxford, pp. 298–333.
- Williams, G., Crawford, M. A. y Perrin, W. F. (1987). Comparison of the fatty acid component in structural lipids from dolphins, zebra and giraffe: possible evolutionary implications. *Journal of Zoology*, 213(4):673–684. doi:10.1111/j.1469-7998.1987.tb03733.x.
- Wood, S. N., Pya, N. y Säfken, B. (2016). Smoothing Parameter and Model Selection for General Smooth Models. *Journal of the American Statistical Association*, 111(516): 1548–1563. doi:10.1080/01621459.2016.1180986.
- Wright, A. J., Akamatsu, T., Mouritsen, K. N., Sveegaard, S., Dietz, R. y Teilmann, J. (2017). Silent porpoise: potential sleeping behaviour identified in wild harbour porpoises. *Animal Behaviour*, 133: 211–222. doi:10.1016/j.anbehav.2017.09.015.
- Yang, X. (2005). Remote sensing and GIS applications for estuarine ecosystem analysis: an overview. *International Journal of Remote Sensing*, 26(23): 5347–5356. doi:10.1080/01431160500219406.
- Yovel, Y. y Au, W. W. L. (2010). How can dolphins recognize fish according to their echoes? a statistical analysis of fish echoes. *PLoS ONE*, 5(11): e14054. doi:10.1371/journal.pone.0014054.
- Zacharias, M. A. y Roff, J. C. (2001). Use of focal species in marine conservation and management: a review and critique. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 76:59–76.

Zárate-Hernández, R., Castillo-Rivera, M., Sanvicente-Añorve, L. y Ortiz-Burgos, S. (2012). Spatial, diel, and seasonal changes in the fish community structure of a Mexican tropical estuary. *Ciencias Marinas*, 38(4):665–676. doi:10.7773/cm.v38i4.2018.

Zein, B., Woelfing, B., Dähne, M., Schaffeld, T., Ludwig, S., Rye, J. H., Baltzer, J., Ruser, A. y Siebert, U. (2019). Time and tide: Seasonal, diel and tidal rhythms in Wadden Sea Harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *PLoS ONE*, 14(3):1–20. doi:10.1371/journal.pone.0213348.

Zuur, A. F., Ieno, E. N. y Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(1): 3–14. doi:10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x.

Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A. y Smith, G. M. (2009). Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with {R}. *Statistics for Biology and Health*. Springer-Verlag New York.

11. ANEXOS

A: Descripción detallada de los modelos estadísticos

La forma general de un GLME puede ser representada de la siguiente manera:

$$y_{ij} = \beta_0 + \sum_{h=1}^p \beta_h x_{hij} + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad (\text{i})$$

donde y_{ij} es el valor de la variable respuesta de la observación j del individuo i (actividad acústica y encuentros por día y noche), x_{ij} es el valor j del individuo i para el predictor h de los efectos fijos, β_0 es el intercepto global, β_h es el coeficiente de regresión para el predictor h , α_i es un efecto específico de un individuo representado por una distribución normal en la población con la media 0 y la varianza de σ^2_{α} , ε_{ij} es un residuo específico de la observación, la cual se supone que se distribuye normalmente en la población con una media 0 y una varianza de σ^2_{ε} (Bates *et al.*, 2015; Nakagawa *et al.*, 2017).

La forma general de un GAM puede ser representada de la siguiente manera:

$$E(Y) = g^{-1}(\alpha_0 + \sum_{j=1}^1 f_j(x_j)) \quad (\text{ii})$$

$E(Y)$ es el valor esperado de la variable respuesta (que sigue una distribución adecuada y una función de enlace), g^{-1} es el inverso de la función de enlace, α_0 es el intercepto, y f_j es la función suavizante de la variable explicativa x_j (Pedersen *et al.*, 2019).

Identificar e incorporar interacciones es sumamente importante en estudios ecológicos (Redfern *et al.*, 2006; Bolker *et al.*, 2009; Pedersen *et al.*, 2019) y requiere en los GAMs una comprensión profunda de las conexiones subyacentes en el mundo real, porque las interacciones son definidos *a priori* y permiten adicionalmente definir la libertad en que los splines ondulen (Fig.i) esto significa que se pueden precisar cinco tipos de interacciones entre un efecto aleatorio con una varianza asociada (una común para todos suavizadores o individualmente por cada suavizador de la interacción) y uno o más efectos fijos que son anidadas en un modelo global sin interacciones (Pedersen *et al.*, 2019).

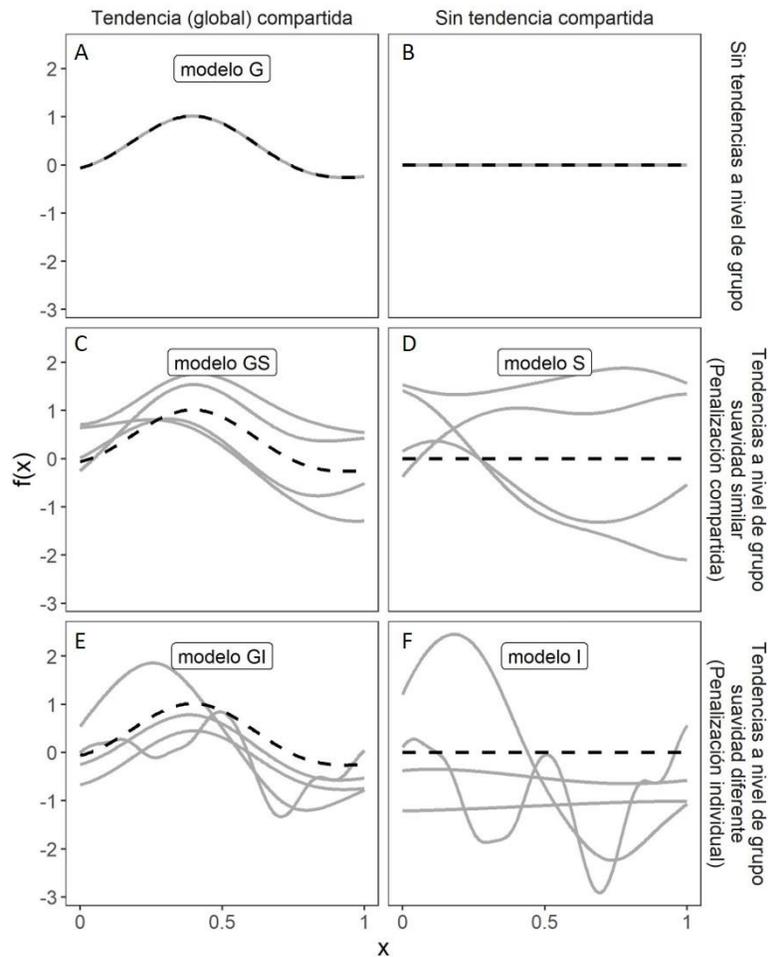


Figura i: Los tipos alternativos de parametrización de suavizadores de la variable x en el marco de modelado GAM. La línea rayada indica el promedio de las funciones de todos grupos, y cada línea sólida indica el valor funcional al nivel de un grupo individual. El modelo general (A), el modelo cero no tiene un nombre específico (B con ninguna relación funcional entre variables explicativas y el resultado, derecha superior), el modelo general con suavizadores compartidos (C), el modelo con suavizadores compartidos (D), el modelo general con suavizadores individuales (E), el modelo con suavizadores individuales (F) (adaptado de Pedersen *et al.*, 2019).

Comparar los suavizadores que resultaron de estas interacciones permite definir diferencias significativas entre condiciones diferentes (géneros, áreas, estaciones, etc.) que fueron definidas *a priori* por el efecto aleatorio en cuestión. Los intervalos de confianza sirven para definir diferencias y semejanzas entre los suavizadores precisados por una interacción específica, pero en el caso que la varianza del error sea compartida entre suavizadores se puede comparar solamente dos suavizadores a la vez para determinar diferencias significativas (Rose

et al., 2012); esta prueba fue realizada exportando la matriz de predicciones (X_p) de unos valores simulados (p) que contiene los valores de los predictores lineales (smooth splines).

$$y_p = X_p \hat{\beta} \quad \text{(iii)}$$

Donde $\hat{\beta}$ es el vector de los coeficientes estimados del modelo y los coeficientes penalizados de las funciones bases que representan los suavizadores (Wood, 2006; Rose et al., 2012).

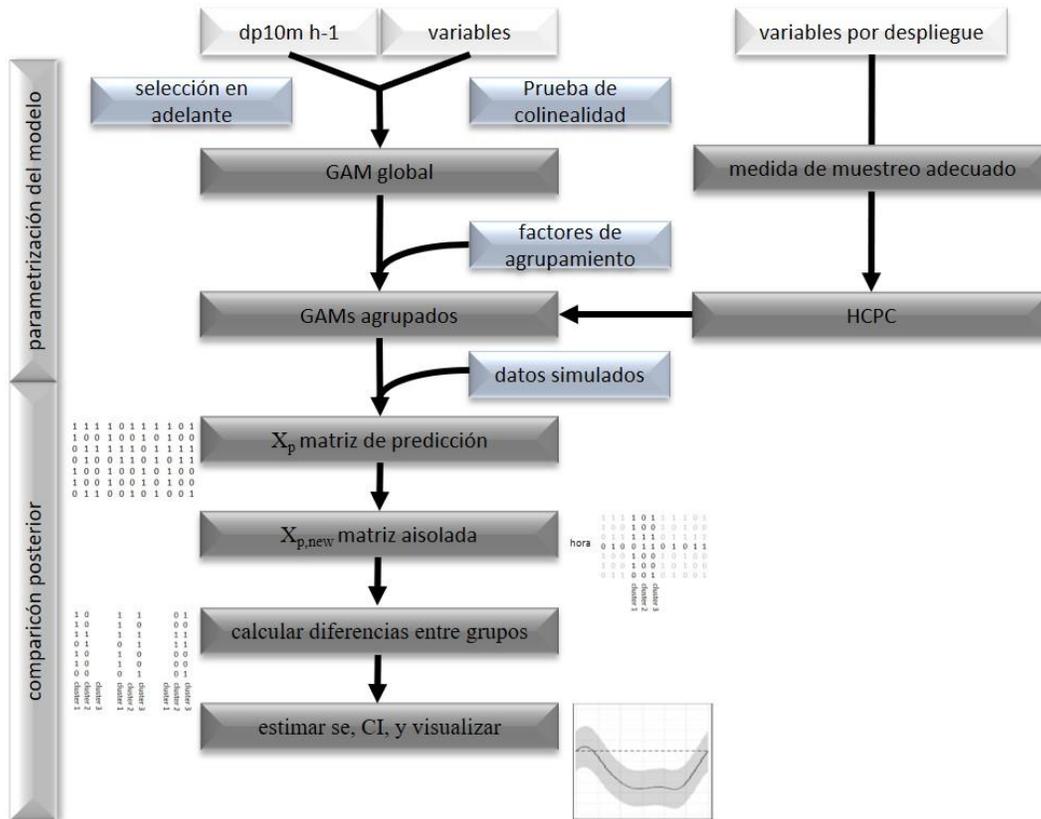


Figura ii: El diagrama de flujo demostrando la parametrización y comparación posterior de los GAMs.

Luego, se calculó $X_{p(new)}$, una matriz que no fue asociada con los suavizadores y los factores que iban a ser comparados; para este fin, los componentes específicos de esta matriz fueron aisladas poniendo todos los coeficientes que no fueron asociadas a la variable de interés (por ejemplo, Hora) y los grupos irrelevantes a cero; luego, se obtuvieron las diferencias entre dos suavizadores y se multiplicó esta nueva matriz con el vector de los coeficientes; finalmente, se estimaron los errores estándar por suavizador multiplicando los elementos diagonales de la

matriz $X_{p(new)}$ con la varianza de la matriz de covarianza (\hat{V}_β) de los coeficientes estimados en el modelo y la transposición de la matriz $X_{p(new)}$; del último se calcularon los intervalos de confianza (95 %) los cuales fueron visualizados con las diferencias entre dos grupos para identificar las diferencias significativas entre pares de suavizadores (compara con Rose et al., 2012, Fig.ii).

La forma general de una ANN (Fig.iii) puede ser representada de la siguiente manera:

$$z(x) = f(b_0 + \sum_{m=1}^M a_j \times f(a_{0m} + \sum_{m=1}^M a_{nm}x_n)) \quad (\text{iv})$$

donde b_0 denota el intercepto de la neurona de salida y a_{0m} el intercepto de la neurona oculta m . Además, a_m denota la ponderación correspondiente a la neurona comenzando en la neurona oculta m y conduce a la neurona de salida, $a_m = (a_{1m}, \dots, a_{nm})$ el vector de todas las ponderaciones correspondientes a las neuronas que conducen a la neurona oculta m , $x = (x_1, \dots, x_n)$ es el vector de todas las covariables. Las ponderaciones definen la importancia de las variables ($a_{mn} \neq 0$) mientras que la conectividad o el grado de interacciones entre las variables depende del número de ponderaciones que no son cero (Samarasinghe, 2006). Una capa oculta de una dimensión es capaz de modelar cualquier función continua por partes, mientras que las ANNs con más capas pueden resolver problemas muy sofisticados (Günther y Fritsch, 2010; Christin et al., 2019).

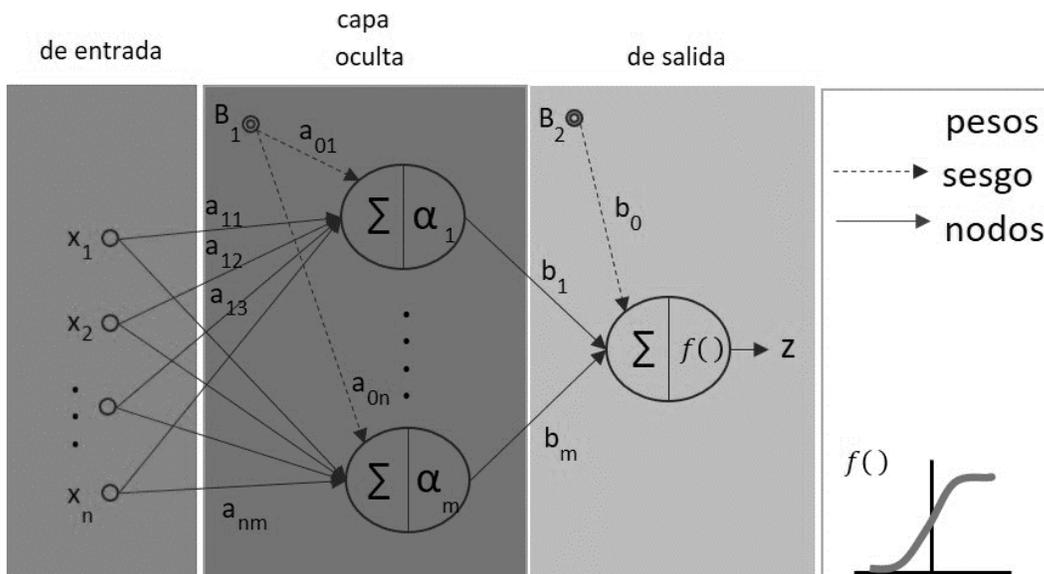


Figura iii: La visualización de una ANN de clasificación. Las variables entran en la capa de entrada son pasadas a los nodos de la capa oculta donde se forma el producto entre las ponderaciones y las variables. La predicción se adquiere en la capa de salida después de pasar por una función de activación logarítmica. Las ponderaciones de sesgo permiten determinar donde la función de activación pasa por el eje y (adaptado de Samarasinghe, 2006).

SELECCIÓN EN AVANCE

B: La selección en adelante del GLME con base en la suma de los Encuentros: formula del modelo, el número de parámetros, $\delta AICc$ diferencia con el modelo seleccionado (*), número de coeficientes, $AICc_{wt}$.

Fórmula	K	$\delta AICc$	df	$AICc_{wt}$
Encuentro ~ 1	1	49.7	4	<0.001
Encuentro ~ 1 + (1 despliegue)	2	44.1	5	<0.001
Encuentro ~ Día/Noche + (1 despliegue)	2	3.8	5	0.0532
Encuentro ~ Esfuerzo + (1 despliegue)	2	49.3	5	<0.001
Encuentro ~ SST + (1 despliegue)	2	1.0	6	0.2129
Encuentro ~ Día/Noche + Esfuerzo + (1 despliegue)	3	2.4	6	0.1095
Encuentro ~ SST + Esfuerzo + (1 despliegue)	3	44.3	6	<0.001
Encuentro ~ Día/Noche + SST + Esfuerzo + (1 despliegue)	3	0.0	7	0.3595*
Encuentro ~ Día/Noche * SST + Esfuerzo + (1 despliegue)	6	2.1	8	0.1278
Encuentro ~ Día/Noche + SST * Esfuerzo + (1 despliegue)	6	2.0	8	0.1339
Encuentro ~ Día/Noche * SST * Esfuerzo + (1 despliegue)	9	9.5	11	0.0032

Variable de respuesta: la suma de los encuentros por fase 'día/noche'

C: La selección en adelante del GLME en base de la suna dp10min: formula del modelo, el número de parámetros, $\delta AICc$ diferencia con el modelo seleccionado (*), número de coeficientes, ponderaciones del $AICc$.

Fórmula	K	$\delta AICc$	df	$AICc_{wt}$
dp10min ~ 1	1	62.85	3	0.0000
dp10min ~ 1 + (1 despliegue)	2	54.38	4	0.0000
dp10min ~ Día/Noche + (1 despliegue)	2	54.63	5	0.0000
dp10min ~ Esfuerzo + (1 despliegue)	2	2.96	5	0.0858
dp10min ~ SST + (1 despliegue)	2	53.30	5	0.0000
dp10min ~ Día/Noche + Esfuerzo + (1 despliegue)	3	4.94	6	0.0318
dp10min ~ SST + Esfuerzo + (1 despliegue)	3	0.00	6	0.3762*
dp10min ~ Día/Noche + SST + Esfuerzo + (1 despliegue)	3	53.59	6	0.0000
dp10min ~ Día/Noche * SST + Esfuerzo + (1 despliegue)	6	1.97	7	0.1405
dp10min ~ Día/Noche + SST * Esfuerzo + (1 despliegue)	6	0.74	8	0.2597
dp10min ~ Día/Noche * SST * Esfuerzo + (1 despliegue)	9	3.47	8	0.0664
dp10min ~ Día/Noche * SST * Esfuerzo * (1 despliegue)	15	4.50	11	0.0397

Variable de respuesta: la suma de dp10m por fase 'día/noche'

D: Selección del GAM global siguiendo la selección en adelante.

modelos	Fórmula	AIC	δ AIC	AICwt
mod_01	dp10min/h ~ s(SST)	1906.8	-219.79	<0.001
mod_02	dp10min/h ~ s(CHL)	1749.43	-62.42	<0.001
mod_03	dp10min/h ~ s(SST BLAP)	1908.41	-221.4	<0.001
mod_04	dp10min/h ~ s(Fase Lunar, bs = "cc")	2120.92	-433.91	<0.001
mod_05	dp10min/h ~ s(Cambio de la Marea)	2174.70	-487.69	<0.001
mod_06	dp10min/h ~ s(Flujo)	2174.70	-487.69	<0.001
mod_07	dp10min/h ~ s(Marea)	2145.36	-458.35	<0.001
mod_08	dp10min/h ~ s(Hora, bs = "cc")	2173.60	-486.59	<0.001
mod_09	dp10min/h ~ Esfuerzo	2145.23	-458.22	<0.001
mod_10	dp10min/h ~ s(Profundidad, k = 4)	1960.81	-273.8	<0.001
mod_11	dp10min/h ~ s(BLAP, k = 4)	1956.04	-269.03	<0.001
mod_12	dp10min/h ~ s(Costa, k = 4)	1941.35	-254.34	<0.001
mod_13	dp10min/h ~ s(Boca, k = 4)	1941.61	-254.6	<0.001
mod_14	dp10min/h ~ s(delta SST)	2052.67	-365.66	<0.001
mod_15	mod_01 + s(Fase Lunar)	1844.01	-157	<0.001
mod_16	mod_15 + s(Marea)	1845.16	-158.15	0.0042
mod_17	mod_15 + s(Flujo)	1843.89	-156.88	<0.001
mod_18	mod_15 + s(Cambio de la Mare)	1843.93	-156.92	<0.001
mod_19	mod_15 + te(Marea, Flujo)	1844.01	-157	<0.001
mod_20	mod_15 + te(Cambio de la Mare, Marea)	1830.49	-143.48	<0.001
mod_21	mod_18 + s(Hora, bs = "cc")	1830.41	-143.4	<0.001
mod_22	mod_19 + Esfuerzo	1813.91	-126.9	<0.001
mod_23	mod_20 + s(Boca, k = 4)	1721.87	-34.86	<0.001
mod_24*	mod_21 + s(Profundidad, k = 4)	1687.01	0	<0.001
mod_25	mod_22 + s(delta SST)	1694.54	-7.53	0.9565
mod_26	mod_22 + s(Costa)	1695.06	-8.05	0.0222

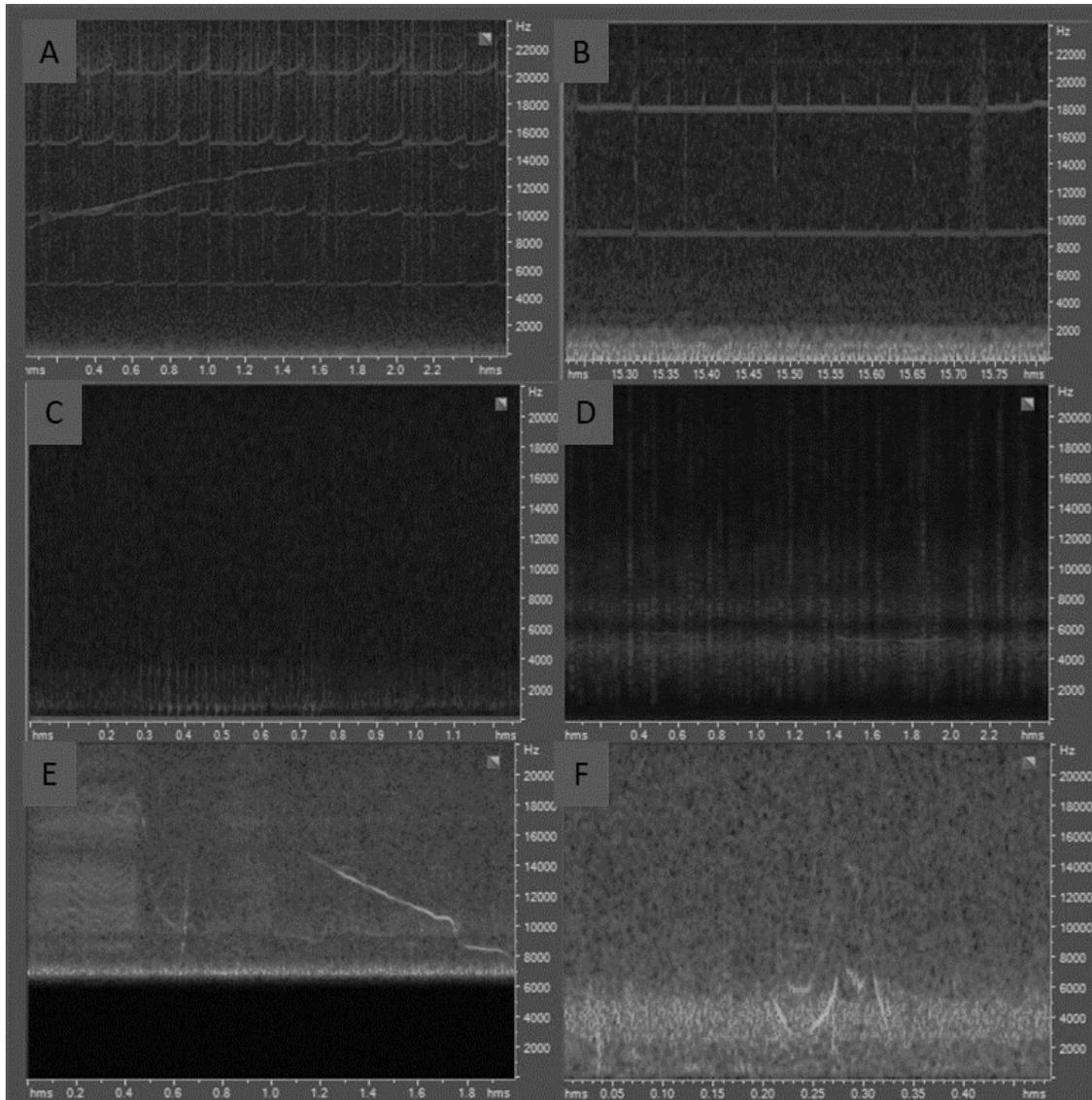
Nota: Variable de respuesta: Actividad Acústica; * modelo global selecto, cc: spline cúbico cíclico.

E: Los coeficientes del modelo I un GAM agrupado con coeficientes de penalización compartido para la variable Hora por grupo de despliegues.

Coeficientes	estimación	error est.	z	p	significancia
(intercepto)	-2.03	0.52	-3.92	0.000	***
Esfuerzo	0.03	0.01	3.74	0.000	***
suavizadores	edf	Ref.df	Chi ²	p	
s(Fase Lunar)	2.91	4.00	27.05	0.000	***
te(Cambio de la Marea, Marea)	3.00	3.00	14.43	0.002	**
s(SST)	3.31	4.03	48.54	0.000	***
s(Hora):grupo	7.75	26.00	45.47	0.000	***
s(Profundidad)	2.14	2.17	34.09	0.000	***
s(Boca)	2.80	2.83	48.14	0.000	***

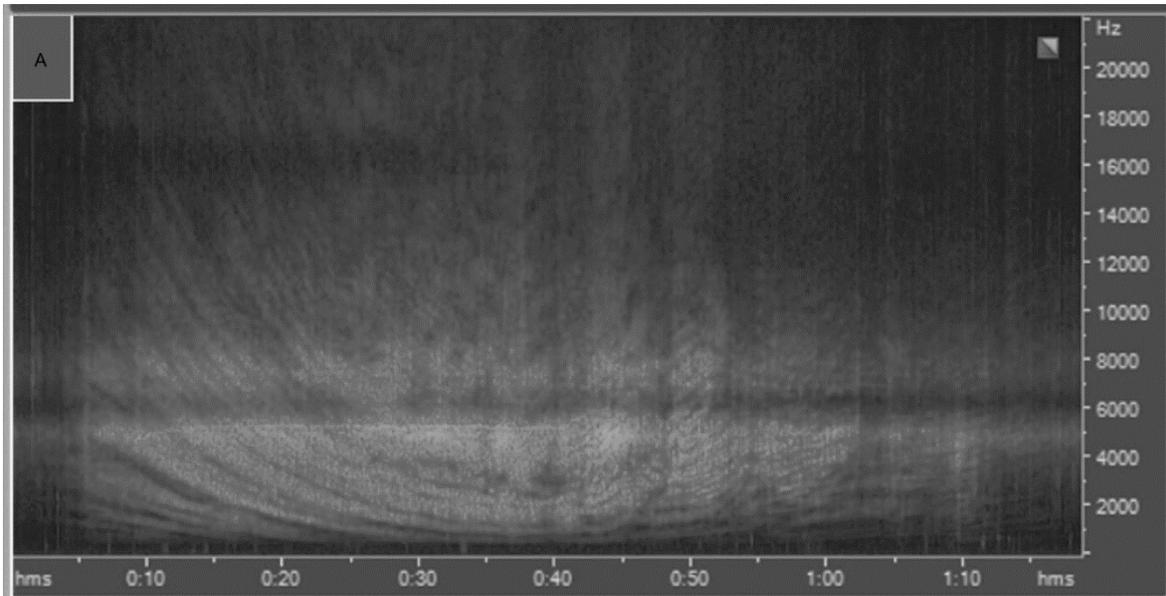
F: Los coeficientes del modelo I un GAM agrupado con coeficientes de penalización individuales para la variable Hora por grupo de despliegues.

coeficientes	estimación	error est.	z	p	significancia
(intercepto)	-2.05	0.52	-3.9	<0.001	***
Esfuerzo	0.03	0.01	3.8	<0.001	***
suavizador	edf	Ref.df	Chi ²	P	
s(Fase Lunar)	2.85	4.00	34.3	<0.001	***
te(Cambio de la Mare, Marea)	3.00	3.00	17.6	0.001	***
s(SST)	3.53	4.27	49.1	<0.001	***
s(Hora):grupo ago-oct	0.00	8.00	0.0	0.713	
s(Hora):grupo oct-mar	1.28	8.00	2.7	0.097	.
s(Hora):grupo may-jul	4.07	8.00	24.2	<0.001	***
s(Profundidad)	2.14	2.17	32.9	<0.001	***
s(Buca)	2.79	2.82	45.9	<0.001	***
s(grupo)	1.51	2.00	20.3	<0.001	***



G: Ejemplos de silbidos grabados con el Registrador Acústico usando diferentes grabadoras (formato '.wav' 44.1 kHz a 16 bit) con Adobe Audition 3.0 (Hanning window, window width 100 %, según Azevedo et al., 2007).

A) UniComp 8 GB: silbido 'upsweep' de un tursión con unas perturbaciones electromagnéticas (salida L8, 16. oct. 2016, FFT de 256 puntos); B) GHB 8 GB: unas perturbaciones electromagnéticas (salida UABCS, 24. oct. 2017, FFT de 256 puntos); C) Steren 4 GB: sonidos de baja frecuencia (salida ELAP, 09. nov. 2017, FFT de 256 puntos); D) OLYMPUS WS-822: silbido unimodal de uno de tres tursiones pasando con ruido del camarón pistola (salida L8, 10. jul. 2017, FFT de 256 puntos); E) SONY ICD PX-470: feeding buzz y diferentes silbidos 'downsweep' y multimodal de tursiones (salida L8, 16. oct. 2016, FFT de 256 puntos, filtro de paso alto: 7 kHz); F) MARANTZ H4N: silbido multimodal de un *Tursiops truncatus* (salida EPI, 10. marzo 2017, FFT de 256 puntos).



H: Visualización del ruido emitido de motores de una embarcación (formato '.wav' 44.1 kHz a 16 bit, 1 min 20 s) con Adobe Audition 3.0 (Hanning window, window width 100 %).

I: Temperatura superficial del mar durante salidas a La Ensenada de La Paz.

día	superficie [1m]	suelo [5m]
10. jul 2017	27.20	NA
13. jul 2017	27.08	27.30
13. sep 2017	31.47	31.23
15. sep 2017	31.50	31.37
25. sep 2017	28.50	28.20
28. sep 2017	29.26	29.40
05. oct 2017	30.03	30.15
09. oct 2017	30.40	30.30
23. oct 2017	29.57	29.53
30. oct 2017	28.41	NA
09. nov 2017	28.57	28.33
27. nov 2017	26.45	26.25
30. nov 2017	26.40	26.50