



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO Y FONACIONES DE
TURSIONES (*Tursiops truncatus*) DURANTE SU
INTERACCIÓN CON BUZOS EN EL PARQUE NACIONAL
ARCHIPIÉLAGO DE REVILLAGIGEDO.**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestra en Ciencias

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

P r e s e n t a

Selene Mariel Tejeda Bravo

La Paz, Baja California Sur, junio de 2024.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 13:59 horas del día 8 del Mes de abril del 2024, 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:

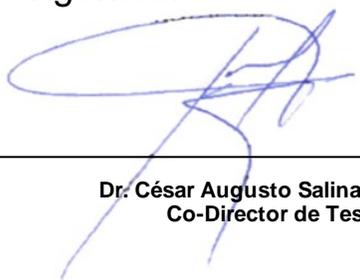
"ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO Y FONACIONES DE TURSIONES (*Tursiops truncatus*) DURANTE SU INTERACCIÓN CON BUZOS EN EL PARQUE NACIONAL ARCHIPIÉLAGO DE REVILLAGIGEDO."

Presentada por el alumno:

Selene Mariel Tejeda Bravo

Aspirante al Grado de MAESTRO 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.



Dr. César Augusto Salinas Zavala
Co-Director de Tesis

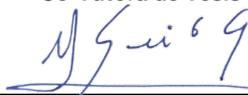
LA COMISIÓN REVISORA



Dra. Carmen Bazúa Durán
Co-Directora de Tesis



Dra. Diane Gendron
Co-Tutora de Tesis



Dra. Alejandra Nieto Garibay,
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos.

La Paz, Baja California Sur, a 9 de abril de 2024.

Los miembros del comité de tesis del (la) estudiante **Selene Mariel Tejeda Bravo** del Programa de Maestría en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio:
iThenticate
- Filtros utilizados:
 - Excluir Citas
 - Excluir Bibliografía
- Porcentajes de similitud:
18%

Máximo 20% para tesis Posgrado
Se muestra captura de pantalla

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO Y FONACIONES DE TURSIONES DURANTE SU INTERACCIÓN CON BUZOS EN EL PARQUE NACIONAL ARCHIPIÉLAGO DE REVILLAGIGEDO

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%
Índice de Similitud

FUENTES PRINCIPALES

 cicese.repositorioinstitucional.mx	878 palabras — 3%
 www.conanp.gob.mx	415 palabras — 2%
 simec.conanp.gob.mx	363 palabras — 1%
 scholarship.org	238 palabras — 1%
 cibnoc.repositorioinstitucional.mx	221 palabras — 1%
 digital.csic.es	180 palabras — 1%
 Pamela Carzon, Éric Clua, Kathleen M. Dudzinski, Fabienne Delfoux. "Deleterious behaviors and risks related to close interactions between humans and free-ranging dolphins: A review", Biological Conservation, 2023	177 palabras — 1%
 revistaciencia.amc.edu.mx	139 palabras — 1%

Firmas del Comité



Dr. César Augusto Salinas Zavala



Dra. Carmen Bazúa Durán



Dra. Diane Gendron

Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dr. Cesar Augusto Salinas Zavala
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Director de Tesis

Dra. Carmen Bazúa Durán
Universidad Nacional Autónoma de México
Co-Directora de Tesis

Dra. Diane Gendron
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
Co-Tutora de Tesis

Comité Revisor de Tesis

Dr. César Augusto Salinas Zavala
Dra. Carmen Bazúa Durán
Dra. Diane Gendron
Dr. James Thomas Ketchum Mejía

Jurado de Examen

Dr. César Augusto Salinas Zavala
Dra. Carmen Bazúa Durán
Dra. Diane Gendron

Suplente

Dr. James Thomas Ketchum Mejía

Resumen

El turismo de naturaleza ha experimentado un resurgimiento reciente impulsado por el deseo de tener interacciones cercanas con animales silvestres, pero sin tener plena conciencia ni conocimiento de su impacto en las poblaciones. Este fenómeno genera conflictos entre el valor de conservación, el bienestar animal, la satisfacción de los visitantes y la rentabilidad. Aunque el buceo se considera una actividad turística sostenible en México, especialmente en el Parque Nacional Revillagigedo (PNR), su crecimiento requiere supervisión para minimizar los disturbios en los cetáceos, como es el caso de los tursiones o toninas (*Tursiops truncatus*) para los cuales se ha encontrado un cambio en su comportamiento del 2018 al 2022 debido a un aumento del 148% en el turismo en el PNR. Por ello, esta investigación identificó y caracterizó el comportamiento de los buzos y de los tursiones en el PNR para conocer los niveles de interacción y su relación. Se realizaron cuatro viajes entre 2018 y 2022 para recopilar material videográfico y grabaciones acústicas. Además, se obtuvieron videos adicionales por la aportación de otros buzos. Se seleccionaron 70 encuentros de buzos con tursiones con una duración total de 118.5 minutos. Los sitios más frecuentados fueron Cabo Pearce (38 eventos), El Boiler y El Cañón (13 y 11 eventos, respectivamente), Clarión (6 eventos) y Punta Tosca (2), de los cuales se destaca que existió la interacción de los tursiones con otras especies pelágicas, como la manta oceánica (*Mobula birostris*), que el Boiler en San Benedicto pueden representar un hábitat para la crianza y que en tres encuentros se registró a los tursiones cargando en sus aletas trozos de bolsas de plástico, subrayando la necesidad de implementar una gestión efectiva de residuos sólidos. Los resultados mostraron que el comportamiento de los tursiones que predominó durante las observaciones con la presencia de buzos fue socializando (un 48%), seguido por la evasión (34%), transitando (11%), crianza (5%) y persiguiendo peces (2%). También se encontró que los tursiones emitieron muchos más silbidos que trenes de ecolocalización y pulsos explosivos. Al estudiar el efecto del uso de luces y sonidos por parte de los buzos se encontró una relación negativa entre los sonidos producidos por los buzos y los comportamientos de los tursiones de evasión y situación de crianza, aunque no fue estadísticamente significativa (correlación por intervalo de Spearman, $\rho = -0.180$). Por ello, esta investigación sugiere el uso de prácticas óptimas del buceo y emite recomendaciones específicas al PNR para sensibilizar a los usuarios sobre la importancia de un manejo sostenible de la actividad de buceo y su interacción con las poblaciones silvestres de tursiones en el PNR.

Palabras clave: bioacústica, comportamiento, tursiones oceánicos, interacción humana, ecoturismo, buceo, conservación, áreas marinas protegidas.

ORCID: 0009-0005-1384-7360

Vo. Bo.


Dr. César Augusto Salinas Zavala.
Co- Director


Dra. Carmen Bazúa Durán
Co- Directora

Summary

Nature tourism has seen a recent resurgence driven by the desire to have close interactions with wild animals, but without full awareness or knowledge of its impact on populations. This phenomenon generates conflicts between conservation value, animal welfare, visitor satisfaction, and profitability. Although diving is considered a sustainable tourist activity in Mexico, especially in the National Park Revillagigedo (PNR), its growth requires supervision to minimize disturbances to cetaceans, such as the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*), for which behavioural changes have been found from 2018 to 2022 due to an 148% increase in tourism. Therefore, this research identified and characterized the behavior of divers and dolphins in the PNR to understand the levels of interaction and their relationship. Four trips were made between 2018 and 2022 to collect video material and acoustic recordings. In addition, supplementary videos were obtained through the contribution of other divers. 70 diver-dolphin encounters were selected with a total duration of 118.5 minutes. The most frequented sites were Cabo Pearce (38 events), El Boiler and El Cañón (13 and 11 events, respectively), Clarión (6 events), and Punta Tosca (2), in which it was noted that the interaction of bottlenose dolphins with other pelagic species exists, such as with the oceanic manta ray (*Mobula birostris*), that El Boiler in San Benedicto may represent a habitat for breeding, and that in three encounters dolphins were seen carrying pieces of plastic bags in their fins, underlining the need to implement effective solid waste management. The results showed that the dolphin behavior that dominated during their interaction with divers was socializing (48%), followed by avoidance (34%), transiting (11%), breeding (5%), and chasing fish (2%). It was also found that dolphins emitted many more whistles than echolocation trains and burst pulses. When studying the effect of the use of lights and sounds by divers, a negative relationship was found between the sounds produced by divers and dolphin behaviors of avoidance and breeding, even though it was not statistically significant (Spearman interval correlation, $\rho = -0.180$). Therefore, this research suggests optimal practices for divers, and issues specific recommendations to the PNR to raise awareness among users about the importance of sustainable management of diving activities and its interaction with wild populations of oceanic bottlenose dolphins in the PNR.

Keywords: bioacoustics, behaviour, oceanic bottlenose dolphins, human interaction, ecotourism, scuba diving, conservation, marine protected area.

ORCID: 0009-0005-1384-7360

Vo. Bo.



Dr. César Augusto Salinas Zavala.
Co-Director



Dra. Carmen Bazúa Durán
Co-Directora

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todos los delfines en el planeta que han sido privados de su libertad. Por qué llegue el día que regresen al mar con una vida digna fuera de la explotación y del entretenimiento. Y que los cetáceos que están libres sean respetados y protegidos en el océano.

Dedico a mi madre Carolina Bravo y al hombre que amo Giacomo Rossi, quien ha estado a mi lado con un apoyo incondicional, por motivarme constantemente y hacerme creer que soy capaz de lograr mis sueños y ser feliz. Gracias *amore* por acompañarme en este camino por el planeta azul.

Este trabajo de investigación fue hecho con muchos retos que fueron atravesándose en el camino; sin embargo, mi más grande fortaleza fue pensar que esta investigación permitirá conocer más a los delfines en su hábitat natural y compartir su verdadera esencia al ser individuos sociales e inteligentes con la capacidad de sentir, pensar y comunicarse.

Gracias a todos los amig@s buzos por compartirme material videográfico aportando a través de la ciencia ciudadana. Simplemente este trabajo no hubiera sido posible sin su apoyo.

Este gran esfuerzo también lo dedico a mis amigos peludos, Naila, a mi amado Gigi y a Zen, a los tres gatitos y a mis cuatro perritos Thor, Sisi, Indra y Bruce que me han acompañado en las madrugadas de trabajo.

Agradecimientos

Un gran agradecimiento al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) y la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos, en especial a la Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro por su confianza y apoyo constante para ingresar al posgrado, además de ser un gran ser humano y demostrar siempre sus atenciones sinceras a mi salud integral para concluir satisfactoriamente este reto académico.

Gracias al actual Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por brindarme el apoyo económico para realizar mis estudios de maestría con el número de CVU 397349.

Gracias al anterior comité; al Dr. Amaury Cordero y al Dr. Braulio León por enseñarme que la ciencia es para todos, por reafirmar la confianza en mí por superar desafíos y también por aceptar la invitación de compartir conocimiento y ser parte del Festival 2021 de la Ballena Gris a distancia en Puerto San Carlos. Agradezco especialmente al Dr. Romero, quien construyó el sistema de grabación utilizado en esta investigación y me asesoró ampliamente para poder realizar una adecuada recolección de datos en campo.

Un especial y sincero agradecimiento al nuevo comité por brindarme su apoyo, paciencia y tiempo en este reto, en especial al Dr. César Salinas por ser amigo y acompañarme hasta el final en todo momento y sobre todo por lograr concluir esta meta para empezar un nuevo proyecto de vida. Gracias a la Dra. Diane Gendron por sus ánimos y por recordarme lo esencial. Gracias al Dr. James Ketchum por confiar en mí y por compartir experiencias de conservación sobre Revillagigedo que me inspiraron aún más a realizar este trabajo. Gracias a la Dra. Carmen Bazúa por haber aportado a este trabajo de investigación.

Gracias infinitas a Ana María Talamantes Cota por ayudarme en la revisión bibliográfica de mi tesis. Gracias por la comprensión, dedicación y empeño que pones en cada uno de los

estudiantes. Sin olvidar y agradecer al gran equipo de Posgrado, Adriana Teresa Franzoni García, Lic. Raquel Emilia Herrera Vega, Tania Verónica Núñez Valdez, Mtra. Osvelia Ibarra Morales trabajando en equipo con la Dra. Alejandra Nieto Garibay hacen una labor académica extraordinaria, gracias infinitas por su tiempo y empatía con los estudiantes.

Gracias a todos los buzos que compartieron sus videos conmigo para estudiarlos y en especial a Deena Drewes por ser una hermana, amiga y aliada por la conservación y la libertad de los cetáceos.

Gracias a Dora Sandoval por su generosidad por los descuentos otorgados en los viajes de tomas de datos a través del barco Quino el Guardián y Rocío del Mar al Parque Nacional Revillagigedo, y un especial agradecimiento a la directora del parque Luz Eréndira Frías Hernández, porque sin su ayuda este trabajo no hubiera sido posible. Gracias por la gestión y a todo el equipo por facilitarme mis permisos y salidas y los datos solicitados en todo momento con transparencia y por la motivación de concluir.

Gracias a la vida, a mi madre, a mi esposo, mis compañeros de maestría que me ayudaron en todo momento. Gracias al universo, al océano y a dios que me puso el corazón en el mar y conocí a los delfines que tanto me motivan y me hacen feliz en libertad.

Contenido

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	vi
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	x
Abreviaturas	xi
Glosario	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades de la especie de estudio.....	3
1.2 Nuestra relación con los cetáceos.....	6
1.3 La bioacústica aplicada en cetáceos.....	8
2. ANTECEDENTES	12
2.1 Comunicación acústica en tursiones.....	15
2.2 Recepción y análisis de la información acústica	15
2.3 Resumen de la transmisión del sonido durante la ecolocalización	18
2.4 Clasificación de las fonaciones.....	18
2.5 Estudios de la estructura social de los tursiones en vida libre	21
2.5.1 Encuentros sociales.....	21
2.5.2 Proximidad	22
2.5.3 Comportamientos de contacto	22
2.5.4 Agresión.....	23
2.5.5 Alianzas.....	23
2.6 Zona de estudio. Parque Nacional Revillagigedo.....	25
2.7 El valor de las actividades turísticas en el PNR	27
3. JUSTIFICACIÓN	30
4. HIPÓTESIS	32
5. OBJETIVOS	33
5.1 Objetivo general.....	33
5.2 Objetivos particulares	33
6. MATERIAL Y MÉTODOS	34
6.1 Método para el procesamiento de datos videográficos de tursiones interactuando con buzos en Revillagigedo. Análisis de Videos / Comportamientos	36
6.2 Caracterización de fonaciones y comparación de los dos sistemas de grabación acústica	45
Registro de audio	45
7. RESULTADOS	47
7.1 Encuentros y comportamientos de los tursiones en el PNR.....	47
7.2 Interacción de tursiones con otras especies.....	54
7.3 Análisis de las fonaciones y comparación entre los dos sistemas de grabación acústica ...	56

7.4 Análisis de otras variables de interés: sonidos producidos por buzos y uso de luces	63
8. DISCUSIÓN	67
9. CONCLUSIONES	75
9.1 Recomendaciones	76
10. LITERATURA CITADA	81
11. ANEXOS	93
Anexo A.-La ecolocalización en delfines	93
Anexo B.-Interacción de tursiones con buzos en el Archipiélago de Revillagigedo	94
Anexo C.-Recomendaciones para el buceo recreativo durante los encuentros con tursiones en el Parque Nacional Revillagigedo.....	95

Lista de figuras

Figura 1. Tursiones interactuando con manta gigante (<i>Mobula birostris</i>) en Cabo Pearce, Isla Socorro	4
Figura 2. Madre y cría de tursión (<i>Tursiops truncatus</i>) en el Boiler, San Benedicto	5
Figura 3. Ecolocalización: mecanismos anatómicos de los odontocetos para el uso del sonar (fuente: http://us.whales.org/faqs/facts-about-whales-anddolphins)	17
Figura 4. Mapa de ubicación de la zona de estudio Parque Nacional Revillagigedo, que también señala las tres regiones de buceo y la distribución de sitios de buceo en México (modificado de www.pewtrusts.org y www.datamares.org).....	26
Figura 5. SMTB buceando y realizando la toma de datos acústicos usando el sistema sumergible de grabación acústica que consta de una grabadora TASCAM (foto izquierda) dentro de una carcasa conectada a un hidrófono, el cual también se conectó a la cámara GoPro10 (foto derecha)	35
Figura 6. Etograma gráfico de los comportamientos referidos en la Tabla 4.....	39
Figura 7. Tursiones transitando en Cabo Pearce, Isla Socorro	41
Figura 8. Tursiones socializando con buzos de forma voluntaria.....	42
Figura 9. Tursiones cambiando de dirección o alejándose dado que un buzo persigue.....	42
Figura 10. Relación entre los niveles de interacción entre los buzos y los tursiones.....	49
Figura 11. Interacción con buzos: tursión en posición vertical con contacto (izquierda) y sólo contacto (derecha).....	49
Figura 12. Comportamiento de socialización entre tursiones, mostrando un individuo en posición vertical.....	50
Figura 13. Gráfico de los eventos observados relativos al caso en donde los tursiones están mayormente socializando en relación con los buzos.....	51
Figura 14. Gráfico de los eventos observados relativos al caso en que los tursiones evaden al grupo de buzos.....	52
Figura 15. Gráfico de los eventos observados relativos al caso en que los tursiones están transitando.....	52
Figura 16. Gráfico de los eventos observados relativos al caso donde hay presencia de crías.....	53
Figura 17. Gráfico de los eventos observados relativos al caso en que los tursiones persiguen peces.....	53
Figura 18. Tursiones en posición vertical interaccionando con otras especies de pelágicos: cardumen de tiburones martillo (<i>Sphyrna lewini</i>).....	55
Figura 19. Tursión sujetando una bolsa plástica con la aleta pectoral	56
Figura 20. Visualización de silbidos en un espectrograma de la grabación de audio del sistema GoPro10 obtenida el 9 de abril 2022, 8:00 am en el Cañón, San Benedicto.....	58
Figura 21. Visualización de silbidos en un espectrograma de la grabación del sistema sumergible obtenida el 9 de abril 2022, 8:00 am en el Cañón, San Benedicto.....	58
Figura 22. Visualización de trenes de ecolocalización en un espectrograma de la grabación de audio del sistema GoPro10 obtenida el 9 de abril 2022, 8:00 am en el Cañón, San Benedicto.....	59
Figura 23. Visualización de trenes de ecolocalización en un espectrograma de la grabación del sistema sumergible obtenida el 9 de abril 2022, 8:00 am en el Cañón, San Benedicto.....	59

Figura 24. Visualización de pulsos explosivos en un espectrograma de la grabación de audio del sistema GoPro10 obtenida el 2 de enero del 2022, 11:25 am en Cabo Pearce, Isla Socorro.....	60
Figura 25. Visualización de pulsos explosivos en un espectrograma de la grabación del sistema sumergible obtenida el 2 de enero del 2022, 11:25 am en Cabo Pearce, Isla Socorro.....	60
Figura 26. Ilustración del nivel de comportamiento de los buzos hacia los tursiones en relación con los comportamientos observados de los buzos que se describen en la Tabla 6.....	80

Lista de tablas

Tabla 1. Distribución porcentual de sitios de buceo y número de buzos atendidos por año en México (tomado de Arcos-Aguilar <i>et al.</i> , 2021)	26
Tabla 2. Visitación del 2012 al 2023 al Archipiélago de Revillagigedo. Esta información se obtuvo a través de la Plataforma Nacional de Transparencia en enero de 2024, folio número 330008324000008. 2017 es el año de declaración del PNR.....	28
Tabla 3. Sitios de buceo y sus coordenadas geográficas en el PNR.....	28
Tabla 4. Etograma. Caracterizaciones de los comportamientos de tursiones en el PNR	38
Tabla 5. Nivel de interacción de los buzos con los tursiones en el PNR	40
Tabla 6. Nivel de interacción de los tursiones hacia los buzos en el PNR	40
Tabla 7. Encuentros con tursiones en los distintos sitios de buceo del PNR muestreados entre 2018 – 2022.....	48
Tabla 8. Matriz de interacciones entre buzos y tursiones en relación con los cinco comportamientos de los tursiones	48
Tabla 9. Interacción de tursiones con otras especies durante 2018-2022	54
Tabla 10. Descripción de las tres grabaciones acústicas realizadas con los dos sistemas mostrando el número de tursiones y buzos grabados, así como el número de fonaciones de los tursiones obtenidas con cada sistema.....	57
Tabla 11. Comportamientos de los once tursiones y 24 buzos y el número de fonaciones observados cada 30 segundos durante 11 minutos en Cabo Pearce, Isla Socorro. Los comportamientos se obtuvieron de la videograbación de la GoPro10 y el número de fonaciones de la grabación acústica del sistema sumergible.....	62
Tabla 12. Comportamientos de los tursiones cuando se emitieron sonidos y silbatos de alarma por parte de los buzos y los resultados del análisis estadístico - prueba de Correlación de Spearman	63
Tabla 13. Comportamientos de los tursiones cuando se emitieron disparos de luz con cámaras profesionales o <i>flash</i> por parte de los buzos y los resultados del análisis estadístico - prueba de correlación de Spearman.	65
Tabla 14 (cont). Comportamientos de los tursiones cuando se emitieron disparos de luz con cámaras profesionales o <i>flash</i> por parte de los buzos y los resultados del análisis estadístico - prueba de correlación de Spearman.....	66
Tabla 15. Indicaciones de manejo para promover el bienestar animal, la seguridad humana y el establecimiento de actividades sostenibles que se enumeran con ejemplos dados en la literatura revisada (tomado de Carzon <i>et al.</i> , 2023).....	77

Abreviaturas

ANP:	Área Natural Protegida
AMP:	Área Marina Protegida
CONANP:	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
DOF:	Diario Oficial de la Federación
NOM:	Norma Oficial Mexicana
NMFS:	El Servicio Nacional de Pesca Marina de los Estados Unidos dentro del Departamento de Comercio (por sus siglas en inglés “National Marine Fisheries Service”)
NOAA:	La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (por sus siglas en inglés “National Oceanic and Atmospheric Administration”)
PAM:	Monitorización acústica pasiva (por sus siglas en inglés “Passive Acoustic Monitoring”)
PNR:	Parque Nacional Revillagigedo
SMTB:	Selene Mariel Tejeda Bravo
SEMARNAT:	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
IUCN:	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (por sus siglas en inglés “International Union for Conservation of Nature”)
UNESCO:	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, (por sus siglas en inglés “United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization”)

Glosario

Acústica: Rama interdisciplinaria de la física que estudia el sonido; es decir, las ondas mecánicas que se propagan a través de la materia, tanto sólida como líquida o gaseosa, y que se estudian por medio de modelos físicos y matemáticos.

Audacity: Aplicación informática de multiplataforma libre que se puede usar para la grabación y la edición de archivos de audio.

Bioacústica: Ciencia que combina la biología y la acústica y que estudia, entre otros, el comportamiento de comunicación entre los animales a través de sus señales sonoras o sonidos biológicos.

Cámara sumergible GOPRO: Cámara subacuática compacta sumergible con carcasa para hasta 100 metros de profundidad.

Capacidad de Carga: Número máximo de turistas o visitantes permitido en un área determinada.

Etología: Ciencia que estudia el comportamiento de los animales en vida silvestre

Espectrograma: Herramienta básica de representación que se utiliza para el análisis de las señales eléctricas, audiovisuales, de comunicaciones o de cualquier señal que tenga contenido espectral (de frecuencia). Es una representación en tres dimensiones, temporal, espectral y energética de una señal.

Espiráculo: Orificio que tienen en la parte superior de la cabeza los cetáceos que equivale a la nariz en los humanos; tiene la función de inhalar y exhalar aire a los pulmones.

Frecuencia: Variable que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso.

Fonaciones: Sonidos producidos por los mamíferos marinos que no son producidos por cuerdas vocales.

Hidrófono: Transductor de sonido a electricidad para ser usado en agua o en cualquier líquido, de forma análoga al uso de un micrófono en el aire.

Pulsos Explosivos o pulsos en ráfaga: Trenes de pulsos con muy alta velocidad de repetición a intervalos de menos de 5 μ s que los humanos escuchan como un sonido continuo. Tienen funciones comunicativas y sociales en contextos de agresión.

Silbido: Señales continuas de frecuencia modulada que pueden mostrar variación geográfica en ciertas especies de delfínidos. Los silbidos firma son silbidos únicos de identificación individual entre delfines que contienen información afiliativa.

Sistema de Grabación Independiente: Arreglo compuesto de una grabadora, hidrófono y carcasa.

Tasa: Magnitud que mide la cantidad de repeticiones que puede tener un suceso por unidad de tiempo

Trenes de Ecolocalización: Secuencias de pulsos acústicos con alta velocidad de repetición a intervalos de alrededor de 50 μ s con energía entre los 5 y los 150 kHz que se usan principalmente para navegar y ubicar objetos.

Tursiones: toninas o delfines mulares, especies del género *Tursiops spp.*

Ventana de Hanning: Función matemática usada en el análisis y el procesamiento de señales para evitar discontinuidades al principio y al final de los bloques analizados cuando se calcula la Transformada de Fourier. Lleva su nombre en honor a su autor, el meteorólogo Julius von Hann.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se reconoce que el turismo y las comunidades locales en diferentes países se benefician de los cetáceos, por lo que existe un impacto económico, el cual puede ser sustancial (Hvenegaard, 1994; IFAW, 1997; Hoyt, 2001, 2002). Además, los mamíferos marinos pueden ser una herramienta para crear conciencia sobre el papel de las Áreas Marinas Protegidas (AMP) en las iniciativas de conservación marina (Hoyt, 2002). La conservación de las AMP basada en cetáceos tiene un alto valor ecológico, ya que al proteger a los cetáceos de manera efectiva se conserva al ecosistema mismo y a todos los organismos marinos que en él habitan (Prideaux, 2005). Es decir, los cetáceos son especies sombrilla cuyos hábitats son muy amplios, ya que su extensión engloba la distribución de muchas otras especies menos móviles (Sergio *et al.*, 2008). Dado que los mamíferos marinos suelen ocupar grandes hábitats, existe un gran potencial de que programas eficaces para conservar el hábitat de los mamíferos marinos incluyan la protección de muchas otras especies, convirtiéndose estos hábitats en importantes corredores biológicos para la biodiversidad de animales pelágicos, tortugas y especies en peligro de extinción, en los cuales se incluye una amplia variedad de ecosistemas y procesos de ecosistemas, lo que puede incluso convertirse en una red de AMP (Hoyt, 2002).

En el Océano Pacífico oriental tropical el avistamiento de mamíferos marinos y el buceo en las AMP es de gran importancia no sólo por las ganancias que genera, sino porque representa una oportunidad de conservación y preservación de las especies y los ecosistemas; de tal manera que esta actividad turística da pie al desarrollo de economía sostenible basada en el turismo de naturaleza con fines recreativos, científicos y de conservación marina. Además, la presencia de mamíferos marinos es un indicador de la salud de un ecosistema (Bossart, 2011).

La presente investigación está enfocada en el Archipiélago de Revillagigedo, un AMP denominada Parque Nacional Revillagigedo desde el 27 de noviembre de 2017 que es el Área Natural Protegida de no pesca más grande de Norte América y que fue declarada por la UNESCO en 2016 como Patrimonio Mundial Natural de la Humanidad (CONANP, 2019). En las Islas de Revillagigedo

la actividad de buceo se distingue a nivel internacional por sus ecosistemas prístinos, así como por la enorme biomasa de peces y las grandes agregaciones de mantas gigantes y tiburones martillo, puntas plateadas, sedosos y galápagos, entre otros pelágicos, dentro de los que están los tursiones (*Tursiops truncatus*). En sus profundidades, el Archipiélago de Revillagigedo alberga una diversidad de formas; arrecifes mesofóticos, expresiones geológico-volcánicas sobresalientes, cordilleras y montes submarinos que actúan como vías para especies que migran a regiones del Océano Pacífico.

El buceo recreativo en el Parque Nacional Revillagigedo se lleva a cabo en barcos de vida a bordo y lleva desarrollándose desde los años 80's en las aguas de las islas volcánicas que forman el Archipiélago, que son Isla Socorro, Isla San Benedicto, islote Roca Partida y una isla más oceánica denominada Isla Clarión (CONANP, 2019). El Archipiélago de Revillagigedo constituye un área importante para la generación de información en las ciencias biológicas de la tierra y del mar, situación que le confiere una gran relevancia científica como un laboratorio natural, dadas sus características insulares y los procesos ecológicos a los que se ven sometidas sus comunidades y ecosistemas, ofreciendo grandes expectativas para el estudio de procesos de colonización, dispersión y adaptación de especies, entre otros (CONANP, 2019).

Sobre la base del marco de referencia anterior, en este trabajo se busca generar conocimiento sobre el tipo de comportamientos y el nivel de interacción entre tursiones y buzos. El objetivo de esta investigación es sentar un estudio inicial con el cual se puedan hacer diversos análisis comparativos y evaluar cambios que pudieran darse por la actividad recreativa del buceo que puedan ser aplicables a otros contextos de interacción humano - mamífero marino. Por lo tanto, el uso de la etología y la bioacústica nos permitirá conocer aspectos de la biología, uso del hábitat, distribución y abundancia en la estructura poblacional e historia de vida de los tursiones para obtener pautas para el adecuado manejo ecoturístico en esta AMP donde se tenga la posibilidad de realizar buceo con tursiones, así como comprender mejor la respuesta de los mamíferos marinos a posibles alteraciones de su hábitat y a su interacción con los humanos. La evaluación del impacto ambiental que tengan las diversas actividades recreativas y turísticas también puede

tener importantes consecuencias prácticas para los tomadores de decisiones y los sectores involucrados. Si la perturbación tiene efectos graves será necesario minimizar la presencia humana para evitar la disminución de la población o cambios en el hábitat. Es por ello por lo que estudiar las fonaciones y comportamientos observados nos ayudará a conocer mejor a las especies y a la forma en que interactuamos con ellas en el océano. Se obtendrá información sobre el uso de las fonaciones producidas por los tursiones durante los diferentes niveles de interacción con los buzos. Para ello se analizó material en video y grabaciones acústicas para identificar los sonidos emitidos por los tursiones y poder relacionarlos con los comportamientos observados. Esto es fundamental para seguir teniendo una relación a largo plazo que nos permita coexistir sin afectar o perturbar las poblaciones de tursiones en su hábitat natural.

1.1 Generalidades de la especie de estudio

Los tursiones (*Tursiops truncatus*), también conocidos como toninas o delfines mulares, pertenecen a la familia Delphinidae, la cual está integrada por 37 especies de delfines, los cuales se distribuyen en todo el mundo. A pesar de la marcada variabilidad que posee la especie y de las similitudes con otros cetáceos odontocetos, podemos definir a este delfín como un animal de tamaño medio de 2.5 m a 3.8 m, cuerpo robusto, boca prominente, aunque relativamente corta y fuerte con una abrupta demarcación entre ésta y el melón, aleta dorsal moderadamente falcada y aletas pectorales falciformes de longitud media y apuntadas (Fig. 1). El tamaño puede variar de acuerdo con la ubicación geográfica. Esta variación responde al efecto inversamente proporcional del tamaño del cuerpo con la temperatura del agua. Sin embargo, esta relación no aparece en aquellos organismos distribuidos en el océano Pacífico oriental (Meady Potter, 1995). El peso máximo que se ha registrado para esta especie es de 650 kg aproximadamente (Wells y Scott, 2009). La coloración general es gris, más clara incluso blanquecina o rosada en la zona ventral. No muestra ninguna mancha o línea distintiva característica de la especie, al contrario de lo que sucede en muchos otros cetáceos. Algunos ejemplares poseen una marca en forma de pincelada de tonalidad más suave en los flancos, la cual también está sujeta a variaciones geográficas (Wells y Scott, 2009). Los rangos de distribución de la especie parecen estar

determinados indirectamente por la temperatura del agua y la distribución de las presas (Mead y Potter, 1995). Esta especie se ha adaptado a una gran variedad de ambientes tanto marinos como estuarinos; son cosmopolitas, es decir, tienen una amplia distribución geográfica, encontrándose en mares tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Wells y Scott, 2009). Se desconoce con precisión el tamaño de la población de los tursiones y su distribución geográfica en el Archipiélago de Revillagigedo. Investigadores en la zona sugieren un número aproximado de 300 tursiones, aunque no se sabe si son los mismos individuos residentes del Archipiélago (entrevista con James Ketchum y conversación con Hiram Rosales Nanduca, 2021).



Figura 1. Tursiones interactuando con manta gigante (*Mobula birostris*) en Cabo Pearce, Isla Socorro

Existe un dimorfismo sexual ligero, con machos algo más grandes y robustos que las hembras, aunque esto no se encuentra presente en todas las poblaciones a lo largo y ancho de su área de distribución, sino que constituye otro de los caracteres con variación geográfica. En lo que a la dentición se refiere, los delfines mulares también muestran variaciones, poseyendo entre 18 y 27 dientes cónicos y aplanados en cada hemimandíbula (Grau *et al.*, 1980).

Las hembras de los tursiones alcanzan la madurez sexual a la edad de 5-13 años, mientras que los machos la alcanzan a los 9-14 años (Wells y Scott, 2009). Las crías nacen aproximadamente 12.5 meses después de quedar embarazada la hembra y se alimentan de la leche materna durante los dos primeros años de vida (Fig. 2). Las madres enseñan activamente a sus crías jóvenes cómo cazar y empiezan a complementar su alimentación con alimentos sólidos a partir

de los 4-6 meses. Las hembras cuidan de sus crías durante 3-6 años, separándose una de la otra cuando nace la siguiente cría (Wells y Scott, 2009).



Figura 2. Madre y cría de tursión (*Tursiops truncatus*) en el Boiler, San Benedicto

Los tursiones forman manadas que van desde 1 hasta 30 animales en áreas costeras y de cientos en aguas oceánicas (Jefferson *et al.*, 1993). Viven en grupos con fuertes lazos familiares y múltiples interacciones sociales, siendo las vocalizaciones un método importante de comunicación dentro y entre grupos. El repertorio vocal de los tursiones consta de una gama de sonidos pulsados y tonales (Herman, 2006). Los sonidos pulsados incluyen a los trenes de ecolocalización y a las ráfagas o pulsos explosivos, mientras que los sonidos tonales incluyen solamente a los silbidos (Jones y Sayigh, 2002).

La complejidad de estudiar los sonidos producidos y caracterizarlos, así como asociarlos a otros comportamientos es debido a que los tursiones pasan más tiempo en las profundidades del océano con cortos intervalos de superficie. Desde su nacimiento, los tursiones aprenden las señales acústicas y cada delfín tiene un silbido-firma que lo distingue del grupo y expresa información de identidad (Janik y Sayigh, 2013). La comunicación entre delfines es parte de su cultura de transmisión de enseñanzas. Por ello, cualquier tipo de señal que pueda indicar la presencia de delfines o el estado motivacional de los individuos es de gran importancia, ya que puede mejorar el reconocimiento de parientes, compañeros o aliados y facilitar las interacciones sociales, especialmente en una sociedad construida sobre el mantenimiento de lazos sociales a

largo plazo. Por ello, el repertorio vocal de los tursiones es diverso y complejo para fomentar la comunicación entre los miembros de sus grupos y con otras especies (Janik *et al.* 2013). Los tursiones emiten frecuencias sonoras que van desde los 20 Hz (ciclos por segundo) hasta los 180 kHz. Por ello, sólo podemos escuchar una parte de los sonidos que producen, hasta los 20kHz (Janik y Sayigh, 2013).

1.2 Nuestra relación con los cetáceos

Los cetáceos han sido motivo de muchos estudios científicos como animales marinos grandes y carismáticos. En algún tiempo fueron blanco de una intensa caza humana que dejó a muchas especies al borde de la extinción. Algunos países como Japón, Noruega e Islandia continúan con este tipo de actividad hoy en día. Los mamíferos marinos son especies indicadoras de la salud de los ecosistemas que habitan y desempeñan un papel ecológico fundamental en los océanos. Se ha propuesto que los tursiones son especies centinelas de los ecosistemas y particularmente del cambio climático (Hoyt, 2011). También los tursiones han sido estudiados y usados en cautiverio con fines de entretenimiento, fines militares, colecciones privadas y usos "terapéuticos", como el nado con tursiones a niños con diversas discapacidades, aún siendo una actividad sin justificación científica y cuestionada por la carente bioética y efectividad.

El estado de conservación de la especie *Tursiops truncatus* se encuentra dentro de la categoría de preocupación menor en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, por lo que no tiene medidas de protección internacional (IUCN, 2012). Para México, *T. truncatus* se encuentra en la categoría de protección especial, enlistada en la Norma Oficial Mexicana NOM059-SEMARNAT-2010, pero no se cuenta con un plan de manejo de los avistamientos y los nados en vida libre, aunque sí existe una Norma Oficial Mexicana NOM-135-SEMARNAT-2004 que rige la captura de individuos para la investigación y su transporte, exhibición, manejo y manutención en cautiverio. Algunos países han adoptado normas que se aplican a las embarcaciones comerciales de observación de ballenas y delfines en vida silvestre, aunque en la mayoría de los países no hay reglas y los operadores turísticos están dispuestos a hacer lo que quieran los clientes, desconociendo o ignorando muchas veces el daño a las

especies. Particularmente, en México existe la Norma Oficial Mexicana NOM-131-SEMARNAT-2010, la cual establece lineamientos y especificaciones para el desarrollo de actividades de observación de ballenas y cachalotes, relativas a su protección y la conservación de su hábitat, la cual no incluye a otras especies. Por ello, no existe un mecanismo de supervisión y/o una normativa sobre la observación o interacción con otros mamíferos marinos, como son los delfines y los lobos marinos, con actividades recreativas como el buceo o el snorkel, que representa un sector importante del turismo de naturaleza como alternativa de desarrollo para las comunidades costeras. Sin embargo, existen esfuerzos por dictar dicha normativa (Whitcraft, 2024). Esta norma 131 está diseñada para asegurar que las ballenas no sufran daños por colisiones con las embarcaciones y accidentes con las propelas y que los acercamientos de estos barcos no interactúen con actividades críticas, como el realizar maniobras que puedan causar cambios en la distribución u otras afectaciones causadas por el ruido. Es un delicado acto de equilibrio encontrar un nivel de protección que permita a los turistas disfrutar la observación de estos animales sin causarles daños o disturbios.

La creciente demanda de encuentros con delfines ha resultado ser una industria de turismo alrededor del mundo muy redituable, involucrando interacciones en el agua con delfines tanto cautivos como en libertad. Sin embargo, esta actividad de nado con tursiones en cautiverio se considera poco ética y un trato denigrante hacia las especies marinas, por lo que no ha sido avalada científicamente en el mundo por cuestiones bioéticas, tanto por el cautiverio que sufren los cetáceos, como por la alteración a su biología y estructura social; preocupaciones sobre estas interacciones que han sido planteadas en relación con el bienestar de participantes humanos y delfines (Capaldo, 1989; Iannuzzi y Rowan, 1991) y por lo que se han estudiado diversos indicadores de perturbación, aunque más frecuentemente con animales en cautiverio que en poblaciones silvestres (Frohoff y Packard, 2015). Se sabe que durante el nado con tursiones los individuos enfrentan una serie de cambios en su entorno físico y social, tales como el diseño de las albercas o cambios en su alimentación que pueden hacerlos susceptibles a problemas de salud y problemas reproductivos (Pedernera-Romano *et al.*, 2006). También se han documentado comportamientos agresivos dirigidos hacia los humanos en los nados con delfines en cautiverio

(Defran y Pryor, 1980) y el hecho de que los delfines cautivos que se han aclimatado a los humanos pueden dirigir el mismo comportamiento relacionado con la dominancia hacia sus congéneres ahora hacia los humanos (Pryor 1990; Östman 1991).

Los tursiones en cautiverio tienen una elección limitada en sus compañeros sociales al compararlos con los tursiones en libertad. Es posible que los delfines en cautiverio llenen su espacio social con los humanos, rol que normalmente ocupan sus congéneres; un fenómeno descrito como “tendencia a la asimilación” en el análisis de las interacciones entre especies en cautiverio (Hosey, 2013). Esto puede explicar la exhibición de comportamientos sexuales y agresivos dirigido a los nadadores en ambientes de cautiverio y con individuos solitarios en vida silvestre. Estos comportamientos podrían ser una respuesta debida a una errónea interpretación por los tursiones del comportamiento humano o porque los tursiones podrían sentirse "frustrados" cuando los humanos no responden como ellos lo esperan. Es por ello que estos resultados deben tomarse como antecedente de este tipo de interacciones para evitar un disturbio en los individuos y las poblaciones.

1.3 La bioacústica aplicada en cetáceos

La monitorización acústica pasiva (PAM, por sus siglas en inglés) se ha utilizado con éxito en estudios ecológicos (Mistlberger, 1994; Boissy *et al.*, 2007; Evans y Raga, 2012). Esta herramienta permite estudiar extensas áreas geográficas durante horas y hasta por varios meses o años (Jago, 1999), revelando patrones de ocupación de especies en el espacio y en el tiempo (Waite, 2001). Dichos estudios pueden mejorar los planes de conservación y manejo porque coadyuvan a determinar la presencia de tursiones en un AMP o en áreas importantes para las actividades pesqueras y permiten investigar detalladamente el uso del hábitat, monitorear las respuestas de los tursiones a las actividades antropogénicas y estimar otros parámetros de las poblaciones de tursiones (Morton, 1977; Boissy *et al.*, 2007; Trut *et al.*, 2009).

Las señales vocales se han convertido en un método idóneo para estudiar la evolución de la conducta animal, aplicado especialmente a pájaros cantores, lobos marinos, focas y cetáceos, donde las señales vocales no se codifican genéticamente, sino que se aprenden socialmente (Mundinger, 1980; Cavalli-Sforza y Feldman, 1981; Janik y Slater, 2003). Los sonidos aprendidos socialmente a menudo se definen como tradiciones vocales que pueden ser estables durante varias generaciones (Mundinger, 1980). Particularmente en cetáceos, la estructura social y la afiliación de los individuos tienen una profunda influencia en esas tradiciones. Por ejemplo, los cachalotes (*Physeter macrocephalus*) y las orcas (*Orcinus orca*) viven en grupos estables que tienen repertorios vocales llamados dialectos, distintivos de un grupo específico (Ford y Fisher, 1983; Yurk *et al.*, 2002; Rendell y Whitehead, 2004; Weilgart, 2007).

Los tursiones viven en sociedades de fisión-fusión donde los individuos del grupo se desplazan por el territorio en subgrupos más pequeños cuya composición puede cambiar a lo largo del día. Los tursiones producen silbidos característicos o silbidos firma que son específicos de cada individuo y que se utilizan para transmitir información de identidad (Janik *et al.*, 2006), facilitar el contacto grupal y dirigirse a sus congéneres. (King y Janik, 2013), ya que funcionan como señales de cohesión entre los individuos (Caldwell *et al.*, 1990; Sayigh *et al.*, 1990; Smolker *et al.*, 1993; Tyack y Sayigh, 1997; McCowan y Reiss, 2001; Janik y Slater, 2003). Alrededor del 50% de todos los silbidos registrados por los delfines mulares en libertad son silbidos firma (Cook *et al.*, 2004; Gridley *et al.*, 2012), los cuales, a pesar de su distinción individual, están vinculados con estructuras similares, lo que sugiere que el aprendizaje vocal es concurrente con las relaciones afiliativas (Watwood *et al.*, 2004). Cada tursión adquiere su silbido firma a través del aprendizaje vocal en el primer año de vida (Caldwell y Caldwell, 1979; Janik y Sayigh, 2013). La función de otros silbidos en el repertorio de los tursiones que no son característicos aún no se comprende. Los silbidos sin firma pueden incluir tipos de silbidos compartidos (King y Janik, 2015), copias de los silbidos característicos de sus congéneres (Tyack, 1986; Watwood *et al.*, 2004; King *et al.*, 2013) y silbidos no estereotipados producidos por las crías (Caldwell y Caldwell, 1979).

En los tursiones, las respuestas vocales caracterizadas por rasgos vocales similares pueden indicar estados de excitación tanto positivos como negativos (Trut *et al.*, 2009). Los tursiones silvestres tienden a tener diferentes indicadores de excitación (Esch *et al.*, 2009; Norris *et al.*, 1994; Scarpaci *et al.*, 2000). Para ello, la literatura reciente compara indicadores de valencia, los cuales se refieren al concepto de medir los niveles de excitación en animales bajo cuidado humano, sugiriendo que ésto puede ser específico de cada especie (Maigrot *et al.*, 2017). Anteriormente, la predictibilidad de eventos en instalaciones cautivas ha resultado en conclusiones contradictorias con respecto al bienestar animal (Gottlieb *et al.*, 2013), las cuales pueden ser tanto positivas (Ulyan *et al.*, 2006) como negativas (Waitt, 2001). La emoción es un ejemplo de un estado de excitación positiva (Mendl *et al.*, 2010; Neal y Caine, 2016), la cual se estudia con menos frecuencia que la excitación negativa. En Australia, Hawaii, Bahamas y Florida se ha documentado que ante la presencia de embarcaciones motorizadas que realizan observación de tursiones hubo un aumento significativo de silbidos firma con frecuencias superiores a los 150 kHz, lo cual nos ayuda a comprender e identificar disturbios en cetáceos a través de los sonidos (Samuels y Bender, 2003). Es por ello por lo que la acústica pasiva es una herramienta útil para medir el impacto de las actividades antropogénicas en los hábitats marinos.

Se ha expresado mucha preocupación por los efectos del ruido antropogénico en el medio marino (Popper y Hawkins, 2016), ya que el tráfico marítimo contribuye en gran medida a los crecientes niveles de ruido en los océanos (Richardson *et al.*, 1995). Se han hecho esfuerzos notables para documentar, medir y estimar el alcance de tales efectos en los mamíferos acuáticos (p. ej., Nowacek *et al.*, 2007), especialmente teniendo en cuenta que el sonido es importante para estos animales para encontrar a sus presas (Au, 1993), evitar a sus depredadores (Deecke *et al.*, 2005) y comunicarse con sus congéneres (Tyack, 1998). Este problema es de particular preocupación en las áreas costeras, donde el ruido de los barcos puede ser una fuente importante de perturbación para los cetáceos, especialmente en el caso de las poblaciones residentes. Varios estudios han mostrado respuestas de las manadas de tursiones al tráfico de embarcaciones a corto plazo; como aumentos en la cohesión del grupo, en la duración de la inmersión y en la ocurrencia del comportamiento de viaje (Nowacek *et al.*, 2001; Southall *et al.*, 2008) y también

cambios en los patrones de respiración y salida a la superficie (Hastie *et al.*, 2003) y reducción en la cantidad de comportamientos aéreos y cese de las actividades de alimentación, sociales y de descanso (Papale *et al.*, 2012).

No obstante, los efectos del ruido de los barcos sobre el comportamiento acústico de los cetáceos, especialmente en el caso de las poblaciones residentes, aún están poco documentados. Se han observado respuestas negativas a ruidos antropogénicos en al menos 27 especies de mamíferos marinos, así como en otros animales marinos (Papale *et al.* 2012).

De acuerdo con los criterios actuales de evaluación de riesgos, documentos recientes de la Unión Europea destacan la importancia del monitoreo del ruido ambiental y los estudios de las respuestas conductuales a fuentes específicas de ruido (Dekeling *et al.*, 2013). Algunas amenazas se consideran más inmediatamente perjudiciales, como las explosiones submarinas, las pistolas de aire utilizadas en la exploración de petróleo y los sonares militares de frecuencia media (dos Santos *et al.*, 2005, Hildebrand, 2009; Dolman y Simmonds, 2010, Goldbogen *et al.*, 2013). También se han estudiado los dispositivos acústicos de disuasión y envío de ruido por su potencial impacto sobre los mamíferos marinos (Aguilar de Soto *et al.*, 2006; Leeney *et al.*, 2007, Hildebrand, 2009).

2. ANTECEDENTES

El turismo con base en la naturaleza ha crecido últimamente, con un deseo de tener encuentros cercanos con animales silvestres, dónde se deben tomar consideraciones para salvaguardar el bienestar animal y satisfacer a los clientes (Carzon *et al.*, 2023). Tal es el caso del creciente interés de interactuar con delfines silvestre (Samuels *et al.*, 2000).

Los tursiones son uno de los grupos de mamíferos marinos más estudiados en el mundo, esto debido a su amplia distribución mundial, abundancia y por ser uno de los géneros con mayor presencia en cautiverio. En cautiverio, los individuos no pueden elegir libremente y están bajo condicionamiento operante, al contrario que como sucede en vida silvestre, dónde sí pueden elegir cuándo y con quién iniciar o terminar su interacción (Frohoff y Packard, 1995). Por ello, la mayor parte de los estudios sobre tursiones en la actualidad han sido con animales en vida silvestre (Hill y Lackups, 2010), aunque la interacción de humanos y tursiones ha sido estudiada en mayor medida en cautiverio que en vida libre. Los tursiones son también los cetáceos que tienen más interacciones cercanas con el humano en vida libre, ya sea cuando están en grupo o en solitario (Carzon *et al.*, 2023).

Los tursiones pueden interactuar con humanos de forma similar a como lo hacen con otras especies de su entorno, nadando en paralelo con ellos y prefiriendo interactuar con nadadores que mantienen su cabeza dentro del agua (Frohoff y Packard, 1995). La tolerancia y cotidianidad que los animales silvestres pueden tener hacia el humano pueden disminuir su respuesta instintiva de alerta contra la depredación (Geffroy *et al.*, 2015). En tursiones se ha visto que los individuos que viven sin contacto humano tienen rangos de hábitat más amplios que los que regularmente interactúan con humanos (Samuels y Bejder, 2003). Además, se ha observado que existen cambios en la conducta de los delfines silvestres ante la presencia de los humanos, ocurriendo con mayor frecuencia en delfines solitarios silvestres, ya que existen sitios donde los delfines solitarios son alimentados y/o tocados con regularidad y los delfines solitarios despliegan comportamientos de intromisión, agresividad, espontaneidad o conducta sexual (Carzon *et al.*,

2023). Hay registros de varios delfines solitarios que han sido lastimados y hasta asesinados por los humanos (Samuels *et al.*, 2000).

Los delfines silvestres pueden convertirse en delfines solitarios por un evento traumático como la pérdida de su madre o del grupo entero, o por alguna enfermedad. Los delfines solitarios son individuos que no pertenecen a un grupo de delfines de su misma especie, mostrando conductas de socialización con humanos interesados en nadar con ellos. Al ser solitarios usualmente reducen su rango de hogar principalmente habitando cerca de las costas, ya que el mar abierto puede ser más peligroso para los animales solitarios (Müller y Bossley, 2002). Estos delfines solitarios presentan conductas de interés hacia barcos o personas que buscan nadar con ellos, aunque en algún momento pueden volver a formar parte de un grupo de delfines, pero esto es variable (Wilke *et al.*, 2005). Estos delfines pueden ser machos o hembras. De los 91 delfines solitarios silvestres reportados a nivel mundial, 62 son tursiones, siendo Europa el lugar con más delfines solitarios silvestres (Nunny y Simmonds, 2019). Los delfines solitarios silvestres deben ser tratados bajo medidas de protección, supervisiones adecuadas y bajo un código de conducta correcto para garantizar su bienestar y el de las personas que interactúan con ellos. Por ejemplo, se deben marcar las zonas permitidas de interacción, el número máximo de personas y barcos que pueden interactuar simultáneamente, evitar tocar el espiráculo, ojos y zona genital y no ofrecer alimentos (Wilke *et al.*, 2005; Nunny y Simmonds, 2019).

El impacto de los barcos en el comportamiento acústico de los cetáceos ha recibido menos atención que los cambios observables en el comportamiento de los animales en la superficie. Los cambios en las características de las vocalizaciones o su producción pueden estar relacionados con la presencia física de los barcos, el tipo de embarcación o el comportamiento de la embarcación durante los encuentros, así como con los niveles elevados de ruido antropogénico asociado a los motores de las embarcaciones (Jensen *et al.*, 2009; Parks *et al.*, 2011; Pirota *et al.*, 2012). La interacción entre todos estos factores puede ser difícil de desentrañar (Ellison *et al.*, 2012). Como los cetáceos están altamente orientados acústicamente y dependen de señales

acústicas durante su vida diaria, son particularmente sensibles a los niveles elevados de ruido (Southall *et al.*, 2008).

Se sabe que existe un incremento en la frecuencia de los silbidos y en la tasa de repetición durante los eventos de captura y liberación que durante condiciones no perturbadas (Esch *et al.*, 2009). De este modo, los silbidos parecen tener potencial como indicadores no invasivos de estrés en los delfines mulares. Por ejemplo, se pueden relacionar los índices fisiológicos con las frecuencias de los silbidos bajo diferentes niveles de estrés. También se podrían utilizar mediciones de estrés confiables y no invasivas para monitorear a los delfines en una variedad de circunstancias, como durante la exposición al ruido antropogénico y ante la presencia de actividades humanas en poblaciones silvestres (Esch *et al.*, 2009).

En el caso del delfín mular se ha intentado relacionar la concentración en saliva de hormonas del estrés como el cortisol con el comportamiento, pero no ha surgido ninguna relación consistente (Curry, 1999; Frohoff, 2004; Ortiz y Worthy, 2000; Dierauf, 2001; St. Aubin *et al.*, 1996; Thomson y Geraci, 1986; Waples y Gales, 2002). Las observaciones de comportamiento también se han utilizado para evaluar el estrés en delfines cautivos y silvestres, tales como la pérdida de apetito, la inestabilidad social, los cambios en la frecuencia respiratoria y de buceo, la aparición de diferentes patrones de nado en superficie, la presencia de posturas y cambios en las vocalizaciones como respuestas a corto plazo al estrés (Frohoff 2004; Waples y Gales 2002).

Si los humanos intervenimos en las relaciones con la vida silvestre puede haber consecuencias en las poblaciones silvestres, ya que al ser los tursiones altamente sociables, estos pueden ser expulsados del grupo por poner en riesgo a otros individuos. Un suceso aun difícil de comprender es que individuos enfermos son aislados del grupo. El contacto con mamíferos marinos puede ser considerado una práctica no aceptable, ya que en algunos países está prohibido nadar o interactuar con los cetáceos, además de que el contacto físico representa riesgos a la salud, por ejemplo, la zoonosis (Reif *et al.*, 2013).

2.1 Comunicación acústica en tursiones

El sonido viaja en el agua aproximadamente cinco veces más rápido (entre 1450 y 1550 m/s, Kuperman y Roux, 2007) que, en el aire, donde viaja a una velocidad de 340 m/s (Berta *et al.*, 2005). Ya que el rango de visión en cetáceos es limitado, la transmisión de sonido en el agua favorece la comunicación y reconocimiento del hábitat. Esta modalidad sensorial ha sido seleccionada por la evolución para desarrollarse como ecolocalización en los cetáceos (Tyack y Miller, 2002).

El tursión es uno de los pocos animales que a través del aprendizaje vocal puede inventar señales acústicas novedosas y copiar los silbidos de sus congéneres (Janik, 2009). Además, los receptores pueden extraer información de identidad de la parte inventada de los silbidos firma (Janik y Sayigh, 2013). El repertorio de silbidos puede incluir tipos de silbidos compartidos (King y Janik, 2013), copias de silbidos firma de sus congéneres y silbidos no estereotipados producidos por crías (Caldwell y Caldwell, 1979). En cautiverio, los tursiones usan tales silbidos firma mientras están separados del resto de su grupo. Sin embargo, se sabe poco sobre cómo los utilizan en vida silvestre. Si los silbidos firma son el vehículo principal para transmitir información de identidad, los tursiones deberían intercambiar estos silbidos en contextos en los que se unen grupos o individuos (Boissy *et al.*, 2007). Por ejemplo, la producción de silbidos firma suele ser mayor durante contextos de socialización (Jones y Sayigh, 2002; Quick y Janik, 2008) y cuando los animales experimentan estrés (Esch *et al.*, 2009).

2.2 Recepción y análisis de la información acústica

Experimentos electrofisiológicos (Bullock *et al.*, 1971; McCormick *et al.* 1970) demostraron que la recepción de sonido en cetáceos está dada por medio del meato auditivo y de la mandíbula inferior, siendo sensibles a frecuencias menores a 20kHz y a frecuencias arriba de 20kHz, respectivamente. Brill y colaboradores (1988) realizaron experimentos de audición con *T. truncatus* en cautiverio, confirmando lo dicho por Bullock *et al.* (1971) y McCormick *et al.* (1970).

También encontraron que el proceso de ecolocalización disminuyó significativamente cuando se atenuó el sonido que llegaba hasta la mandíbula inferior, por lo que concluyó que aun cuando el meato auditivo es capaz de percibir sonidos, la mandíbula inferior es la principal vía por la que se recibe la información acústica del medio al organismo (Au y Lammers, 2007).

El proceso de conducción del sonido comienza cuando la señal llega a la mandíbula. Esta estructura posee dos cúmulos grasos insertados en su porción más posterior denominados charolas del hueso (por su traducción del inglés *pan bones*). Estas estructuras muchas veces llegan a ser translúcidas, disponiendo un cúmulo por cada extremo de la mandíbula (Berta *et al.* 2005). Estos cúmulos adiposos se convierten en canales que conducen la señal acústica, ya que se conectan directamente con las paredes de las bulas auditivas del oído medio (Fig. 3). Estas bulas se comunican con el complejo timpánico. El tamaño de las bulas está directamente relacionado con el tamaño del organismo. El complejo timpánico y las bulas se encuentran separados del cráneo y otros órganos por una emulsión de moco, aceite y aire, sostenido por una red poco densa de tejido conectivo (Berta *et al.*, 2005; Au y Hastings, 2009). La separación de las bulas del cráneo permite a los organismos conocer la dirección del origen de los sonidos, ya que si las bulas se encontraran unidas al cráneo, el sonido viajaría a través de ambos, lo que no permitiría discernir la dirección de la que viene el sonido, ya que se acortaría el tiempo de retraso de la llegada de la señal acústica entre ambas bulas debida a la velocidad del sonido en el medio acuático (Au, 1993; Au y Lammers, 2007; Au y Hastings, 2009; Berta *et al.*, 2005; Popov *et al.*, 2007). Del oído medio la señal viaja hasta la cóclea por medio de la ventana oval. La cóclea es el oído interno, consistente de un órgano en forma de tubo espiral dividido por medio de dos membranas (membrana basilar y lámina espiral) en dos cámaras longitudinales y está llena de fluidos. Al entrar la onda de sonido por medio de la ventana oval se causa una vibración en la cóclea, lo que hace que se deformen las células vellosas que se localizan en la membrana basilar (Au, 1993). Algo importante de resaltar es la variación en el ancho de la membrana basilar en la cóclea, ya que se cree que esta característica es importante para la diferenciación de las frecuencias, aunado a la rigidez de la estructura, lo que le confiere diferentes características de vibración. Se cree que estas condiciones ayudan a la representación de la información de altas

frecuencias y conduce con más detalle la señal a los centros de audición del sistema nervioso (Au, 1993; Popov *et al.*, 2007). Popov y colaboradores (2007) concluyeron que las altas frecuencias de sonido provocan potenciales de evocación de amplitud significativamente mayor que los sonidos de frecuencias bajas, lo que comprueba que la cóclea tiene diferentes contribuciones para la formación del potencial de evocación. La parte basal representa a las frecuencias altas y es más efectiva que la parte apical, que representa las frecuencias bajas. Estas señales se conducen hacia el cerebro, donde es analizada la información.

Los tursiones pueden producir silbidos y trenes de ecolocalización en los conductos nasales, conocidos como narinas óseas (Fig. 3). Los silbidos son usados en comunicación y los trenes de ecolocalización son utilizados en ambos contextos comunicación y ecolocalización. La ecolocalización es empleada para navegar y encontrar presas. El sonido es producido a través de la vibración en la bursa dorsal que contiene los labios fónicos. Estos labios producen el sonido que se propaga a las grasas acústicas conocidas como melón (Fig. 3).

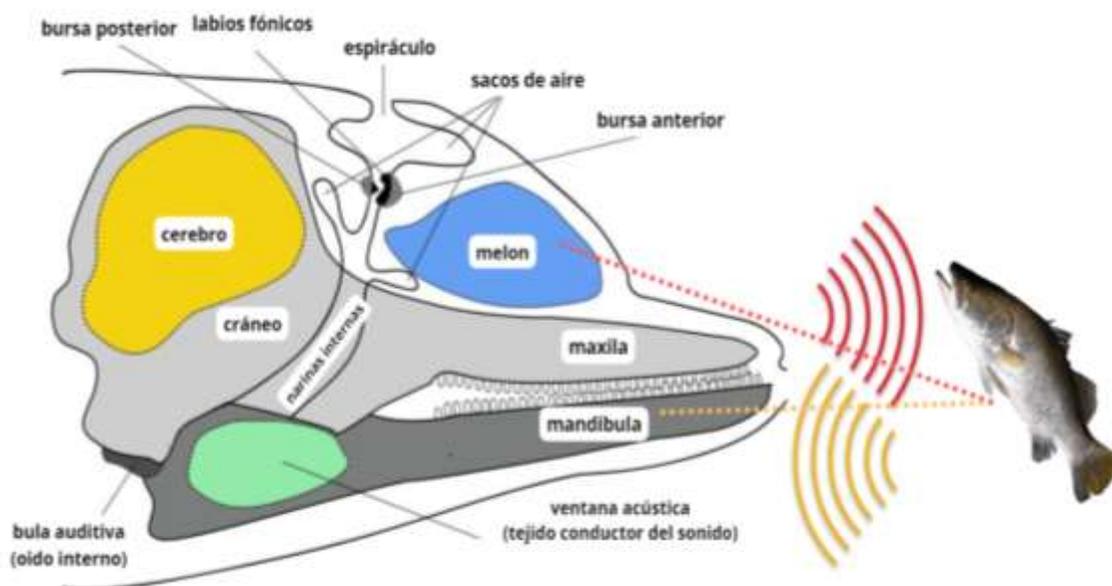


Figura 3. Ecolocalización: mecanismos anatómicos de los odontocetos para el uso del sonar (fuente: <http://us.whales.org/faqs/facts-about-whales-anddolphins>)

2.3 Resumen de la transmisión del sonido durante la ecolocalización

Los chasquidos o clicks de ecolocalización de alta frecuencia producidos por los odontocetos se emiten en los labios fónicos, pasan a través del melón al medio acuático, rebotan en los objetos dentro de la columna de agua y regresan al emisor, quien interpreta los ecos recibidos para ubicar a la presa o inspeccionar su ambiente. Las ondas sonoras del eco son recibidas a través de la mandíbula inferior del odontoceto que contiene un líquido adiposo y conectan con las paredes del oído interno, a través de la bula auditiva.

2.4 Clasificación de las fonaciones

Los sonidos que producen los odontocetos o fonaciones se clasifican principalmente en dos categorías de acuerdo con la funcionalidad observada y para propósitos de monitoreo de acústica pasiva (PAM por sus siglas en inglés):

1. “trenes de ecolocalización”, (sonidos pulsados)
2. “señales de comunicación” (sonidos tonales y sonidos pulsados en ráfaga)

Los trenes de ecolocalización son de banda ancha, los pulsos de ráfaga también son de banda ancha y los silbidos son de frecuencia modulada y de banda estrecha (Jones *et al.*, 2020). Las señales de comunicación más comunes son los silbidos y las señales pulsadas, las cuales poseen un amplio grado de variabilidad espectral y con potente direccionalidad (Janik, 2009). Esta diferenciación no significa que las señales de ecolocalización no sean útiles para la comunicación, ya que los cetáceos que no producen silbidos se comunican por medio de señales pulsadas (Zimmer, 2011).

Los silbidos son sonidos de frecuencia modulada, casi omnidireccionales, con una duración entre 0.1 y 3.6 segundos, y con una frecuencia fundamental entre 1 y 35 kHz. Los silbidos contienen energía hasta los 80 kHz en sus armónicos y tienen una intensidad en la fuente de 118 a 169 dB referidos a un micropascal (millonésimas de pascales) a un metro de la fuente (Bazúa Durán,

2010). Los silbidos se pueden categorizar y fácilmente se pueden medir distintos parámetros de ellos, por lo que han sido la fonación de los delfines más estudiada (Wang *et al.*, 1995; Janik y Sayigh, 2013; Jones *et al.*, 2020). Según Harley y DeLong (2008), los silbidos de los delfines son fonaciones fácilmente reconocibles porque son de banda estrecha, bastante intensos y tienen una frecuencia relativamente baja que puede llegar a otros individuos hasta a 25 km de distancia si las condiciones del mar son buenas y el principio de la señal oscila entre los 3.5 y 10 kHz (Janik, 2000a).

Mientras que la mayoría de las especies animales utilizan características de voz determinadas morfológicamente para reconocer al remitente de la llamada, los tursiones utilizan contornos de frecuencia distintivos aprendidos individualmente (Janik y Sayigh, 2013). Estas señales acústicas personalizadas se denominan silbidos firma (SW, del inglés “signature whistle”) y expresan información de identidad (Caldwell *et al.*, 1990; Janik y Sayigh, 2013). Los silbidos firma se consideran estructuralmente estables a lo largo del tiempo (Sayigh *et al.*, 1990), aunque presentan cambios sutiles en sus características que se han encontrado tanto en delfines silvestres como en cautiverio (Janik y Slater, 1998; Caldwell *et al.*, 1990). Durante la captura temporal de delfines silvestres (Esch *et al.*, 2009) se encontró que los animales aumentaban la producción de silbidos firma y que aumentaban el número de bucles al comienzo de captura; producción que disminuyó lentamente durante el transcurso del breve evento. Además, las crías produjeron silbidos firma con mayores frecuencias máximas cuando son capturados brevemente con sus madres. Estas características fueron indicativas de una respuesta al estrés en los tursiones capturados temporalmente (Probert, 2021). Janik (2000b) ha enfatizado que los silbidos firma son una señal de comunicación característica e individual usada en contextos de socialización y que son llamadas de contacto con sus congéneres.

Cualquier tipo de señal de identidad que pueda indicar la presencia de delfines o el estado motivacional de los individuos es valiosa, ya que puede mejorar el reconocimiento de parientes, parejas, aliados y facilitar las interacciones sociales (Rachinas-López *et al.*, 2017); especialmente en una sociedad de fisión-fusión aparentemente construida sobre el mantenimiento de vínculos

sociales a largo plazo (Wells, 2014). La hipótesis original de que los silbidos firma se utilizan para el reconocimiento individual ha sido confirmada tanto por trabajos experimentales como por trabajos de observación. Los silbidos firman normalmente se producen cuando los animales están fuera de contacto visual (Janik y Slater, 1998), lo que sugiere tal función. Como es de esperarse en una convocatoria de cohesión, aumentan las tasas de producción individual de silbidos firma cuando la motivación para mantener el contacto o regresar al grupo es fuerte, durante contextos de separación o durante eventos traumáticos de aislamiento. Aunque el contorno del silbido firma permanece estable a lo largo del tiempo, los cambios en la tasa de producción del silbido, así como en las características de frecuencia y duración, pueden reflejar excitación subyacente de los delfines individuales (Esch *et al.*, 2009). Como el comportamiento vocal indica estados emocionales subyacentes, la producción de silbidos firma se puede utilizar como un método no invasivo, siendo una excelente herramienta para monitorear el bienestar de los animales y mejorar las condiciones en cautiverio de los mamíferos marinos (Janik y Sayigh, 2013).

Los trenes de ecolocalización, comúnmente conocidos como “clicks”, son secuencias de pulsos acústicos o chasquidos de corta duración (alrededor de 50 microsegundos, entre 9 y 70 microsegundos), que se repiten a lo largo del tiempo (desde 1 o 2 hasta varios cientos por segundo), que van desde los 20 kHz hasta una frecuencia máxima de hasta 250 kHz, con frecuencias pico alrededor de los 106 y 250 kHz uni o bimodales en su composición espectral y que son de gran intensidad, desde los 151 hasta los 228 dB referidos a un micro pascal a un metro de la fuente (Bazúa Durán, 2010; Dudzinski *et al.*, 2009). Los chasquidos de ecolocalización son las fonaciones que más se han estudiado porque los tursiones las utilizan como biosonar, para inspeccionar su ambiente y localizar alimentos. El biosonar o ecolocalización es un tipo especial de comunicación acústica en la que el animal envía señales sonoras, las cuales las recibe como ecos, pudiendo así interpretar su entorno. Este mecanismo es de vital importancia en los medios acuáticos en los que puede existir una gran turbidez o falta de luz (Berta *et al.*, 2005).

Los pulsos en ráfaga o pulsos explosivos (conocidos como “burst”) también son sonidos pulsados de corta duración que se repiten a lo largo del tiempo, pero se diferencian de los de

ecolocalización en que son menos intensos (214 dB referidos a un microPascal a un metro de la fuente) y tienen menor frecuencia pico (entre 20 y 58 kilohercios), menor ancho de banda (de 13 a 25 kHz) y un menor intervalo entre chasquidos, por lo que el tiempo multiplicado por el ancho de banda (producto tiempo-ancho de banda) es distinto para cada tipo de chasquido (Bazúa Durán, 2010). Todo tren de pulsos en ráfaga tiene una duración superior a los 0.0009 s (Killebrew *et al.*, 2001). Au y Banks (1998) describen a los pulsos de ráfaga como de banda ancha y de corta duración que alcanzan frecuencias superiores a los 150 kHz. Los chasquidos explosivos no han sido objeto de tantos estudios como los silbidos o los trenes de ecolocalización. Se producen durante comportamientos sociales, como las interacciones agonísticas como peleas y acoso sexual, entre otros, es decir, son utilizados en contextos de agresión (Blomqvist y Amundin, 2004). Norris (1966) definió un pulso en ráfaga como un tren de ecolocalización donde la tasa de repetición aumentó y luego disminuyó cíclicamente. El pulso explosivo tiene un patrón irregular y contiene cambios abruptos en su frecuencia. En contextos agresivos, los pulsos en ráfaga mostraron componentes de frecuencia principales entre 60 y 150 kHz con un segundo pico de frecuencia en el rango de frecuencia audible humana (Blomqvist y Amundin, 2004, Rachinas-López *et al.*, 2017).

2.5 Estudios de la estructura social de los tursiones en vida libre

2.5.1 Encuentros sociales

Los lazos sociales pueden caracterizarse de tres maneras: evitando relaciones, conocidos casuales y aliados (Mann, 2017). Las relaciones de evasión serían individuos que rara vez se ven juntos a pesar de que se superponen sus rangos. Los conocidos casuales son aquellos que interactúan periódicamente, pero no mucho más de lo que uno esperaría dado su rango de hogar compartido. Los asociados preferidos o aliados son los lazos más cercanos y corresponden a individuos que son vistos juntos muchas más veces que lo esperado al azar (Mann, 2017).

2.5.2 Proximidad

La proximidad espacial es un buen indicador de la fuerza de una relación, incluso dentro de grupos estables. Uno puede examinar qué individuos están nadando juntos, cuáles están cercanos y cuáles están en los extremos del grupo. Para ello se utiliza el concepto del "vecino más cercano" para determinar qué individuo es más cercano a otro asociado o "amigo" (Würsig y Pearson, 2015). Se utilizan fotografías de las aletas de los delfines o de las colas y cuerpos de las ballenas para examinar la proximidad y quién está en el mismo marco que una medida de asociación (Barnhill *et al.*, 2022).

Los individuos que nadan juntos a menudo salen a inspirar al mismo tiempo, denominado respiración sincrónica (Mann, 2017). Las tasas de respiración sincrónica son altas para individuos estrechamente vinculados, como una madre y una cría, o miembros de una alianza masculina. La respiración sincrónica no está exenta de riesgos, ya que se pensaba que algunas enfermedades mortales como el morbillivirus se transmitían durante la inspiración. El morbillivirus causa una enfermedad de fácil transmisión que mata a muchos delfines cada año (Mann, 2017).

2.5.3 Comportamientos de contacto

Los comportamientos de contacto son demostraciones de afiliación o agresión, dependiendo de la naturaleza del contacto (Whitehead y Rendell, 2015). Muchas especies de delfines y ballenas se acarician unos a otros usando sus aletas pectorales o caudales o al frotarse cuerpo a cuerpo, lo cual se considera como un contacto afectivo. Los tocamientos y frotamientos son frecuentes tanto en individuos silvestres como en cautiverio y ocurren durante el juego o en un contexto sexual, maternal o social usando la nariz, el rostro, las aletas, el abdomen o incluso el cuerpo entero. A menudo también son observados durante comportamientos agresivos (Mann, 2017). Por ejemplo, los delfines mulares a menudo efectúan nados de contacto en los cuales dos individuos nadan de manera sincrónica con frecuencia durante largos periodos de tiempo (Connor *et al.*, 2006), como las hembras para evitar el acoso de los machos y reducir el estrés.

Por ello, las hembras como unidad de descendencia pueden proporcionar pistas importantes sobre la afiliación porque tienden a participar en eventos sincrónicos y en comportamientos de contacto a tasas altas (Sayigh *et al.*, 1990).

2.5.4 Agresión

Se ha observado en los tursiones usar su mandíbula contra otros tursiones, golpeándolos con su boca y con la aleta caudal. Los machos juveniles y adultos se caracterizan por tener más cicatrices de rastrillo de dientes (Östman, 1991). Estas marcas pueden ser debidas a la agresión entre machos por competencia, pero también resultados de eventos de socialización, juego (Mann, 2017). Otro tipo de agresiones incluyen comportamientos visuales o acciones como gestos de amenaza con la apertura de la mandíbula, saltos en el aire, movimientos de las aletas pectorales, golpes de la cola o posturas en forma de “S” (Blomqvist y Amundin, 2004). Los cambios en la postura pueden ser empleados para comunicarse con individuos de su misma especie, depredadores o presas o para coordinarse con otros individuos o grupos relacionados (Dudzinski *et al.*, 2009).

2.5.5 Alianzas

Las alianzas de machos de tursiones han sido estudiadas durante tres décadas por Richard Connor en Shark Bay, Australia (Mann, 2017). Las alianzas son identificables por asociación y consisten en dos o más machos que pasan más del 50% de su tiempo juntos. Esto se llama una alianza de primer orden. Algunos machos están en parejas, tríos o alianzas más grandes. Los miembros de una alianza participan en una serie de comportamientos que demuestran la importancia y los beneficios de su vínculo. Los machos nadan muy juntos y en sincronía, acariciándose a menudo, frotándose y montándose entre sí durante comportamientos de descanso, viaje y socialización. La alianza coopera en asegurar una sola hembra durante la época de la reproducción. A veces los machos se precipitan sobre una hembra y a veces la atacan, especialmente si ella intenta escapar. Ocasionalmente, los machos simplemente se juntan con

una hembra y nadan detrás de ella sin agresión abierta. Es cierto que esto podría ser lo suficientemente intimidante para una hembra solitaria. La alianza y la hembra forman lo que se llama una consorte, que puede durar horas o, rara vez, meses, donde los machos nadan al lado o detrás de la hembra en formación. Los machos incluso sincrónicamente montan a la hembra, intercambiándose efectivamente entre ellos, pero el montaje sincrónico muestra la tolerancia de los machos que se tienen el uno para el otro en el contexto de apareamiento. Una alianza a veces es desafiada por otra alianza que está tratando de obtener acceso a la misma hembra. Esto puede resultar en una batalla, donde los miembros de una alianza intentan vencer a los miembros de la otra y acaparar a la hembra. Dado que los números importan, una alianza también podría reclutar su alianza de "compañeros", en lo que se llama una alianza de segundo orden, que es una alianza para ayudar en una batalla. Presumiblemente, se podría ayudar a la alianza asistente para asegurar a la hembra en un día diferente. Los individuos de una alianza suelen separarse para buscar alimento, pero regresan juntos para descansar, viajar o socializar (Mann, 2017).

Las alianzas también se dan entre la madre y su cría (Mann, 2017), dada la aproximación continua en el nado que es una relación estrecha, pues la madre enseña a la cría como comunicarse, cazar, respirar e identificar depredadores, así como crear alianzas entre el grupo (Fig. 2). Una alianza de larga duración es la época de lactancia que puede durar de tres a ocho años, como se ha documentado en Shark Bay, Australia (Mann, 2017). Dado que las hembras preñan en el último año y están amamantando una cría, una hembra exitosa suele ser fértil cada cuatro años, lo que significa que hay muchos machos fértiles, pero hay pocas hembras fértiles. Entonces, una alianza se puede dar por comportamiento, por grado de asociación o por alguna combinación de estas dos. El comprender esta relación dará ideas sobre el por qué se forman las alianzas (Mann, 2017).

A manera de síntesis podemos decir que el progreso en nuestra comprensión de la ecología de los tursiones se ha visto limitada por la dificultad de medir simultáneamente el comportamiento de buceo en su hábitat natural con el dinamismo de los factores naturales del océano (Costa, 1993). Los desarrollos recientes en los campos de la acústica, los registradores de profundidad de tiempo y la navegación por satélite nos han permitido combinar estas tecnologías para

mejorar nuestra comprensión de la ecología de los mamíferos marinos (Donald *et al.*, 1998). La mayor parte de la investigación actual con delfines se ha centrado en determinar las asociaciones entre las vocalizaciones y los comportamientos grupales, como socializar, alimentarse o descansar (Herzing, 1996). Pocos estudios han examinado la relación entre interacciones específicas no vocales y la comunicación acústica, las cuales pueden estar potencialmente vinculadas (Jones *et al.*, 2020). Tampoco se encontraron estudios sobre las interacciones de los tursiones con buzos en su hábitat natural asociando vocalizaciones y otros comportamientos observados.

2.6 Zona de estudio. Parque Nacional Revillagigedo

El Archipiélago de Revillagigedo se localiza en el Océano Pacífico a aproximadamente 400 km al sur de la Península de Baja California. Territorialmente pertenece al estado de Colima. El Archipiélago está conformado por las islas Socorro, Clarión y San Benedicto y por el islote Roca Partida (Fig. 4): La zona marina circundante a las islas posee una rica diversidad de flora y fauna que genera un conjunto único de procesos biológicos y ecológicos. Sus características ecosistémicas, aunadas a sus particularidades geológicas, son objeto de interés científico en diversos campos de estudio sobre biodiversidad, biogeografía y evolución. Es la reserva marina más grandes de América del Norte, con una extensión de 148,000 km². El Archipiélago de Revillagigedo es el ecosistema marino mejor conservado de México, el cual fue designado como Reserva de la Biosfera en 1994 y como patrimonio mundial en el 2016. Posteriormente se declaró Parque Nacional por decreto presidencial en 2017 (CONANP, 2019). Las aguas del PNR son el hábitat de 366 especies de peces, incluyendo 26 endemismos (Del Moral-Flores *et al.*, 2016) y es un importante corredor biológico de especies migratorias de megafauna marina, como mantas gigantes, tiburones, tortugas marinas y ballenas jorobadas (Ketchum *et al.*, 2020).

En nuestro país se realizan actividades recreativas de buceo. Los principales sitios de buceo se agrupan en tres regiones, donde el Caribe Mexicano y el noroeste del Pacífico (Fig. 4) son las regiones que concentraron una visitación de más de 1.5 millones de buzos (Tabla 1). La región

del noroeste del Pacífico cuenta con el mayor número de sitios de buceo en México (48%) debido a la mega diversidad y megafauna que albergan sus aguas. Sin embargo, la oferta de operadores de buceo es mayor en el Caribe Mexicano, con un 55%. Para la zona del Pacífico sur y el Golfo de México el buceo es una actividad de menor escala en su oferta y su visitación es de menos de 300,000 buzos anuales en ambas regiones.

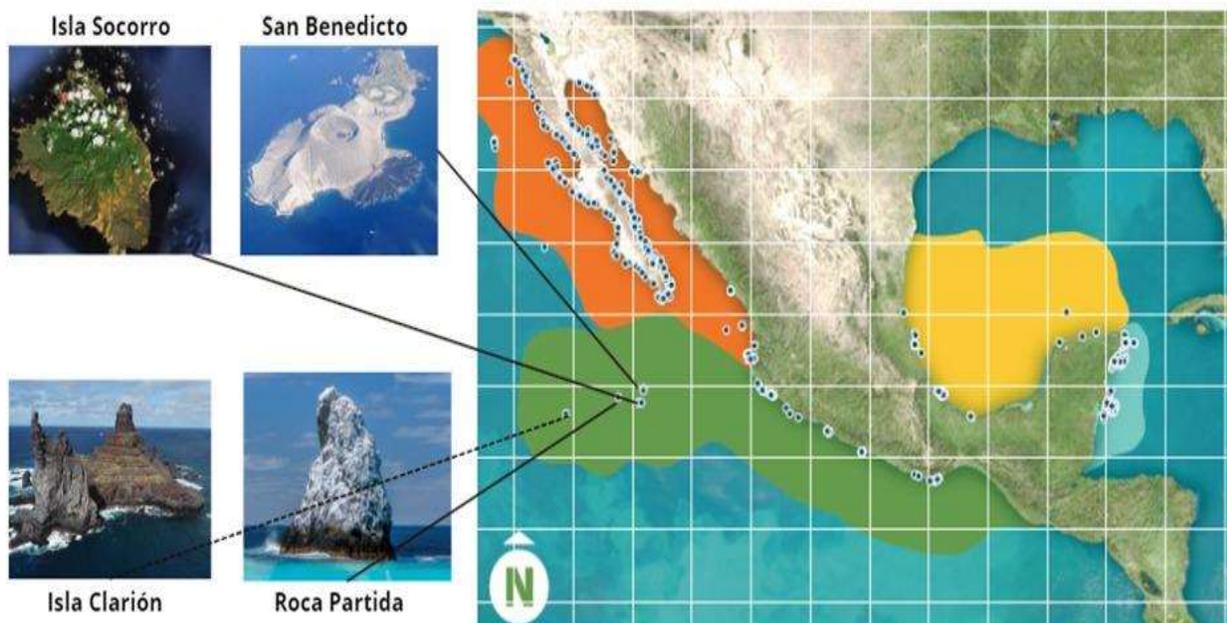


Figura 4. Mapa de ubicación de la zona de estudio Parque Nacional Revillagigedo, que también señala las tres regiones de buceo y la distribución de los sitios de buceo en México (modificado de www.datamares.org y www.pewtrusts.org)

Tabla 1. Distribución porcentual de sitios de buceo y número de buzos atendidos por año en México (tomado de Arcos-Aguilar *et al.*, 2021)

	PACIFICO NOROESTE	PACIFICO SUR	GOLFO DE MEXICO	PENINSULA DE YUCATAN
Distribución de sitios de buceo	48%	12%	12%	28%
Distribución de operadores de buceo	33%	8%	4%	55%
Numero de buzos atendidos por año	1,545,791	112,201	136,346	1,571,816

2.7 El valor de las actividades turísticas en el PNR

El valor total de las actividades turísticas en el Parque Nacional Revillagigedo es de USD \$14 millones por año (Ruiz-Sakamoto, 2015), con un ingreso directo anual de USD \$7 millones y los otros USD \$7 millones de gastos indirectos, como gastos de viaje y buceo. Además, existen ingresos adicionales por año que se originan por el pago a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, CONANP por la entrada al parque de cada uno de los aproximadamente los 1,900 turistas que visitaron el área en 2015, (en 2019 la tarifa por día por persona era de \$35.75 pesos, actualmente en 2024 aumentó a \$1,811 pesos diarios por visitante), así como por las donaciones que los turistas dan para mantener el ecosistema del Archipiélago de Revillagigedo. La manta gigante, *M. birostris*, también juega un papel importante en la atracción de turistas a las islas de Revillagigedo, ya que fue nombrada por el 54% de los turistas encuestados como la primera razón para su visita (Ruiz-Sakamoto, 2015). El buceo con mantas genera un beneficio anual total de \$7.5 millones por año (Ruiz-Sakamoto, 2015). Después de las mantas, los tiburones fueron el segundo animal más popular para los turistas (23%); los mamíferos marinos fueron los terceros (20%) y el 3% restante seleccionó otros. Estos números están en concordancia con el estudio de O'Malley *et al.* (2013). En la Tabla 2 se muestra la visitación anual de buzos al Parque Nacional Revillagigedo del 2012 al 2023. A partir del año 2017 que se declara Parque Nacional en vez de Reserva de la Biosfera se dio un incremento significativo de visitantes que alcanzó un número máximo de 3,722 en 2019, representando un 148% más que en 2012. Para el 2020 hay una pequeña disminución de visitantes debido a la contingencia mundial sanitaria por COVID, pero para el 2022 y 2023 la cifra se mantuvo por arriba de los 3000 visitantes anuales. Al tomar popularidad internacional el PNR como un sitio de buceo, es probable que aumente su visitación para los próximos años.

El Plan de Manejo del PNR en su reglamento en la regla 37 menciona que los límites de inmersiones por sitio de buceo deberán establecerse anualmente considerando el nivel de impacto adverso que se determine de la actividad. Actualmente se consideran un máximo de 3 grupos de ocho buzos máximo por guía por sitio de buceo alternando cada 15 minutos las caídas en el sitio, dependiendo del sitio de buceo por su capacidad de carga se permiten hasta 3 barcos

por sitio, si hay 4 barcos solo se pueden hacer 2 dos inmersiones por día en lugar de 3. En el Plan de Manejo se mencionan solo ocho sitios de buceo en tres islas (Tabla 3). Sin embargo, en la práctica se consideran más de 15 sitios para bucear.

Tabla 2. Visitación del 2012 al 2023 al Archipiélago de Revillagigedo. Esta información se obtuvo a través de la Plataforma Nacional de Transparencia en enero de 2024, folio número 330008324000008. 2017 es el año de declaración del PNR.

Año	Visitantes Totales	Incremento de Visitación Anual en relación con el año anterior	Incremento de Visitación Anual en relación con el año 2012
2012	1499	0%	0%
2013	1445	-4%	-4%
2014	1318	-9%	-12%
2015	1803	37%	20%
2016	1749	-3%	17%
2017*	1882	8%	26%
2018	3028	61%	102%
2019	3722	23%	148%
2020	2135	-43%	42%
2021	2995	40%	100%
2022	3514	17%	134%
2023	3411	-3%	128%

Tabla 3. Sitios de buceo y sus coordenadas geográficas en el PNR

Isla	Nombre del sitio	Coordenadas geográficas	Inmersiones/sitio
Roca Partida	Roca Partida	18 ° 59.68 N 112 ° 4.99 'O	250
Isla San Benedicto	El Boiler	19 °19,77'N 110 °48.80'O	180
Isla San Benedicto	El Cañón	19 °17.70'N 110 °48.43'O	400
Isla San Benedicto	Punta Norte	19 °20.04'N 110 °47.80'O	400
Isla San Benedicto	Las Cuevas	19 °19.35'N 110 °48.52'O	180
Isla Socorro	Cabo Pearce	18 °46.64'N 110 °54.35'O	400
Isla Socorro	Punta Tosca	18 °46.93'N 110 °03.48'O	400
Isla Socorro	Roca O`Neal	18 ° 49.82 'N 111 ° 3.46 'O	400

* Los sitios de buceo enlistados en esta tabla son enunciativos mas no limitativos.

Desde el 30 de octubre de 2020 el gobierno mexicano modificó las tarifas de usuario de los parques nacionales, específicamente para los Parques Nacionales Guadalupe y Revillagigedo (Socorro) con el propósito de "reforzar la protección, gestión, restauración, conservación y uso sostenible de las áreas protegidas". La nueva tarifa desde enero del 2021 es de \$1,500 pesos (aproximadamente USD \$75) por día por huésped por expedición de buceo. Por ello, un buzo paga a la federación un aproximado de USD \$510 dólares americanos por viaje de buceo.

3. JUSTIFICACIÓN

Es de interés estudiar los cambios en los comportamientos y la evolución de la conducta de los delfines ante la presencia de buzos, así como emitir recomendaciones de convivencia e interacción que minimicen el posible impacto al bienestar de los tursiones por la presencia de los buzos. Debido a la excelente visibilidad en las aguas del Archipiélago de Revillagigedo se pueden identificar comportamientos específicos intergrupales que nos pueden ayudar a comprender mejor la evolución de la conducta de los tursiones ante la presencia de los visitantes humanos que ha aumentado en el PNR en los últimos años desde su designación como Parque Nacional.

La condición extraordinaria de conservación de la naturaleza cuando el Archipiélago de Revillagigedo era considerado Reserva de la Biosfera y la creciente importancia que está adquiriendo la educación ambiental en el ámbito mundial son dos factores que se conjugan para propiciar la sensibilización de los visitantes al área marina protegida, así como de los diferentes sectores de la sociedad. La posibilidad de observar la belleza de sus aguas y la diversidad y abundancia de aves acuáticas, mamíferos marinos, tortugas marinas y peces pelágicos mayores, como mantas gigantes y muchas especies de tiburones, incluyendo al tiburón ballena, así como de conocer aspectos de la forma como se alimentan, anidan, descansan y viven, ha sido el detonador para que los visitantes nacionales y extranjeros se acerquen cada vez más al archipiélago. El creciente número de visitantes atraídos se ha convertido en una forma de captar recursos económicos para un importante sector de prestadores de servicios turísticos de Baja California Sur, Colima, Nayarit, Sinaloa y Sonora, principalmente. Sin embargo, la falta de una infraestructura adecuada, la lejanía con el continente y la dificultad de acceder a las partes terrestres del PNR no brindan un fácil acceso a las islas.

No obstante, es posible captar la atención de buceadores y ecoturistas (observadores de la naturaleza) que visitan las aguas del PNR al ofrecer pláticas, exhibiciones y actividades educativas tanto en los puertos de salida como en las embarcaciones de vida a bordo durante el crucero que influyan en un mayor respeto que fomente la conservación de los recursos naturales de la PNR.

La biología de los mamíferos marinos proporciona un marco esencial para ayudarnos a comprender la mejor manera de proteger y conservar a estos animales y sus ecosistemas, por lo que el uso de la bioacústica y la etología son herramientas útiles para identificar parámetros de disturbio y estrés en poblaciones silvestres y en cautiverio.

La presente investigación tiene por objeto conocer más acerca de las interacciones entre los tursiones que habitan el PNR y los buzos que acuden a observarlos en su ambiente natural. Este trabajo aportará datos que podrán ser incluidos en el Plan de Manejo del ANP donde se puedan describir las condiciones generales de buenas prácticas durante la interacción de buceo con megafauna que permitan hacer compatible el desarrollo de actividades económicas, el desarrollo social y la conservación de los recursos naturales, con especial atención en la preservación de las especies y tomando como prioridad adoptar medidas que promuevan prácticas de observación respetuosas durante el buceo en esta ANP. También es importante incorporar sugerencias de los grupos que desarrollan actividades en el área para evitar el disturbio de los ecosistemas prístinos que resguarda el Parque Nacional Revillagigedo.

4. HIPÓTESIS

Considerando que el número de buzos se ha incrementado en los últimos años y que los tursiones son animales sociales y susceptibles a la presencia humana, existirá una relación entre los niveles de aproximación de los buzos y el comportamiento de los tursiones.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo fue identificar y cuantificar los comportamientos que desplegaron los tursiones (*Tursiops truncatus*) ante la presencia e interacción con buzos durante las inmersiones realizadas en el Parque Nacional Revillagigedo durante los años comprendidos de 2018 al 2022.

5.2 Objetivos particulares

1. Describir los comportamientos de los tursiones y los buzos durante los encuentros.
2. Categorizar y contabilizar el tipo de comportamientos de los tursiones de acuerdo con los sitios de buceo en las cuatro islas de Revillagigedo: Isla Socorro, Isla San Benedicto, Isla Clarión e islote Roca Partida.
3. Comparar las características de las fonaciones: frecuencia mínima y frecuencia máxima utilizando dos diferentes sistemas de grabación.
4. Elaborar recomendaciones para los encuentros con tursiones durante el buceo en el Parque Nacional Revillagigedo.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

La interacción entre buzos y tursiones ocurre en el Parque Nacional Revillagigedo porque existe la operación de barcos de buceo con vida a bordo que realizan viajes con una duración de diez días, de los cuales sólo seis son para buceo. Las principales zonas aprovechadas para el buceo turístico se encuentran en las islas San Benedicto y Socorro e islote Roca Partida, mientras que en Isla Clarión esta actividad no ha sido frecuente. En particular, Isla San Benedicto registra siete sitios con mayor afluencia de buzos: El Fondeadero, Dos Hermanos, Cabo Pearce, Punta Norte, El Boiler, Las Cuevas y El Cañón. Isla Socorro posee cinco sitios mayormente frecuentados: Los Morros del Norte, Roca O'Neal, Cabo Pearce, Acuario y Punta Tosca. La capacidad de carga de los sitios de buceo es de cuatro barcos por isla, a excepción del islote Roca Partida en el que sólo se permiten dos barcos a la vez. Cada barco lleva de tres a cuatro grupos de buzos con seis a ocho integrantes cada uno. Se realizan cuatro buceos al día con aire enriquecido Nitrox en un sistema de buceo convencional recreativo con horarios que generalmente comienzan desde las 7am y siguen a las 11am, 2pm y 4pm, con una estancia de 10 a 15 minutos por cada grupo en el mismo sitio de buceo. La temporada de buceo en el PNR da inicio desde el mes de noviembre al mes de mayo, durante junio a octubre se cierra la temporada por seguridad, al ser época de huracanes en la zona.

Se utilizaron 70 grabaciones videográficas con audio y solo tres acústicas de interacción entre tursiones y buzos realizadas dentro del Parque Nacional Revillagigedo entre 2018 y 2022 con el objetivo de sentar un estudio inicial que sirva para hacer diversos análisis comparativos y poder evaluar cambios que pudieran darse por la realización de esta actividad recreativa, el cual también pueda ser aplicable a otros contextos de interacción humano - mamíferos marinos. El origen de las grabaciones es de dos fuentes. 1. grabaciones propias y 2. grabaciones donadas por buzos a través de solicitud personal o por divulgación a bordo en los viajes de buceo, conocido como Ciencia Ciudadana.

Las grabaciones propias fueron obtenidas en el Archipiélago de Revillagigedo utilizando los permisos de investigación Oficio núm. F00.DRPBCPN.DIR.PNR. -193/2021 y Oficio núm. F00.DRPBCPN.DIR.PNR. -059/2022 emitidos por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, a cargo de la M.C. Luz Eréndira Frías. Las grabaciones propias fueron nueve grabaciones acústicas obtenidas con un sistema sumergible consistente de un recipiente de plástico sellado que contenía una grabadora digital estéreo Tascam DR-07X muestreando con 96 kHz a 32 bits (rango de frecuencia de 48 kHz, ganancia de 30 dB) conectada a un hidrófono mono direccional Electroaer E1 (Electroaer SA de CV, Ciudad de México, México) con un rango de frecuencia utilizable de 10–100 kHz y sensibilidad de -205 ± 3 dB re 1 V / μ Pa (Figura 5). Este sistema fue diseñado y construido por el Dr. Eduardo Romero Vivas del CIBNOR para esta investigación. Únicamente cuatro de las nueve grabaciones acústicas fueron exitosas y se utilizaron para obtener las tasas de fonación emitidas por los tursiones ante la presencia de buzos.



Figura 5. SMTB buceando y realizando la toma de datos acústicos usando el sistema sumergible de grabación acústica que consta de una grabadora TASCAM (foto izquierda) dentro de una carcasa conectada a un hidrófono, el cual también se conectó a la cámara GoPro10 (foto derecha).

Las grabaciones propias también fueron ocho de las 70 grabaciones videográficas con audio, las cuales fueron obtenidas con una videocámara digital sumergible marca GoPro modelo 10 que graba video con resolución 5.3 k y que también grabó el audio del hidrófono mono direccional

Electrolaer E1 del sistema sumergible a una tasa de muestreo de 35 kHz a 16bits (Figura 5). Debido a que el manual de la GoPro no especifica la tasa de muestreo de grabación del audio, ésta se determinó al visualizar en el espectrograma de las grabaciones con el programa Audacity, donde se observó una frecuencia máxima de 17 kHz. Durante la obtención de estas ocho videograbaciones se grabó el comportamiento de un grupo focal de tursiones y buzos, el cual también se registró en una bitácora por un observador. Estas ocho videograbaciones fueron hechas de manera simultánea al sistema sumergible.

Las 62 grabaciones videográficas donadas por buzos de forma voluntaria a la investigación fueron obtenidas con videocámaras sumergibles digitales como la GoPro y fueron seleccionadas para su análisis si contaban con audio original, los videos no estaban editados y tenían una duración mínima de 30 segundos, ya que se estableció como Unidad de Muestreo (UM) el intervalo de 30 segundos para contar cada evento de comportamiento y obtener datos homogéneos sin sesgo. Entonces, de los 70 videos se obtuvieron 237 periodos de 30 s para una duración total de 118.5 minutos de interacción entre buzos y tursiones. Los videos tenían en promedio una duración de 1.7 minutos por evento. El evento más largo que se registró fue de 11.0 minutos en Cabo Pearce, Isla Socorro, durante el cual también se hizo el registro acústico con el sistema sumergible.

6.1 Método para el procesamiento de datos videográficos de tursiones interactuando con buzos en Revillagigedo. Análisis de Videos / Comportamientos

El método empleado para la obtención de las grabaciones videográficas fue la observación en el cuadro de la videocámara de grupos focales de buzos y tursiones contemplando un escenario de un grupo de 7 buzos como máximo con un guía de buceo, utilizando también el registro en una bitácora del comportamiento de los grupos focales. Los datos que se registraron en la bitácora de forma sistematizada fueron los siguientes:

- Duración del video
- Número total de tursiones por evento
- Número total de buzos por evento

- Presencia de otras especies e interacción con megafauna
- Descripción y clasificación del comportamiento de los buzos (ver Tabla 5 Nivel de interacción de buzos):
 - (0) observando,
 - (1) persiguiendo,
 - (2) intento de tocar
 - (3) contacto físico con el tursión
- Descripción y clasificación del comportamiento de los tursiones (ver Tabla 6 Nivel de interacción de tursiones)
 - Explorando
 - Posición vertical
 - Contacto
- Como información adicional, es decir, sin tomar en consideración al grupo focal de los buzos, también se contabilizaron las interacciones de los tursiones con otras especies de megafauna.

Los videos se clasificaron en externos y propios. Los videos externos, al provenir de videocámaras sumergibles digitales compactas como la GoPro, se separaron en audios en formato .wav (del inglés “waveform audio file format”) y videos en formato .mp3 (o MPEG-2 Audio Layer III) para poder realizar una comparación de las fonaciones emitidas y visualizar los sonidos y para poder evaluar y medir el nivel de interacción y el tipo de comportamientos del grupo focal.

Se diseñó un etograma con el objetivo de categorizar y describir los comportamientos videograbados del grupo focal de los tursiones durante los encuentros con buzos con base en lo reportado por Müller *et al.* (1998) (Tabla 4). El término etograma se refiere a un catálogo de conductas o acciones mutuamente excluyentes y objetivas exhibidas por un animal, lo que evita la subjetividad y la inferencia funcional sobre su potencial objetivo. Es una herramienta clave que ayuda a cuantificar comportamientos específicos de individuos describiendo comportamientos

discretos, que son patrones motores básicos que forman el repertorio conductual de una especie determinada (Wright *et al.*, 2007).

Tabla 4. Etograma. Caracterizaciones de los comportamientos de tursiones en el PNR

Comportamiento		Descripción
Transitando	tr	tursiones se avistan nadando en una dirección determinada y no se detienen a socializar con buzos ni entre ellos (Fig. 8)
Persiguiendo peces	pp	tursiones persiguen jureles (peces)
Socializando	so	hay contacto entre ejemplares con las aletas, la mandíbula y la aleta caudal (Fig. 9)
Crianza	cr	la cría es acompañada y escoltada por tursiones adultos, incluida, la madre (la cría es de la mitad del tamaño que los otros individuos y tiene contacto constante con la madre para indicar la dirección del nado y el intervalo entre respiraciones en la superficie)
Evasión	ev	tursiones cambian de dirección rápidamente ante la presencia de buzos (Fig. 10)
Interacción con otras especies	in*	tursiones interactúan con otras especies al seguirlas y nadar cerca por un tiempo determinado; en ocasiones se hace contacto físico
Agresión	ag*	tursiones nadan erráticamente en círculos; hay mordidas, persecuciones y aleteos caudales con fuerza.

*La interacción con otras especies y la agresión se tomaron como variables independientes al no estar relacionadas con los buzos, estos comportamientos se registraron en una relación intergrupala entre tursiones.

La mayoría de los etogramas de cetáceos se centran en *Tursiops spp.* (por ejemplo, Mann y Barnett, 1999; Mann, 2006; von Streit *et al.*, 2011), incluido el etograma de mamíferos desarrollado por Müller y colaboradores (1998), que probablemente sea el estudio marino más completo y está basado en observaciones anteriores, describiendo más de 100 comportamientos de delfines mulares observados a lo largo la costa de San Diego. En la Tabla 4 y la Fig. 6 se ilustran los comportamientos observados en los tursiones del PNR y su descripción, con el identificador que se empleó para el manejo de los datos. La descripción de estos comportamientos se basó en lo descrito por Herzing (1996), quien estudió la asociación de las vocalizaciones y el comportamiento bajo el agua de delfines moteados (*Stenella frontalis*) y tursiones (*Tursiops truncatus*) en Bahamas.

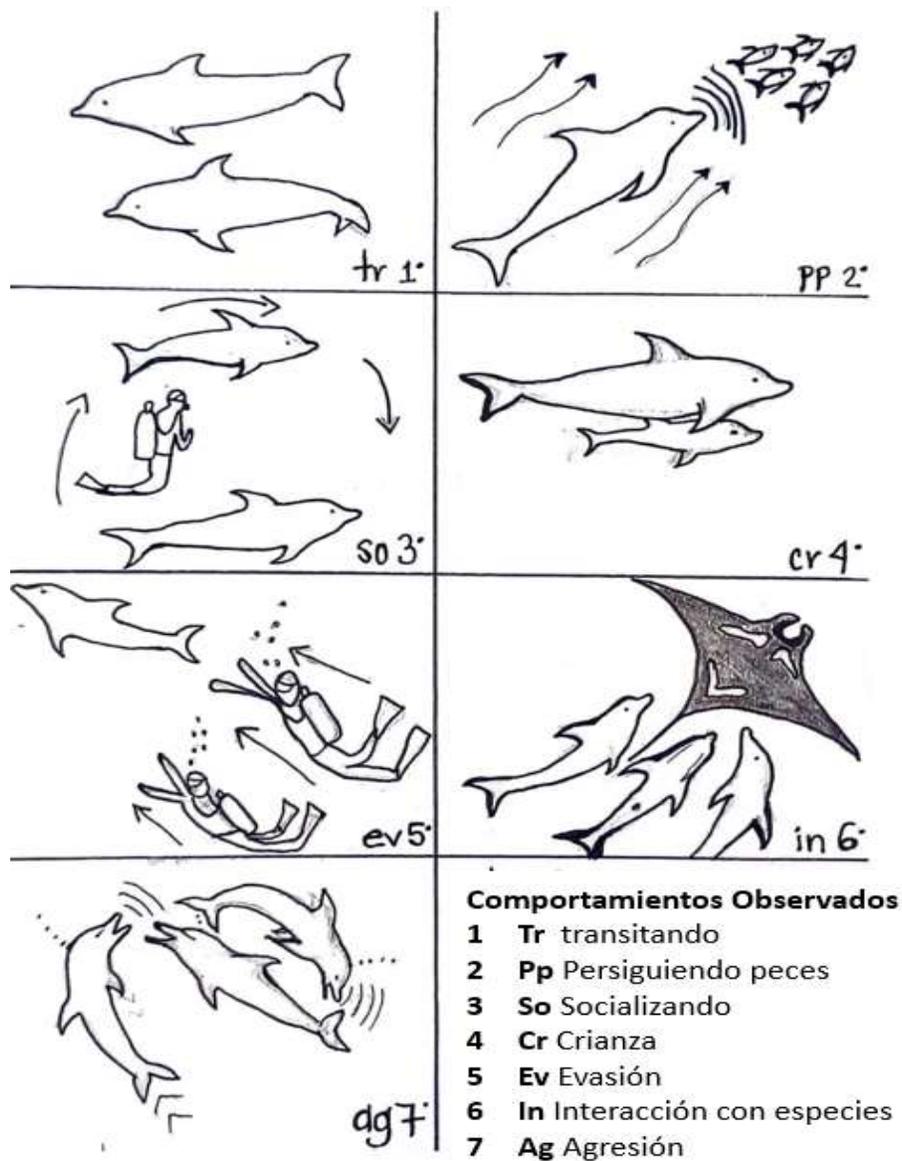


Figura 6. Etograma gráfico de los comportamientos referidos en la Tabla 4

Además, se distinguieron cuatro diferentes niveles de interacción de los buzos hacia los tursiones, los cuales se muestran en la Tabla 5. A cada nivel se le asignó un número ordinal, siendo la observación el nivel 0 por ser el menos invasivo y el contacto físico el nivel 3 al ser el más invasivo hacia los tursiones.

Tabla 5. Nivel de interacción de los buzos con los tursiones en el PNR

Nivel de Interacción de los buzos a los tursiones		Descripción
0	Observando	El grupo de buzos se mantiene unido en su sitio de buceo observando
1	Persiguiendo	Al menos un buzo se aproxima con velocidad en el aleteo buscando un acercamiento con los delfines.
2	Intento de tocar	Al menos un buzo intenta tocar con las manos a los delfines
3	Contacto	Al menos un buzo hace contacto físico por cierto tiempo (hasta que el delfín decide alejarse).

Por último, se distinguieron tres niveles de interacción de los tursiones hacia buzos, los cuales se muestran en la Tabla 6. El primer nivel observado es la exploración, donde los tursiones rodean y observan al grupo de buzos. El segundo nivel es cuando los tursiones muestran una posición vertical como un posible acto de sumisión o confianza. Y el tercer nivel es cuando hay contacto entre el animal y el buzo, donde el tursión permite el roce físico del buzo. A cada nivel se le asignó un número ordinal como carácter identificador cuyo valor numérico no tiene ningún significado.

Tabla 6. Nivel de interacción de los tursiones hacia los buzos en el PNR

Nivel de interacción de los tursiones a los buzos	Descripción	Carácter identificador
Exploración	los tursiones exploran al grupo de buzos y lo rodean	0
Posición Vertical	un tursión se pone en posición vertical mostrando su parte ventral	1
Contacto	un tursión permite el contacto físico por los buzos	2

Entonces, como se estableció como Unidad de Muestreo (UM) el intervalo de 30 segundos, se contabilizaron el número de veces que ocurrieron los cinco comportamientos de los tursiones en cada 30 segundos, así como los cuatro niveles de interacción de los buzos con los tursiones y los tres niveles de interacción de los tursiones hacia los buzos. Con estos datos se construyó una base que fue utilizada para determinar si había una relación entre el nivel de interacción de los buzos con los tursiones y el nivel de interacción de los tursiones hacia los buzos y para describir el comportamiento de los tursiones ante la presencia de los buzos.



Figura 7. Tursiones transitando en Cabo Pearce, Isla Socorro



Figura 8. Tursiones socializando con buzos de forma voluntaria. La socialización tursiones-buzos en el Archipiélago de Revillagigedo es más frecuente en el sitio de buceo Cabo Pearce en Isla Socorro. En ocasiones los tursiones macho se acercan voluntariamente a los buzos mientras éstos observan quedándose en el sitio de buceo sin perseguirlos



Figura 9. Tursiones cambiando de dirección o alejándose dado que un buzo persigue al grupo

Para determinar si había una relación entre el nivel de interacción de los buzos con los tursiones y el nivel de interacción de los tursiones hacia los buzos se elaboró una matriz binaria, anotando el número uno tanto en la columna del comportamiento de los tursiones observado en el periodo de tiempo de 30 segundos como en la columna del comportamiento del buzo observado en el mismo periodo de 30 segundos. El número cero se anotó en el resto de las columnas de los comportamientos de los tursiones y de los buzos que no se observaron en ese periodo de 30 segundos para describir la ausencia de tal comportamiento en la matriz de interacciones entre buzos y tursiones. Con esta matriz binaria se contabilizaron el número de veces que ocurrió cada uno de los cinco comportamientos de los tursiones durante cada combinación de las interacciones entre buzos y tursiones.

Para describir el comportamiento de los tursiones ante la presencia de los buzos se elaboraron gráficas para cada uno de los cinco comportamientos utilizando los valores numéricos del nivel de interacción de los buzos con los tursiones y del nivel de interacción de los tursiones hacia los buzos con las que se visualizaron los datos encontrados.

Asimismo, se identificaron en los videos otros eventos, como la interacción con otras especies de megafauna, el que los tursiones cargaran en sus aletas trozos de bolsas de plástico y el uso de disparos de luces en ráfaga de cámaras profesionales (conocido como *flash*) y el uso de silbatos u otros objetos que utilizaban los buzos para señalar la presencia de los tursiones al grupo de buzos.

Cuando ocurrió el uso de *flash* y de silbatos se anotaron los comportamientos de los tursiones descritos en la Tabla 4 que ocurrieron en los 30 s posteriores al evento en forma de matriz binaria como se hizo para determinar si había una relación entre el nivel de interacción de los buzos con los tursiones y el nivel de interacción de los tursiones hacia los buzos. Con esta nueva matriz binaria se realizaron pruebas estadísticas no paramétricas de correlación entre variables empleando el Coeficiente de Spearman y se comprobaron los valores obtenidos con una prueba de significancia con valores críticos para comprobar la hipótesis planteada. Con ello se determinó si se presentaban cambios en el comportamiento de los tursiones ante estos eventos.

La prueba del Coeficiente de Spearman es una medida estadística que evalúa la relación entre dos conjuntos de datos. A diferencia del coeficiente de correlación de Pearson, que mide una relación lineal, el coeficiente de Spearman se centra en evaluar si existe una relación monótona (cualquier patrón creciente o decreciente) entre las variables. El Coeficiente de Spearman asigna un rango a cada observación en ambos conjuntos de datos y luego calcula la diferencia de los rangos para cada par de observaciones. El coeficiente se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

Dónde:

r = es el Coeficiente de Spearman,

D = es la diferencia entre los rangos de las observaciones y

n = es el número total de observaciones.

El resultado varía entre -1 y 1. Un valor de 1 indica una correlación positiva perfecta (ambas variables aumentan juntas en una relación monotónica), un valor de -1 indica una correlación negativa perfecta (una variable aumenta mientras la otra disminuye de manera monotónica) y un valor de 0 indica la ausencia de correlación monotónica. La correlación de Spearman r_s se comparó con los valores de correlación críticos teóricos r_{crit} . El valor de p nos indica la importancia del resultado. Los valores críticos se utilizan para compararlos con un estadístico de prueba para evaluar si se rechaza o no la hipótesis nula. En este caso de dos colas, la hipótesis nula se rechaza si $|r_s| > r_{crit}$ para un caso de cola derecha y para un caso de cola izquierda la hipótesis nula se rechaza si $r_s < r_{crit}$. En cada caso, la Correlación de Spearman crítica se calcula según el tipo de cola, el nivel de significancia y el tamaño de la muestra. En este caso decidimos por una prueba de comparación bilateral (dos colas) ya que desconocemos si una variable es mayor que la otra. También decidimos por un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, sólo por convención. Entonces, el valor crítico r_{crit} es de 0.484 para los sonidos de alarma o silbatos emitidos por los buzos porque $\alpha=0.05$ y el tamaño de muestra es de $n=13$ y el valor crítico r_{crit} es de 0.223 para los flashes emitidos por los buzos porque $\alpha=0.05$ y el tamaño de muestra es de $n=55$.

Hipótesis

$H_0: r_s > 0$, Existirá correlación directa entre la producción de silbatos de los buzos o de flashes (X) y el comportamiento de los tursiones (Y).

$H_1: r_s = 0$, No existirá correlación entre la producción de silbatos de los buzos o de flashes (X) y el comportamiento de los tursiones (Y).

$H_2: r_s < 0$, Existirá correlación inversa entre la producción de silbatos de los buzos o de flashes (X) y el comportamiento de los tursiones (Y).

Para analizar la interacción con otras especies de megafauna y el que los tursiones cargaran en sus aletas trozos de bolsas de plástico se contabilizó el número de veces que ocurrieron dichos eventos en las videograbaciones y se describió lo que sucedía en los eventos.

6.2 Caracterización de fonaciones y comparación de los dos sistemas de grabación acústica

Registro de audio

Las grabaciones acústicas obtenidas fueron nueve, con una duración total de 27 minutos, de las cuales se descartaron seis grabaciones porque o existía mucho ruido de fondo o no se pudo realizar la grabación porque el equipo se inundó, y sólo fueron útiles para su análisis tres grabaciones con duración total de 16 minutos.

Los audios del sistema sumergible y de las videograbaciones GoPro10 se analizaron con el programa AUDACITY generando espectrogramas con una ventana Hann de 1024 puntos y un traslape del 50%. El tamaño de la ventana de visualización del espectrograma se ajustó a tres segundos de duración con 512 puntos para observar las fonaciones, clasificarlas, contabilizarlas y determinar el rango de frecuencias o ancho de banda de cada sistema de forma visual como se muestra en las figuras 19 a 24. Las fonaciones se categorizaron en:

- Silbidos (en inglés “Whistles”)
- Pulsos explosivos (en inglés “Burst/buzz”)
- Trenes de ecolocalización (en inglés “Clicks”)

Para diferenciar los pulsos explosivos de los trenes de ecolocalización se utilizó la tasa de repetición de los chasquidos. Si el intervalo entre chasquidos era menor a 0.009 segundos, entonces eran pulsos explosivos. Si el intervalo era mayor a 0.020 segundos entonces eran trenes de ecolocalización. La distinción se hizo de forma visual utilizando los espectrogramas generados con el programa Audacity 3.0, como se muestra en las figuras 23 y 25.

Se contabilizaron el número total de fonaciones emitidas por los tursiones ante la presencia de buzos para cada 30 segundos, es decir, utilizando el mismo periodo de tiempo con el que se analizaron los videos, asignando también el comportamiento observado en estos 30 segundos.

Las tasas de fonación para cada sistema de grabación se obtuvieron al dividir el número total de fonaciones contabilizadas durante el tiempo total de grabación de cada sitio. Estas tasas de

fonación para cada sistema de grabación se compararon utilizando la prueba estadística t-Student para determinar diferencias entre los sistemas sumergible y GoPro10. El valor de p nos indica la importancia del resultado y si se rechaza o no la hipótesis nula. La hipótesis nula es si las dos poblaciones, en este caso las tasas de emisión obtenidas con los dos sistemas de grabación tienen la misma media.

Para relacionar la producción de fonaciones con los eventos del uso de *flash* y de silbatos por los buzos también se construyó una matriz binaria y se calculó el coeficiente de Spearman, el cual se comprobó también con una prueba de p y valores críticos.

7. RESULTADOS

7.1 Encuentros y comportamientos de los tursiones en el PNR

Durante los cuatro viajes de buceo en barcos de vida a bordo al Parque Nacional Revillagigedo (PNR) que se realizaron durante el periodo del 2018 al 2022 se recopilaron y analizaron 70 encuentros con tursiones con una duración de 118.5 minutos de grabación. Los tres sitios de buceo con más frecuencia de encuentros con tursiones fueron Cabo Pearce, El Boiler y El Cañón en las Islas Socorro y San Benedicto, respectivamente (Tabla 7). El comportamiento de los tursiones que predominó durante los 70 encuentros con un 48% socializando, seguido de un 34% en evasión, 11 % transitando, 5% crianza y 2% persiguiendo peces (N = 237 UM).

En la matriz de interacciones y comportamientos (Tabla 8) y en la Figura 10 se pueden observar que cuando los buzos incrementan su nivel de interacción, los tursiones tienden a disminuir la frecuencia con la que presentan sus diversos comportamientos, incluida la evasión. De hecho, cuando los buzos tocan a los tursiones (nivel buzo y tursión 3), la socialización es el único comportamiento de los tursiones que se observó. Cuando los buzos intentaron tocar a los tursiones (nivel buzo 2) se observaron con mayor frecuencia los comportamientos de socialización y de evasión, aunque también se observó que los tursiones exploraron (nivel tursión 0) transitando o adoptaron una posición vertical (nivel tursión 1) cuando había crías. Cuando los buzos simplemente observaron (nivel buzo 0) es cuando se visualizaron todos los comportamientos de los tursiones y es cuando los tursiones adoptaron más la posición vertical (nivel tursión 1) (Tabla 8, fila 2, Fig. 12). Esta posición vertical se puede identificar como socialización y puede ser considerada una posición de confianza, al exponerse mostrando su parte ventral, como se muestra en la Figura 11 (Herman, 2012). Cabe resaltar que cuando el buzo toca al tursión se catalogó en el siguiente nivel de interacción de contacto (nivel tursión 2), aunque también estuviera en posición vertical. Además, los tursiones tocaron a los buzos en diversas ocasiones (nivel tursión 3) mientras el buzo simplemente observaba (nivel buzo 0) (Tabla 8, fila 3).

Tabla 7. Encuentros con tursiones en los distintos sitios de buceo del PNR muestreados entre 2018 – 2022

Isla	Sitio de Buceo	Núm. de Eventos
Socorro	Cabo Pearce	38
Socorro	Punta Tosca	2
San Benedicto	El Boiler	13
San Benedicto	El Cañón	11
Clarión	Clarión	6

Tabla 8. Matriz de interacciones entre buzos y tursiones en relación con los cinco comportamientos de los tursiones

Nivel de Interacción de buzos	Nivel de Interacción de tursiones	# Periodos	Transitando	Socializando	Persecución de peces	Crianza	Evasión
0	0	51	16	10	10	5	10
0	1	77	11	60	0	5	1
0	2	32	1	29	0	2	0
1	0	17	2	4	0	3	8
1	1	10	16	10	0	0	1
1	2	7	0	60	0	2	0
2	0	4	1	0	0	0	3
2	1	7	0	3	0	1	3
2	2	10	0	9	0	0	1
3	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0
3	2	22	0	22	0	0	0
N		237	34/14.4%	148/62.4%	10/4.2%	18/7.6%	27/11.4%

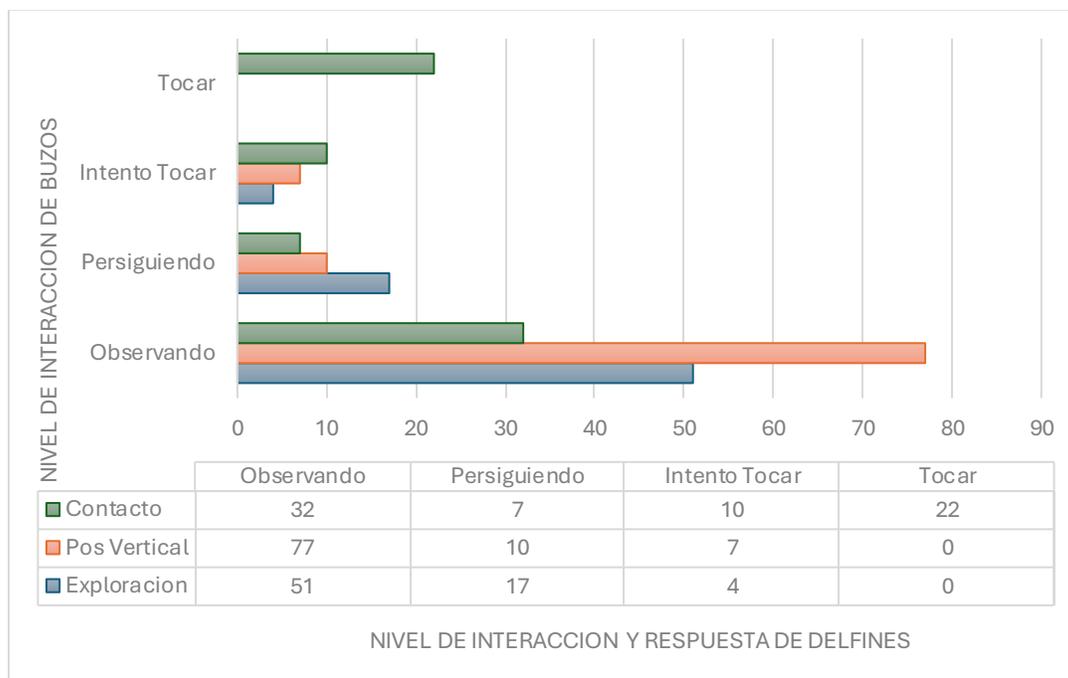


Figura 10. Relación entre los niveles de interacción entre los buzos y los tursiones



Figura 11. Interacción con buzos: tursión en posición vertical con contacto (izquierda) y sólo contacto (derecha)

Sólo algunos de los tursiones adoptaron la posición vertical (Fig. 12). De los videos se desprende que los individuos que adoptan esta posición son en su mayoría machos juveniles. Además, también se observó que algunos de los tursiones que permitieron el contacto físico también son del sexo masculino (Fig. 11). Aunque para este trabajo de investigación no se consideró la

identificación de individuos ni el sexo del individuo que tuvo la interacción, resulta interesante para futuras investigaciones conocer si son los mismos tursiones quienes adoptan estos niveles de interacción y si se transmite a otros individuos o sólo son posturas que denotan confianza.



Figura 12. Comportamiento de socialización entre tursiones, mostrando un individuo en posición vertical.

Al analizar los diferentes comportamientos de los tursiones ante la presencia de buzos se encontró que los tursiones principalmente socializaron, especialmente cuando los buzos sólo los observaban (Fig. 13). Cuando los buzos observan a los tursiones, estos respondieron socializando y, en consecuencia, hay mayor probabilidad de que los tursiones se mantengan por más tiempo con los buzos y desplieguen la posición vertical. El comportamiento socializando representa el 48% del total con 151 periodos.

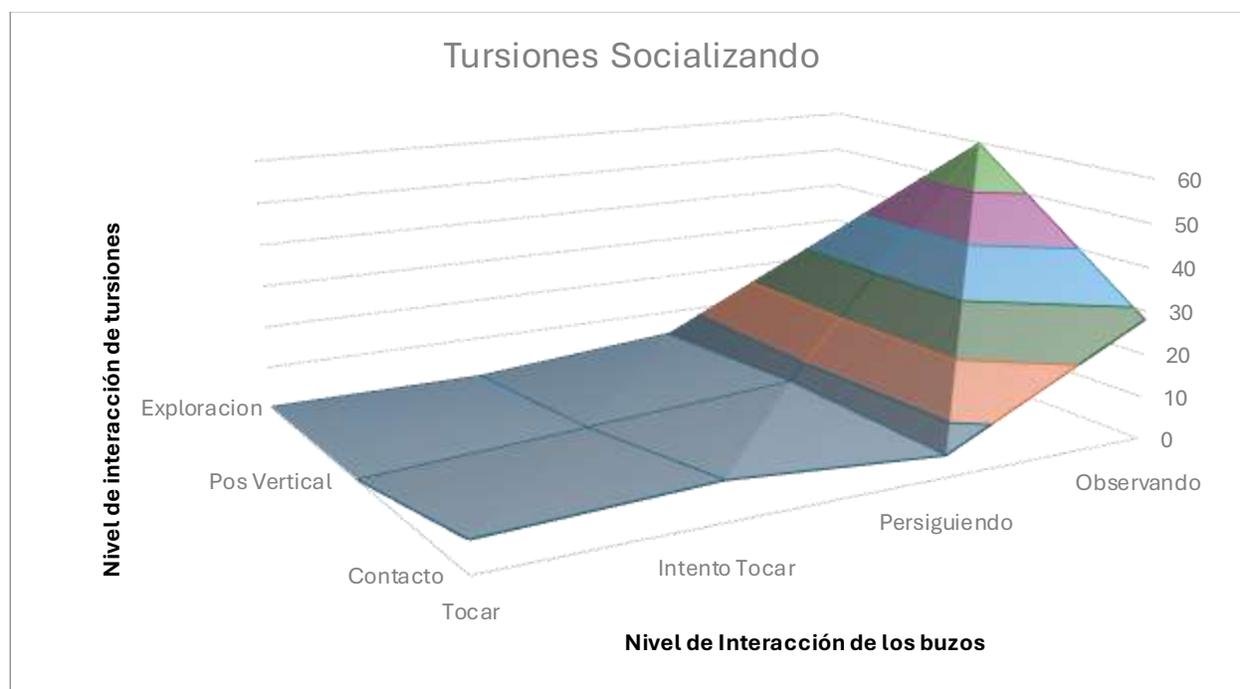


Figura 13. Gráfico de los eventos observados relativos al caso en donde los tursiones están mayormente socializando en relación con los buzos.

El segundo comportamiento predominante fue la evasión (Fig. 14) y representó un 34% del total con 28 periodos. Los tursiones desplegaron esta respuesta principalmente a los intentos de los buzos por perseguirlos o tocarlos. Los comportamientos de transitar (11% del total con 33 periodos), crianza (5% del total con 21 periodos) y perseguir peces (2% del total con 10 periodos) fueron poco frecuentes y sólo se presentaron cuando los buzos observaban a los tursiones (Fig. 15 a 17). Cabe resaltar que se registró un caso de agresión entre tursiones machos en posible cortejo de una hembra, pero como ocurrió en una sola ocasión, no se tomó como comportamiento por no estar relacionado con el comportamiento del grupo focal de buzos y tursiones.

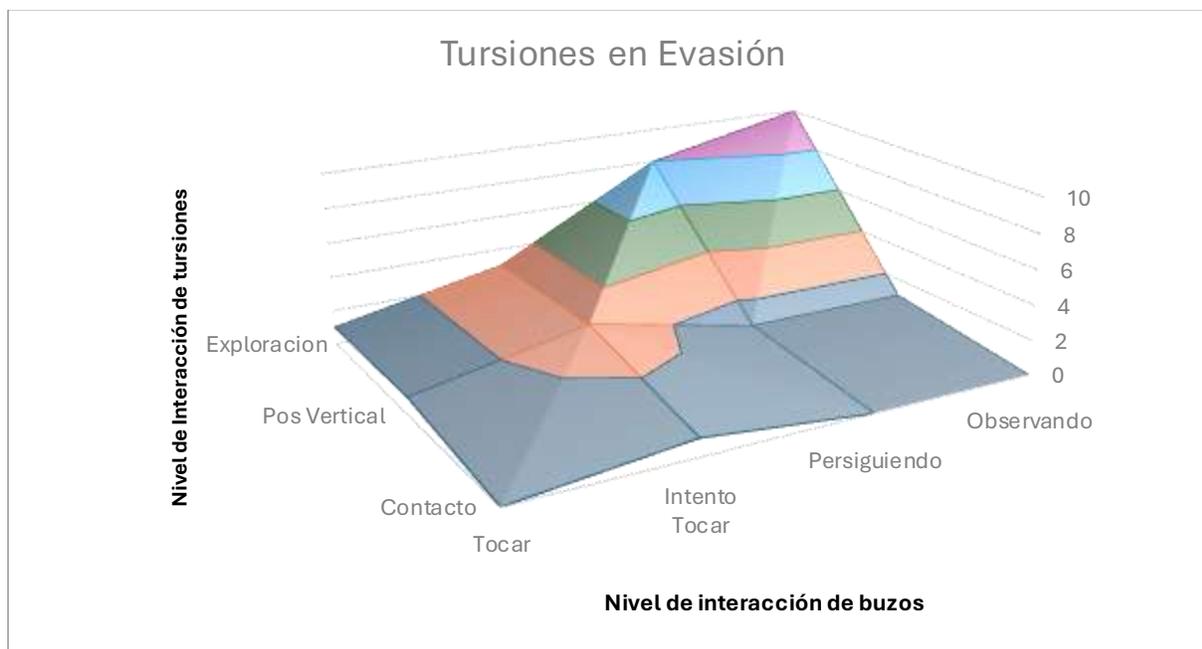


Figura 14. Gráfico de los eventos observados relativos al caso en que los tursiones evaden al grupo de buzos

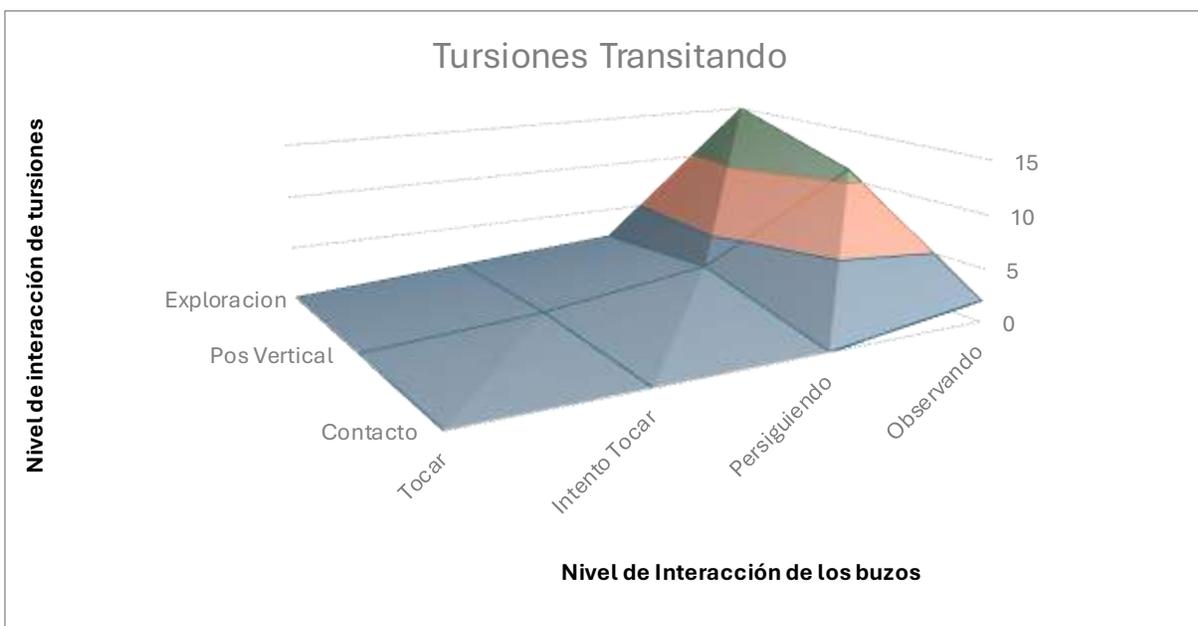


Figura 15. Gráfico de los eventos observados relativos al caso en que los tursiones están transitando

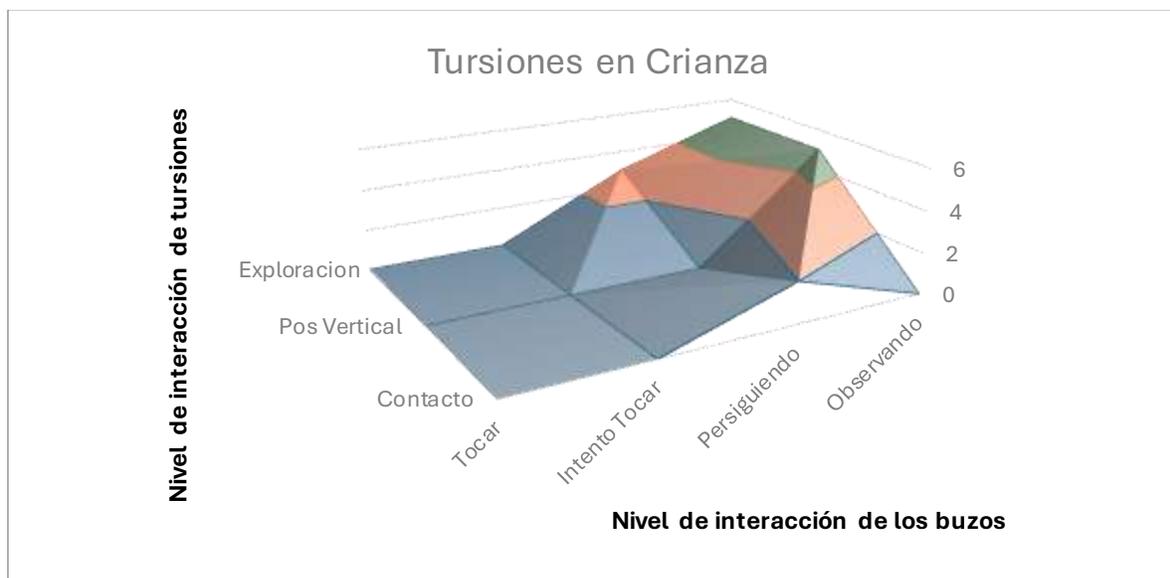


Figura 16. Gráfico de los eventos observados relativos al caso donde hay presencia de crías

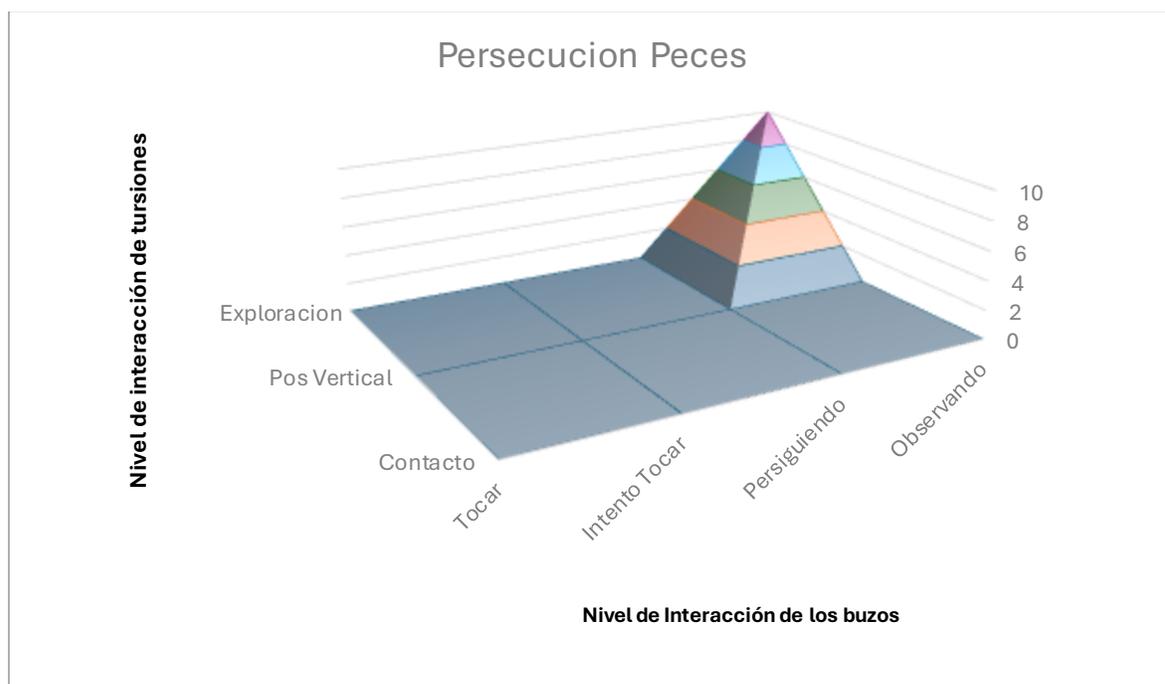


Figura 17. Gráfico de los eventos observados relativos al caso en que los tursiones persiguen peces.

7.2 Interacción de tursiones con otras especies

La interacción de los tursiones con otras especies de megafauna más frecuente fue con la manta oceánica (*Mobula birostris*), con 9 eventos en 47 de los 237 UM o periodos (Tabla 9, Fig. 1). Las mantas oceánicas y los tursiones se les ha visto desarrollar una relación de juego o disfrute en un nado sincronizado de los tursiones detrás de la manta. También se observó que los tursiones muerden las colas de las mantas gigantes para provocar su giro o movimiento.

También se observó interés de los tursiones por las crías de ballena jorobada, se les observó acompañados de tiburón ballena simplemente siguiéndolos o con atunes y jureles persiguiendo en conjunto a otros peces y se avistaron con tiburones martillo (*Sphyrna lewini*) sin observar ninguna interacción específica, pero compartiendo las estaciones de limpieza (Fig. 18).

Tabla 9. Interacción de tursiones con otras especies durante 2018-2022

Espece Asociada	Descripción	Número de encuentros entre especies
Manta Oceánica (<i>Mobula birostris</i>)	Los tursiones persiguen a las mantas	9
Ballena Jorobada (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	Los tursiones interactúan con la ballena	2
Tiburón Ballena (<i>Rhincodon Typus</i>)	Siguiendo al tiburón ballena	1
Atún Aleta Amarilla (<i>Thunnus albacares</i>)	Persiguiendo peces junto con atunes	1
Tiburón martillo (<i>Sphyrna lewini</i>)	Algún tipo de interacción con un tiburón martillo o con el cardumen de tiburones martillos	1

Como resultado complementario de esta investigación, se encontró que en tres de los setenta encuentros los tursiones cargaron en sus aletas trozos de bolsas de plástico (Fig. 19). Esto indica que existe una necesidad inminente de una gestión efectiva de residuos sólidos por los humanos. Ante el creciente turismo por buceo, esta investigación aboga por prácticas óptimas y emite recomendaciones específicas al PNR para sensibilizar a operadores turísticos y buzos sobre la importancia de un manejo sostenible. El Parque Nacional Revillagigedo es considerado un

archipiélago con ecosistemas prístinos, con endemismos y una mega diversidad de peces, megafauna pelágica y alta diversidad coralina. Sin embargo, la presencia de actividades turísticas y el manejo de los residuos sólidos tienen un impacto en la zona. Las fuentes de contaminación como el ruido y la falta de un manejo óptimo de los residuos sólidos están poniendo en riesgo a los ecosistemas. Muchas de las especies confunden los plásticos con medusas o algas y los ingieren, lo que causa intoxicación, obstrucción de vías respiratorias o problemas digestivos, y pueden causar la muerte. Se han encontrado varamientos de especies de megafauna como tortugas, cetáceos, tiburones, mantas y peces con ingesta de plásticos (Ryan,2019), por lo que es urgente se adopten medidas para el manejo en y la disposición de los residuos sólidos. Aunque el plan de manejo del PNR establece que cualquier desecho sólido deberá descargarse en puerto, se desconoce si la descarga de residuos sólidos orgánicos está debidamente separada y si por la falta de vigilancia los residuos plásticos son descargados al mar.



Figura 18. Tursiones en posición vertical interaccionando con otras especies de pelágicos: cardumen de tiburones martillo (*Sphyrna lewini*).



Figura 19. Tursiión sujetando una bolsa plástica con la aleta pectoral

7.3 Análisis de las fonaciones y comparación entre los dos sistemas de grabación acústica

Existen diferencias en el ancho de banda de las grabaciones acústicas obtenidas con los dos sistemas de grabación. El sistema GoPro10 tuvo un rango de 0 kHz a 17 kHz (Figuras 20, 22 y 24), por lo que no se grabaron por completo los silbidos ni sus armónicos, mientras que con el sistema de grabación sumergible el rango fue de 0 kHz a 48 kHz (Figuras 21, 23 y 25), por lo que los silbidos se ven claramente en su frecuencia fundamental de 0 kHz a alrededor de 22 kHz. Los chasquidos (trenes de localización y pulsos explosivos) también se observan claramente en las grabaciones del sistema sumergible y no se visualizan siempre en las grabaciones del sistema GoPro10. Entonces, es claro que existen diferencias en el ancho de banda de los dos sistemas de grabación que hacen que no se observen el mismo número de fonaciones en los espectrogramas de las grabaciones de ambos sistemas. La emisión de fonaciones fue tres veces mayor en las grabaciones del sistema sumergible que en las del audio de la cámara GoPro10 (Tabla 10), por lo que con la prueba paramétrica de t-Student se rechaza la hipótesis nula (H_0) de medias iguales y podemos concluir que hay diferencias significativas entre las grabaciones de fonaciones por los

dos sistemas para los tres tipos de fonaciones: silbidos $t = 0.200583$; trenes de ecolocalización $t = 0.120211$ y pulsos explosivos $t = 0.14601$ ($p > 0.05$).

Tabla 10. Descripción de las tres grabaciones acústicas realizadas con los dos sistemas mostrando el número de tursiones y buzos grabados, así como el número de fonaciones de los tursiones obtenidas con cada sistema.

Sitio de Buceo	Fecha	Tursiones	Buzos	Tiempo de grabación (mins)	sistema sumergible			sistema GoPro10		
					Silbidos	Clicks	Burst	Silbidos	Clicks	Burst
El Cañón, San										
Benedicto	21.12.2021	1	16	0.5	0	1	0	0	0	0
Cabo Pearce,										
Isla Socorro	2.01.2022	11	24	11.0	21	27	12	11	17	5
El Cañón, San										
Benedicto	9.04.2022	6	11	5.5	24	10	2	12	5	1
				16.0	45	38	14	23	22	2

Entonces, en el presente trabajo los tursiones emitieron fonaciones ante la presencia de buzos con una tasa de 2.8 silbidos/min, 2.4 trenes de ecolocalización/min y 0.9 pulsos explosivos/min.

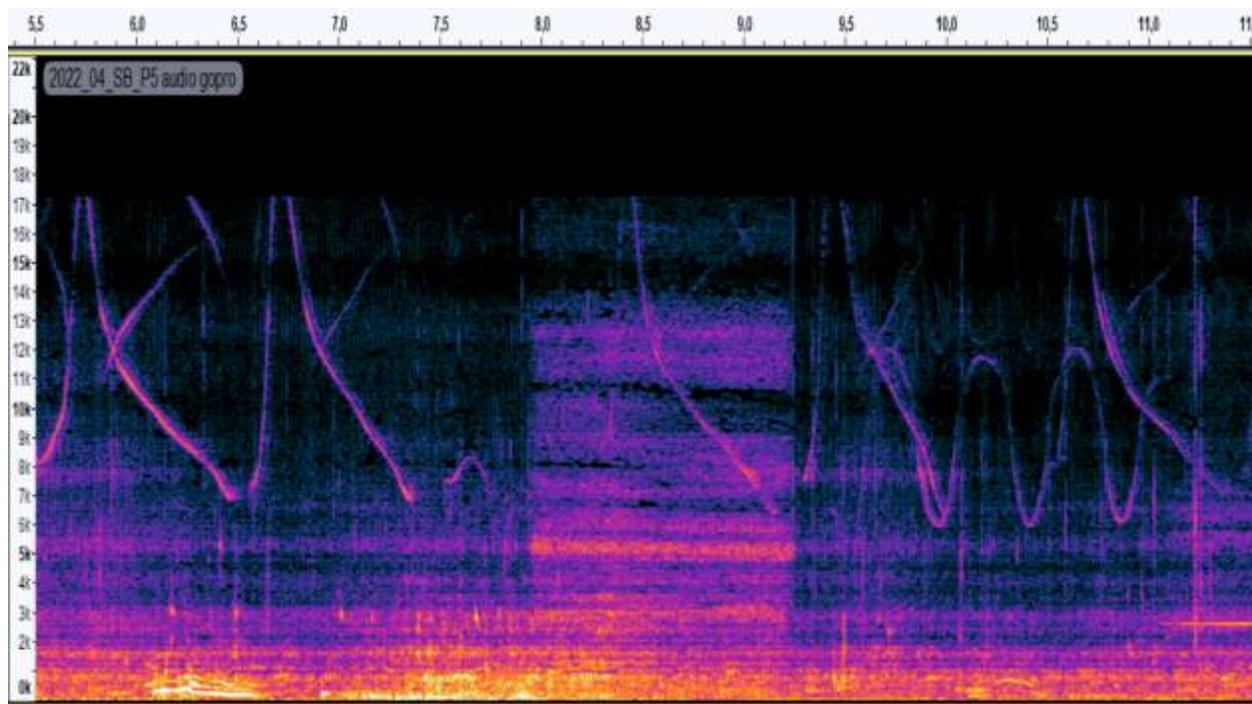


Figura 20. Visualización de silbidos en un espectrograma de la grabación de audio del sistema GoPro10 obtenida el 9 de abril 2022, 8:00 am en el Cañón, San Benedicto

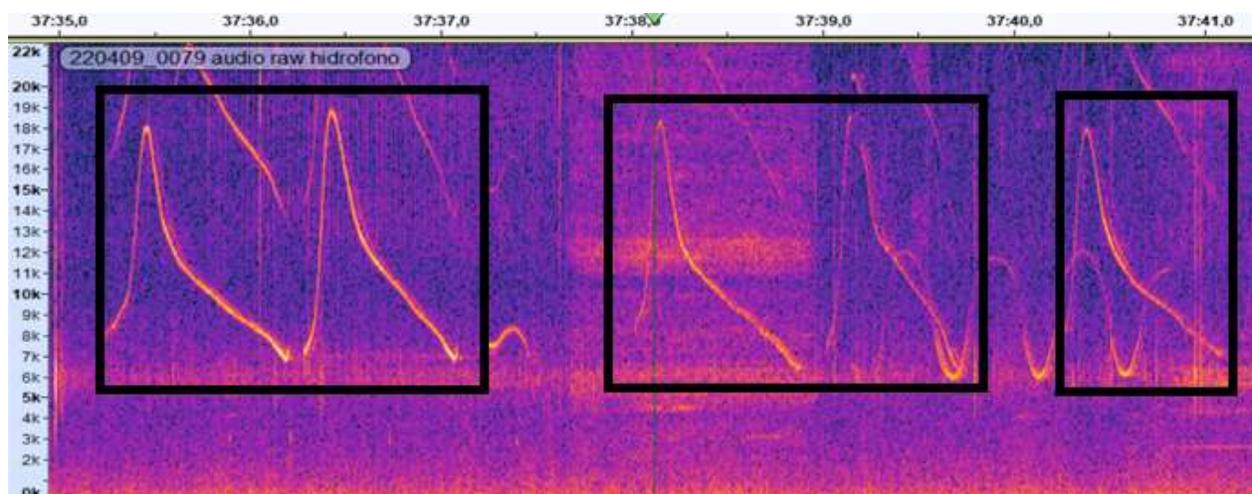


Figura 21. Visualización de silbidos en un espectrograma de la grabación del sistema sumergible obtenida el 9 de abril 2022, 8:00 am en el Cañón, San Benedicto

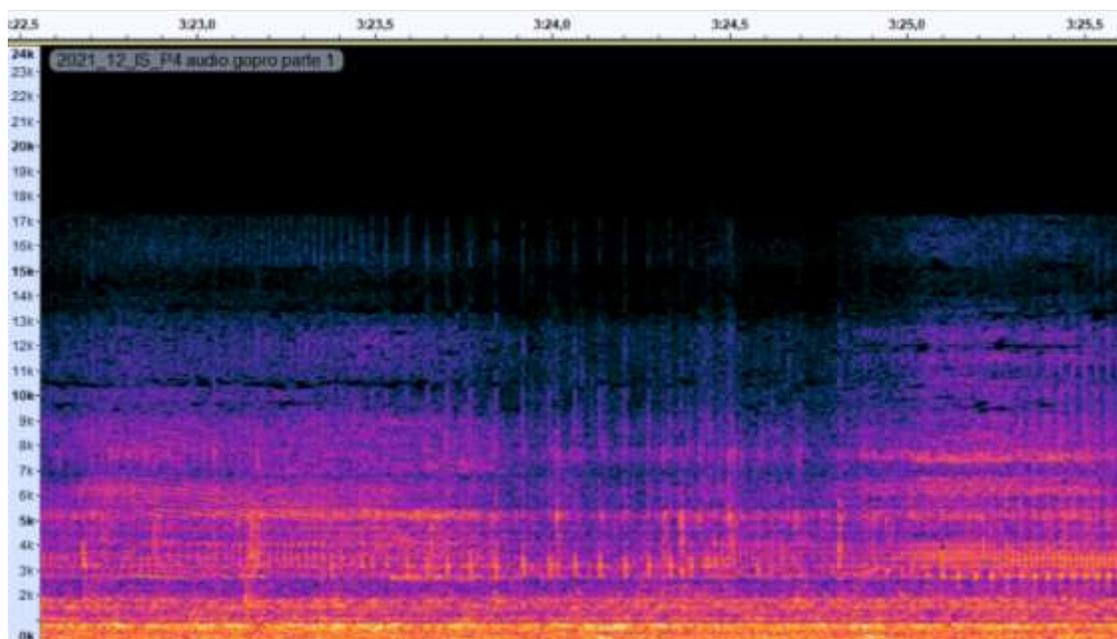


Figura 22. Visualización de trenes de ecolocalización en un espectrograma de la grabación de audio del sistema GoPro10 obtenida el 9 de abril 2022, 8:00 am en el Cañón, San Benedicto

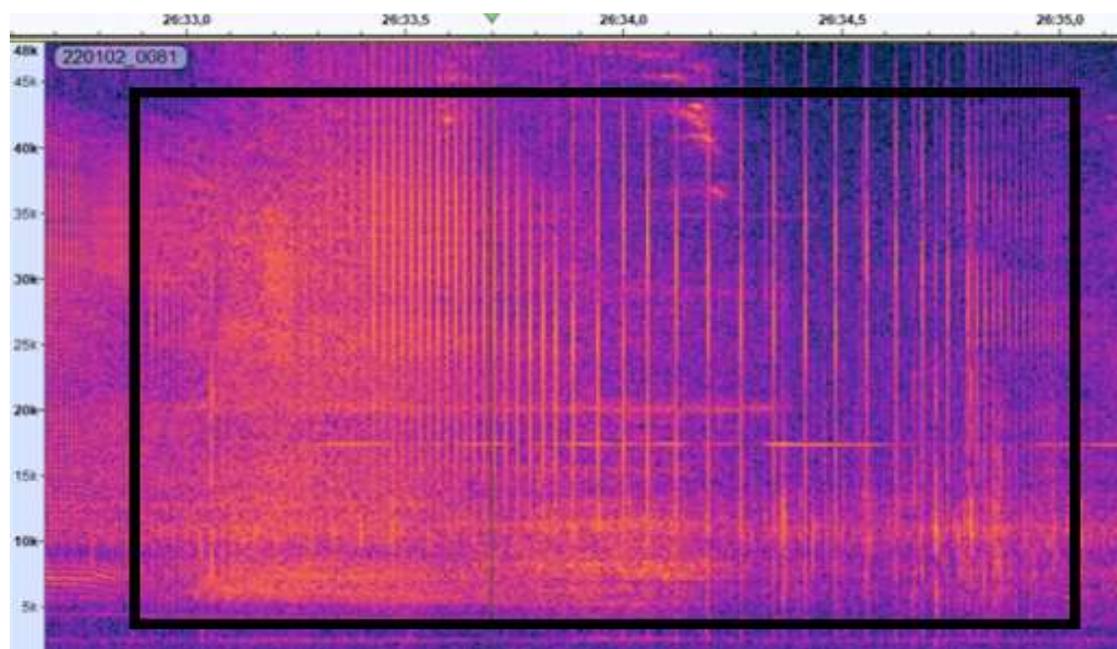


Figura 23. Visualización de trenes de ecolocalización en un espectrograma de la grabación del sistema sumergible obtenida el 9 de abril 2022, 8:00 am en el Cañón, San Benedicto

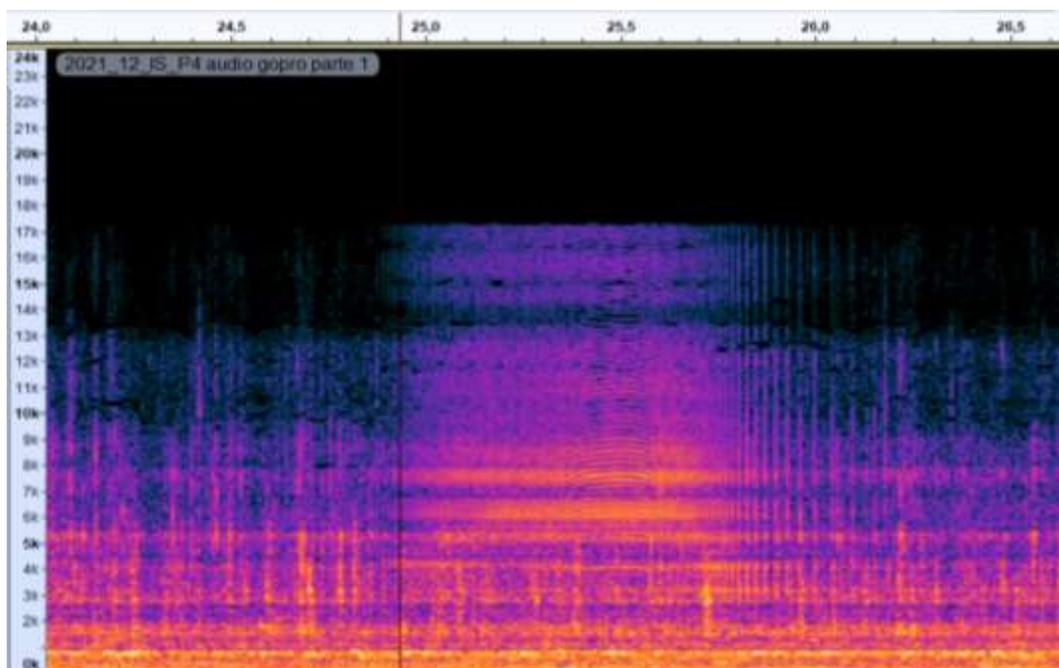


Figura 24. Visualización de pulsos explosivos en un espectrograma de la grabación de audio del sistema GoPro10 obtenida el 2 de enero del 2022, 11:25 am en Cabo Pearce, Isla Socorro

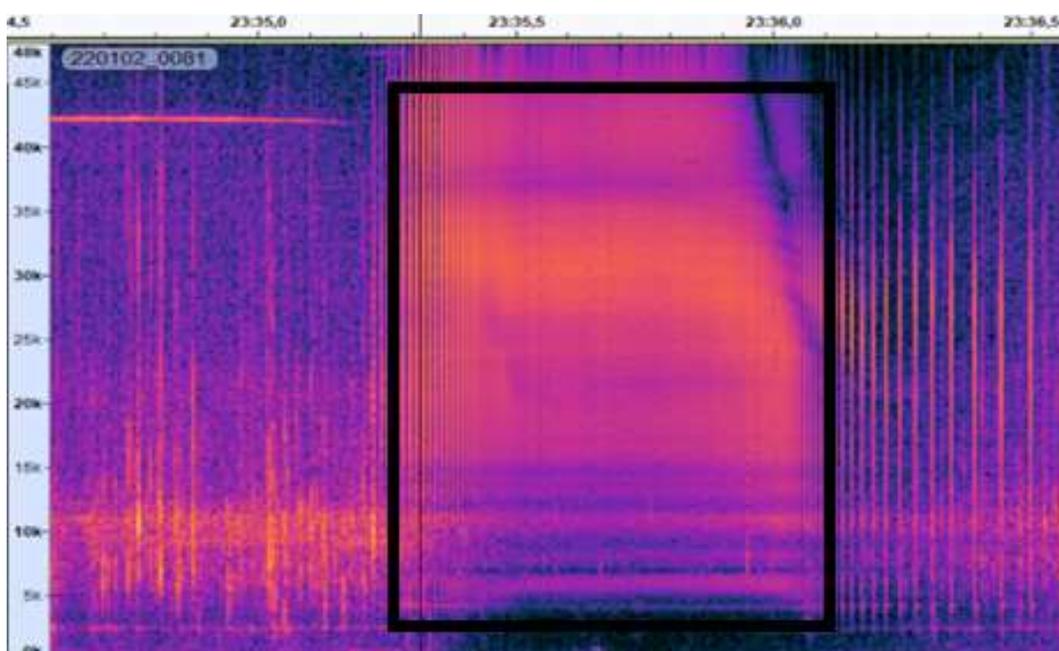


Figura 25. Visualización de pulsos explosivos en un espectrograma de la grabación del sistema sumergible obtenida el 2 de enero del 2022, 11:25 am en Cabo Pearce, Isla Socorro

Los delfines tienen la habilidad de oír y producir sonidos en un rango superior a los 150 kHz, comparado con el oído humano que está limitado a un ancho de banda de menos de 20 kHz. Au y Banks (1998) establecieron que los armónicos de los silbidos contienen energía a frecuencias superiores a los 100kHz, por lo que las grabaciones del sistema sumergible contienen más información de las fonaciones que los tursiones están produciendo. Estos resultados comprueban que existen diferencias en los armónicos visibles de los silbidos como resultado de la calidad o ancho de banda del equipo de grabación utilizado.

En la Tabla 11 se muestran las fonaciones grabadas del encuentro con mayor duración obtenido el 2 de enero del 2022 en Cabo Pearce, Isla Socorro que duró 11 minutos, así como los comportamientos de los once tursiones y los 24 buzos observados durante dicho periodo con interacción con manta oceánica. En este encuentro se presentaron los cuatro comportamientos analizados para los buzos y las tres respuestas de los tursiones estudiadas. Además, los sonidos más frecuentes fueron los trenes de ecolocalización y los silbidos, los cuales se emitieron el doble de veces que los pulsos explosivos.

En particular, la emisión de silbidos más alta (de cuatro) se dio mientras los buzos hacían contacto físico con los tursiones (Tabla 11, periodos 19 y 20), mientras que la mayor emisión de pulsos explosivos (de tres) se dio durante uno de los periodos donde se tuvo el comportamiento de evasión por los tursiones mientras los buzos los perseguían intentando tocar a los tursiones (Tabla 11, periodo 8). En este mismo periodo durante la evasión también se observó un valor alto de número de silbidos (de tres) y de trenes de ecolocalización (de tres). La mayor cantidad de trenes de ecolocalización (de cuatro) se grabó mientras los buzos sólo observaban (Tabla 11, periodos 1 y 5) y los tursiones transitaban o socializaban entre ellos.

Estos resultados sugieren que los trenes de ecolocalización y los silbidos se emiten en un contexto de socialización, mientras que los pulsos explosivos son emitidos en contextos de agresión y socialización. En este trabajo las conductas agresivas no son entre tursiones, como sería abrir la boca y mostrar los dientes o dar aleteos o realizar nados erráticos como ha sido descrito en otros

trabajos (Herzing, 1996), sino que las conductas agresivas son cuando los buzos pretenden tocar a los tursiones sin el consentimiento de los individuos.

Tabla 11. Comportamientos de los once tursiones y 24 buzos y el número de fonaciones observados cada 30 segundos durante 11 minutos en Cabo Pearce, Isla Socorro. Los comportamientos se obtuvieron de la videograbación de la GoPro10 y el número de fonaciones de la grabación acústica del sistema sumergible

Periodo	Comportamiento de buzos	Comportamiento de tursiones	#Silbidos	#Clicks	#Bursts
1	observando	transitando	1	4	0
2	observando	socializando	0	0	2
3	observando	socializando	2	3	0
4	observando	socializando	1	1	1
5	observando	socializando	1	4	1
6	persiguiendo	socializando	1	0	1
7	persiguiendo	evasión	0	2	0
8	Intenta tocar	evasión	3	3	3
9	observando	socializando	1	2	2
10	observando	socializando	0	1	0
11	observando	socializando	0	1	0
12	observando	socializando	0	2	1
13	observando	socializando	0	2	0
14	observando	evasión	0	1	0
15	observando	socializando	0	0	0
16	contacto	socializando	0	1	0
17	contacto	socializando	0	0	0
18	contacto	socializando	0	0	0
19	contacto	socializando	4	0	0
20	contacto	socializando	4	0	0
21	contacto	socializando	0	0	0
22	contacto	socializando	3	0	1
TOTAL			21	27	12

7.4 Análisis de otras variables de interés: sonidos producidos por buzos y uso de luces

De los 237 UM, únicamente se registraron 13 periodos durante los cuales los tursiones estuvieron expuestos a sonidos de alarma o silbatos que los buzos producían (Tabla 12) y se encontró que los tursiones fueron sensibles a los sonidos de alarma o silbatos que los buzos producían cuando se encontraban en comportamientos de crianza y evasión (correlación negativa, Tabla 12), pero no lo fueron cuando se encontraban transitando o socializando (correlación positiva, Tabla 12). Sin embargo, cuando los valores de la Correlación de Spearman se compararon con los valores de correlación críticos teóricos considerando un $\alpha = 0.05$ y un $n = 13$ el valor de p_c de dos colas general es de 0.33983 y los valores particulares son de 0.288, 0.148 y -0.180, los cuales son menores al valor crítico p_t de 0.484, por lo que estas correlaciones no son estadísticamente significativas. Por ello, se sugiere estudiar con detalle el efecto del uso de silbatos en un futuro como un posible disturbio para los tursiones.

Tabla 12. Comportamientos de los tursiones cuando se emitieron sonidos y silbatos de alarma por parte de los buzos y los resultados del análisis estadístico - prueba de Correlación de Spearman

Periodos	Uso de				
	Silbatos	Transitando	Socializando	Crianza	Evasión
1	3	0	0	1	0
2	5	0	0	1	0
3	1	0	0	1	0
4	7	0	1	0	0
5	3	0	0	1	0
6	3	1	0	0	0
7	2	0	0	0	1
8	5	0	0	0	1
9	4	0	1	0	0
10	4	0	0	0	1
11	10	1	0	0	0
12	1	0	0	0	1
13	2	0	1	0	0
TOTAL	50	2	3	4	4
Coefficiente Spearman		0.288	0.148	-0.180	-0.180

De los 237 UM, se registraron 55 periodos durante los cuales los tursiones estuvieron expuestos al *flash* que los buzos producían (Tabla 13). Se encontraron 143 emisiones de flashes cuando los tursiones estaban socializando, 44 cuando estaban en crianza, 39 cuando estaban en evasión y 30 cuando estaban transitando. Los tursiones fueron sensibles a los flashes que los buzos producían cuando se encontraban transitando y en comportamiento de evasión (correlación negativa, Tabla 13), posiblemente porque al no tener cerca a los tursiones de la cámara los buzos dejaron de utilizar el *flash*, pero no lo fueron cuando se encontraban socializando o en comportamiento de crianza (correlación positiva, Tabla 13) dado que las crías y los momentos de socialización son una oportunidad para fotografiar y se usó más el *flash*. Sin embargo, cuando estos valores de la Correlación de Spearman se compararon con los valores de correlación críticos teóricos considerando un $\alpha = 0.05$ y un $n = 55$ el valor de p_c de dos colas es de 0.76267 y los valores particulares son de 0.054, 0.167, -0.042 y -0.077, los cuales son menores al valor crítico p_t de 0.223, por lo que estas correlaciones tampoco son estadísticamente significativas. Por ello, también se sugiere estudiar con detalle el efecto del uso del *flash* en un futuro como un posible disturbio para los tursiones.

Cabe destacar que como los buzos con cámaras hicieron aproximadamente dos veces más uso del *flash* cuando los tursiones estaban socializando cerca de ellos, es posible que se tenga una relación directa con las fonaciones que fueron más abundantes, los trenes explosivos que se han relacionado con un comportamiento agresivo en estos mamíferos marinos. Esto también debe estudiarse con detalle en futuras investigaciones.

Tabla 13. Comportamientos de los tursiones cuando se emitieron disparos de luz con cámaras profesionales o *flash* por parte de los buzos y los resultados del análisis estadístico - prueba de correlación de Spearman.

Periodos	# veces de uso de <i>Flash</i>	Transitando	Socializando	Crianza	Evasión	Comportamiento desplegado
1	5	0	1	0	0	So
2	2	0	1	0	0	So
3	1	0	0	0	1	Ev
4	6	1	0	0	0	Tr
5	10	0	1	0	0	So
6	4	0	1	0	0	So
7	6	0	0	0	1	Ev
8	12	0	1	0	0	So
9	6	0	0	0	1	Ev
10	7	0	1	0	0	So
11	8	0	1	0	0	So
12	1	0	1	0	0	So
13	1	0	0	0	0	Pp
14	8	0	1	0	0	So
15	8	0	0	1	0	Cr
16	6	0	0	1	0	cr
17	30	0	0	1	0	cr
18	2	0	0	0	1	ev
19	1	0	1	0	0	so
20	3	0	1	0	0	so
21	2	1	0	0	0	tr
22	3	0	1	0	0	so
23	1	0	0	1	0	cr
24	1	1	0	0	0	tr
25	2	0	1	0	0	so
26	2	0	1	0	0	so
27	8	1	0	0	0	tr
28	6	0	0	0	1	ev
29	3	0	0	0	1	ev
30	3	0	1	0	0	so
31	5	0	1	0	0	so
32	10	1	0	0	0	tr
33	1	1	0	0	0	tr
34	1	0	0	0	1	ev
35	8	0	1	0	0	so

Tabla 14 (cont). Comportamientos de los tursiones cuando se emitieron disparos de luz con cámaras profesionales o *flash* por parte de los buzos y los resultados del análisis estadístico - prueba de correlación de Spearman

Periodos	# veces de uso de <i>Flash</i>	Transitando	Socializando	Crianza	Evasión	Comportamiento desplegado
36	4	0	1	0	0	so
37	5	0	0	0	1	ev
38	3	0	0	0	1	ev
39	3	0	0	0	1	ev
40	5	0	1	0	0	so
41	3	0	1	0	0	so
42	2	1	0	0	0	tr
43	6	0	1	0	0	so
44	5	0	1	0	0	so
45	3	0	0	0	1	ev
46	1	0	1	0	0	so
47	2	0	1	0	0	so
48	2	0	1	0	0	so
49	6	0	1	0	0	so
50	2	0	1	0	0	so
51	4	0	1	0	0	so
52	11	0	1	0	0	so
53	1	0	1	0	0	so
54	6	0	1	0	0	so
55	1	0	1	0	0	so
Coefficiente Spearman		-0.042	0.054	0.167	-0.077	

8. DISCUSIÓN

Podemos suponer que la cultura es una condición exclusivamente humana, pero los cetáceos muestran una diversidad cultural considerable. Para comprender mejor a los tursiones habría que estudiar el comportamiento, la comunicación, la dinámica social, la migración, la caza cooperativa y las técnicas de búsqueda de alimento aprendidas.

La vida sucede y las criaturas evolucionan porque se transfiere información. El ADN es la principal forma en que la información biológica se transmite de generación en generación. Sin embargo, en los animales que pueden aprender de otros, la información puede pasar de un cerebro a otro como cultura. Esto es especialmente cierto en nuestra propia especie, pero se está acumulando evidencia de que la cultura es vital para la vida de varias especies de ballenas y delfines, al ser también mamíferos. Cantos y llamadas, métodos de alimentación y rutas de migración, nichos ecológicos y redes sociales son todos aspectos de la vida de los cetáceos que los individuos aprenden de los demás a medida que adquieren el conocimiento cultural vital para la supervivencia (Whitehead, 1998). Después de dos décadas de investigar, Norris y Dohl (1980) escribieron que las habilidades de aprendizaje de los delfines “se tradujeron en variaciones locales en el comportamiento del grupo que podríamos llamar cultura”.

Los disturbios de la interacción de humanos y tursiones ha sido estudiado, reportándose más frecuentemente en cautiverio que en vida silvestre, ya que estos no pueden elegir libremente y están bajo condicionamiento operante, al contrario que como sucede en vida silvestre, dónde sí pueden elegir cuándo y con quién iniciar o terminar su interacción (Frohoff y Packard, 1995). En vida silvestre también se pueden presentar disturbios por las conductas perjudiciales de delfines y humanos, ocurriendo en mayor frecuencia con delfines solitarios, ya que existen más casos de intromisión de los humanos hacia estos y más casos de delfines solitarios con comportamiento de intromisión, agresividad, espontaneidad o conducta sexual, esto ocurriendo principalmente en sitios donde los delfines eran alimentos y/o tocados con regularidad (Carzon *et al.*, 2023). Hay

registros de varios delfines solitarios que han sido lastimados y asesinados por los humanos (Samuels *et al.*, 2000).

En comparación con los cambios observables en el comportamiento de la superficie, los impactos de los ruidos subacuáticos en el comportamiento acústico de los cetáceos han recibido menos atención. Los cambios en las características de las vocalizaciones o su producción pueden estar relacionados con niveles elevados de ruido antropogénico asociado con los motores de las embarcaciones (Jensen *et al.*, 2009; Parks *et al.*, 2011; Pirota *et al.*, 2012). La presencia física de los barcos, el tipo de embarcación o el comportamiento de la embarcación durante los encuentros, y la interacción entre estos factores puede ser difícil de desentrañar (Ellison *et al.*, 2012). Tal es el caso de los ruidos producidos por los buzos en su ansiedad de tomar la mejor fotografía o en hacer señales acústicas para llamar la atención de los tursiones y de otros buzos. Como los cetáceos están altamente orientados acústicamente y dependen de señales acústicas durante su vida diaria, son particularmente sensibles a los niveles elevados de ruido (Southall *et al.*, 2008).

Los estudios a largo plazo han sido cruciales para revelar comunidades complejas notables en las que las relaciones se basan en la afiliación, la agresión, el parentesco, el cuidado comunal, la protección, las estrategias de emparejamiento y las redes extendidas (Mann, 2017). Se ha demostrado que su lenguaje es aprendido y enseñan las técnicas de caza heredadas, crean fuertes lazos familiares y aprenden a usar herramientas y algas específicas para curarse heridas (Herzing, 2000). El cuidado materno varía según los taxones, desde un cuidado breve y mínimo hasta un cuidado intensivo a largo plazo (Miketaa *et al.*, 2018) Las madres mamíferas brindan cuidados extensos y energéticamente costosos durante el embarazo y la lactancia, que pueden extenderse durante años, lo que resulta en compensaciones de comportamiento entre la adquisición de recursos y el cuidado directo (Blázquez *et al.*, 2020) En este estudio se mostró que las fonaciones clasificadas como pulsos explosivos o *bursts* que se caracterizan en contextos de agresión en la literatura (Jones *et al.*, 2020) fueron frecuentes en comportamientos de socialización entre tursiones en presencia de buzos.

Adicionalmente, debemos mencionar que el Archipiélago de Revillagigedo es un hábitat donde se desarrollan diferentes etapas cruciales en la vida de los mamíferos marinos y otros animales pelágicos, como lo es la crianza, la alimentación, la reproducción y la socialización. Los resultados del presente estudio coinciden que el sitio de buceo ubicado en la Isla San Benedicto, conocido como: “El Boiler”, es un probable sitio de crianza, al encontrarse el mayor número de crías (Carone *et al.*, 2023). En ambientes marinos, las madres mamíferas se enfrentan a desafíos únicos, como la incapacidad de esconder a sus crías mientras bucean en busca de presas. Los tursiones recién nacidos son precoces y realizan inmersiones poco profundas en las primeras semanas de vida; sin embargo, las capacidades de buceo y contención de la respiración completamente maduras tardan años en desarrollarse. En consecuencia, las madres se enfrentan a una disyuntiva entre bucear y buscar alimento o permanecer cerca y proteger a sus crías en la superficie (Mann, 2017). Ante la presencia de crías de tursiones o de mamíferos marinos durante actividades de buceo o de avistamiento desde embarcaciones se debe considerar emplear un método de observación pasiva debido a que cualquier desgaste de energía compromete la vida de las madres y sus crías, al ser vulnerables en el periodo de crianza. Existe evidencia de maternalismo en el delfín mular, es un patrón de habla que es casi universal en todas las culturas e idiomas entre los cuidadores humanos que interactúan con niños, pero la evidencia entre especies no humanas es escasa una especie que muestra paralelos con los humanos en sus vínculos a largo plazo entre madre e cría y en el aprendizaje vocal de por vida. Las hembras de delfines mulares aumentan la frecuencia máxima y el rango de frecuencia de las mismas vocalizaciones (silbidos firma) cuando están en presencia o ausencia de descendencia, de forma paralela a cambios similares en el lenguaje materno humano. El cuidado maternal puede facilitar el aprendizaje vocal y la vinculación tanto en no humanos como en humanos. (Saying *et al.*, 2024). Por lo que es necesario conocer las reglas de operación del parque, la normatividad y la legislación aplicable en cada área donde se desarrollen actividades recreativas turísticas para impactar al mínimo las poblaciones.

El ruido antropogénico tiene efectos perjudiciales sobre los mamíferos marinos, incluido un aumento del estrés, cambios de comportamiento y enmascaramiento auditivo (Nowacek *et al.*,

2007). En muchas ocasiones los espectadores y turistas hacen una interpretación subjetiva y humanizada de los comportamientos de los animales, sin embargo, muchas de las señales de comunicación en cetáceos son mal interpretadas por los humanos. Por ejemplo, en el caso de las ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) y otros cetáceos, se observa con regularidad que ante la presencia de embarcaciones los animales golpean con la aleta caudal. Esto podría interpretarse como un saludo o, por el contrario, también podría interpretarse como una señal de comunicación con sus congéneres o estar siendo empleada como una señal de disturbio. Se desconoce cuántas de estas actividades representan comunicación de percusión, expresiones de frustración después de interacciones sexuales o no tienen otra función que el juego (Würsig y Koski, 2021). Para muchos de los cetáceos es difícil interpretar las señales de comunicación o bien leer sus gestos o comportamientos, por lo cual los métodos empleados útiles para su estudio son la bioacústica y la etología.

La emoción es un ejemplo de un estado de excitación positivo (Neal y Caine, 2016) y se estudia con menos frecuencia como excitación negativa. La evaluación precisa de la emoción animal (afecto) es un objetivo importante en la ciencia del bienestar animal y en áreas como la neurociencia. No se dispone de una medida directa de la emoción consciente, por lo que la evaluación de los efectos animales se ha basado en medidas de los componentes conductuales y fisiológicos de los estados afectivos. Estos son indicadores importantes, pero tienen algunas limitaciones como medir la excitación emocional en lugar de la valencia comportamental, positivo frente a negativo (Watson *et al.*, 1999; Russell, 2003). Por lo tanto, este trabajo de investigación sobre el comportamiento de los tursiones en vida libre con buzos es un estudio base que permitirá seguir explorando el uso de las fonaciones en contextos de socialización en vida libre con el objetivo de obtener parámetros comprobables de bienestar animal que nos permitan comparar otros escenarios con la misma especie, como el cautiverio.

Desde la última revisión exhaustiva de los efectos del ruido antropogénico en los cetáceos en 1995 se ha publicado un número sustancial de informes de investigación y ha mejorado nuestra capacidad para documentar las respuestas, o la falta de ellas (Nowacek *et al.*, 2007). Si bien la

medición rigurosa de las respuestas sigue siendo importante, existe una creciente necesidad de interpretar las acciones observadas en el contexto de las consecuencias a nivel de la población y los niveles de exposición aceptables. Aun cuando en general, las fuentes de ruido de mayor preocupación son los barcos, la exploración sísmica y los sonares de todo tipo, en este estudio se muestran evidencias preliminares de que los ruidos ocasionados por los buzos en actividades de avistamiento recreativo se pueden asociar al comportamiento de los tursiones tanto con efectos positivos como negativos.

La presencia de embarcaciones motorizados es una causa del ruido. Las respuestas al ruido se dividen en tres categorías principales: conductuales, acústicas y fisiológicas (Nowacek *et al.*, 2007). Las respuestas de comportamiento incluyen cambios en los patrones de salida a la superficie, inmersión y rumbo. Las respuestas acústicas incluyen cambios en el tipo o el momento de las fonaciones en relación con la fuente de ruido. Para las respuestas y consecuencias fisiológicas de las especies marinas se pueden considerar el estrés y la medición de su umbral auditivo como métodos confiables para determinar disturbios (Nowacek *et al.*, 2007). Cabe resaltar que según el programa de manejo del PNR, las subzonas en las islas de Revillagigedo son hábitat de diversas especies, incluyendo varias catalogadas en categoría de riesgo por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2010. Por ello es necesario determinar medidas que impulsen su conservación y permanencia.

Una acción pertinente para conservar las especies, así como la integridad de los visitantes, es prohibir acosar, perseguir, montar y tocar especies de fauna y flora marina, ya que las reacciones a corto plazo en los animales frente a un factor estresante varían interespecíficamente y se manifiestan cuando los individuos se esconden, huyen, atacan o interrumpen sus actividades. Asimismo, las reacciones de éstos frente a las actividades turísticas pueden involucrar situaciones de peligro, ya que en términos de reacciones como de comportamientos por parte de las especies estos pueden ser inciertos. La capacidad de carga efectiva calculada en el 2014 para siete sitios de buceo autónomo seleccionados en el Parque Nacional Revillagigedo estimó un total de 27 mil 678 inmersiones, entre todos los prestadores de servicios. Sin embargo, para la temporada 2023

las inmersiones totales alcanzan aproximadamente las 71 mil 631; es decir, se ha incrementado gradualmente y se espera que esta tendencia continúe, lo que hace necesario establecer límites cada temporada de buceo. Es importante mencionar que la Isla Socorro es la más visitada en relación con las otras islas del Archipiélago, por lo que los encuentros son más frecuentes.

Los resultados de este estudio tienen el objetivo de tener puntos de comparación para detectar cambios de los tursiones como consecuencia de la actividad turística, así como de poder sentar un estudio base en el manejo del PNR en la interacción con delfines durante el buceo. El estudio de tursiones en vida libre estudiando comportamientos con humanos y sus fonaciones pueden ser útiles también para establecer parámetros de bienestar animal en situación de cautiverio con mamíferos marinos. Ambas aplicaciones tienen un importante aspecto social, cultural y económico.

Durante los encuentros con buzos y tursiones en el PNR se identificó que en los casos de socialización con un nivel de interacción en posición vertical y de contacto la mayoría de los tursiones fueron machos juveniles y adultos, los cuales se aproximaron a los buzos de forma voluntaria o inducida por el buzo al intentar hacer contacto físico. Este tipo de conductas se distinguen en comparación de otras poblaciones silvestres de tursiones, por lo que sugiere que la adaptación y tolerancia a los buzos que hacen uso de su mismo hábitat no representa un riesgo para los tursiones.

Este estudio es pionero en el campo de la comprensión de los tursiones en vida libre y da pautas que pueden generar elementos importantes para futuros proyectos de investigación. Los mamíferos marinos tienen una complejidad social y comunicativa muy elevada que aún está poco comprendida. Los humanos hemos sido estudiados desde los primeros filósofos griegos, pero aún queda espacio para nuevos descubrimientos y modelos sociales. Para los mamíferos marinos que viven en un ambiente de difícil acceso para nosotros los humanos, es aún más largo el camino para llegar a una comprensión lo mínimo suficiente para definir su comportamiento real.

Los resultados de la investigación presente realizada en el Archipiélago de Revillagigedo apoyan y confirman que los tursiones han desarrollado adaptación y tolerancia ante la presencia de los buzos. La constante visitación durante los meses de noviembre a mayo nos puede ayudar a entender el uso del hábitat y se sugiere continuar con la identificación de individuos que realizan aproximación y contacto con los buzos para determinar si son los mismos ejemplares y si la conducta se va desarrollando y transmitiendo entre los miembros del grupo. Sin embargo, la falta de infraestructura adecuada, la lejanía con el continente, la dificultad de acceder a las partes terrestres de la reserva y su condición como ANP no brindan un fácil acceso a las islas del archipiélago. No obstante, es posible captar la atención de buceadores y ecoturistas en general (observadores de la naturaleza) que visitan las aguas de la reserva al ofrecer pláticas, exhibiciones y actividades educativas en los puertos de salida de las embarcaciones que influyan en el mayor respeto y conservación de los recursos naturales de la reserva y de México. El creciente número de visitantes, atraídos principalmente por la belleza de sus aguas y por la diversidad y abundancia de peces pelágicos mayores (p. ej., tiburones, mantas y atunes) y mamíferos marinos (p. ej., ballenas) se ha convertido en una forma de captar recursos económicos para un importante sector de prestadores de servicios turísticos de Baja California Sur, Sinaloa, Sonora y Colima, principalmente.

El incremento de la visitación del “turismo de vida a bordo” o viajes en barcos de buceo que van de 8 a 10 días han hecho del Archipiélago de Revillagigedo un lugar reconocido internacionalmente por buzos, fotógrafos, investigadores y conservacionistas debido a la gran diversidad de animales pelágicos y mamíferos marinos que habitan en el área, además de la impresionante abundancia de biomasa, lo que lo convierte en un lugar único, imponente y majestuoso por sus paisajes marinos. La región es uno de los corredores biológicos y migratorios más importantes del océano Pacífico Oriental Tropical, por ello su conservación y preservación es prioridad y está a cargo de la CONANP. Esta ANP es clave para la conservación y su estudio, el monitoreo y la vigilancia son actividades primordiales y de suma importancia para controlar y ordenar el crecimiento turístico y pesquero en las áreas adyacentes, resaltando que el Archipiélago de Revillagigedo Patrimonio Mundial Natural por la UNESCO con una riqueza

biológica incomparable y con características muy peculiares en la adaptación de especies pelágicas y mamíferos marinos ante la presencia de buzos. Es por ello la importancia de estudiar a las especies y generar buenas prácticas de forma responsable, respetuosa y entendiendo la dinámica de las especies en términos de esfuerzo de energía.

Debido a lo remoto del lugar de estudio, la vigilancia y monitoreo por parte de la CONANP es limitada y aunque existe la base Naval en la Isla Socorro donde se encargan los militares de realizar inspecciones aleatorias a los barcos y verifican la lista de asistencia. Estas medidas no resultan lo suficientemente sólidas para verificar el cumplimiento del plan de manejo y códigos de conducta sugeridos para la interacción con la megafauna durante el buceo, por lo que la capacitación y comunicación con los operadores de turismo, guías y visitantes resulta clave para poder dar a conocer conductas importantes para evitar el disturbio a tursiones, mantas, ballenas o tiburones. Los tursiones se lograron observar bajo el agua con frecuencia en Isla Socorro, San Benedicto e Isla Clarión. El material videográfico fue poco, sin embargo, mediante entrevistas realizadas a los guías de buceo durante las salidas de investigación, éstos afirmaron que los tursiones se muestran en la mayoría de las inmersiones sociales e interesados por el grupo de buzos, suponiendo que no son encuentros muy comunes en Isla Clarión, por lo que la adaptación y tolerancia como un tipo de conducta desarrollada concuerda con estudios previos donde los animales silvestres pueden convivir con el humano y pueden disminuir su instinto de alerta contra la depredación (Geffroy *et al.*, 2015). En tursiones se ha visto que los que viven sin contacto humano tienen rangos de hogar más amplios a los que regularmente interactúan con humanos (Samuels y Bejder, 2003).

9. CONCLUSIONES

Los comportamientos de los delfines que predominaron durante las observaciones fue un 48% socializando, 34% evasión, 11% transitando, 5% crianza y 2% persecución de peces. Los resultados mostraron un comportamiento mayormente social de los tursiones hacia los buzos, seguido por un comportamiento de evasión.

El objetivo general de esta investigación se cumplió al lograr identificar y medir siete diferentes tipos comportamientos de los tursiones ante la presencia e interacción con buzos durante inmersiones realizadas en el PNR durante los años comprendidos de 2018 al 2022. De la misma forma se identificó y se analizaron los niveles de interacción y su relación entre especies. En cuanto a las interacciones de tursiones con otras especies se avistaron con mayor frecuencia con mantas gigantes, aunque también con ballenas jorobadas y tiburones martillo. Con las mantas gigantes los tursiones hicieron contacto físico principalmente con la boca y las aletas pectorales.

Considerando el aumento de visitación en el número de buzos incrementándose en un 148% con relación al 2017, año el cual se decretó como Área Natural Protegida Parque Nacional. La hipótesis planteada se acepta, dado que existió una relación entre el comportamiento de los buzos y el comportamiento de los tursiones.

En el sitio de buceo El Boiler, ubicado en la Isla San Benedicto, hubo más presencia de crías y es probable que los tursiones hagan uso de este hábitat como un sitio de crianza. Los avistamientos de crías fueron recurrentes en los meses de mayo, noviembre y diciembre.

Se encontró que el uso de grabaciones acústicas obtenidas con el sistema GoPro10 no es adecuado, debido a que las cámaras sumergibles tienen un ancho de banda o rango de frecuencias limitado para grabar sonidos, por lo que no se graba toda la energía contenida en las fonaciones. Además, con el sistema GoPro10 tampoco se captan todas las fonaciones emitidas por los tursiones, ya que el sistema sumergible captó tres veces más fonaciones que el sistema

GoPro10 También se encontró que los pulsos explosivos fueron emitidos en menor cantidad y durante comportamientos de evasión, por lo que se sugiere estudiar con detalle la ocurrencia de las fonaciones y el uso de los pulsos explosivos en otros escenarios.

En tres de los setenta encuentros se registró a tursiones cargando en sus aletas trozos de bolsas de plástico, subrayando la necesidad de una gestión efectiva de los residuos sólidos. Ante el creciente turismo por buceo, esta investigación aboga por la implementación de prácticas óptimas y emite recomendaciones específicas al PNR para sensibilizar a los operadores turísticos y a los buzos sobre la importancia de un manejo sustentable de los ecosistemas.

9.1 Recomendaciones

Debido a que las actividades de buceo representan una oportunidad de conservación, de ciencia ciudadana, de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de observación de las especies en su hábitat natural, se considera que las actividades de buceo pueden ser una herramienta de monitoreo en pro del Parque Nacional Revillagigedo siempre que se lleven a cabo de una manera óptima, segura y respetuosa con la naturaleza. A continuación, se dan algunas recomendaciones, con base en lo listado en la Tabla 14:

- Buzos, guías y operadores de turismo deben respetar y conocer el plan de manejo del PNR en cuanto a su comportamiento de interacción con la vida marina y a la capacidad de carga en los sitios de buceo, por lo que los guías del PNR deben explicar a todos los buzos la información relevante de este plan de manejo y deben contar con las certificaciones, capacitaciones y requisitos correspondientes.
- Implementar un manejo óptimo de los residuos sólidos para únicamente descargar residuos orgánicos al mar, ya que, en su mayoría, no vienen debidamente separados de plásticos y otra basura no biodegradable, o preferentemente descargar dichos residuos orgánicos en los puertos al congelarlos durante su traslado debidamente marcados como desechos orgánicos.

- Minimizar el uso de luces fijas y sonidos de alarma producidas por los buzos cuando existe la presencia de tursiones.
- Evitar comportamientos de persecución, acoso o intentar tocar a los tursiones, fomentando la observación de las especies desde una distancia, ya que es una mejor práctica en la cual los tursiones van a ser libres de interactuar con los buzos sin presión y sin provocar un cambio de conducta que podría afectar al grupo de tursiones.
- En presencia de crías se debe permanecer observando desde una mayor distancia.
- Hacer sinergia entre academia, gobierno y sector turístico para compartir información proveniente de la ciencia ciudadana que puede aportar conocimiento de las especies y los ecosistemas, como se hizo en el presente estudio.

Tabla 15. Indicaciones de manejo para promover el bienestar animal, la seguridad humana y el establecimiento de actividades sostenibles que se enumeran con ejemplos dados en la literatura revisada (tomado de Carzon *et al.*, 2023)

Minimización de la intervención humana	Desalentar enérgicamente la habituación, el condicionamiento y cualquier tipo de interacción con los humanos; mantener en secreto la identidad y ubicación de delfines solitarios y sociables	<i>Spradlin et al. (1999, 2001); Wilke et al. (2005); Corkeron (2006); Christiansen et al. (2016); Goodwin y Dodds (2019); Nunny y Simmonds (2019)</i>
Precautorios, específicos del sitio, adaptación y gestión	Considerar las amenazas del impacto adverso significativo sobre los patrones de comportamiento o bienestar fisiológico de las poblaciones locales de delfines, así como dar a conocer prácticas responsables de observación de cetáceos y compartir las preocupaciones acerca de la seguridad de los visitantes y los impactos en las especies, se sugiere regularmente ajustar y mejorar las acciones de gestión con los sectores involucrados	<i>Higginbottom et al. (2003); Constantine et al. (2004); Scarpaci et al. (2004); Allen et al. (2007); Carlson (2012); Fumagalli et al. (2019); Barnhill et al. (2022)</i>
Colaboración entre partes interesadas	Operadores turísticos, conservacionistas, académicos, instituciones, gobierno, agencias y la población local deben mostrar respeto mutuo, comunicarse entre ellos, compartir información y monitorear las prácticas actuales	<i>Scarpaci et al. (2004); Allen et al. (2007); Lewis y Walker (2018); Nunny y Simmonds (2019)</i>

	para asegurar que las actividades son gestionadas de forma sostenible	
Fácilmente entendido, adaptado y hacer cumplir las regulaciones	Los permisos deben ser otorgados por una autoridad competente; designar áreas protegidas basadas en los hábitats preferidos por los delfines para socializar, descansar y alimentarse; prohibición de actividades intrusivas; designar distancias seguras; zonificación temporal; número restringido de operadores, buques y nadadores; guardaparques en el sitio; inspección independiente de las actividades que se llevan a cabo; sanciones por incumplimiento; publicación de campañas de aplicación de la ley	<i>Green y Higginbottom (2001); Birtles et al. (2002); Constantine et al. (2004); Scarpaci et al. (2004); Wilke et al. (2005); Corkeron (2006); Cunningham-Smith et al. (2006); Allen et al. (2007); Carlson (2012); Christiansen et al. (2016); Powell et al. (2018)</i>
Seguimiento científico	Realización de estudios ambientales, sociales y de capacidad de carga económica de la actividad de buceo; continuo monitoreo ecológico, biológico y seguimiento del comportamiento de delfines objetivo de las actividades; evaluación de la eficacia de la gestión y fijar límites aceptables de los cambios en el comportamiento de los delfines	<i>Kinsman y Frohoff (2005); Corkeron (2006); Carlson (2012); Lewis y Walker (2018); Barnhill et al. (2022)</i>
Educación, formación y supervisión	Formación de operadores turísticos y otras partes interesadas; sesiones informativas completas en múltiples idiomas que incluyan información del comportamiento de los delfines y detalles sobre la regulación, los riesgos y el protocolo a seguir; campañas públicas que desarrollen la conciencia de que los animales silvestres no se comportan como lo hacen los de zoológicos o acuarios; presencia de un guía adecuado que esté capacitado para supervisar personas, evitar conductas intrusivas y de comportamientos irrespetuosos hacia los animales y actuar como un valioso agente de conservación	<i>Finlay et al., 1988; Forestell (1993); Orams (1994); Kinsman y Frohoff (2005); Curtin (2010); Carlson (2012); Christiansen et al. (2016); Bach y Burton (2017); Lewis y Walker (2018); Nunny y Simmonds (2019)</i>
Responsable comunicación	Fomentar expectativas realistas para evitar la decepción de los visitantes y el ejercer presión sobre los animales; evitar la comunicación de experiencias de nado con cetáceos y actividades de contacto físico con delfines, no fomentar la promoción de actividades ilegales	<i>Corkeron (2006); Pirota et al. (2014)</i>

	y promover la formación de operadores turísticos responsables	
Ecoturismo genuino	Promocionar visitas de varios días que dar más tiempo para educar al público y disminuir la presión sobre los animales; incorporar otras actividades para redirigir el foco del recorrido alejado de los delfines; involucrar al público en las tomas de datos a través de la ciencia ciudadana; proporcionar beneficios a comunidades locales	<i>Scarpaci y Parsons (2014)</i>
Programas de financiamiento de conservación	Pago de una entrada y/o tarifa de permiso utilizada para financiar programas de conservación locales	<i>Kessler y Harcourt (2010)</i>

Por ello, se sugiere seguir las reglas de operación del Parque Nacional Revillagigedo, es decir, observar a la fauna marina sin acosar o intentar tocar para evitar disturbios y cambios en los comportamientos de los animales.

También se recomienda tener un control de los niveles de carga en los sitios de buceo, así como asegurar que los operadores y guías de buceo están informados y cuenten con material proporcionado por el PNR sobre las practicas turísticas y los códigos de ética e interacción con las diversas especies para disminuir el impacto en la vida diaria de los cetáceos y otros animales pelágicos que habitan el área. Respecto al tipo de interacción con tursiones, se recomienda que los buzos adopten un comportamiento de observación pasiva, como se ilustra en la (Fig. 26).

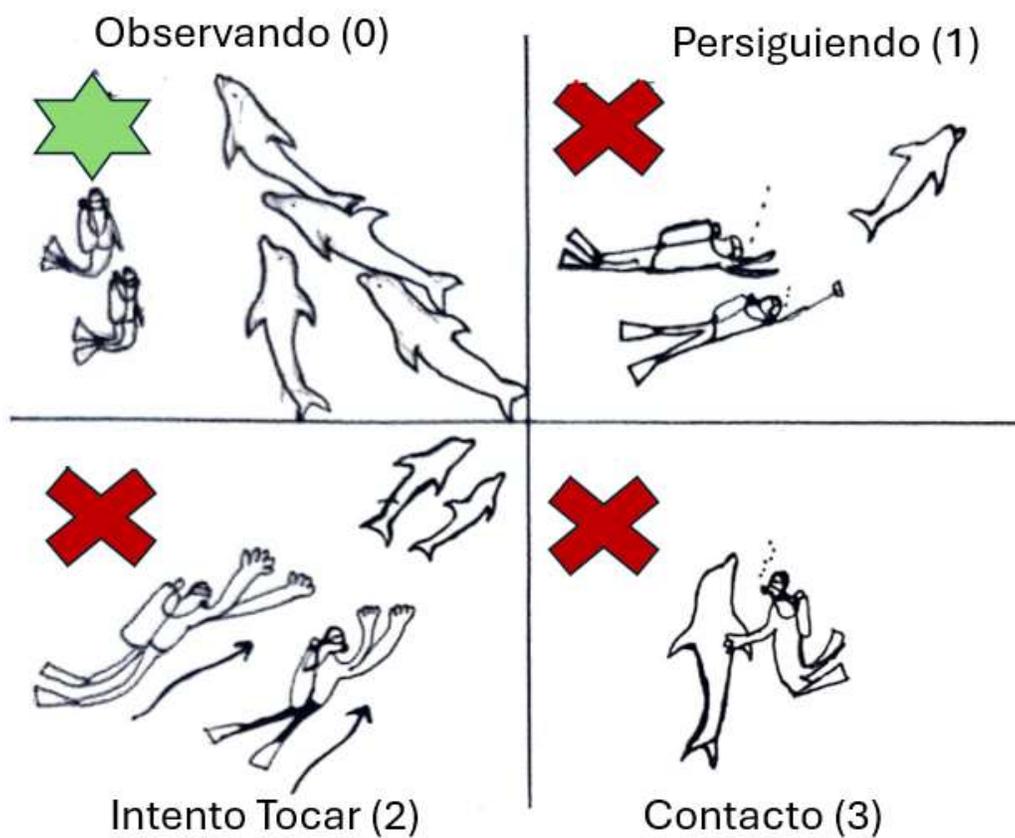


Figura 26. Ilustración del nivel de comportamiento de los buzos hacia los tursiones en relación con los comportamientos observados de los buzos que se describen en la Tabla 6.

10. LITERATURA CITADA

- Allen, S., Smith, H., Waples, K. & Harcourt, R. (2007). The voluntary code of conduct for dolphin watching in Port Stephens, Australia: is self-regulation an effective management tool? *Journal of Cetacean Research and Management*, 9(2): 159-166. DOI: 10.47536/jcrm.v9i2.684
- Aguilar de Soto, N., Johnson, M., Madsen, P. T., Tyack, P. L., Bocconcelli, A. & Fabrizio Borsani, J. (2006). Does intense ship noise disrupt foraging in deep-diving Cuvier's beaked whales (*Ziphius cavirostris*)? *Marine Mammal Science*, 22(3): 690-699. DOI: 10.1111/j.1748-7692.2006.00044.x
- Arcos-Aguilar, R., Favoretto, F., Kumagai, J. A., Jiménez-Esquivel, V., Martínez-Cruz, A. L. & Aburto-Oropeza, O. (2021). Diving tourism in Mexico economic and conservation importance. *Marine Policy*, 126, 104410. DOI:10.1016/j.marpol.2021.104410
- Au, W. W. L. (1993). *The sonar of dolphins*. Springer, New York. ISBN 978-0-387-97835-2, doi.org/10.1007/978-1-4612-4356-4
- Au, W. W. L. & Hastings, M. C. (2009). *Principles of marine bioacoustics*. Springer, New York. doi.org/10.1007/978-0-387-78365-9
- Au, W. W. L. & Banks, K. (1998). The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 103(1): 41-47.
- Au, W. W. L. & Lammers, M. O. (2007). Cetacean acoustics, en: *Handbook of Acoustic*, edited by T. Rossing. Springer, New York, pp. 805-837.
- Bach, L., & Burton, M. (2017). Proximity and animal welfare in the context of tourist interactions with habituated dolphins. *Journal of Sustainable Tourism*, 25(2): 181-197. DOI: 10.1080/09669582.2016.1195835
- Barnhill, K. A., Scott, J., Clark, H. P. & Smith, A. J. (2022). Human-bottlenose dolphin interactions within wildlife tourism, ocean recreation and fisheries. *Coastal Studies & Society*, 1(2-4): 140-155. <https://doi.org/10.1177/26349817221117440>
- Bazúa Durán, C. (2010). Sonidos en el mar: el delfín y el camarón tronador. Revista Ciencia UNAM (enero-abril 2010), https://amc.mx/revistaciencia/images/revista/61_1/PDF/07-RuidoAmbiental_61_1.pdf
- Berta, A., Sumich, J. L. & Kovacs, K. M. (2005). *Marine mammals: evolutionary biology*. Academic Press Elsevier, San Diego, CA. ISBN 13:978-0-12-369499-7.
- Birtles, Alastair., Valentine, Peter., Curnock, Matt., Arnold, Peter y Dunstan, Andrew (2002). *Incorporating visitor experiences into ecologically sustainable dwarf minke whale tourism in the northern Great Barrier Reef*. CRC Reef Research Centre Technical Report, 42, 1-65. <http://rrrc.org.au/wp-content/uploads/2014/04/Technical-Report-42.pdf>
- Blázquez, M., Baker, I., O'Brien, J. M. & Berrow, S. D. (2020). Population viability analysis and comparison of two monitoring strategies for bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Shannon Estuary, Ireland, to inform management. *Aquatic Mammals*, 46(3): 307-325, DOI 10.1578/AM.46.3.2020.307
- Blomqvist, C. & Amundin, M. (2004). High-frequency burst-pulse sounds in agonistic/aggressive interactions in bottlenose dolphins, (*Tursiops truncatus*), en: *Echolocation in bats and dolphins*. Edited by J. A. Thomas, C.F. Moss & M. Vater. University of Chicago Press, Chicago. pp. 425–455.
- Boissy, A., Manteuffel, G., Jensen, M.B., Moe, R.O., Spruijt, B., Keeling L.J., Winckler, C., Forkman, B., Dimitrov, I., Langbein, J., Bakken, M., Veissier, I. & Aubert, A. (2007). Assessment of positive

- emotions in animals to improve their welfare. *Physiology Behavior*, 92(3): 375–397. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.02.003> PMID: 17428510
- Bossart, G. D. (2011). Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. *Veterinary Pathology*, 48(3): 676-690. DOI: 10.1177/0300985810388525
- Brill, R. L., Sevenich, M. L., Sullivan, T. J., Sustman, J. D. & Witt, R. E. (1988). Behavioral evidence for hearing through the lower jaw by an echolocating dolphin (*Tursiops truncatus*). *Marine Mammal Science*, 4(3): 223-230. DOI: 10.1111/j.1748-7692.1988.tb00203.x
- Bullock, T. H., Ridgway, S. H. & Suga, N. (1971). Acoustically evoked potentials in midbrain auditory structures in sea lions (Pinnipedia). *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, 74: 372-387. DOI: 10.1007/BF00341402.
- Caldwell, M. C. & Caldwell, D. K. (1979). The whistle of the Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) -ontogeny. En *Behaviour of marine animals*, editrd by H. E. Winn. Plenum Press, New York, pp. 369-401.
- Caldwell, M. C., Caldwell, D. K. & Tyack, P. L. (1990). Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin. En *The Bottlenose Dolphin*. Edited by S. Leatherwood & R. R. Reeves. Academic Press, San Diego, pp. 199-234.
- Capaldo T. (2004) The psychological effects on students of using animals in ways that they see as ethically, morally or religiously wrong. *Alternatives to Laboratory Animals*. 32(1): 525-31. doi: 10.1177/026119290403201s85. PMID: 23581130.
- Carlson, C. A. (2012). Whale watching and its impact: The role of academia in sound management. *Journal of Environmental Planning and Management*, 55(3):377-392. DOI: 10.1016/j.tmp.2023.101120
- Carone, E., Lizardi, F. L., Favoretto, F., Rivas, J. E. H. & Nanduca, H. R. (2023). Revillagigedo Archipelago, Mexico: A probable calving area for common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Aquatic Mammals*, 49(2): 121-129. DOI:10.1578/AM.49.2.2023.121
- Carzon, P., Clua, É., Dudzinski, K.M. & Delfour, F., (2023). Deleterious behaviors and risks related to close interactions between humans and free-ranging dolphins: A review. *Biological Conservation*, 279: 109948. DOI: 10.1016/j.biocon.2023.109948
- Cavalli-Sforza, L. L. & Feldman, M. W. (1981). *Cultural transmission and evolution: A quantitative approach* (No. 16). Princeton University Press, New Jersey.
- Christiansen, F., Bertulli, C. G., Rasmussen, M. H. & Lusseau, D. (2016). Estimating cumulative exposure of wildlife to non-lethal disturbance using spatially explicit capture-recapture models. *Journal of Wildlife Management*, 80(2):161-175. <https://doi.org/10.1002/jwmg.1009>
- CONANP (2019). Programa de Manejo Parque Nacional Revillagigedo, <https://www.conanp.gob.mx/programademanejo/PMRevillagigedo.pdf>
- Constantine, R., Brunton, D. H. & Dennis, T. (2004). Dolphin-watching tour boats change bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) behaviour. *Biological Conservation*, 117(3):299-307. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.12.009>
- Cook, M. L., Sayigh, L. S., Blum, J. E. & Wells, R.S. (2004). Signature-whistle production in undisturbed free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Proceedings of the Royal Society of London [Biol.]*; 271(1543):1043–1049. <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2610> PMID: 15293858

- Corkeron, P. J. (2006). How shall we watch whales? En: *Gaining ground: In pursuit of ecological sustainability*. The International Fund for Animal Welfare and the University of Limerick, London, Canada, pp. 161-172.
- Costa, D. P. (1993). The secret life of marine mammals novel tools for studying their behavior and biology at sea. *Oceanography*, 6(3): 120-128.
- Cunningham-Smith, P., Colbert, D. E., Wells, R. S. & Speakman, T. (2006). Evaluation of human interactions with a provisioned wild bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) near Sarasota Bay, Florida, and efforts to curtail the interactions. *Aquatic Mammals*, 32(3): 346-356.
- Curtin, S. (2010). Managing the wildlife tourism experience: The importance of tour leaders. *International Journal of Tourism Research*, 12(3): 219-236. <https://doi.org/10.1002/jtr.748>
- Curry, B.E. (1999). Stress in mammals: The potential influence of fishery-induced stress on dolphins in the Eastern Tropical Pacific Ocean. Southwest Fisheries Science Center, California (U.S.) <https://books.google.com.mx/books?id=8Z530AEACAAJ>
- Deecke, V. B., Ford, J. K. & Slater, P. J. (2005). The vocal behaviour of mammal-eating killer whales: communicating with costly calls. *Animal Behaviour*, 69(2):395-405. DOI: 10.1016/j.anbehav.2004.04.014
- Defran, R. H. & Pryor, K. W. (1980). The behavior and training of cetaceans in captivity. En: *Cetacean behavior: mechanisms and functions*, edited by L. M. Herman. Wiley, New York, pp. 14-304.
- Dekeling, R.P.A., Tasker, M.L., Van der Graaf, A.J., Ainslie, M.A, Andersson, M.H., André, M., Borsani, J.F., Breusing, K., Castellote, M., Cronin, D., Dalen, J., Folegot, T., Leaper, R., Pajala, J., Redman, P., Robinson, S.P., Sigray, P., Sutton, G., Thomsen, F., Werner, S., Wittekind, D. & Young, J.V. (2013). Monitoring guidance for underwater noise in european seas - Executive Summary. 2nd Report of the Technical Subgroup on Underwater Noise (TSG Noise). November 2013. *MSFD Technical Sub-Group on Underwater Noise*. <https://www.cbd.int/doc/meetings/mar/mcbem-2014-01/other/mcbem-2014-01-submission-msfd-03-en.pdf>
- Del Moral-Flores, L. F., Gracian-Negrete, J. M. & Guzmán-Camacho, A. F. (2016). Fishes of Archipelago of Revillagigedo Islands: a systematic and biogeographic update. *BIOCYT Biología Ciencia y Tecnología*, UNAM, Mexico. 9(34): 596-619.
- Dierauf, L. (2001). Stress in marine mammals. En: *CRC handbook of marine mammal medicine* (2 ed). Edited by L. Dierauf & F. Gulland. CRC Press, Washington, D.C pp. 253-269.
- Dolman, S. & Simmonds, M. (2010). Towards best environmental practice for cetacean conservation in developing Scotland's marine renewable energy. *Marine Policy*, 34(5):1021-1027. DOI: 10.1016/j.marpol.2010.02.009
- Dos Santos, M., Louro, S., Couchinho, M. N. & Brito, C. M (2005). Whistle characteristics of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Sado Estuary, Portugal. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(8):1547-1558. DOI: 10.1578/AM.31.4.2005.453
- Dudzinski, K. M., Thomas, J. A. & Gregg, J. D. (2009). Communication in marine mammals. En: *Encyclopedia of marine mammals*. Edited by Perrin W, Wursig B, Thiesselwait. Academic Press, Cambridge, pp. 260-269. ISBN 978012373553
- Ellison, W. T., Southall, B. L., Clark, C. W. & Frankel, A. S. (2012). A new context-based approach to assess marine mammal behavioral responses to anthropogenic sounds. *Conservation Biology*, 26(1):21-28. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2011.01803.x

- Esch, H. C., Sayigh, L. S., Blum, J. E. & Wells, R. S. (2009). Whistles as potential indicators of stress in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Journal of Mammalogy* 90: 638-650. DOI:10.1644/08-MAMM-A-069R.1
- Evans, P. G. & Raga, J. A. (Eds.). (2012). *Marine mammals: biology and conservation*. Springer Science & Business Media. ISBN 978-0-30-46573-4, pp. 136-189, DOI 10.1007/978-1-415-0529-7
- Finlay, Barbara L., Darlington, Richard B. y Nicastro, Nicholas (1988). Developmental structure in brain evolution. *Behavioral and Brain Sciences*, 11(1):1-16. DOI:10.1017/S0140525X00053616
- Forestell, P. H. (1993). If leviathan has a face, does Gaia have a soul? Incorporating environmental education in marine eco-tourism programs. *Ocean & Coastal Management*, 20(3): 267-282. DOI: 10.1016/0964-5691(93)90068-D
- Frohoff, T.G. (2004). Stress in dolphins. En: *Encyclopedia of animal behavior*. Edited by M. Bekoff. Greenwood Press, Westport, Connecticut, 1274 pp. 1158-1164
- Frohoff, T. G. & Packard, J. M. (1995). Human interactions with free-ranging and captive bottlenose dolphins. *Anthrozoös*, 8(1): 44-53. DOI: 10.2752/089279395787156527
- Fumagalli, M., Cesario, A., Costa, M., Notarbartolo-di-Sciara, G., Harraway, J. & Slooten, E., (2019). Population ecology and the management of whale watching operations on a data-deficient dolphin population. *Ecology and Evolution*, 9(18): 10442-10456. DOI:10.1002/ece3.5565.
- Geffroy, B., Samia, D. S., Bessa, E. & Blumstein, D. T. (2015). How nature-based tourism might increase prey vulnerability to predators. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(12):755-765. DOI: 10.1016/j.tree.2015.09.010
- Goldbogen, J. A., Friedlaender, A. S., Calambokidis, J., McKenna, M. F., Simon, M., & Nowacek, D. P. (2013). Integrative approaches to the study of baleen whale diving behavior, feeding performance, and foraging ecology. *BioScience*, 63(2): 90-100. DOI: 10.1525/bio.2013.63.2.5
- Goodwin, L. & Dodds, M., (2019). Lone rangers: A report on solitary dolphins and whales including recommendations for their protection. 2nd ed. Marine Connection. <https://marineconnection.org/wp-content/uploads/2019/07/Lone-Rangers-Second-Edition-2019.pdf>
- Gottlieb, D. H., Coleman, K. & McCowan, B. (2013). The effects of predictability in daily husbandry routines on captive rhesus macaques (*Macaca mulatta*). *Journal Applied Animal Behaviour Science*, 143(2-4):117-27. DOI: 10.1016/j.applanim.2012.10.010 PMID: 23439920
- Grau, E., Fililla C., S. & Aguilar V., A. (1980). Cetaceans stranded, captured or sighted in the Spanish Coasts during 1976-1979. *Boletín de la Institución Catalana de Historia Natural*, 45 (Sec. Zool., 3): 167-179. <https://raco.cat/index.php/ButlletíIcHN/article/view/232982>.
- Green, R. & Higginbottom, K. (2001). Negative effects of wildlife tourism on wildlife. En: *Wildlife Tourism Research Report Series: N°5, Status Assessment of Wildlife Tourism in Australia Series. CRC Tourism*. https://www.wildlifetourism.org.au/wp-content/uploads/2018/01/Negative_Effects_of_Wildlife_Tourism_on_Wildlife.pdf
- Gridley, T., Berggren, P., Cockcroft, V. G. & Janik, V. M. (2012). Whistle vocalizations of Indo-Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) inhabiting the south-west Indian Ocean. *Journal of the Acoustical Society of America*, 132: 4032-4040. DOI: 10.1121/1.4763990
- Harley, H. E. (2008). Whistle discrimination and categorization by the Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): A review of the signature whistle framework and a perceptual test. *Behavioural Processes*, 77(2): 243-268. DOI: 10.1016/j.beproc.2007.11.002

- Harley, H. E. & DeLong, C. M. (2008). Echoic object recognition by the bottlenose dolphin. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 3: 46-65. DOI: 10.3819/ccbr.2008.30003
- Hastie, G. D., Wilson, B., Tufft, L. H., & Thompson, P. M. (2003). Bottlenose dolphins increase breathing synchrony in response to boat traffic. *Marine Mammal Science*, 19(1):74-084. DOI: 10.1111/j.1748-7692.2003.tb01093.x
- Herman, L. M. (2006). Intelligence and rational behavior in the bottlenose dolphin. En: *Rational animals?* Edited by S. Hurley & M. Nudds. Oxford University Press. pp. 439–467, DOI: 10.1093/acprof:oso/9780198528272.003.0020
- Herman, L. M. (2012). Body and self in dolphins. *Consciousness and Cognition*, 21(1): 526–545. DOI: 10.1016/j.concog.2011.10.005
- Herzing, D. L. (1996). Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Aquatic Mammals*, 22: 61-80.
- Herzing, D.L. (2000). Acoustics and social behavior of wild dolphins: Implications for a sound society. En: *Hearing by whales and dolphins*. Springer Handbook of Auditory Research, vol 12. Springer, New York, NY. DOI:10.1007/978-1-4612-1150-1_5
- Higginbottom, K., Green, R. & Northrope, C., (2003). A framework for managing the negative impacts of wildlife tourism on wildlife. *Human Dimensions of Wildlife*, 8(1):1–24. DOI: 10.1080/10871200390180118.
- Hildebrand, J. A. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 395: 5-20. DOI: 10.3354/meps08353
- Hill, H. & 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: 414-534. DOI: 10.46867/IJCP.2010.23.03.01
- Hosey, G. (2013). Hediger revisited: how do zoo animals see us? *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 16(4): 338-359. DOI: 10.1080/10888705.2013.827916
- Hoyt, E. (2001). Whale watching 2001: Worldwide tourism numbers, expenditures, and expanding socioeconomic benefits. En: *International fund for animal welfare* (Yarmouth Port, MA, USA). PP. 151-153. ISBN: 9781901002096
- Hoyt, E. (2002). Whale watching. En: *Encyclopedia of marine mammal*. Editado por W. F. Perrin, B. Würsig & J. G. M. Thewissen. Academic Press, San Diego, pp. 1305-1310.
- Hoyt, E. (2011). *Marine protected areas for whales, dolphins and porpoises: A world handbook for cetacean habitat conservation and planning*. 2nd. ed. Earthscan, London. ISBN: 978-1-84407-762-5 y 978-1-84407-763-2. DOI:10.4324/9781849771948
- Hvenegaard, G. T. (1994). Ecotourism: A status report and conceptual framework. *Journal of Tourism Studies*, 5(2): 24-35.
- IFAW. (1997). Report of the international workshop on the educational values of whale watching: Provincetown, Massachusetts, USA, 8th May-11th May 1997, (International Fund for Animal Welfare, Crowborough), pp. 14-39.
- Janik, V. M. (2000a). Source levels and the estimated active space of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) whistles in the Moray Firth, Scotland. *Journal of Comparative Physiology a-Sensory Neural and Behavioral Physiology*, 186: 673-680. DOI: 10.1007/s003590000120

- Janik, V. M. (2000b). Food-related bray calls in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 267(1446): 923-927. DOI: 10.1098/rspb.2000.1091
- Janik, V. M. (2009). Acoustic communication in delphinids. *Advances in the Study of Behavior*, 40: 123-157. DOI: 10.1016/S0065-3454(09)40004-4
- Janik, V. M. & 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: 479-489, DOI: 10.1007/s00359-013-0817-7
- Janik, V. M. & Slater, P. J. (1998). Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. *Animal Behaviour*, 56(4): 829–838. DOI:10.1006/anbe.1998.0881
- Janik, V. M. & Slater, P. J. (2003). Traditions in mammalian and avian vocal communication. En: *The biology of traditions: Models and evidence*. Edited by D. M. Fragaszy & S. Perry. Cambridge University Press, UK, pp. 213-235.
- Janik, V. M., Sayigh, L. S. & Wells, R. S. (2006). Signature whistle shape conveys identity information to bottlenose dolphins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103: 8293-8297. DOI: 10.1073/pnas.0509918103
- Janik, V. M., King, S. L., Sayigh, L. S. & Wells, R. S. (2013). Identifying signature whistles from recordings of groups of unrestrained bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Marine Mammal Science*, 29: 109-122. DOI: 10.1111/j.1748-7692.2011.00549.x
- Jensen, F. H., Bejder, L., Wahlberg, M., Soto, N. A., Johnson, M. & Madsen, P. T. (2009). Vessel noise effects on delphinid communication. *Marine Ecology Progress Series*, 395: 161-175. DOI: 10.3354/meps08204
- Jones, G.J. & Sayigh, L.S. (2002). Geographic variation in rates of vocal production of free-ranging bottlenose dolphins. *Marine Mammal Science*, 18(2):374–393. DOI: 10.1111/j.1748-7692.2002.tb01044.x
- Jones, B., Zapetis, M., Samuelson, M. M. & Ridgway, S. (2020). Sounds produced by bottlenose dolphins (*Tursiops*): A review of the defining characteristics and acoustic criteria of the dolphin vocal repertoire. *Bioacoustics*, 29(4):399-440. DOI: 10.1080/09524622.2019.1613265
- Kessler, M. & Harcourt, R. (2010). Aligning tourist, industry and government expectations: a case study from the swim with whales industry in Tonga. *Marine Policy*, 34(10):1350–1356. DOI:10.1016/j.marpol.2010.06.008.
- Ketchum, JT, Hoyos-Padilla, M, Aldana-Moreno, A, Ayres, K, Galván-Magaña, F, Hearn, A, Lara-Lizardi, F, Muntaner-López, G, Grau, M, Trejo-Ramírez, A, Whitehead, DA & Klimley, AP (2020). Shark movement patterns in the Mexican Pacific: A conservation and management perspective. *Advances in Marine Biology*, 85(1): 1-37. DOI:10.1016/bs.amb.2020.03.002
- King, S. L. & Janik, V. M. (2013). Bottlenose dolphins can use learned vocal labels to address each other. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110: 13216-13221. DOI: 10.1073/pnas.1304459110
- Kinsman, C. & Frohoff, T.G. (2005). The whale stewardship project: Research and stewardship of solitary sociable beluga whales in Eastern Canada. En: *Research and management of solitary, sociable odontocetes: Workshop workbook*. Workshop on the research and management of solitary, sociable odontocetes. San Diego, California.

- Leeney, R. H., Berrow, S., McGrath, D., O'Brien, J., Cosgrove, R., & Godley, B. J. (2007). Effects of pingers on the behaviour of bottlenose dolphins. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87(1):129-133. DOI: 10.1017/S0025315407054677
- Lewis, S. & Walker, D. (2018). Global best practice guidance for responsible whale and dolphin watching: Tourism activities involving wild cetaceans. World Cetacean Alliance with support from ClubMed, Brighton, UK.
- Maigrot, A. L., Hillmann, E., Anne, C. & Briefer, E.F. (2017). Vocal expression of emotional valence in Przewalski's horses (*Equus przewalskii*). *Scientific Reports*, 7(1):1–1. DOI: 10.1038/s41598-017-09437-1
- Mann, J. (2006). Behavioral sampling methods for cetaceans: a review and critique. *Marine Mammal Science*, 15(1):102-122. DOI:10.1111/j.1748-7692.1999.tb00784.x
- Mann, J. (2017). Deep thinkers: inside the minds of whales, dolphins and propoises. University of Chicago Press, Chicago. ISBN-13: 978-0226387475 pp. 66-133.
- Mann, J. y Barnett, H. (1999) Lethal tiger shark (*Galeocerdo cuvier*) attack on bottlenose dolphin (*Tursiops* sp.) calf: Defense and reactions by the mother. *Marine Mammal Science*, 15(2): 568-575.
- McCormick, J. G., Wever, E. G., Palin, J., & Ridgway, S. H. (1970). Sound conduction in the dolphin ear. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 48(6B): 1418-1428. DOI:10.1121/1.1912302
- Mead, James G. and Potter, Charles W. 1995. Recognizing two populations off the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) of the Atlantic Coast of North America - Morphologic and ecologic considerations. *International Marine Biology Research Institute: IBI Reports*. 31–44.
- Mendl, M., Burman, O. H. & Paul, E. S. (2010) An integrative and functional framework for the study of animal emotion and mood. *Proceedings of the Royal Society B* 277(1696):2895-904
DOI: 10.1098/rspb.2010.0303
- Miketaa, M.L., Patterson, E.M., Krzyszczyk, E., Foroughirad, V. & Mann, J. (2018). Calf age and sex affect maternal diving behavior in Shark Bay, Australia, bottlenose dolphins. *Animal Behaviour*, 137: 107-117. DOI: 10.1016/j.anbehav.2017.12.023
- Mistlberger, R. E. (1994). Circadian food-anticipatory activity: formal models and physiological mechanisms. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 18(2): 171-195. DOI: 10.1016/0149-7634(94)90023-x
- Morton, E.S. (1977). On the occurrence and significance of motivation-structural rules in some bird and mammal sounds. *American Naturalist*, 111 (981):855–869.
- Müller, M. & Bossley, M. (2002). Solitary bottlenose dolphins in comparative perspective. *Aquatic Mammals*, 28(3): 298-307.
- Müller, M., Boutière, H., Weaver, A. C. F. & Candelon, N. (1998). Nouvel inventaire du comportement du grand dauphin (*Tursiops truncatus*) Approche comparative des comportements des Dauphins grégaires, solitaires et familiaires. *Vie et Milieu/Life & Environment*, 89-104.
- Munding, P.C. (1980). Animal cultures and a general theory of cultural evolution. *Ethology and Sociobiology*, 1: 183-223. DOI:10.1016/0162-3095(80)90008-4
- Neal, S. J. & Caine, N. G. (2016). Scratching under positive and negative arousal in common marmosets (*Callithrix jacchus*). *American Journal of Primatology*, 78(2):216–226. DOI: 10.1002/ajp.22498

- Norris, K. S. (Ed.) (1966). *Whales, dolphins, and porpoises*. University of California Press, Berkeley. ISBN 0520032837
- Norris, K. S. & Dohl, T. P. (1980). Behavior of the hawaiian spinner dolphin, *Stenella longirostris*. *Fishery bulletin*, 77(4):821-849.
- Norris, K. S., Würsig, B., Wells, R. S. & Würsig, M. (1994). The hawaiian spinner dolphin. University of California Press, California. ISBN 9780520913547
- Nowacek, S. M., Wells, R. S. & Solow, A. R. (2001). Short-term effects of boat traffic on bottlenose dolphins, (*Tursiops truncatus*), in Sarasota Bay, Florida. *Marine Mammal Science*, 17(4):673-688. DOI: 10.1111/j.1748-7692.2001.tb01292.x
- Nowacek, D. P., Thorne, L. H., Johnston, D. W. & Tyack, P. L. (2007). Responses of cetaceans to anthropogenic noise. *Mammal Review*, 37(2):81-115. DOI:10.1111/j.1365-2907.2007.00104.x
- Nunny, L. & Simmonds, M.P. (2019). A global reassessment of solitary-social dolphins. *Frontiers in Veterinary Science*, 5: (331). <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00331>
- O'Malley, M. P., Lee-Brooks, K. & Medd, H. B. (2013). The global economic impact of manta ray watching tourism. *Plos One*, 8(5): e65051. DOI: 10.1371/journal.pone.0065051.
- Orams, M. B. (1994). Tourist Interaction with cetaceans: management and research implications. *Biological Conservation*, 69(2): 195-206.
- Östman, J. (1991). Changes in aggressive and sexual behavior between two male bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in a captive colony. En: *Dolphin society: Discoveries and puzzles*. Edited by K. Pryor & K.S. Norris. University of California Press, California, pp. 305-318.
- Papale, A. E., Stott, J. J., Powell, N. J., Regier, P. S. & Redish, A. D. (2012). Interactions between deliberation and delay-discounting in rats. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 12: 513-526. DOI: 10.3758/s13415-012-0097-7.
- Parks, S. E., Searby, A., Celerier, A., Johnson, M. P., Nowacek, D. P. & Tyack, P. L. (2011). Sound production behavior of individual North Atlantic right whales: implications for passive acoustic monitoring. *Endangered Species Research*, 15(1): 63-76. DOI:10.3354/esr00368.
- Pedernera-Romano, C., Valdez, R.A., Singh, S., Chiappa, X., Romano, M.C. y Galindo, F. (2006). Salivary cortisol in captive dolphins (*Tursiops truncatus*): a non-invasive technique. *Animal Welfare*, 15: 359-362, DOI:10.1017/S0962728600030682.
- Pirotta, E., Thompson, P.M., Cheney, B., Donovan, C.R. & Lusseau, D. (2014). Estimating spatial, temporal and individual variability in dolphin cumulative exposure to boat traffic using spatially explicit capture–recapture methods. *Animal Conservation* 18 (1): 20–31. DOI:10.1111/acv.12132.
- Popov, V. V., Supin, A. Y., Pletenko, M. G., Tarakanov, M. B., Klishin, V. O., Bulgakova, T. N. y Rosanova, E. I. (2007). Audiogram variability in normal bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Aquatic Mammals*, 33 (1): 24. DOI: 10.1578/AM.33.1.2007.24
- Popper, A. N. & Hawkins, A. (2016). *The effects of noise on aquatic life II* (Vol. 875). Springer, New York, pp. 142-149.
- Powell, J. R., Machernis, A. F., Engleby, L. K., Farmer, N. A. & Spradlin, T. R. (2018). Sixteen years later: an updated evaluation of the impacts of chronic human interactions with bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) at Panama City, Florida, USA. *Journal of Cetacean Resource Management*, 19: 79–93. DOI: 10.47536/jcrm.v19i1.416
- Prideaux, B. (2005). Space tourism- A future dream or a cyber- tourism reality? *Turism Recreational Research*, 30(3):27-35. DOI 10.1080/02508281.2005.11081484

- Pryor, K. W. (1990). Non-acoustic communication in small cetaceans: glance, touch, position, gesture, and bubbles, En: *Sensory abilities of cetaceans: Laboratory and field evidence*. Edited by Jeanette A. Thomas, y Ronald A. Kastelein. Springer, Boston, pp. 537-544.
- Quick, N. J. & Janik, V. M. (2008). Whistle rates of wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): influences of group size and behavior. *Journal of Comparative Psychology*, 122(3):305. DOI: 10.1578/AM.43.1.2017.1
- Rachinas-López, P., Luís, A. R., Borges, A. S., Neto, M., & dos Santos, M. E. (2017). Whistle stability and variation in captive bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) recorded in isolation and social contexts. *Aquatic Mammals*, 43(1):1-13. DOI: 10.1578/AM.43.1.2017.1
- Reif, J. S., Schaefer, A. M. & Bossart, G. D. (2013). Lobomycosis: risk of zoonotic transmission from dolphins to humans. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 13(10):689-693. DOI: 10.1089/vbz.2012.1280
- Rendell, L., Whitehead, H., Osborne, R. W. & Würsig, B. (2004). Culture and conservation of non-humans with reference to whales and dolphins: review and new directions. *Biological Conservation*, 120(3):427-437. DOI: 10.1016/j.biocon.2004.03.017
- Richardson, W.J., Greene, C.R., Malme, C.I., Thomson, D.H. (1995). Marine mammal use of and responses to sound. En: *Marine mammals and noise*. Academic Press, New York, pp.12-17.
- Russell, J. A. (2003). Core affect and the psychological construction of emotion. *Psychological Review*, 110(1):145. DOI: 10.1037/0033-295x.110.1.145
- Ryan, P.G. (2019). Ingestion of plastics by marine organisms. En: *Hazardous chemicals Associated with plastics in the marine environment*. Springer, German. ISBN : 978-3-319-95566-7.
- Ruiz-Sakamoto, A. T. R. (2020). *Movimientos y nivel de residencia de la manta gigante, Mobula birostris en Bahía de Banderas, México. Tesis de Maestría*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S. <https://biblio.uabcs.mx/tesis/te4017.pdf>
- Samuels, A. & Bejder, L. (2003). Swimming with wild cetaceans in the southern hemisphere. En: *Marine mammals: fisheries, tourism and management issues*. Edited by N. Gales, M. Hindell & R. Kirkwood. Collingwood: CSIRO Publishing, Australia, pp. 277:303. ISBN 0643069534
- Samuels, A., Bejder, L. & Heinrich, S. (2000). A review of the literature pertaining to swimming with wild dolphins. *Marine Mammal Commission*. Bethesda: 57 pp.
- Sayigh, L. S., Tyack, P. L., Wells, R. S. & Scott, M. D. (1990). Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*: stability and mother-offspring comparisons. *Behaviour Ecology Sociobiology*, 26(4):247–260. DOI:10.1007/BF00178318
- Sayigh, L. S., El Haddad, N., Tyack, P. L., Jensen, F. H., Janik, Vincent M., Wells, Randall S. (2023). *Bottlenose dolphin mothers modify signature whistles in the presence of their own calves*. Proceedings of the National Academy of Sciences, edited by Stephen Nowicki, Duke University, Durham, NC. DOI:10.1073/pnas.2300262120
- Scarpaci, C. & Parsons, E. C. (2014). Recent advances in whale-watching research: 2012–2013. *Tourism in Marine Environments*, 10 (1–2):121–140. DOI:10.3727/154427314X14056884441941.
- Scarpaci, C., Bigger, S. W., Corkeron, P. J. & Nugegoda, D. (2000) Bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) increase whistling in the presence of ‘swim-with-dolphin’ tour operations. *Journal of Cetacean Resource Management*, 2 (3):183–5. DOI: 10.47536/jcrm.v2i3.504

- Scarpaci, C., Nugegoda, D. & Corkeron, P. (2004). No detectable improvement in compliance to regulations by 'swim-with-dolphin' operators in Port Phillip Bay, Victoria, Australia. *Tourism in Marine Environments*, 1 (1): 41–48. <https://doi.org/10.3727/154427304774865904>.
- Sergio, F., Caro, T., Brown, D., Clucas, B., Hunter, J., Ketchum, J., McHugh, K. & Hiraldo, F. (2008). Top predators as conservation tools: ecological rationale, assumptions, and efficacy. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39: 1-19. doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173545
- Smolker, R. A., Mann, J. & Smuts, B. B. (1993). Use of signature whistles during separations and reunions by wild bottlenose dolphin mothers and infants. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 33: 393-402. DOI:10.1007/BF00170254
- Southall, Brandon L., Finneran, James J., Reichmuth, Colleen, Nachtigall Paul E., Ketten Darlene R., Bowles, Ann E., Ellison, William T., Nowacek Douglas P., & Tyack, Peter L. (2008). Marine mammal noise-exposure criteria: initial scientific recommendations. *Bioacoustics*, 17(1-3): 273-275. DOI 10.1578/AM.45.2.2019.125
- Spradlin, T.R., Drevenak, J.K., Terbush, A.D. & Nitta, E.T. (1999). Interactions between the public and wild dolphins in the United States: biological concerns and the Marine Mammal Protection Act, presentado en *Wild Dolphin Swim Program Workshop* de la 13th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Noviembre 28, 1999.
- Spradlin, T.R., Nitta, E.T., Lewandowski, J.K., Barr, L.M., Brix, K. & Norberg, B. (2001). Viewing Marine Mammals in the Wild: A Workshop to Discuss Responsible Guidelines and Regulations for Minimizing Disturbance. Reporte de la Preconference Workshop de la 14th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Vancouver, Canada.
- St. Aubin, D. J., Ridgway, S. H., Wells, R. S. & Rhinehart, H. (1996). Dolphin thyroid and adrenal hormones: circulating levels in wild and semidomesticated *Tursiops truncatus*, and influence of sex, age, and season. *Marine Mammal Science*, 12(1): 1-13. DOI:10.1111/j.1748-7692.1996.tb00301.x
- Supin, A. I., Popov, V. V. & Mass, A. M. (2001). The sensory physiology of aquatic mammals. Springer Science & Business Media, New York. pp. 285:298, DOI: 10.1007/978-1-4615-1647-7 ISBN: 978-1-4615-1647-7
- Taylor, A. R. & Knight, R. L. (2003). Wildlife responses to recreation and associated visitor perceptions. *Ecological Applications*, 13(4): 951–963. DOI: 10.1890/1051-0761(2003)13[951:WRTRAA]2.0.CO;2
- Trut, L., Kharlamova, A., Chernyukova, D., Kukekova, A., Pérez-Guisado, J. & Kharlamov, A. (2009). Animal evolution during domestication: the domesticated fox as a model. *BioEssays*, 31(3): 349–360. DOI: 10.1002/bies.200800070
- Tyack, P. L. (1998). Acoustic communication under the sea. En: *Animal acoustic communication: sound analysis and research methods*. Edited by S. L. Hopp, M. J. Owren and C. S. Evans. Springer Nature, Heidelberg, 163-220. pp. 163-220. ISBN 3540533532
- Tyack P.L. (2004). Functional aspects of cetacean communication. En: *Ecolocation in bats and dolphins*. Edited by J. A. Thomas, C. F. Moss & M. Vater. University of Chicago Press, Chicago, pp. 270–307.
- Tyack, P. L. & Miller, E. H. (2002). Vocal anatomy, acoustic communication and echolocation. En: *Marine mammal biology: An evolutionary approach*. Wiley, pp. 142-84.

- Tyack, P. L., & Sayigh, L. S. (1997). Vocal learning in cetaceans. En: *Social influences on vocal development*. I C. T. Snowdon & M. Hausberger (Eds.). Cambridge University Press, pp. 208–233. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511758843.011>
- Ulyan, M. J., Burrows, A. E., Buzzell, C. A., Raghanti, M. A., Marcinkiewicz, J. L. & Phillips, K. A. (2006). The effects of predictable and unpredictable feeding schedules on the behavior and physiology of captive brown capuchins (*Cebus apella*). *Applied Animal Behaviour Science*, 101(1-2): 154-160. DOI: 10.1016/j.applanim.2006.01.010
- Von Streit, C., Ganslosser, U. & von Fersen, L. (2011). Ethogram of two captive mother-calf dyads of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Comparison with field ethograms. *Aquatic Mammals*, 37(2): 193 DOI: 10.1578/AM.37.2.2011.193
- Waite, C., (2001). What time is feeding? How delays and anticipation of feeding schedules affect stump-tailed macaque behavior. *Applied Animal Behaviour Science*, 75(1):75-85. DOI:10.1016/S0168-1591(01)00174-5
- Wang, D., Würsig, B. & Evans, W. (1995). Whistles of bottlenose dolphins: Comparisons among populations. *Aquatic Mammals*. 21 (1): 65–77.
- Waples, K. A. & Gales, N. J. (2002). Evaluating and minimising social stress in the care of captive bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*). *Zoo Biology*, 21(1): 5-26. DOI:10.1002/zoo.10004
- Watson, D., Wiese, D., Vaidya, J. & Tellegen, A. (1999). The two general activation systems of affect: Structural findings, evolutionary considerations, and psychobiological evidence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(5): 820. DOI: 10.1037/0022-3514.76.5.820
- Watwood, S. L., Tyack, P. L. & Wells, R. S. (2004). Whistle sharing in paired male bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 55(6):531-543. DOI: 10.1007/s00265-003-0724-y.
- Weilgart, L. (2007). The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Canadian Journal of Zoology*, 85:1091–1116, <https://doi.org/10.1139/z07-095>.
- Wells, D. L. (2009). The effects of animals on human health and wellbeing. *Journal of Social Issues*, 65(3): 523–543. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.2009.01612.x>
- Wells, R. S. (2014). Social structure and life history of bottlenose dolphins near Sarasota Bay, Florida: insights from four decades and five generations. En: *Advances in Marine Biology* Vol. 69, edited by M. Naguib & V. M. Janik. Academic Press, Cambridge. pp. 1-28
- Wells, R. S. & Scott, M. D. (2009). Common bottlenose dolphin: (*Tursiops truncatus*), en: *Encyclopedia of marine mammals*. Edited by Perrin, William F., Würsig, Bernd., Thewissen, J. G. M. Academic Press, New York. pp. 249-255
- Whitcraft, S. (2024). SeaView: 5 rules for interacting with wild dolphins. <https://www.scubadiving.com/training/advanced-skills/seaview-5-rules-interacting-wild-dolphins>
- Whitehead, H. (1998). Cultural selection and genetic diversity in matrilineal whales. *Science*, 2282(5394):1708-11. doi: 10.1126/science.282.5394.1708. PMID: 9831562.
- Whitehead, H. & Rendell, L. (2015). *The cultural lives of whales and dolphins*. University of Chicago Press, Chicago.
- Wilke, M., Bossley, M. & Doak, W. (2005). Managing human interactions with solitary dolphins. *Aquatic Mammals*, 31(4): 427-433. DOI: 10.1578/AM.31.4.2005.427

- Wright, Andrew. J.; Aguilar Soto, N.; Baldwin, A. L.; Bateson, M.; Beale, C. M.; Clark, C.; Deak, T.; Edwards, E.F.; Fernández, A.; Godinho, Ana.; Hatch, L.; Kakuschke, A.; Lusseau, D.; Martineau, D.; Romero, M. L.; Weilgart, L.; Wintle, B.; Notarbartolo-di-Sciara, G.; Martin, V. (2007). Do marine mammals experience stress related to anthropogenic noise? *International Journal of Comparative Psychology*, 20: 274-302.
- Würsig, B. & Pearson, H. C. (2015). Dolphin societies: structure and function. En: *Dolphin communication and cognition: past, present and future*. edited by Denise L. Herzing, Christine M. Johnson. MIT Press, Cambridge, Mass. pp. 77-105.
- Würsig, B. & Koski, W. R. (2021). Natural and potentially disturbed behavior of bowhead whales. En: *The Bowhead Whale*. Edited by J.C. George & J.G.M. Thewissen. Academic Press, Cambridge, Massachusetts. ISBN 9780128189696, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818969-6.00023-6>, pp. 339-363
- Yurk, H., Barrett-Lennard, L., Ford, J. K. B. & Matkin, C.O. (2002). Cultural transmission within maternal lineages: vocal clans in resident killer whales in southern Alaska. *Animal Behaviour*, 63(6): 1103-1119. <https://doi.org/10.1006/anbe.2002.3012>.
- Zimmer, W. M. X. (2011). *Passive acoustic monitoring of cetaceans*. Cambridge University Press, Cambridge. 356 pp. doi.org/10.1017/CBO9780511977107. ISBN 978-0-521-19342-9.

11. ANEXOS

Anexo A.-La ecolocalización en delfines

Distribución geográfica

Estado de Conservación

Preocupación menor

Kingdom: *Animalia*
 Phylum: *Chordata*
 Class: *Mammalia*
 Order: *Artiodactyla*
 Infraorder: *Cetacea*
 Family: *Delphinidae*
 Subfamily: *Delphininae*
 Genus: *Tursiops*

200 - 600 Kg
 2m a 4 m.

- **Profundidad de buceo:** 70m a 400 metros.
- **Velocidad máxima:** 60 Km. /h.
- **Periodo de gestación:** 12 meses

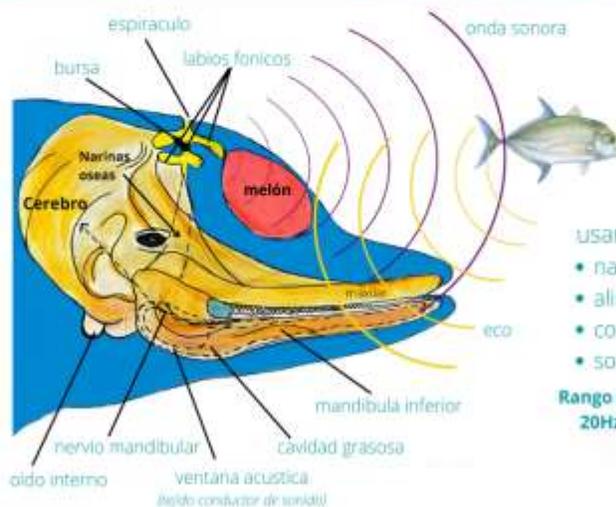
Bioacustica

La Ecolocalización en delfines (*Tursiops truncatus*)



Bioacústica

Estudio del comportamiento de comunicación de los animales a través de señales sonoras



- usan el sonido para:
- navegación
 - alimentación
 - comunicación
 - socialización

Rango frecuencia
 20Hz-150kHz

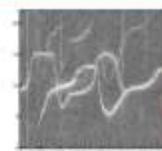
La **ecolocalización** consiste en emitir una onda de sonido que rebota en un objeto y devuelve un eco que brinda información sobre su distancia y tamaño.

Los delfines seres vivos que sienten, piensan y se comunican

Los delfines poseen un sistema paralímbico muy desarrollado y definido para procesar las emociones, establecen vínculos.



- **Nervio Auditivo.** En los delfines es dos veces mayor que en los humanos. Rango de Audición de 20 Hz hasta 150 kHz
- **Centro de la visión.** Los delfines tienen el centro de la visión al lado del córtex auditivo, convirtiendo así sonidos en imágenes y viceversa.
- **Cuerpo calloso.** Conecta los hemisferios cerebrales y es mayor en los humanos, los hemisferios del delfín pueden dormir y estar alerta simultáneamente.
- **Córtex cerebral.** El córtex de un delfín tiene una estructura de pliegues más compleja y abundante y requiere mucha más irrigación sanguínea. Tienen la capacidad para resolver problemas complejos, planificar y



- Silbidos
- Tonos
- Clicks

Los delfines tienen un silbido firma que los identifica

Gestación

Alimentación

Amenazas



Oceanicos



Costeros

La cría al nacer mide aprox 1.5m y pesa 30kg. La hembra puede tener una cría cada 2/3 años y le enseña un sistema vocal desde el estado embrionario.

La madre amamanta a la cría durante 12-18 meses, esta permanece con su madre varios años después del destete.



Su alimento base son los peces, pero también come calamares y otros animales acuáticos. Al día comen el 10% de su peso (20kg aprox) Cazan solos o en grupos.



Los delfines Tienen cultura?

Si se ha demostrado que su lenguaje es aprendido y transmiten técnicas de caza hereditarias, crean fuertes lazos familiares y sociales.

Antropogénicas

- pesca industrial
- pesca incidental
- contaminación
- redes fantasma
- destrucción hábitat
- barreras de ruido / sonares
- derrames de hidrocarburos
- capturas comercial y cautiverio.



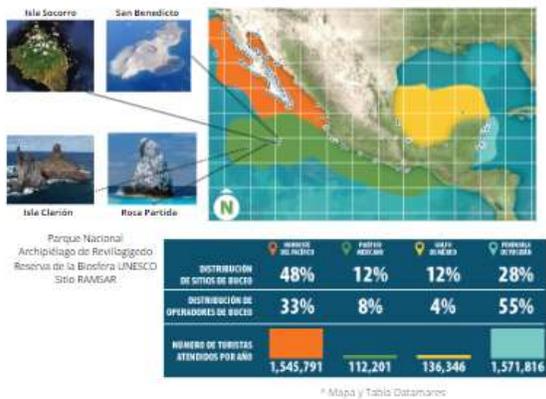
Naturales

- Sismos, Explosiones volcánicas.

Anexo B.-Interacción de tursiones con buzos en el Archipiélago de Revillagigedo



Interacción de delfines (*Tursiops truncatus*) con buzos en el Archipiélago de Revillagigedo



860
Sitios de buceo*



Derrama Económica del buceo y snorkel \$725 MDD al año*



La industria del buceo Gran Potencial Económico

El buceo en México representa una oportunidad de reactivación económica para el turismo, los buzos pueden apoyar en la conservación, monitoreo y preservación de recursos naturales si se realiza con las mejores medidas de seguridad y buenas practicas turísticas

El sector Turístico representa 8.7% DEL PIB (2018)*



Propósito de la Investigación

Identificar las interacciones de delfines tursiones con buzos y relacionar sus vocalizaciones con los comportamientos observados

Describir fonaciones y comportamientos observados de delfines con buzos

¿Existen cambios en las fonaciones de los delfines cuando hay buzos?



(A) Contacto con el buzo



(B) Posición de delfines en vertical



(C) Delfines transitando

Identificar individuos Medir Vocalizaciones Resultados Esperados



Saber si hay cambios o no en las fonaciones y comportamiento de delfines ante la presencia de buzos en el Archipiélago de Revillagigedo.

Esto nos ayudara como punto de comparación detectar cambios como consecuencia de la actividad turística.

© Elaborado por: Selene Mariel Tejeda Bravo. S.M.T.B. (CVU 397349) agradece a CONAHCYT la beca para estudios de posgrado 2022



Baja California Sur es un destino internacional de buceo y se visita por la conservación de sus ecosistemas y especies



*Becerra-Rojas, S., F. Jaramilla, J.A. Martínez, K. Jiménez-Trujillo, A.L. Martínez-Cruz, y O. Alvarado-Orgullo. (2021) Buceo, Turismo y Conservación de Recursos Acuáticos. Mar del Norte 1(26): 1044-10. <https://doi.org/10.30393/mar2021.104410>

* Mapa y tabla tomados de Sana Pájar Atlas de buceo. www.datumareos.org

