



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE

**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS
GENÉTICOS**

TEMA:

**SOLAPAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE CETÁCEOS EN
PRESENCIA DE RUIDO GENERADO POR EMBARCACIONES TURÍSTICAS
EN LAS ISLAS GALÁPAGOS.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniería en Biodiversidad y Recursos Genéticos

Autor(a)

Pineda Ciuffardi Ángela Doménica

Tutor(a)

M.Sc. Oña Lema Javier Paúl

QUITO – ECUADOR

2021

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo, Ángela Doménica Pineda Ciuffardi, declaro ser autor del Trabajo de Investigación con el nombre “Solapamiento del comportamiento acústico de cetáceos en presencia de ruido generado por embarcaciones turísticas en las Islas Galápagos. ”, como requisito para optar al grado de Ingeniera en Biodiversidad y Recursos Genéticos y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 8 días del mes de febrero de 2021, firmo conforme:

Autor: Doménica Pineda

Firma: 

Número de Cédula: 1724837933

Correo electrónico: dome_loves@hotmail.com

Teléfono: 0996810277

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “SOLAPAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE CETÁCEOS EN PRESENCIA DE RUIDO GENERADO POR EMBARCACIONES TURÍSTICAS EN LAS ISLAS GALÁPAGOS.”, presentado por Ángela Doménica Pineda Ciuffardi, para optar por el Título de Ingeniería en Biodiversidad y Recursos Genéticos,

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 8 de febrero de 2020



.....
Oña Lema Javier Paúl, M.Sc.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniera en Biodiversidad y Recursos Genéticos, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito, 8 de febrero de 2020



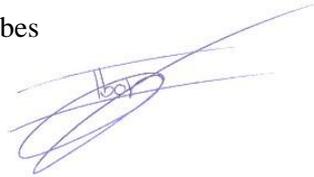
Ángela Doménica Pineda Ciuffardi
1724837933

APROBACIÓN LECTORES

El trabajo de Integración Curricular ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, sobre el Tema: SOLAPAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE CETÁCEOS EN PRESENCIA DE RUIDO GENERADO POR EMBARCACIONES TURÍSTICAS EN LAS ISLAS GALÁPAGOS, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 8 de febrero de

2021 Dr. Ibon Tobes



.....
Lector 1

MSc. Ana Sofía Falconí



.....
Lector 2

DEDICATORIA

Para Benjamín, Jerónimo, Alejandra y Mariana

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi padre el Dr. Benjamín Pineda Cordero, el pilar fundamental de mi vida y educación que con su amor me motivó a culminar mi carrera universitaria y me dio el apoyo suficiente en cada momento y situación adversa que se presentaba.

A mis hermanos, con los que comparto travesuras y las mejores anécdotas de mi vida.

A mi tutor de proyecto de grado, M.Sc. Javier Paúl Oña Lema que le dedicó a mi trabajo su total atención y seguimiento.

A mis profesores del pregrado, grandes modelos a seguir. Con su educación me formaron académicamente y me motivaron a ser una excelente profesional.

A mis mejores amigas (Nadine, Daniela C, Denisse, Génesis, Antonia, Carla y Daniela F) , las que siempre me motivaron a continuar y a dar lo mejor de mi.

A mi enamorado, quien siempre me lleva de vuelta al mar y a la vida por ponerlo en mi camino.

A mis compañeros, con los que compartí miles de momentos que quedarán por siempre en mi memoria.

Y por último a la naturaleza, por enseñarme que cada ecosistema tiene su belleza intrínseca y que su conservación ayudará a proteger la vida del planeta.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
AUTORIZACIÓN DEL AUTOR	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
<i>1. Las islas Galápagos como laboratorio natural</i>	<i>3</i>
<i>1.1. Parque Nacional Galápagos</i>	<i>5</i>
<i>1.1.1 Zona de Protección Absoluta</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2 Zona de Conservación y Restauración de Ecosistemas</i>	<i>5</i>
<i>1. 1.3 Zona de Reducción de Impactos</i>	<i>6</i>
<i>1.2. Reserva Marina de Galápagos</i>	<i>6</i>
<i>2. El turismo ecológico en las Islas Galápagos</i>	<i>7</i>
<i>2.1 Desarrollo del turismo en la RMG</i>	<i>7</i>
<i>2.2 Embarcaciones turísticas</i>	<i>8</i>
<i>2.3 Clasificación de las embarcaciones y sus operadores turísticos</i>	<i>9</i>
<i>2.3.1 Tour de crucero navegable</i>	<i>10</i>
<i>2.3.2 Tour de buceo navegable</i>	<i>10</i>
<i>2.3.3 Tour diario</i>	<i>12</i>
<i>2. 3.4 Tour diario de buceo</i>	<i>11</i>
<i>2.3.5 Tour de bahía</i>	<i>14</i>
<i>2.3.6 Pesca vivencial</i>	<i>14</i>
<i>2.3.7 Tour de puerto a puerto</i>	<i>15</i>
<i>2.3.8. Embarcaciones de cabotaje</i>	<i>16</i>
<i>3. Ecología de los cetáceos en la Reserva Marina de Galápagos</i>	<i>18</i>
<i>3. 1 Cetáceos en la RMG</i>	<i>18</i>
<i>3.1.1 Distribución y abundancia de los cetáceos en la RMG</i>	<i>21</i>

3.2 Comunicación de los cetáceos	23
4. Generalidades y características del sonido en el medio acuático	24
4.2 Embarcaciones y su contribución sonora	25
2. MÉTODOS	27
1. Selección de especies para el estudio	27
2. Área de estudio.....	27
3. Selección de la temporada para el estudio	29
4. Recolección y análisis de datos	30
4.1 Trabajo de campo y toma de datos	30
4.1.1 Recopilación de datos de las embarcaciones turísticas.....	31
4.1.2 Recopilación de datos de las 6 especies de cetáceos.....	32
4.2 Trabajo de laboratorio y análisis de datos	33
3. RESULTADOS ESPERADOS	38
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
5. CRONOGRAMA.....	43
6. PRESUPUESTO	44
7. LITERATURA CITADA.....	46
8. ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Crecimiento anual del turismo en Galápagos</i>	7
Figura 2. <i>Preferencia de hospedaje turístico en Galápagos entre los años 2007 y 2015</i>	8
Figura 3. <i>Modelo de dos circuitos</i>	10
Figura 4. <i>Flujos Norte de las embarcaciones de buceo</i>	11
Figura 5. <i>Flujos Sur de las embarcaciones de buceo</i>	12
Figura 6. <i>Flujos de las embarcaciones de Tour Diario</i>	13
Figura 7. <i>Número de visitas zonificadas de las embarcaciones de Tour de Bahía y Buceo con patente de operación</i>	14
Figura 8. <i>Dinámica de cabotaje entre islas</i>	15
Figura 9. <i>Flujos más importantes de acuerdo al número de recorridos</i>	17
Figura 10. <i>Congestión de las zonas</i>	18
Figura 11. <i>Mapa de la distribución acumulativa de avistamientos de ballenas barbadas (Mysticetos) en la Reserva Marina de Galápagos desde 1993 hasta 2010</i>	21
Figura 12. <i>Distribución acumulada de avistamientos de odontocetos en la Reserva Marina de Galapagos desde 1993 hasta 2010</i>	22
Figura 13. <i>Rango de frecuencias de sonidos producidos por distintos grupos de mamíferos marinos, sonidos antropogénicos y naturales en el océano</i>	24
Figura 14. <i>Changing ocean soundscapes</i>	26
Figura 15. <i>Mapa del área de estudio</i>	28
Figura 16. <i>Estacionalidad del turismo en Galápagos desde el año 2015 hasta el 2019</i>	30
Figura 17. <i>Visualización del software Raven Pro</i>	34
Figura 18. <i>Grabación de sonidos de ballena jorobada y el solapamiento con el ruido de una embarcación</i>	34
Figura 19. <i>Selección de una muestra de vocalizaciones de la ballena jorobada (Megaptera novaeangliae), y extracción de parámetros acústicos tanto de unidades de cantos de jorobadas y ruido causado por una embarcación fibra de vidrio</i>	36
Figura 20. <i>Ejemplo del parámetro acústico SPL en relación a distintas frecuencias que se pueden utilizar en la comparación entre parámetros acústicos de sonidos de cetáceos y ruido de embarcaciones</i>	37
Figura 21. <i>Sources and animal receivers of sound in the ocean soundscape</i>	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación de las embarcaciones turísticas de la reserva marina de Galápagos</i>	16
Tabla 2. <i>Lista de Mysticetos encontrados en la Reserva Marina de Galápagos</i>	19
Tabla 3. <i>Lista de Odontocetos encontrados en la Reserva Marina de Galápagos</i>	20
Tabla 4. <i>Estacionalidad anual según el número acumulado de avistamientos durante la temporada cálida y fría de 6 especies encontradas en la Reserva Marina de Galápagos.</i>	22
Tabla 5. <i>Información general de las especies seleccionadas para el estudio.</i>	27
Tabla 6. <i>Información de la preferencia de temporada de las especies en el Canal Bolívar y sus zonas aledañas</i>	29

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS

**TEMA: SOLAPAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE
CETÁCEOS EN PRESENCIA DE RUIDO GENERADO POR EMBARCACIONES
TURÍSTICAS EN LAS ISLAS GALÁPAGOS**

AUTOR: Ángela Doménica Pineda Ciuffardi

TUTOR: Javier Paúl Oña Lema, M.Sc.

RESUMEN EJECUTIVO

Aunque los efectos de la contaminación acústica han sido estudiados mayormente en áreas continentales de reproducción o alimentación de cetáceos, muy poco se conoce sobre el enmascaramiento y solapamiento del ruido de las embarcaciones turísticas y sus consecuencias en las especies marinas que habitan archipiélagos o zonas insulares como las islas Galápagos. El objetivo de esta propuesta es estudiar como el ruido subacuático producido por embarcaciones turísticas puede solapar el comportamiento acústico de especies de misticetos y odontocetos que habitan en la Reserva Marina de Galápagos, a través del uso de espectrogramas de frecuencias. Se va a utilizar el programa Raven Pro (versión 1.6.1), se extraerán los parámetros acústicos, así como la frecuencia mínima y máxima, energía y nivel de presión del sonido (SPL) y se realizará una comparación cualitativa entre las grabaciones del ruido de las embarcaciones turísticas y sonidos de las especies de cetáceos. Específicamente, se realizará una comparación entre el promedio de los parámetros acústicos del ruido de las embarcaciones turísticas y los sonidos de baja (unidades de canto en ballenas) y alta frecuencia (silbidos) de los grupos misticetos y odontocetos. Entre los resultados esperados tendremos que las especies de cetáceos que mayormente serán amenazadas por el solapamiento de las bajas frecuencias serán los misticetos ya que para comunicarse a largas distancias usan frecuencias de onda corta para poder tener una alta resolución espacial y una menor pérdida por transmisión de sonido. Mientras que las altas frecuencias serán las que mayor solapamiento tendrán con las vocalizaciones de las especies de odontocetos, ya que sus silbidos les sirven para comunicarse a cortas distancias. Al obtener estos datos a futuro se podrá proponer buenas prácticas de acercamiento hacia grupos de cetáceos y reducir la cantidad de ruido marino y mejorar protocolos turísticos dentro de la Reserva Marina de Galápagos.

Descriptor: cetáceos, contaminación acústica, embarcaciones turísticas, solapamiento, islas Galápagos.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS

**THEME: OVERLAPPING OF THE ACOUSTIC BEHAVIOR OF CETACEANS
IN PRESENCE OF NOISE GENERATED BY TOURIST BOATS IN THE
GALAPAGOS**

AUTHOR: Ángela Doménica Pineda Ciuffardi

TUTOR: Javier Paúl Oña Lema, M.Sc.

ABSTRACT

The effects of noise pollution in cetaceans have been studied mostly in continental areas of breeding or feeding, however the masking and overlapping of noise from tourist vessels and its consequences on marine species that live in island areas or archipelagos such as the Galapagos Islands have been poorly studied. The main goal of this proposal is to study how the underwater noise produced by tourist boats can overlap the acoustic behavior of species of mysticetes and odontocetes that live in the Galapagos Marine Reserve, using frequency spectrograms. The program Raven Pro (version 1.6.1) will be used to extract the acoustic parameters, such as minimum and maximum frequency, energy, and sound pressure level (SPL), and a qualitative comparison will be made between the recordings of noise from tourist vessels and sounds of cetacean species. In addition, a comparison will be made between the average acoustic parameters of the noise of tourist boats and the low (whale song units) and high frequency (whistles) sounds of the mysticete and odontocete groups. Among the expected results we will have that the cetacean species that will be mostly threatened by the overlapping of low frequencies will be the mysticetes since to communicate over long distances, they use short wave frequencies to be able to have a high spatial resolution and a lower sound loss by transmission. While the high frequencies will have the greatest overlap with the vocalizations of the odontocete species since their whistles are used to communicate over short distances. With these data, it will be possible to propose good future practices to approach groups of cetaceans, reduce the amount of marine noise and improve tourism protocols within the Galapagos Marine Reserve.

Keywords: cetaceans, noise pollution, tourist vessels, overlapping, Galapagos islands.



Reviewed by: Mgs. Rocío Patiño F.

19 – 02 – 2021

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, algunas poblaciones de cetáceos han sufrido las consecuencias de las actividades humanas como la contaminación acústica (Moscrop y Swift, 1999). Las actividades antrópicas como los sonares militares, prospecciones sísmicas, experimentos oceanográficos, construcciones petroleras, navegación y el tráfico de las embarcaciones marinas (industriales y turísticas), son consideradas las principales fuentes de ruido submarino (Heathershaw et al., 1997). La mayoría de estas fuentes de ruido pueden causar impactos directos e indirectos en las poblaciones de cetáceos. Por ejemplo, en su migración (desorientación), incapacidad para socializar (pérdida auditiva como resultado de hemorragias internas en sus oídos y cerebro) con consecuencias individuales mortales e incluso causando varamientos masivos alrededor del mundo (Simmonds et al., 2003; Weilgart, 2007). A nivel psicológico, se conoce que los cetáceos expuestos a intensas perturbaciones acústicas muestran considerables problemas de estrés (Simmonds et al., 2003; Weilgart, 2007). También se han registrado cambios en su estructura poblacional en cuanto a las tasas de natalidad y mortalidad en respuesta a los niveles de ruido cambiantes (Gordon y Moscrop, 1996). Además, muchos tipos de ruido antropogénico pueden interferir en procesos migratorios y movimientos verticales en la columna de agua durante procesos de alimentación y reproducción. Los cetáceos tienen cantidades de energía equilibradas y la contaminación acústica puede causar alteraciones en su etapa reproductiva (Gordon et al., 1998); por ejemplo, una natación más rápida, con cambios bruscos de dirección, podrían causar un mayor gasto de energía; y conducir a un déficit de ácido láctico.

La mayoría del ruido antropogénico tiene cantidades significativas de energía de baja frecuencia, lo que conduce a una posible alteración, daño o interferencia en la comunicación tanto de Mysticetos (cetáceos barbados) como en Odontocetos (cetáceos dentados). Por ejemplo, se ha evidenciado problemas de audición en los cachalotes mediante estudios de audición de baja frecuencia (Ketten, 1992; Ketten, 1997), y esta especie al parecer es extremadamente sensible a estas perturbaciones. En cambio, los Mysticetos también pueden estar en riesgo ya que, por ejemplo, Wiggins (2001) observó que dependiendo de como los niveles de ruido de origen natural iban cambiando, también lo hacía la intensidad de sonido que las ballenas azules (*Baleanoptera musculus*) producían. El ruido producido en un área

determinada donde frecuentan poblaciones de cetáceos puede causar interferencias en su comunicación por enmascaramiento/solapamiento y pérdida de escucha (afectación física de la audición). Incluso hay potenciales efectos en su comportamiento. Efectos físicos y comportamentales temporales y permanentes.

La presente propuesta de investigación estudiará como el ruido subacuático producido por embarcaciones turísticas puede solapar el comportamiento acústico de ciertas especies de cetáceos presentes en la Reserva Marina de Galápagos. Específicamente, conoceremos si existe un solapamiento del rango acústico (rangos de frecuencia) de los cetáceos comparado con el ruido que emiten las distintas embarcaciones turísticas presentes en Galápagos. Con esta información se podrá proponer buenas prácticas de acercamiento para reducir la cantidad de ruido marino y mejorar futuros protocolos turísticos dentro de la Reserva Marina de Galápagos.

Objetivo general:

- Investigar el solapamiento acústico en cetáceos producido por el ruido de embarcaciones turísticas en el canal Bolívar, Archipiélago de Galápagos.

Objetivos específicos:

- Caracterizar y cuantificar el ruido (cantidad de energía, nivel de presión y rango de frecuencia) producidos por distintas embarcaciones turísticas dentro del Archipiélago de Galápagos.

- Caracterizar y cuantificar la energía, nivel de presión y rango de frecuencias de 6 especies de ballenas y delfines dentro del Archipiélago de Galápagos.

- Comparar las señales acústicas (frecuencias) de ballenas y delfines con el rango acústico generadas por las embarcaciones turísticas en la Reserva Marina de Galápagos.

Antecedentes

1. Las islas Galápagos como laboratorio natural

El Ecuador es un país megadiverso, esto se debe en principio a que su territorio comprende cuatro regiones representativas; tres de estas regiones pertenecen al territorio continental (Costa, Sierra y Oriente) y una pertenece a la región Insular (islas Galápagos). Las islas Galápagos fueron descubiertas en el año 1535 por el obispo de Panamá Fray Tomás de Berlanga, cuando accidentalmente factores climáticos y las corrientes marinas hicieron que el rumbo de su barco cambiara su lugar de destino. Posteriormente en el año 1570, tuvieron lugar las primeras representaciones en la cartografía y fueron denominadas como “Islas de las tortugas” (fueron conocidas por varios nombres a lo largo del tiempo). Las representaciones de las islas en la cartografía dieron paso a que muchos marineros visiten las islas. Incluso los piratas usaban a las islas como base de sus operaciones como escondite y aprovisionamiento de tortugas. A las tortugas las llevaban vivas en sus viajes para proveerse de carne fresca, ésto debido a su característica de poder resistir mucho tiempo sin necesidad de agua ni alimento, llenando sus bodegas con cientos de tortugas galápagos diezmando su población.

Posteriormente a partir de 1792, las islas fueron visitadas por buques balleneros con esos mismos fines y a la vez, para aprovechar el aceite de las ballenas que encontraban en su viaje. El aceite era aprovechado como combustible para iluminar las principales ciudades del mundo ya que entonces no había electricidad. A ésto se debe a que algunas poblaciones de cetáceos habían disminuido considerablemente en el océano Atlántico por la presión que ejercieron los habitantes de esas regiones para la obtención de este valioso recurso (Denkinger et al., 2013). De esa manera, a través de la búsqueda de nuevos lugares para explotar, Galápagos se convirtió en uno de los principales destinos de los balleneros por la alta concentración de cetáceos que presentaban sus ecosistemas marinos. Casi tres décadas más tarde, esta actividad ya presentaba fuertes repercusiones e impacto en Galápagos, puesto que al menos 5000 individuos contabilizados de diferentes especies de cetáceos, fueron cazados en el archipiélago, faenados en las propias embarcaciones y transportado su aceite a diferentes partes del planeta (Denkinger et al., 2013). Según Denkinger J. et al (2013), las

especies de cetáceos que mayormente eran cazadas en las islas eran *Physeter macrocephalus* (Cachalote) y *Balaenoptera musculus* (Ballena azul).

Posteriormente, las islas fueron anexadas al territorio ecuatoriano en 1832, en el gobierno del entonces presidente de la república Juan Jose Flores. También existieron algunos viajes de carácter científico, el más importante de ellos fue el realizado por el naturalista Charles Darwin, quien décadas después en 1859, aportó con la teoría del origen de las especies. Según varios historiadores en 1926 surgió la idea de instalar en varias islas establecimientos que permitirían tener un control sobre la pesca, distribución y enlatado de aceite de ballenas, denominado “La ballenera” (Latorre, 1997). Para esto, se contrató a decenas de noruegos que fueron motivados por las millonarias ganancias que supuestamente este negocio abarcaría. La distribución del trabajo en las islas fue de la siguiente manera: La casa matriz (oficina de administración del proyecto) fue instalada en la isla Floreana. En Isabela y brevemente en San Cristóbal, se instalaron los puertos de patrullaje de los que las embarcaciones balleneras saldrían a cazar alrededor de las islas. Y por último en Santa Cruz, se instaló la fábrica de conservas en la que se faenaba y se destilaba la grasa para la obtención del aceite para posteriormente enlatar el producto, transportarlo y venderlo en los mercados mundiales; este proyecto fracasó cuatro años más tarde (en 1930) por varias razones, entre ellas, la económica (Latorre, 1997). En el mismo año en el que fracasa el proyecto “La Ballenera”, empezó la presión de muchos países alrededor del mundo para que el estado ecuatoriano otorgue a las islas Galápagos la protección de sus ecosistemas por todos los impactos ambientales que se mencionaron anteriormente (Dirección del Parque Nacional Galápagos, 2014). El hito histórico de la publicación del libro de Charles Darwin “El origen de las especies” en el mundo científico y por la celebración de cien años desde la publicación de su obra, se declara a las islas Parque Nacional Galápagos (Dirección del Parque Nacional Galápagos, 2014).

1.1 Parque Nacional Galápagos

En el año 1959 el archipiélago de Galápagos fue declarado Parque Nacional como parte del Sistema de Áreas Protegidas (SNAP). Esta declaración fue ideal para ayudar a la conservación de este ecosistema y la fragilidad de su componente biológico que en los últimos centenios ha sido constantemente amenazado. Esta área protegida abarca cerca del 97% de la superficie terrestre y el 3% restante tiene que ver con los asentamientos humanos de la provincia insular. El Parque Nacional Galápagos (PNG) es hasta el momento la segunda área protegida más grande del mundo y fue la primera del territorio ecuatoriano. Las características de sus ecosistemas (endemismo, geografía, historia social, etc) hacen que el esfuerzo en su conservación y control de actividades extractivas sea efectuado de manera constante y es preciso mejorar permanentemente estas prácticas. Existen zonificaciones en cuanto a la conservación de esta área protegida las cuales nos permiten definir las áreas estratégicas para la fase de campo y toma de datos del presente estudio. Se dividen de la siguiente manera, según la Dirección del Parque Nacional Galápagos (2014):

1.1.1 Zona de Protección Absoluta: Se refiere a las áreas de conservación prístinas o casi prístinas, es decir libres de impactos de origen antropológico como especies introducidas, libres de asentamientos humanos, etc. En esta zonificación también se incluyen las áreas que tuvieron un cierto impacto pero que ya han sido restaurados ecológicamente en su totalidad. Solamente se permiten actividades de investigación científica de monitoreo y observación.

1.1.2 Zona de Conservación y Restauración de Ecosistemas: Se refiere a las áreas que presentan en pequeña escala alteración con presencia o no de especies introducidas o impactos de origen antropológico en todos o algunos de los diferentes ecosistemas que presenta esa zona. En estos lugares se permite la investigación científica y se pueden tomar muestras biológicas. Además se pueden realizar experimentos (imprescindibles) que podrían generar un mínimo impacto en el medio ambiente. Estas actividades solo pueden ser temporales.

1.1.3 Zona de Reducción de Impactos: Se refiere a las áreas que se encuentran en la periferia del Parque Nacional con una mediana y gran escala de alteración. Se encuentran ubicadas en las zonas cercanas a los asentamientos humanos y zonas agropecuarias. Como priorización se intentan reducir los impactos (potenciales, actuales o pasados) antrópicos.

2 *Reserva Marina de Galápagos*

Casi cuatro décadas más tarde en 1998, se consolidó oficialmente la Reserva Marina de Galápagos (RMG) como estrategia de conservación para el área marina que rodea al archipiélago. La RMG abarca como área protegida a toda la franja marino-costera que rodea a la región insular (Dirección del Parque Nacional Galápagos, 2014). Esta comprende 40 millas náuticas que se miden desde cada línea base de la costa del archipiélago hacia el mar abierto. Para que el área marina de Galápagos se consolidara oficialmente, se le atribuyeron varios convenios internacionales y legislaciones ecuatorianas para respaldar las medidas oficiales de protección de sus ecosistemas (Denkinger et al., 2013; Dirección del Parque Nacional Galápagos, 2014). Además, debido a que todas las especies de cetáceos que en los últimos centenios y hasta la actualidad (de manera ilegal) han sido comercializadas, se encuentran en categorías críticas de conservación (lista roja de especies) según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y, forman parte del Convenio Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas (CITES) y la Comisión Ballenera Internacional (Denkinger et al., 2013).

Entre las legislaciones nacionales, el gobierno ecuatoriano declaró Refugio de Ballenas a las 200 millas náuticas de todas las aguas territoriales del Ecuador y por eso junto con los datos de observación de la ecología de los cetáceos, se declaró en 1990 Santuario de Ballenas a la RMG (Alarcón, 2012; Denkinger J. et al., 2013; Dirección del Parque Nacional Galápagos, 2014;). Este santuario se encuentra dentro de la zona económica exclusiva de Galápagos y comprende 200 millas náuticas (es decir, 160 millas más que el límite de la RMG) de protección absoluta. La Reserva Marina es manejada por la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG). De esta manera, se encuentra protegida la mayor parte del

archipiélago tanto en su zona marina con la RMG como en su zonificación terrestre con el PNG (Dirección del Parque Nacional Galápagos, 2014). Debido a que el turismo es la principal fuente de desarrollo económico del archipiélago, la DPNG debe hacerse cargo del control del turismo para así poder conservar y proteger a los ecosistemas que lo comprenden.

2. El turismo ecológico en las Islas Galápagos

2.1 Desarrollo del turismo en la RMG

Según la Dirección del Parque Nacional Galápagos (2014), la actividad turística existe en el archipiélago a partir de la década de los 30's con la baronesa y su idea de un hotel para multimillonarios europeos. El boom turístico se presenta en los finales de los 60's con el objetivo de conocer lo que Darwin y muchos científicos de la época moderna expusieron en sus publicaciones. A partir de entonces y a medida del paso del tiempo hasta el 2019, el número de visitantes que ingresan a las islas ha ido aumentando exponencialmente convirtiéndose en una de las principales fuentes de ingreso para la población de Galápagos, donde al menos el 98% de los habitantes trabajan directa o indirectamente del turismo (Flores, 2012).

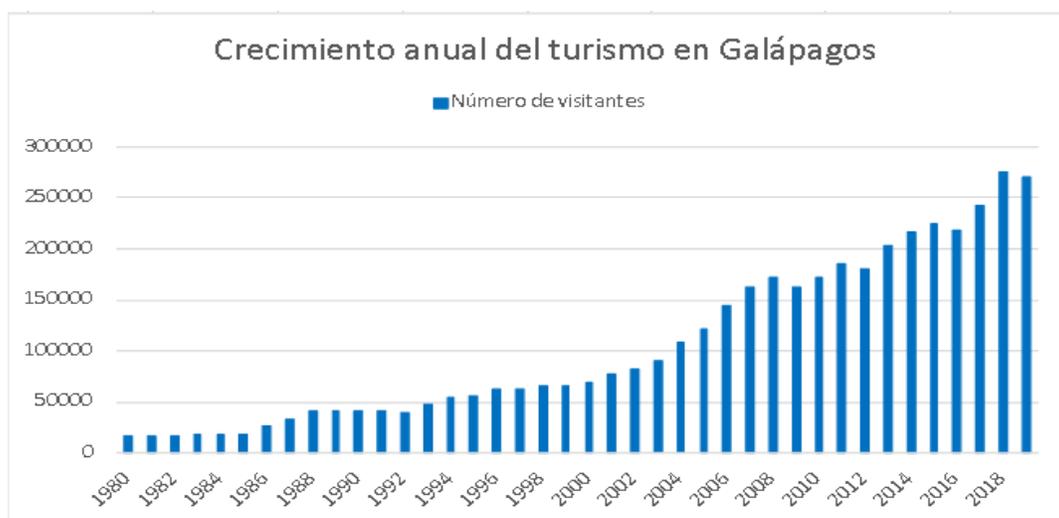


Figura 1. Crecimiento anual del turismo en Galápagos.

Modificado de: Dirección del Parque Nacional Galápagos. 2016 y 2019.

A pesar de que el boom del turismo en Galápagos se dió a finales de 1960, no hay datos exactos de las visitas hasta 1980. A medida de que el turismo aumentaba, de igual manera lo hacía la población ya que muchos de los turistas se quedaban por sus atractivos y por el gran potencial económico que representa (Flores, 2012).

2.2 Embarcaciones turísticas

Las embarcaciones turísticas son el principal empleador del sector turístico ya que la mayoría de las personas que visitan las islas son extranjeras (provenientes de más de 140 países) y por lo general, tienen ingresos económicos más altos que el ecuatoriano promedio; es decir que prefieren hospedarse en embarcaciones turísticas (crucero navegable: modalidad más costosa en comparación a hospedarse en tierra). Al alojarse en esta modalidad, tienen la ventaja de poder conocer más lugares de interés en el mismo tiempo que hacerlo en tierra (entre 7 y 14 días). De cada 10 turistas, 7 son extranjeros y 3 nacionales (Flores, 2012).

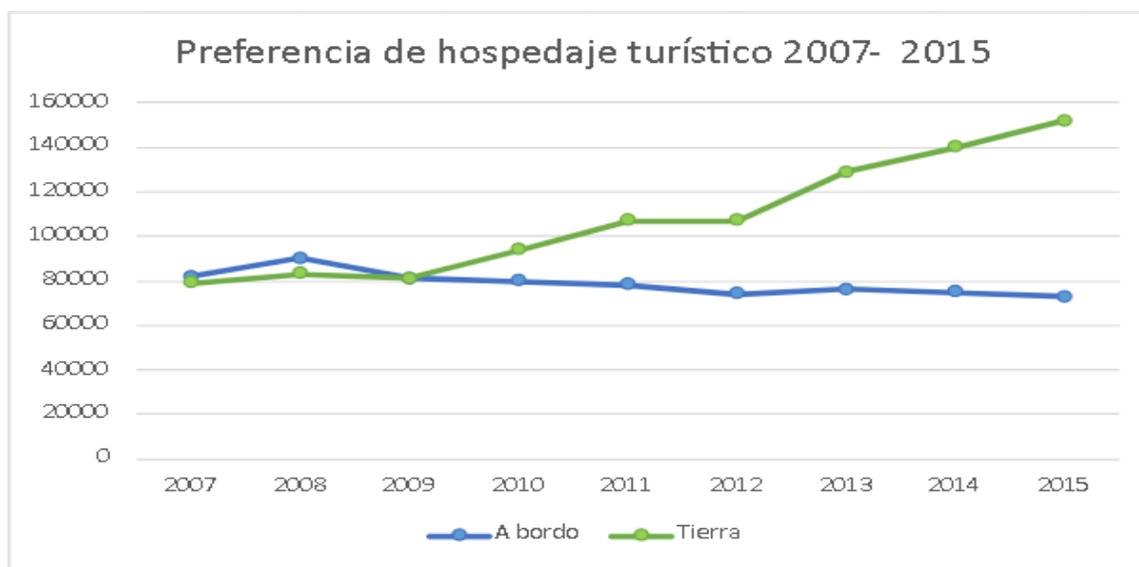


Figura 2. Preferencia de hospedaje turístico en Galápagos entre los años 2007 y 2015.

Modificado de: Dirección del Parque Nacional Galápagos. 2016.

En 2008, la DPNG estableció una serie de parámetros para reducir los impactos ambientales de las embarcaciones turísticas (Flores, 2012). Entre los diferentes parámetros

tenemos la limitación del número de embarcaciones turísticas (a través de la asignación de cupos de operación y patentes) a excepción del tour de puerto a puerto (que por el momento no tiene embarcaciones que realicen esta actividad en específico). En la figura 2 se observa que el hospedaje en tierra ha incrementado en los últimos años, esto se debe a las regularizaciones anteriormente mencionadas y además, las opciones en tierra han mejorado sus instalaciones y aumentado la capacidad de alojamiento considerablemente mediante la creación de nuevos hoteles, sin olvidar que las opciones de hospedaje en tierra son económicamente más accesibles. A pesar de esto, aún podemos observar que existe un gran número de visitantes que prefieren hospedarse a bordo: la curva se mantiene entre 75 y 80 mil pasajeros anualmente. Lo anteriormente mencionado, implica que para poder abastecer al sector turístico, las embarcaciones aprobadas por Ministerio de Turismo a través de la DPNG, deben realizar varios viajes dependiendo de la capacidad de pasajeros que estas lo permitan y el tipo de operador turístico que las mismas constituyan.

2.3 Clasificación de las embarcaciones y sus operadores turísticos

Existen ocho tipos de operadores turísticos aprobados por el Reglamento Especial de Turismo de Áreas Naturales Protegidas (RETANP). Estos se ejecutan mediante la aprobación de la patente turística para posteriormente obtener un cupo en una de las ocho clasificaciones de acuerdo al tipo de actividad que la embarcación va a realizar de manera permanente en la RMG, la capacidad de pasajeros que pueda admitir y los itinerarios de los paquetes turísticos (las rutas de navegación y los sitios de visita en los que desembarcan los pasajeros se deben cumplir sin cambios a menos de que se realice una previa solicitud formal de cambio de ruta) (DPNG, 2020; Flores, 2012).

El recorrido que realiza cada embarcación tiene un cronograma específico y dependiendo del lugar, la normativa de navegación es diferente, además, la cantidad de turistas permitidos en un sitio de visita son máximo 100 personas al día (para reducir los impactos en el medio ambiente). Por ejemplo, en lugares estrechos como el canal Bolívar, no pueden navegar dos embarcaciones grandes a la vez porque ocasionaría congestión marítima.

A continuación se presentan las ocho categorías de operación turística navegable según la DPNG (2020):

2.3.1 *Tour de crucero navegable*: Son las embarcaciones que cuentan con servicio de hospedaje y alimentación. En esta modalidad los turistas navegan por las islas, desembarcando en diferentes localidades de visita tanto terrestres como marinas autorizadas según el paquete turístico que elijan (de 7 a 14 días). Debido al exceso de embarcaciones turísticas en los puntos de visita (congestión marítima), entre las regularizaciones (mencionadas anteriormente) se estableció que las embarcaciones que realizan tours de crucero navegable, no pueden visitar el mismo punto más de una vez en el nuevo sistema de itinerarios fijos de dos semanas (14 días) (Flores, 2012), que se presentan a continuación:

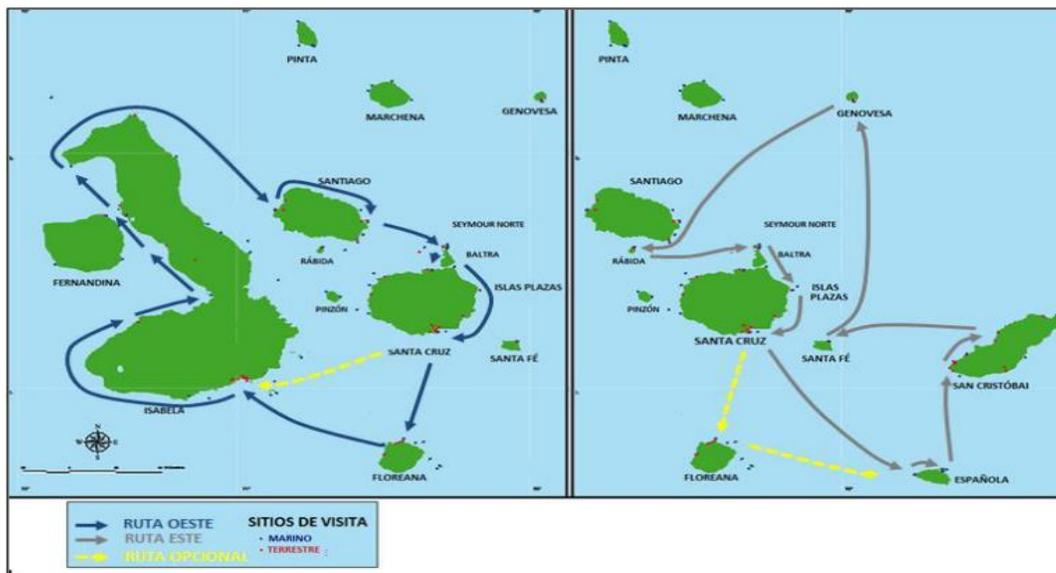


Figura 3. Modelo de dos circuitos (Flores, 2012). Cada circuito dura 7 días, para cumplir con las regularizaciones y evitar congestión marítima y además, respetar la norma del máximo de turistas diarios permitidos en los puntos de visita

2.3.2 *Tour de buceo navegable*: Son las embarcaciones que cuentan con servicio de hospedaje y alimentación. En esta modalidad los turistas navegan por las islas y solo tienen permitido visitar lugares cercanos a los centros poblados, ya que este tipo de operador turístico se enfoca en realizar buceo deportivo en las áreas permitidas por la DPNG, mas no

a desembarcar en otras áreas al igual que el tour de crucero navegable. Además, en esta modalidad las embarcaciones solo tienen permitido hospedar a un máximo de 16 pasajeros, para precautelar con la seguridad durante las inmersiones (1 guía de buceo por cada 8 pasajeros). Por otro lado, en esta categoría se manejan itinerarios fijos de 7 días, ya que no navegan por todas las islas así como el tour de crucero navegable, sino que únicamente viajan desde el suroeste a noroeste del archipiélago y viceversa, como lo muestran las dos siguientes figuras.

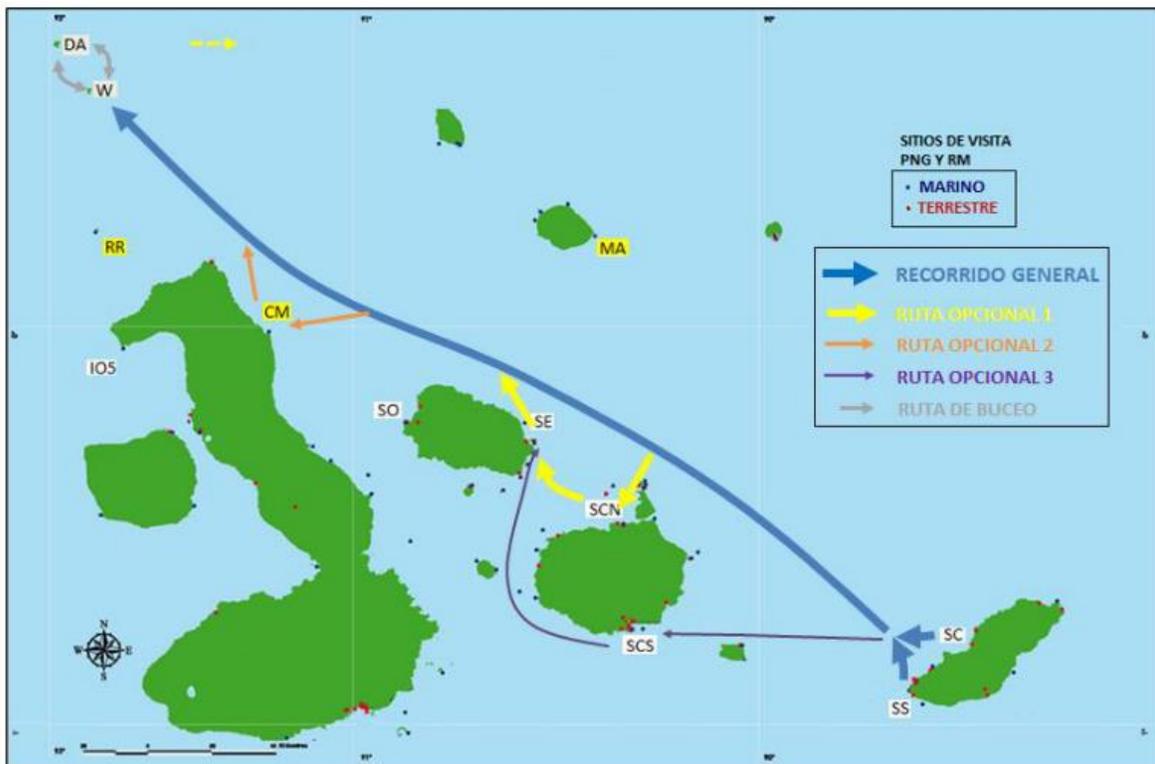


Figura 4. Flujos Norte de las embarcaciones de buceo (Flores, 2012).

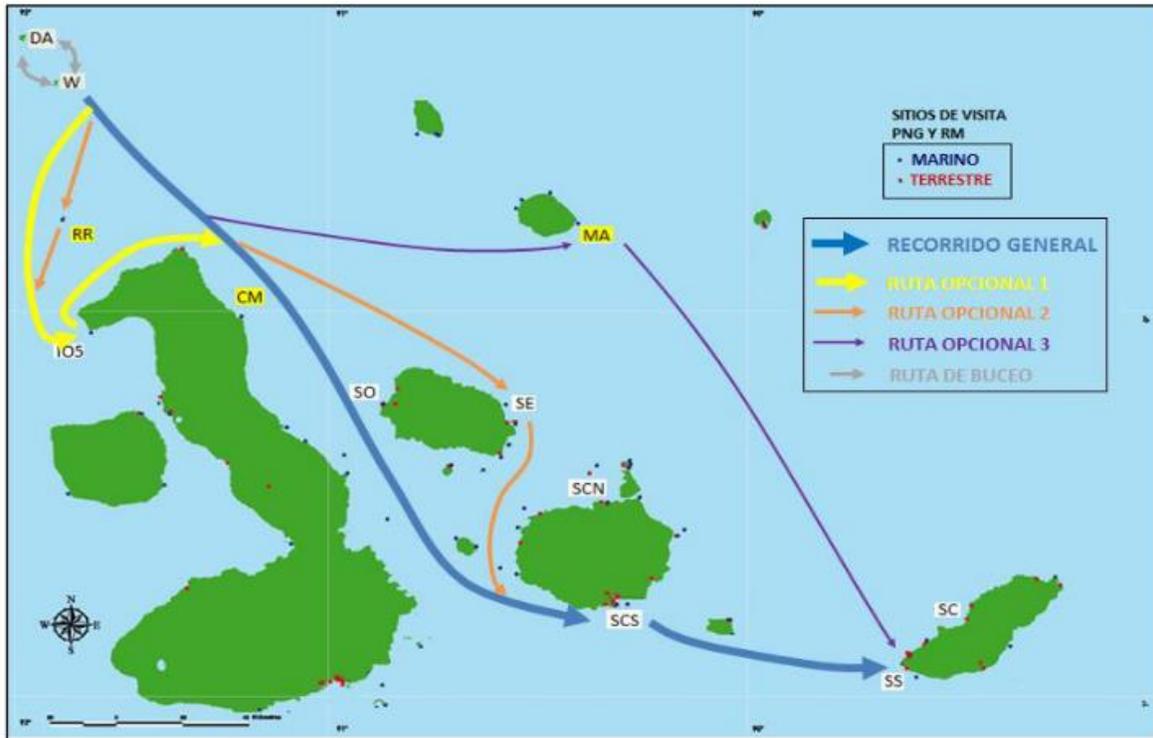


Figura 5. Flujos Sur de las embarcaciones de buceo (Flores, 2012).

2.3.3 *Tour diario*: En esta modalidad, las embarcaciones no cuentan con servicio de hospedaje, solo tienen permitido transportar a un máximo de 16 pasajeros diariamente: se embarcan en la mañana y navegan hasta los lugares de visita autorizados por la DPNG y posteriormente se los lleva de vuelta a su punto de origen al finalizar la tarde. Para evitar la congestión marítima, estas embarcaciones tienen itinerarios semanales fijos y diferentes puntos de visita diarios.

La mayoría de las embarcaciones que trabajan en esta categoría, no están autorizadas ya que no cuentan con cupos ni las patentes otorgadas por la DPNG. Solo se tienen datos de las 9 embarcaciones regularizadas, pero se estima que existen un total del 30 embarcaciones irregulares (operan de manera “ilegal” en la RMG). Esta modalidad es la que mayor demanda abarca en el sistema turístico marítimo y es por esto que las embarcaciones irregulares permiten que se pueda responder de manera efectiva para los turistas, pero generan una gran controversia entre los operadores que si cuentan con el permiso respectivo; además, los operadores irregulares ofrecen destinos más atractivos ya que no se manejan a través de los

itinerarios fijos al igual que las embarcaciones permitidas y esto les otorga una gran ventaja competitiva.



Figura 6. Flujos de las embarcaciones de Tour Diario que operan en todo el archipiélago (Flores, 2012). Como se puede observar existen vacíos de información de las demás islas pobladas: San Cristobal e Isabela. Esto se debe a que en esta representación no se incluyen las rutas que recorren las embarcaciones irregulares.

2.3.4 Tour diario de buceo: Cumple con la misma función general del tour diario pero son diferentes en algunas características específicas. En esta modalidad, las embarcaciones no cuentan con servicio de hospedaje, solo tienen permitido transportar a un máximo de 8 pasajeros diariamente: se embarcan en la mañana y navegan hasta los lugares en donde tienen permitido realizar inmersiones de buceo deportivo en dos diferentes lugares (uno en la mañana y otro en la tarde) de la RMG y posteriormente se los lleva de vuelta a su punto de origen al finalizar la tarde. Para evitar la congestión marítima, estas embarcaciones tienen itinerarios semanales fijos y diferentes puntos de visita diarios. Aquí también existen al menos 11 embarcaciones que operan de manera irregular en todo el archipiélago.

2.3.5 *Tour de bahía*: Son las embarcaciones que realizan visitas diarias en las bahías y lugares cercanos a los puertos de origen, conociendo la costa de una de las cuatro islas pobladas en específico. Incluye las actividades de caminata, snorkel y natación. Las embarcaciones solo pueden permitir un máximo de 16 pasajeros por viaje.

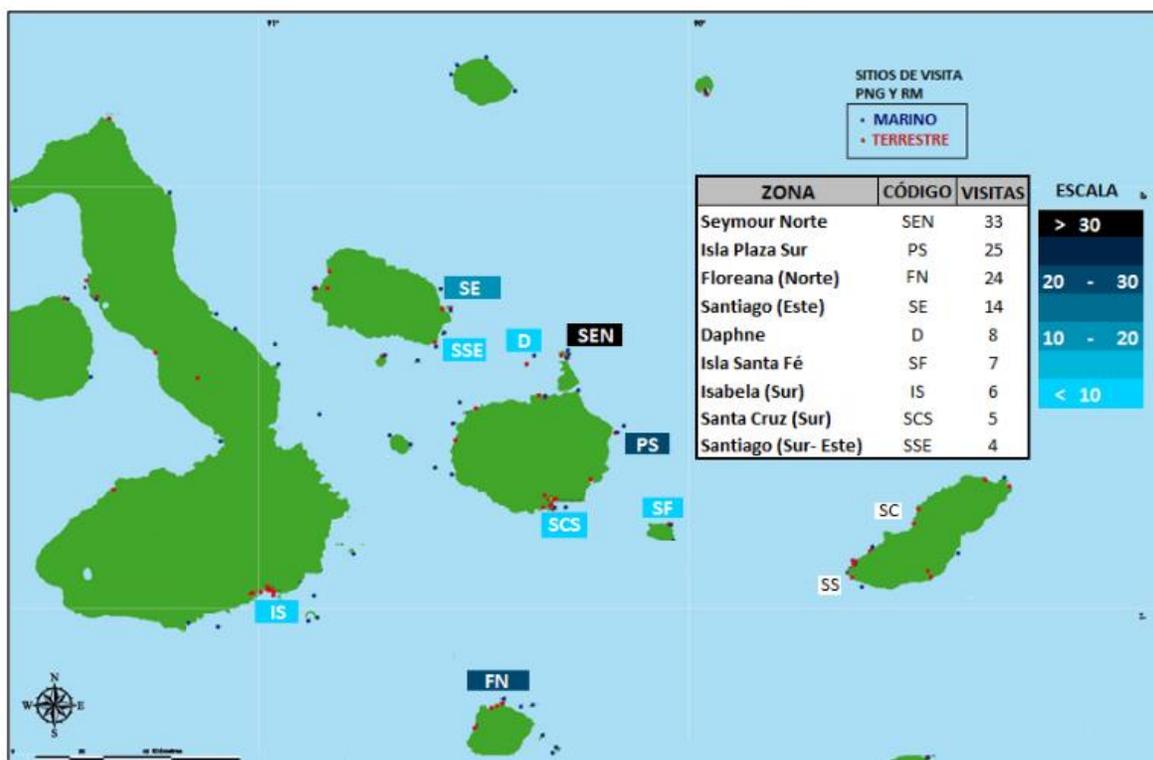


Figura 7. Número de visitas zonificadas de las embarcaciones de Tour de Bahía y Buceo con patente de operación (Flores, 2012).

2.3.6 *Pesca vivencial*: Esta actividad diaria la realizan los pescadores artesanales autorizados de Galápagos y consiste en un recorrido a las zonas locales de pesca. Los pescadores realizan una demostración a los turistas de la pesca artesanal: como funciona, regularizaciones por la DPNG en base a este arte de pesca, entre otros. Además, esta actividad puede ser complementada realizando una visita a un sitio de descanso en el que pueden realizar actividades como snorkel, natación y caminata).

2.3.7 *Tour de puerto a puerto*: Es la modalidad en la que las embarcaciones sirven de transporte desde una isla poblada a otra de la provincia, dejando a los pasajeros en la isla de destino para que puedan dormir en puerto. Esta modalidad es mayormente usada por los habitantes de las islas cuando necesitan viajar entre islas por asuntos de trabajo o visita. Pero también los hoteles suelen o agencias de viaje alquilan una lancha para trasladar a sus clientes (denominadas coloquialmente por los habitantes de las islas como “lanchas charters”, de manera irregular. Dependiendo de las condiciones del mar (oleajes, etc) el viaje tiene una duración de 2 hasta 3 horas.

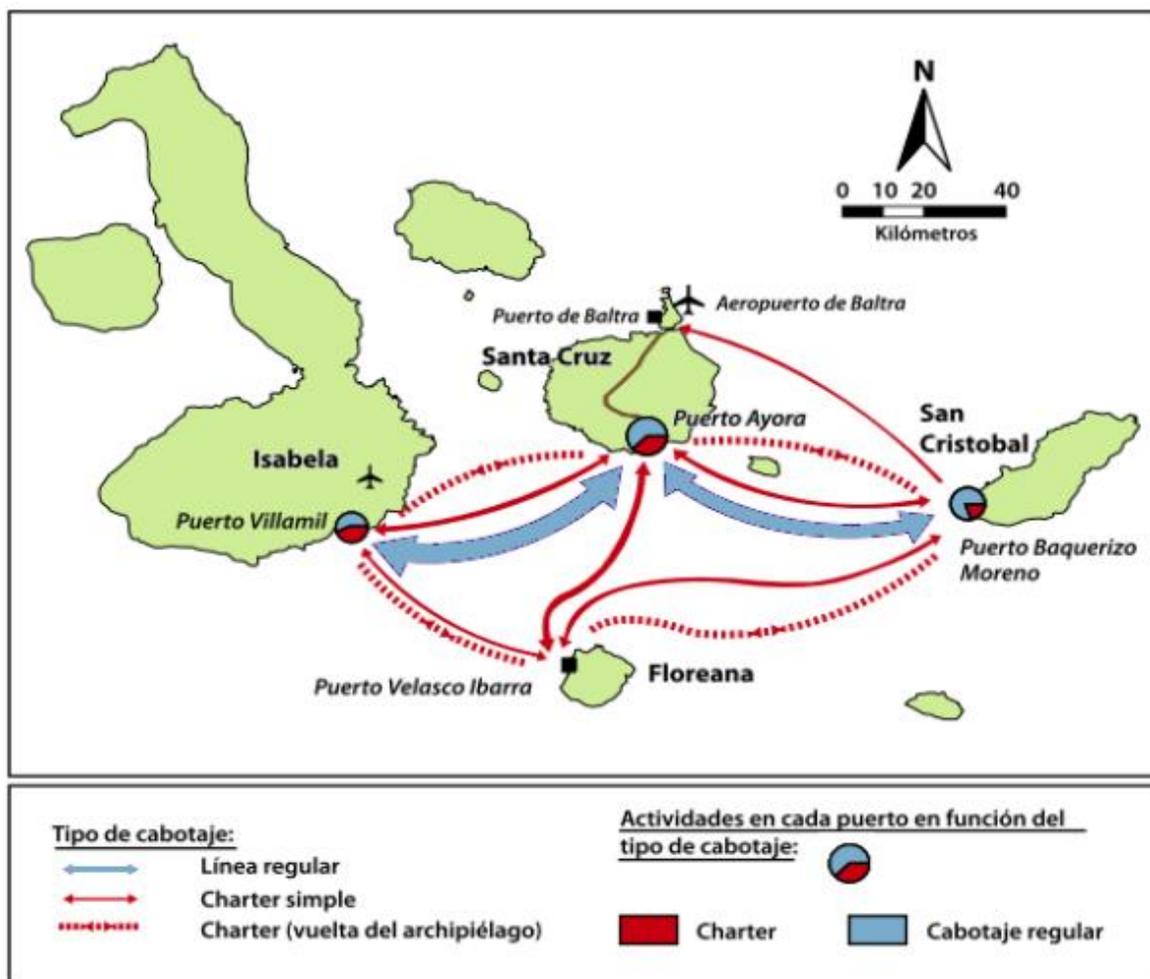


Figura 8. Dinámica de cabotaje entre islas (Flores, 2012).

2.3.8 *Embarcaciones de cabotaje*: En esta modalidad, las embarcaciones sirven de transporte de taxi acuático entre el puerto de una isla hacia otras embarcaciones como conectores y también hacia otras bahías cercanas a las que no se puede acceder de manera fácil y/o rápida a través de tierra. Estos taxis acuáticos tienen una capacidad máxima de 16 pasajeros, dependiendo del tamaño de la embarcación.

Tabla 1. Clasificación de las embarcaciones turísticas de la reserva marina de Galápagos

Operadores turísticos	Reguladas
Tour de crucero navegable	66
Tour de buceo navegable	7
Tour diario	9
Tour diario de buceo	23
Tour de bahía	14
Pesca vivencial	34
Tour de puerto a puerto	0
Embarcaciones de cabotaje	37
Total:	190

Modificado de: Dirección del Parque Nacional Galápagos. 2020.

En la tabla 1, podemos observar que el operador turístico que más embarcaciones aprobadas para esta actividad es el de crucero navegable y las embarcaciones de cabotaje. Es importante mencionar que solamente se encuentran contabilizadas las embarcaciones turísticas que tienen aprobado el cupo y la patente de turismo. Lo que deja un vacío de información sobre las embarcaciones que trabajan irregularmente dentro de la RMG, sus áreas de visita y las rutas de navegación que realizan.

En la siguiente figura se puede observar las rutas de navegación y cómo funciona el flujo de las embarcaciones alrededor del archipiélago de Galápagos. Esto es importante para determinar qué lugares son los que mayores índices de visita tienen y comprender cuáles podrían ser los ecosistemas marinos más afectados en cuanto a la recepción de ruido

proveniente de los diferentes tipos de embarcaciones turísticas. Además, nos basaremos en esta figura para determinar el área ideal para realizar las mediciones de las frecuencias emitidas.

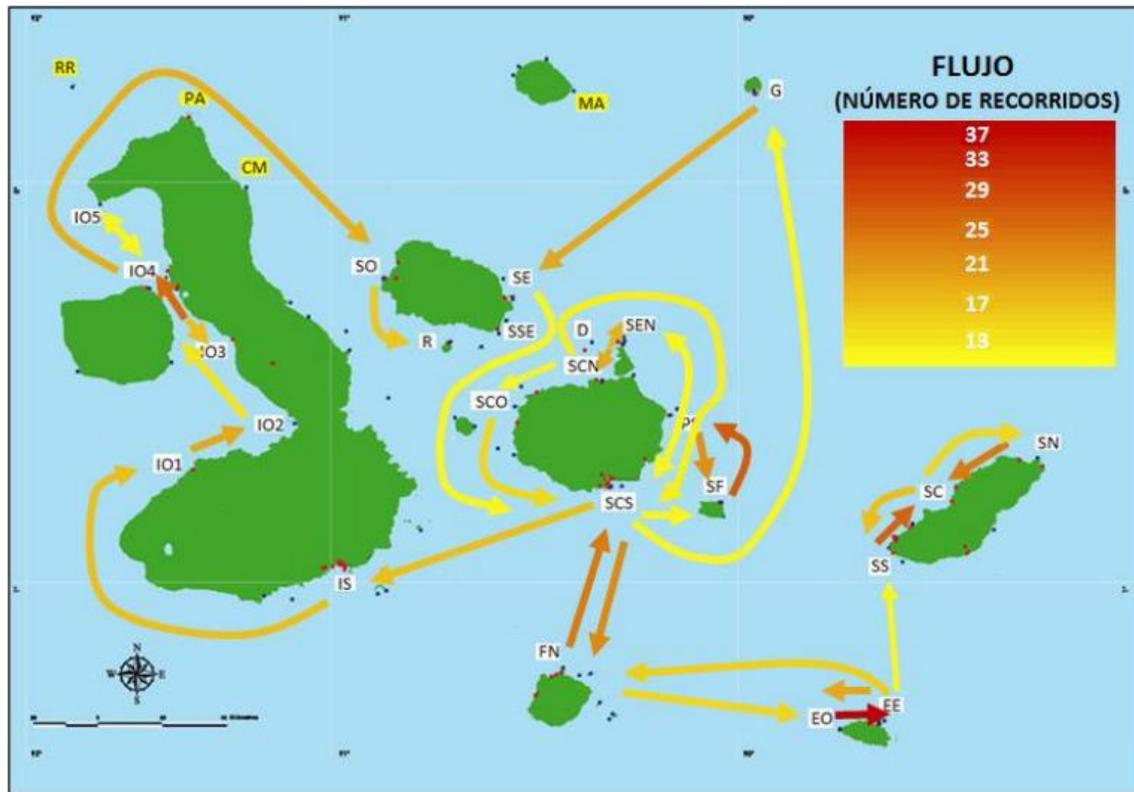


Figura 9. Flujos más importantes de acuerdo al número de recorridos (Flores, 2012).



Figura 10. Congestión de las zonas (Flores, 2012).

3. Ecología de los cetáceos en la Reserva Marina de Galápagos

3. 1 Cetáceos en la RMG

La biodiversidad marina de las islas Galápagos se ve influenciada por tres corrientes oceánicas representativas (Forryan et al., 2021); dos de ellas son corrientes superficiales (Panamá y Humbolt) y la tercera es una corriente submarina (Cromwell). La corriente de Panamá proviene desde el norte hacia el archipiélago; la temporada empieza en diciembre y termina en mayo; ésta trae consigo aguas cálidas y de menor productividad biológica. La corriente de Humbolt proviene del sur hacia el archipiélago y por el contrario, es más fría y de mayor productividad biológica; la temporada empieza en junio y termina en diciembre. Y por último, la corriente de Cromwell proviene del oeste y se encuentra a aproximadamente 100 metros de profundidad; esta es una corriente muy importante en los ecosistemas marinos de las islas ya que produce eventos de afloramiento en varias zonas por su choques con las islas Galápagos (Forryan et al., 2021). Debido a estas características, podemos encontrar a siete especies de mysticetos (ballenas barbadas) y a 16 especies de odontocetos (ballenas

dentadas/delfines y orcas). Cabe recalcar que en estos datos no se incluye la información de los zífidos (otras especies de odontocetos) de la RMG ya que en el presente proyecto de investigación no serán estudiados. A continuación presentamos dos tablas con información relevante sobre las especies de interés y de ellas elegiremos 3 especies de mysticetos y 3 especies de odontocetos como sujetos de estudio para las grabaciones de sonido subacuático.

Tabla 2. Lista de Mysticetos encontrados en la Reserva Marina de Galápagos

Nombre común	Nombre científico	Categoría UICN	Lugares de avistamiento	Abundancia en la RMG
Ballena minke	<i>Baleoptera acustorostrata</i>	Preocupación menor	Canal Bolivar	Rara
Ballena sei	<i>Baleoptera borealis</i>	En peligro de extinción	Canal Bolivar	Rara
Ballena de Bryde	<i>Baleoptera edeni</i>	Preocupación menor	Canal Bolivar, al norte y oeste de la isla San Cristobal	Común
Ballena azul	<i>Baleoptera musculus</i>	En peligro de extinción	Canal Bolivar	Rara
Rorcual común o Ballena de aleta	<i>Baleoptera physalus</i>	Vulnerable	Alrededor del archipiélago	Rara
Ballena jorobada	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Preocupación menor	Canal Bolivar	Común

Tabla 3. Lista de Odontocetos encontrados en la Reserva Marina de Galápagos

Nombre común	Nombre científico	Categoría UICN	Lugares de avistamiento	Abundancia en la RMG
Delfín común	<i>Delphinus delphis</i>	Preocupación menor	Alrededor del archipiélago	Común
Orca pigmea	<i>Feresa attenuata</i>	Preocupación menor	Alrededor del archipiélago	Rara
Ballena piloto	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Preocupación menor	Alrededor del archipiélago	Rara
Delfín de Risso o Delfín gris	<i>Grampus griseus</i>	Preocupación menor	Alrededor del archipiélago	Rara
Delfín de Fraser	<i>Lagenodelphis hosei</i>	Preocupación menor	Alrededor del archipiélago	Rara
Orca	<i>Orcinus orca</i>	Datos insuficientes	Alrededor del archipiélago	Común
Delfín cabeza de melón	<i>Peponocephala electra</i>	Preocupación menor	Alrededor del archipiélago	Rara
Falsa orca	<i>Pseudorca crassidens</i>	Casi amenazado	Alrededor del archipiélago	Rara
Delfín manchado tropical	<i>Stenella attenuata</i>	Preocupación menor	Alrededor del archipiélago	Rara
Delfín rayado	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Preocupación menor	Alrededor del archipiélago	Rara
Delfín girador o acróbata	<i>Stenella longirostris</i>	Preocupación menor	Alrededor del archipiélago	Rara
Delfín de dientes ásperos	<i>Steno bredanensis</i>	Preocupación menor	Alrededor del archipiélago	Rara
Delfín nariz de botella	<i>Tursiops truncatus</i>	Preocupación menor	Residentes	Común
Cachalote enano o pygmeo	<i>Kogia sima</i>	Preocupación menor	Alrededor del archipiélago	Rara
Cachalote	<i>Physeter macrocephalus</i>	Vulnerable	Canal Bolivar	Frecuente

3.1.1 Distribución y abundancia de los cetáceos en la RMG.

La distribución y abundancia de especies de cetáceos encontrados cada año en la Reserva Marina de Galápagos depende de la intensidad de los eventos climáticos de El Niño y La Niña (Denkinger et al., 2013). La influencia de El Niño corresponde a la temporada seca y cálida (menor productividad), mientras que La Niña corresponde a la temporada fría y húmeda (mayor productividad). Los eventos de menor y mayor productividad tienen que ver con la cantidad de alimento disponible en los ecosistemas. Por lo general, entre más fría sea la temporada, más alimento disponible habrá en cada nivel trófico y viceversa en los ecosistemas marinos (Forryan et al., 2021).

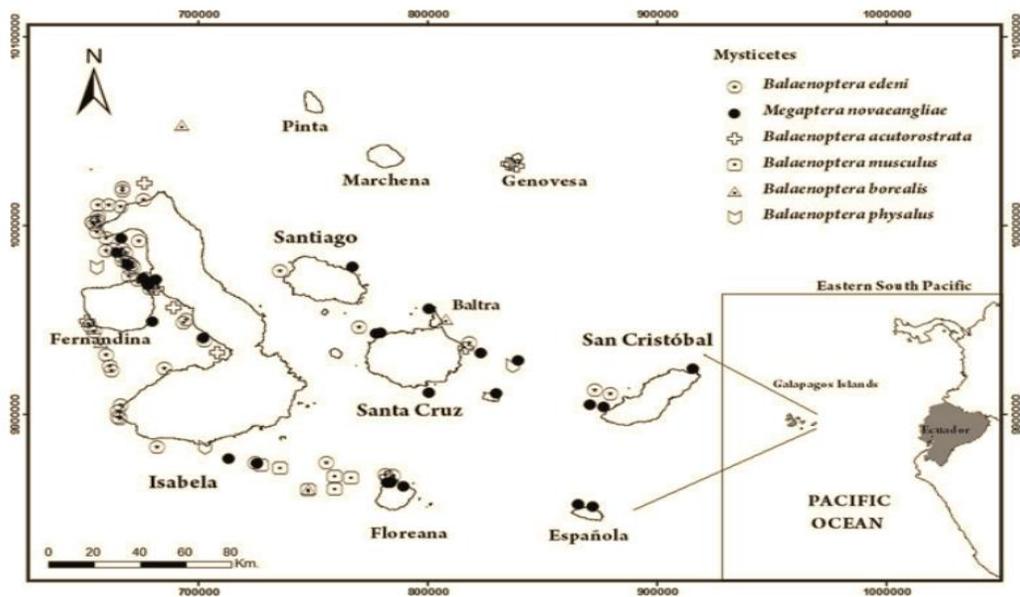


Figura 11. Mapa de la distribución acumulativa de avistamientos de ballenas barbadas (Mysticetes) en la Reserva Marina de Galápagos desde 1993 hasta 2010 (Denkinger et al. 2013).

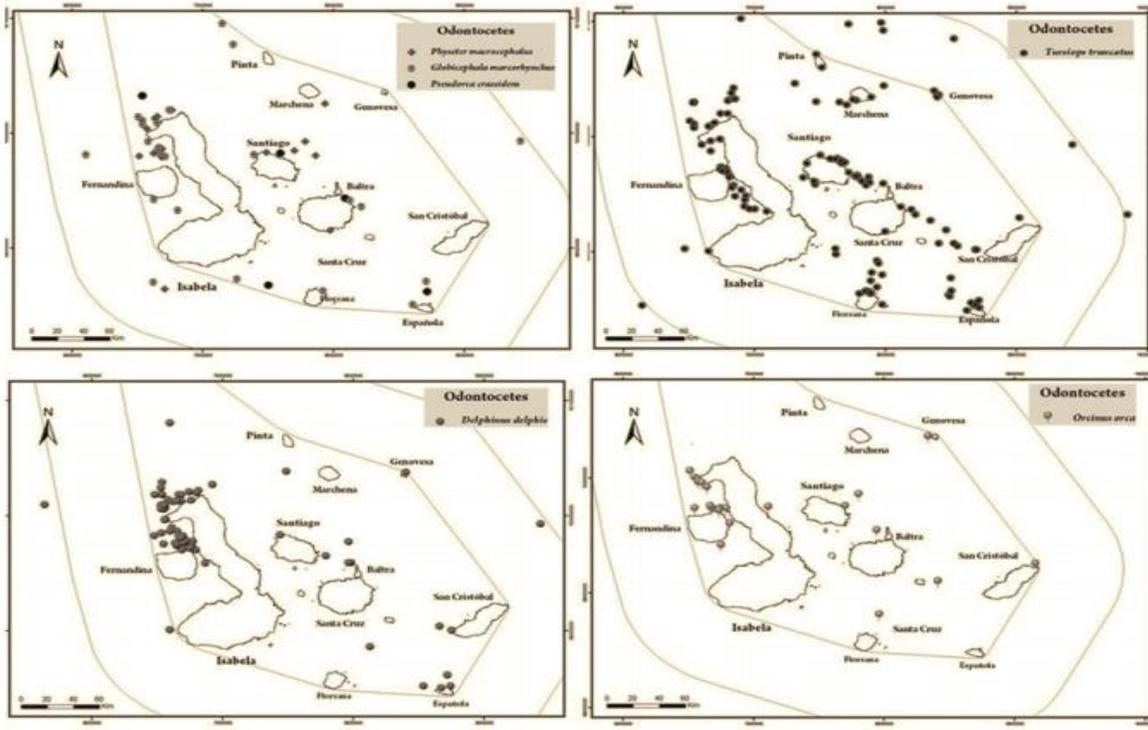


Figura 12. Distribución acumulada de avistamientos de odontocetos en la Reserva Marina de Galapagos desde 1993 hasta 2010 (Denkinger et al. 2013). En este estudio, se encontró una mayor presencia de especies de cetáceos al oeste de la RMG, desde el norte hasta el sur de la isla Isabela, pasando por el canal Bolivar (entre las islas Fernandina e Isabela).

Tabla 4. Estacionalidad anual según el número acumulado de avistamientos durante la temporada cálida y fría de 6 especies encontradas en la Reserva Marina de Galápagos.

Especies	T. cálida	T. fría	Preferencias de temporada
<i>Baleonoptera edeni</i>	89	92	Temporada fría
<i>Balaenoptera musculus</i>	3	20	Temporada fría
<i>Megaptera novaeangliae</i>	18	93	Temporada fría
<i>Delphinus delphis</i>	92	73	Temporada cálida
<i>Tursiops truncatus</i>	172	194	Temporada fría
<i>Orcinus orca</i>	61	70	Temporada fría
Total	435	542	

Modificado de: Denkinger et al. 2013. Seasonality according to the cumulative number of sightings during warm and cold season of the 12 most common species observed in the Galapagos Marine Reserve.

3.2 Comunicación de los cetáceos

La comunicación es la producción de un estímulo o señal que es recibida por otro organismo que provoca una respuesta. Se ha comprobado que los cetáceos se comunican dentro y entre las especies de diversas maneras, aunque la mayoría de ellas se genera mediante señales acústicas. Además, la luz no puede penetrar a más de 200 metros bajo el nivel del mar, haciendo que su capacidad visual sea nula a mayores profundidades. Por lo tanto, el sentido que predomina en el medio acuático para esta clase de mamíferos marinos es la audición. Los cetáceos dependen del sonido para su comunicación, alimentación y conocimiento de su entorno a través de la generación de distintas frecuencias de sonidos incluyendo estrategias especializadas como la ecolocalización en odontocetos (Ketten, 1992; Ketten, 1997).

La ecolocalización es la habilidad con la que los cetáceos pueden producir sonidos de diferentes frecuencias (alta, media o baja) y detectar los objetos distantes o características físicas de su entorno, produciendo ecos que rebotan contra esos objetos. Los animales que evolutivamente adquirieron la ecolocalización obtienen información precisa, clara y detallada tanto en distancias significativamente pequeñas, así como también grandes. Incluso ellos pueden distinguir la composición de los objetos y otros individuos sin importar si son externamente idénticos (Ketten, 1992; Ketten, 1997).

Las llamadas de baja frecuencia hacen eco desde el fondo marino de manera similar a las sondas (Thompson et al., 1979), o características oceanográficas distantes como los bordes continentales, cadenas submarinas o archipiélagos como las Galápagos (Tyack, 1997). Esta manera de navegar es muy útil para ayudar a los cetáceos en sus largas migraciones, asegurando que estos no queden atrapados entre grietas o varados en las costas insulares donde hay menor profundidad para que puedan moverse correctamente.

4. Generalidades y características del sonido en el medio acuático

El sonido en el agua se propaga a mayor velocidad y el rango de transmisión o propagación, depende de su amplitud y frecuencia (de pocos metros a miles de kilómetros). La amplitud y frecuencia son características del sonido que se pueden medir mediante el uso del hidrófono el cual convierte toda la recopilación del ruido y del sonido que receipta de los ecosistemas marinos en señales acústicas/eléctricas. El hidrófono detecta los cambios de presión de las ondas de sonido y se graban como la amplitud y frecuencia respectiva dependiendo de la sensibilidad del instrumento. Para determinar los efectos del ruido en los mamíferos marinos, debemos tener conocimiento de la capacidad auditiva de los cetáceos. Las mismas que están asociadas al rango acústico (espectro de frecuencia) que producen en el océano (ver Figura 13) y tienen cierta sensibilidad a las distintas frecuencias recibidas por sus órganos sensoriales de la escucha.

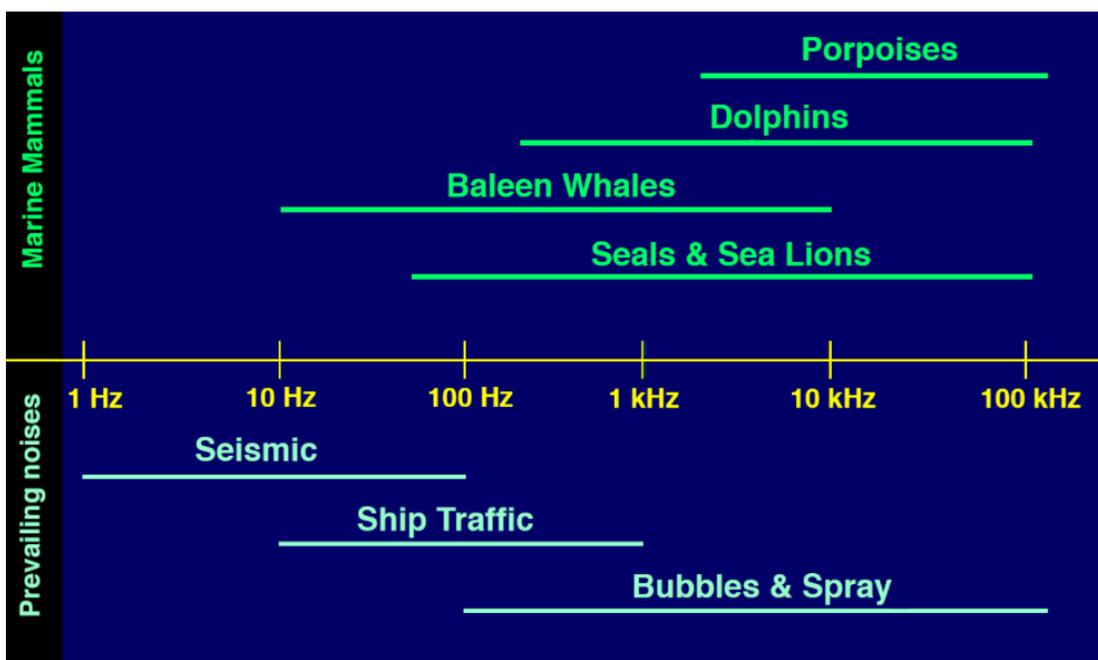


Figura 13. Rango de frecuencias de sonidos producidos por distintos grupos de mamíferos marinos, sonidos antropogénicos y naturales en el océano (Dosits, 2020).

Además, debemos saber que existen dos fuentes de ruido oceánico: aquellos que son producidos naturalmente y las que son producto de la actividad humana. En la naturaleza, generalmente se forman fuentes de ruido por procesos físicos (actividad de las placas tectónicas, viento y olas) o biológicos (vocalizaciones de los animales marinos). Mientras que los que son producidos por la actividad humana son causados por los motores de los barcos, pruebas militares, construcciones marinas y prospecciones de gas y/o de petróleo (Simmonds et al., 2003). En esta investigación nos enfocaremos en el ruido de origen antrópico producido por la actividad de las embarcaciones de turismo.

4.2 Embarcaciones y su contribución sonora

El ruido de las embarcaciones es el predominante en los océanos y proviene de diferentes sitios: hélices, maquinaria, paso de los cascos a través del agua (Gordon y Moscrop, 1996) y el uso creciente de los sonares o sondas de profundidad (Perry 1998). La mayoría de estos ruidos son de baja frecuencia (menores a 1 kHz) y justamente son estas frecuencias las utilizadas por algunas especies de ballenas para su comunicación (Simmonds et al., 2003). Las hélices de los buques suelen crear frecuencias de ruido más altas, y estas podrían perturbar a los odontocetos ya que parecen ser más sensibles a sonidos de alta frecuencia (Evans y Col, 1992), cuyos efectos son los cambios en los tiempos de inmersión y evitar a embarcaciones que se aproximan a distancias de 150-300 m.

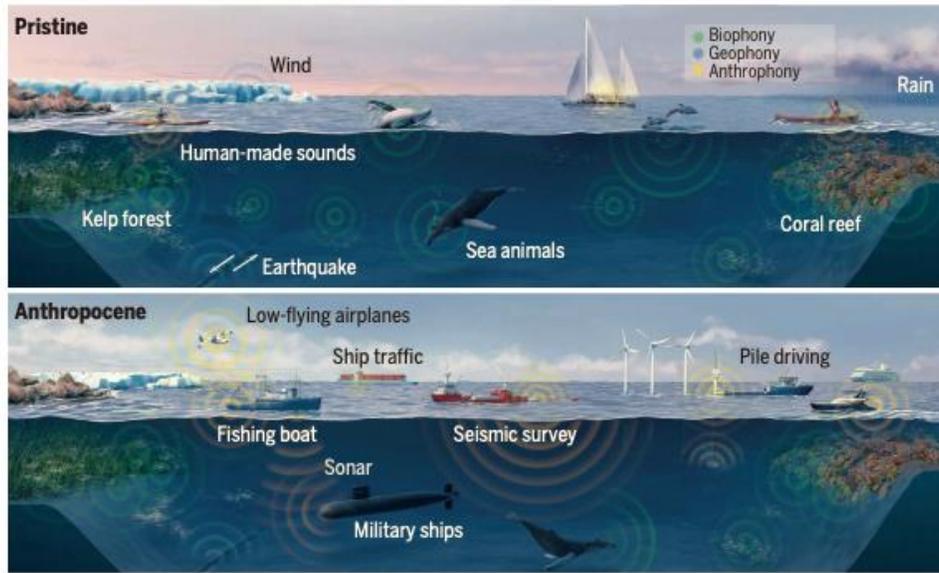


Figura 14. Changing ocean soundscapes (Duarte et al., 2021). Las ilustraciones muestran un paisaje con diferentes escenarios de fuentes de sonido. En el primero se observan únicamente fuentes de ruido natural y en el segundo se muestran las fuentes de ruido antropocénico que interfieren con las fuentes de sonido propias de la naturaleza.

Las embarcaciones más rápidas y viejas causan más disturbios que aquellas que son más lentas y nuevas (Gordon y Moscrop, 1996), ya que las embarcaciones más pequeñas, son las de mayor velocidad y este ruido que se emite se eleva por encima de los niveles ambientales poco tiempo antes del contacto más cercano, lo que provoca una reacción de inquietud y temor entre los individuos (Simmonds et al., 2003). Para poder medir las respuestas del comportamiento y evitar una mala interpretación de las observaciones, es de vital importancia que previamente se midan las características del ruido (amplitud y frecuencia) emitidos por las embarcaciones (Nowacek et al., 2007).

MÉTODOS

1. Selección de especies para el estudio

Para la determinación de las especies de cetáceos que serán parte del estudio, se eligieron a 6 especies comúnmente avistadas en la reserva marina (Alarcón, 2012; Day, 1994; Denkinger et al., 2013;). Además, según la UICN, las especies seleccionadas se encuentran en categorías de preocupación menor a excepción de la ballena azul que está en categoría de peligro de extinción y son las especies con mayor cantidad de datos disponibles en la literatura sobre su rango de frecuencia audible. Como se puede observar en la siguiente tabla, se seleccionaron tres especies de Mysticetos (*Baleonoptera edeni*, *Baleonoptera musculus* y *Megaptera novaeangliae*) y tres especies de Odontocetos (*Delphinus delphis*, *Tursiops truncatus* y *Orcinus orca*).

Tabla 5. Información general de las especies seleccionadas para el estudio.

Orden	Nombre común	Nombre científico	Categoría UICN	Mayores avistamientos
Mysticeto	Ballena de Bryde	<i>Baleonoptera edeni</i>	Preocupación menor	canal Bolívar
Mysticeto	Ballena azul	<i>Balaenoptera musculus</i>	En peligro de extinción	canal Bolívar
Mysticeto	Ballena jorobada	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Preocupación menor	canal Bolívar
Odontoceto	Delfín común	<i>Delphinus delphis</i>	Preocupación menor	canal Bolívar
Odontoceto	Delfín nariz de botella	<i>Tursiops truncatus</i>	Preocupación menor	canal Bolívar
Odontoceto	Orca	<i>Orcinus orca</i>	Datos insuficientes	canal Bolívar

2. Área de estudio

Se eligió al canal Bolívar y a sus zonas aledañas (norte y sur) como área de estudio debido a que es el lugar de la Reserva Marina de Galápagos que presenta la mayor concentración de avistamientos de las 6 especies de cetáceos seleccionadas para el estudio (vease la figura 11 y 12) y a su vez, presenta el mayor número de visitas de embarcaciones

turísticas (véase la figura 11). La alta concentración de estas especies se da por los sistemas de afloramiento de la zona que dan como resultado una alta productividad primaria (Denkinger et al., 2013) y por el flujo de la corriente fría de Humbolt. El canal Bolívar se encuentra ubicado entre la isla Fernandina y la isla Isabela. El canal comprende una longitud de 24 millas náuticas (42,77 kilómetros) y 2,59 millas náuticas (4,79 kilómetros) de ancho, aproximadamente.

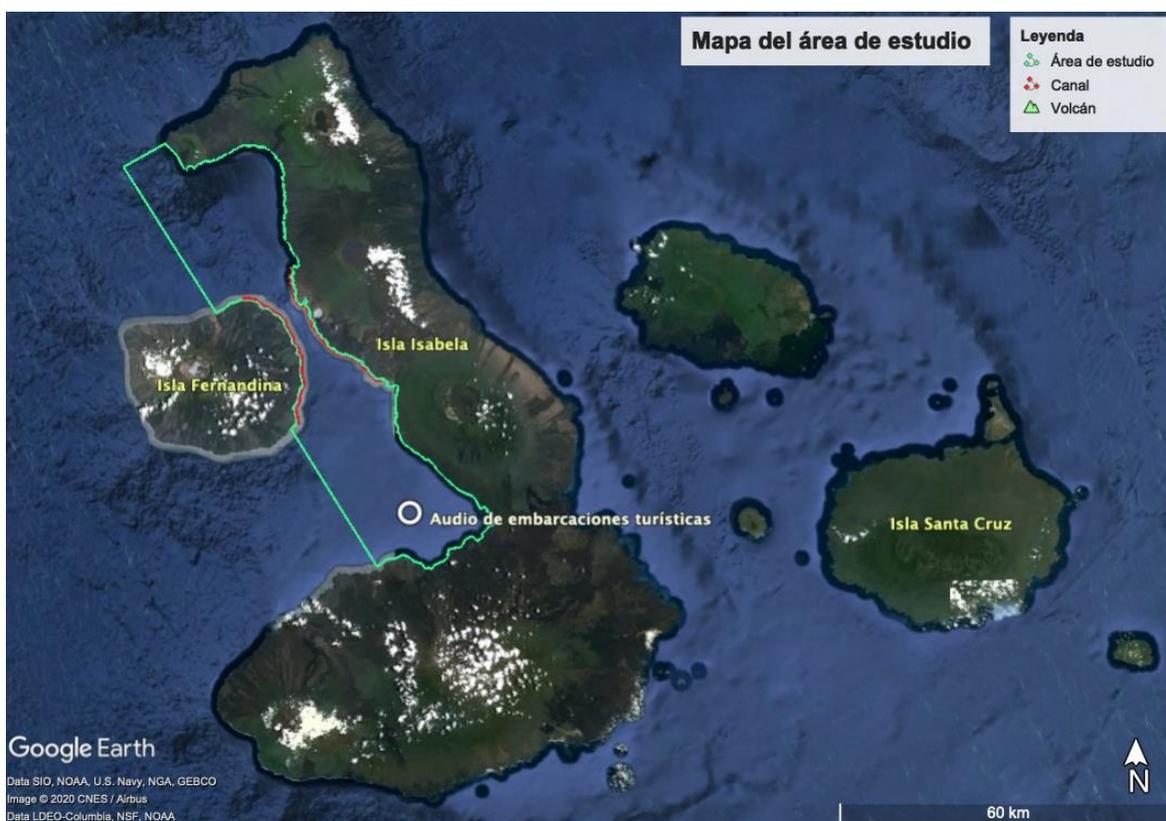


Figura 15. Mapa del área de estudio. Muestra el área en la que se registrarán los datos de las vocalizaciones (Mysticetos), silvidos (Odontocetos), clips de ecolocalización de los cetáceos y los datos del ruido producido por las embarcaciones turísticas. Dentro del límite de color verde se encuentra la zona en la que se registrarán los datos de las 6 especies de cetáceos con un área aproximada de 225 km² (122 millas náuticas). El canal Bolívar es la parte roja (entre las islas Fernandina e Isabela) y el círculo blanco en el sur del área de estudio es donde se hará la toma de datos de todas las embarcaciones turísticas (operadores turísticos regulares e irregulares) que visiten esta parte de la RMG.

3. Selección de la temporada para el estudio

Para elegir la temporada ideal para realizar el estudio, se consideraron los datos de avistamientos de cetáceos de Alarcón (2012). En este estudio se realizó el análisis de la abundancia relativa y distribución de cetáceos en el canal Bolívar en dos temporadas diferentes (cálida y fría) en el año 2011. De esta manera, conocemos que cinco de las seis especies seleccionadas para el estudio, prefieren la temporada fría. Los meses con los mayores avistamientos de las especies se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 6. Información de la preferencia de temporada de las especies en el Canal Bolívar y sus zonas aledañas.

Especie	Preferencia de temporada
<i>Baleonoptera edeni</i>	Presentes todo el año, pero desde agosto hasta noviembre son más comunes
<i>Baleonoptera musculus</i>	Son más comunes en julio y septiembre
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Son más comunes en agosto y septiembre
<i>Delphinus delphis</i>	Presentes todo el año, aunque prefieren temporadas cálidas
<i>Tursiops truncatus</i>	Son más comunes desde agosto hasta noviembre
<i>Orcinus orca</i>	Son más comunes en mayo y septiembre

Modificado de: Alarcón. 2012. Distribución de avistamientos por mes de las especies de misticetos y odontocetos encontrados en la temporada de mayo a noviembre del 2011.

Además, se consideraron los datos de la estacionalidad del turismo de los últimos cinco años (2015 – 2019). Esto es importante ya que una parte fundamental del estudio es la medición de la intensidad del ruido proveniente de las embarcaciones turísticas, para poder hacer la comparación (diferencias y similitudes de las frecuencias de sonido) entre esos niveles de frecuencia y los de las cinco especies de cetáceos elegidas. En la siguiente figura, podemos observar que la actividad turística es estable en todo el año relativamente. Los meses de julio (130.000 visitantes aproximadamente) y agosto (cerca de los 120.000

visitantes) se consideran como temporada alta y en septiembre empieza la temporada baja (85.000 visitantes).

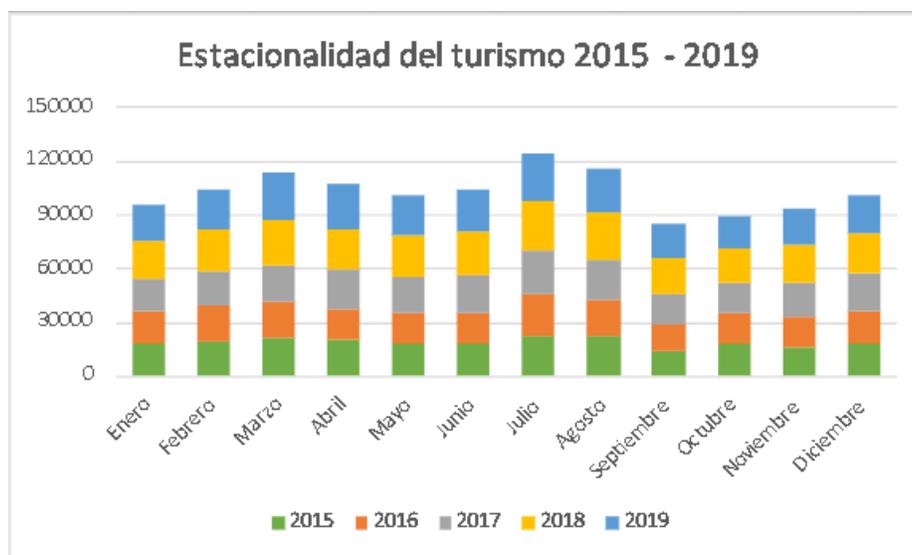


Figura 16. Estacionalidad del turismo en Galápagos desde el año 2015 hasta el 2019.

Modificado de: Dirección del Parque Nacional Galápagos. 2020.

4. Recolección y análisis de datos

4.1 Fase I: Trabajo de campo y toma de datos

Para la recolección de los datos de los rangos de frecuencia, realizaremos un muestreo pasivo de acústica de manera oportunistica, aprovechando los monitoreos del PNG y utilizaremos un hidrófono omnidireccional de la marca Dolphin pro con una respuesta de frecuencia de 15 Hz - 20,000 Hz +/- 3db, sensible para la recepción de frecuencias altas, medias y bajas (este hidrófono tiene integrado un amplificador búfer de sonido), conectado a una grabadora digital marca TASCAM (con la configuración para formato WAV, 16 bit, y 44.1 kHz). El sensor de hidrófono se ubicará a una profundidad de 9 metros (longitud del cable del hidrófono) bajo el nivel del mar con una pesa para mayor estabilidad.

Para facilitar el trabajo de campo y la toma de datos tanto de las especies de cetáceos como de las embarcaciones, la fase de campo se ha dividido en dos subfases:

4.1.1 Recopilación de datos de las embarcaciones turísticas

Para la recopilación de estos datos primeramente debemos verificar y/o actualizar los datos según las especificaciones técnicas de los operadores turísticos: la potencia de sus motores, la velocidad a la que pueden recorrer, tipo de embarcación, etc. Esta información la podemos encontrar en el estudio de Flores (2012), pero es de vital importancia para el proyecto, verificar que la información este actualizada para poder conocer en un futuro cuáles embarcaciones son las que producen más ruido, además de conocer el solapamiento de frecuencia y energía que produzcan. Por esta razón, en el cronograma se agrega esta actividad que debe realizarse antes de la toma de datos en el área de estudio del canal Bolívar. De acuerdo a la elección de la temporada, la primera etapa de la subfase 1 de campo se realizará durante las dos primeras semanas en el mes de julio (inicio de la temporada alta de turismo) ya que según el reglamento de turismo navegable las embarcaciones que realizan tours de crucero navegable no pueden visitar el mismo punto más de una vez dentro de dos semanas. La segunda etapa se realizará en las dos primeras semanas (14 días) del mes de agosto y esto nos permitirá realizar un completo sondeo de todas las embarcaciones turísticas que recorran el área de estudio en ese tiempo.

Nos ubicaremos en la parte sur detallada en el mapa del área de estudio y las diferentes embarcaciones de turismo realizarán una vuelta alrededor de la panga del Parque Nacional Galápagos (en la que se realiza el control y monitoreo del área). Siete de los ocho tipos de operadores turísticos tienen los mismos tamaños de acuerdo al número de pasajeros, pero varían en el tipo de embarcación. Mientras que la categoría de crucero navegable tiene tres embarcaciones que varían en tamaño (pequeñas = 8 a 16 pasajeros, medianas = 18 a 40 pasajeros y grandes = 48 a 100 pasajeros).

Para realizar la comparación adecuada de los niveles de presión (amplitud) y el espectro de frecuencia entre los tipos de embarcaciones, obtendremos grabaciones de la emisión del ruido de sus motores tanto a un radio de distancia estimada de 50 metros (distancia mínima de acercamiento a los Odontocetos) de la embarcación de monitoreo del PNG y a un radio de distancia estimada de 100 metros (distancia mínima para la observación de Mysticetos) (Félix, 2015). Las grabaciones se realizarán con el mismo hidrófono omnidireccional con grabaciones de 15 minutos por embarcación. Las embarcaciones deberán estar a la misma velocidad en la que pasan por el centro del canal Bolívar y esta se verificará usando un dispositivo GPS desde la embarcación turística.

4.1.2 Recopilación de datos de las 6 especies de cetáceos

Para la recopilación de los datos de esta subfase, el estudio se realizará en las dos temporadas (fría y cálida) para abarcar la preferencia de temporada de todas las especies del estudio. En la temporada fría nos enfocaremos en la búsqueda de *Baleoptera edeni* (ballena de Bryde), *Megaptera novaeangliae* (ballena jorobada), *Tursiops truncatus* (delfín nariz de botella) y *Orcinus orca*, mientras que en la temporada cálida nos enfocaremos en la búsqueda de *Delphinus delphis*. Cabe recalcar que la especie *Baleoptera musculus* (ballena azul) al encontrarse en categoría de “en peligro de extinción” según la UICN y también en la RMG su abundancia está categorizada como rara, su búsqueda en el estudio estará programada para todos los meses de la fase de campo como prioridad. En la temporada cálida elegiremos dos meses y en la fría se elegirán tres meses (temporada cálida: mayo y junio; temporada fría: septiembre, octubre y noviembre), en donde se han presenciado mayores avistamientos (Alarcón 2012). Por lo tanto, en cada mes elegiremos solo 15 días para el muestreo. La metodología se realizará de la siguiente manera (bastante similar a la anterior):

Desde la base terrestre del PNG en Isabela y desde su embarcación (en ambas se realiza el control y vigilancia de la zona marina), realizaremos muestreos de observación mediante unos binoculares de larga distancia. Al identificar alguna de las seis especies seleccionadas dentro del área del estudio, viajaremos en una panga del Parque Nacional Galápagos a su encuentro. Dependiendo de si es una de las tres especies de Odontocetos, nos

ubicaremos a una distancia de 50 metros (Félix, 2015) y si es una de las tres especies de Mysticetos, nos ubicaremos a una distancia mínima de 100 metros (Félix, 2015) y realizaremos la recolección de los datos de frecuencia en un tiempo de 15 minutos de grabación por cada individuo/grupo encontrados.

4.2 *Fase 2: Trabajo de laboratorio y análisis de datos*

Para el trabajo de laboratorio, realizaremos un análisis acústico exploratorio para conocer el máximo y mínimo de frecuencias que muestran las grabaciones de las embarcaciones turísticas con las grabaciones de las 5 especies de cetáceos y de esta manera, identificar las frecuencias que se solapan entre sí. Para el análisis del sonido, usaremos el software Raven Pro. Este software es útil porque por defecto muestra dos tipos de vistas de un sonido. El primer tipo de vista es el oscilograma (forma de la onda), el cuál se muestran las presiones de sonido positiva y negativa (-1 a +1) en el eje de la “y” (intensidad de sonido caracterizada por las amplitudes) y en el eje de la “x” el tiempo de grabación del sonido. El segundo tipo de vista es el espectograma, que se representa mediante un gráfico de 2 dimensiones (2D) con 3 tipos de información: en el eje de la “y” se muestra la información de la frecuencia de la onda de sonido, en el eje de la “x”, se muestra la información del tiempo de la grabación del sonido y en el espacio del cuadrante formado por el eje de la “y” y la “x” se puede visualizar la densidad espectral de potencia (escala de color de frío a cálido, dependiendo de la intensidad/potencia del sonido). Los colores oscuros como azul y negro representan baja energía y los colores claros como amarillo, y rojos representa mayor energía (Dosits, 2020).

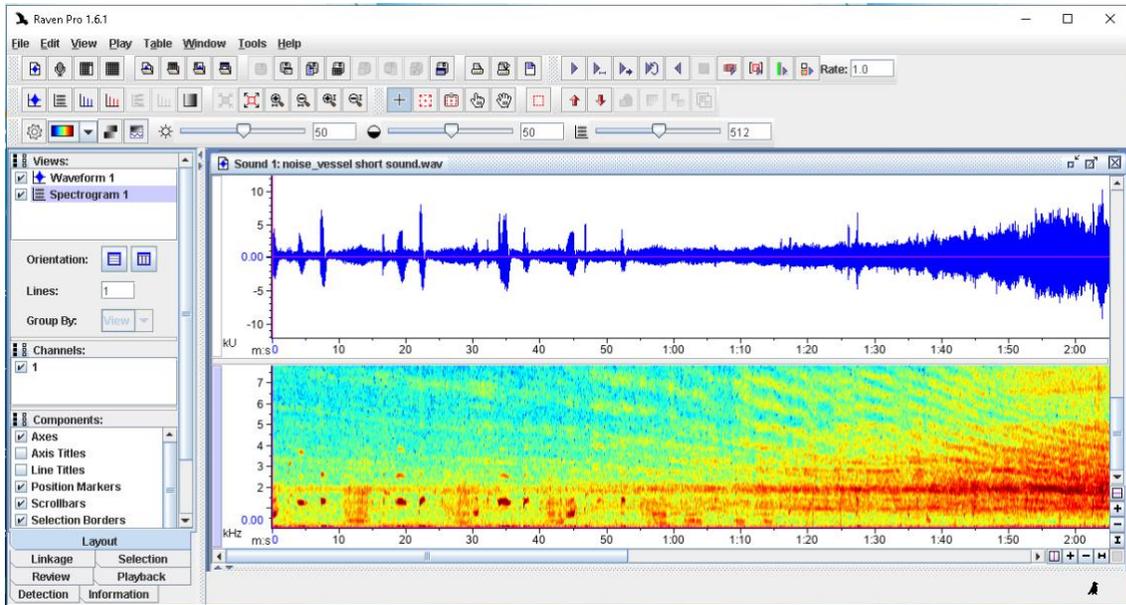


Figura 17. Visualización del software Raven Pro. En la imagen se observan los dos tipos de vista del software: el primero (arriba) es el oscilograma y el segundo (abajo) es el espectrograma de frecuencia.

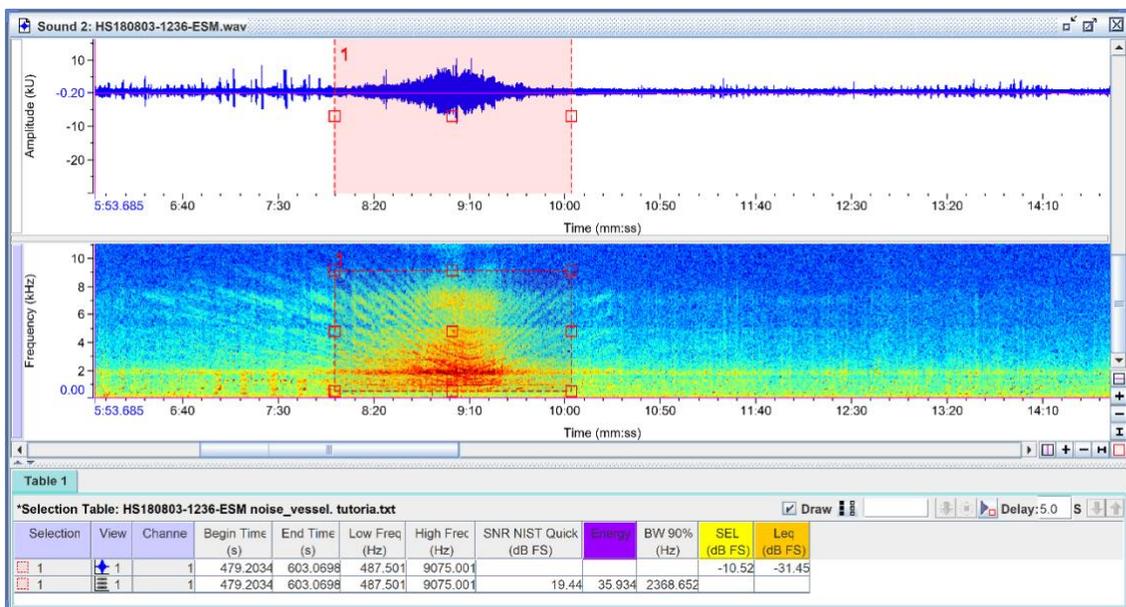


Figura 18. Grabación de sonidos de ballena jorobada y el solapamiento con el ruido de una embarcación.

Usaremos esta grabación como modelo para la fase 2 de la metodología. Cabe recalcar que la grabación contiene el sonido de las vocalizaciones de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y el ruido de una embarcación de fibra de vidrio (es el seleccionado en el cuadro rojo), pero no es así como proponemos que se realicen las grabaciones, ya que se solapan las vocalizaciones de la ballena con el ruido emitido por la embarcación y resulta difícil identificarlas entre más se acerca la embarcación a la ballena jorobada. Es por esta razón que se harán por separado las grabaciones (cetáceos y embarcaciones turísticas) así como está estipulado en la fase 1. A pesar de esto, la grabación nos sirve para mostrar en la metodología, cuales serán los pasos a seguir en la fase 2 del trabajo que corresponde al laboratorio y análisis de datos.

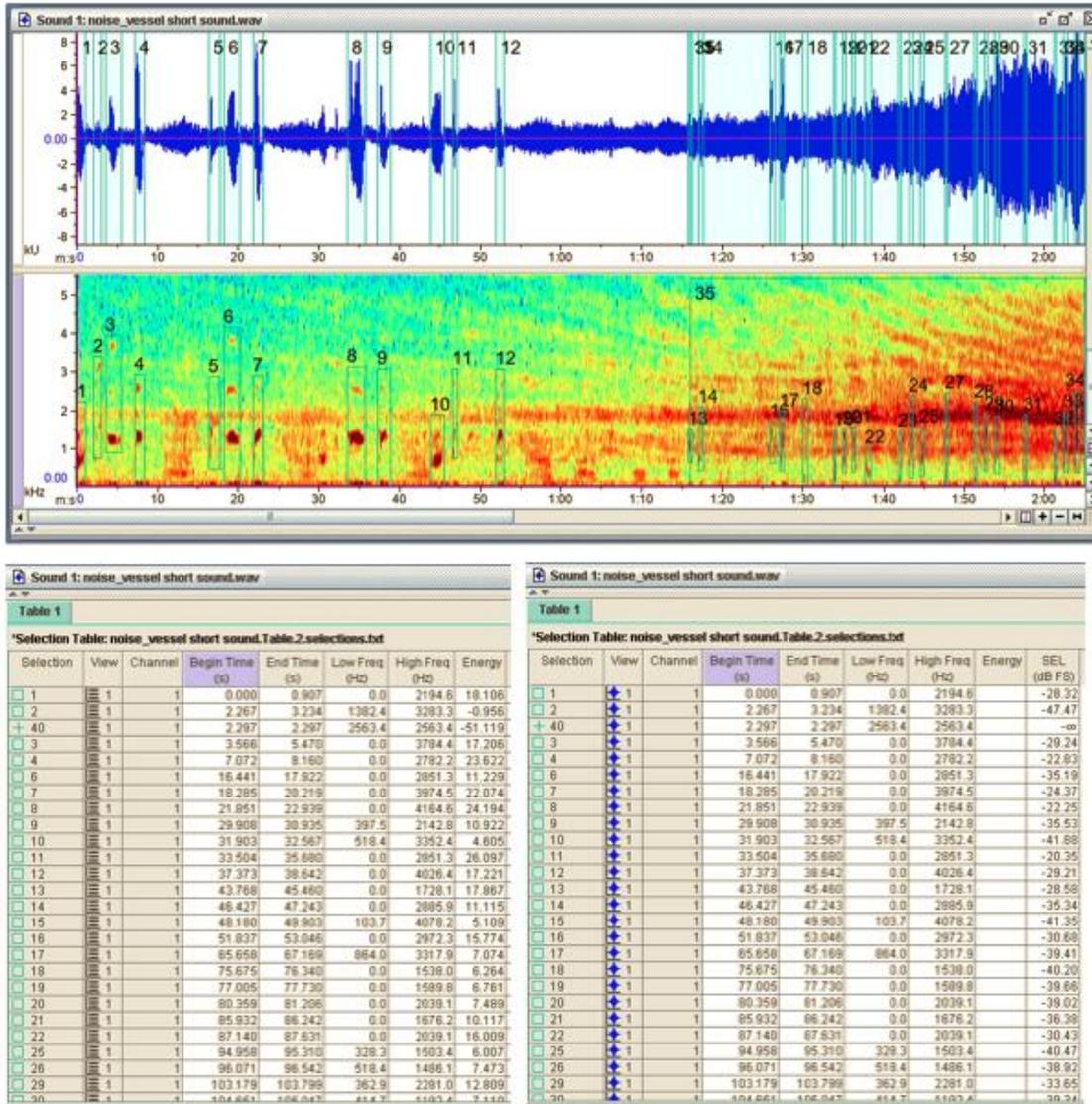


Figura 19. Selección de una muestra de vocalizaciones de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), y extracción de parámetros acústicos tanto de unidades de cantos de jorobadas y ruido causado por una embarcación fibra de vidrio.

Por ejemplo, el espectrograma de frecuencia nos permite visualizar un pequeño fragmento de 2 minutos de grabación acústica submarina de una ballena jorobada en la que se señaló en rectángulos las vocalizaciones que presentaban mayor energía (Figura 18). Cabe mencionar que el software de Raven de manera automática realiza los cálculos de cada una de las 39 selecciones de las vocalizaciones, mostrando en un cuadro inferior los parámetros acústicos como la frecuencia mínima, la máxima, la energía (amplitud o intensidad) y el

SEL/SPL (niveles de presión) de unidades claras para cada vocalización identificada por especie (sonidos de baja frecuencia por ejemplo unidades de cantos en ballenas y sonidos de mediana frecuencia como silbidos en delfines. Estos tres parámetros acústicos fueron seleccionados debido a que son comúnmente utilizados en estudios de bioacústica. Además, en los espectrogramas de frecuencia vamos a poder observar que existen cambios en el comportamiento vocal por la disminución de energía durante la producción de sonidos (vocalizaciones). Este análisis exploratorio será realizado tanto en cetáceos con barbas (Mysticetos) como en cetáceos dentados (Odontocetos) (Gordon et al., 1998).

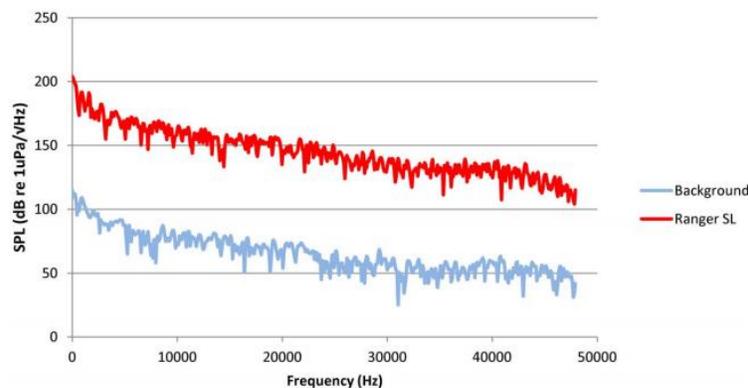


Figura 20. Ejemplo del parámetro acústico SPL en relación a distintas frecuencias que se pueden utilizar en la comparación entre parámetros acústicos de sonidos de cetáceos y ruido de embarcaciones (Pirota et al., 2012).

Es necesario seleccionar la mayor parte de las vocalizaciones que presenten mayor energía para poder realizar un promedio de los datos de las bajas y altas frecuencias. De esta manera, luego del procesamiento de los datos y análisis estadístico descriptivo (promedios, desviación estándar y error estándar) se realizará un análisis paramétrico utilizando la prueba T de student para muestras independientes. Para este análisis se tomará en cuenta datos acumulados solo del rango de frecuencias para sonidos de cetáceos y sonidos de embarcaciones como muestras independientes.

RESULTADOS ESPERADOS

En esta propuesta de investigación se espera obtener una primera caracterización y cuantificación del ruido/sonido (cantidad de energía, nivel de presión y rango de frecuencia) producidos por distintas embarcaciones turísticas y especies de cetáceos dentro del Archipiélago de Galápagos. Para cumplir con este objetivo, se espera tener varios productos principales: primeramente, esperamos obtener los parámetros acústicos del ruido de las diferentes embarcaciones turísticas. Los anexos de los modelos de registro de datos se encuentran al final del documento. En segundo lugar, esperamos obtener los parámetros acústicos de vocalizaciones de las tres especies de mysticeos (*Baleonoptera edeni*, *Megaptera novaeangliae* y *Baleonoptera musculus*) registrando la señal acústica “unidades del canto” y de las tres especies de odontocetos (*Delphinus delphis*, *Tursiops truncatus* y *Orcinus orca*) registrando los “silbidos” como su señal acústica principal en la comunicación.

Al realizarse el promedio de los parámetros acústicos del ruido de los sonidos de baja (unidades de canto en ballenas) y media frecuencia (silbidos) de los grupos mysticetos y odontocetos, esperamos obtener según el grupo auditivo de los cetáceos (mysticetos u odontocetos) el tipo de frecuencia al que pertenecen sus señales acústicas. Estos datos serán procesados y analizados estadísticamente con una prueba de T de student. El rango generalizado de emisión de sonido de los mysticetos son las bajas frecuencias con un rango de 7 Hz a 35 kHz y el rango generalizado de emisión de sonido de los odontocetos son las medias frecuencias con un rango de 150 Hz a 160 kHz.

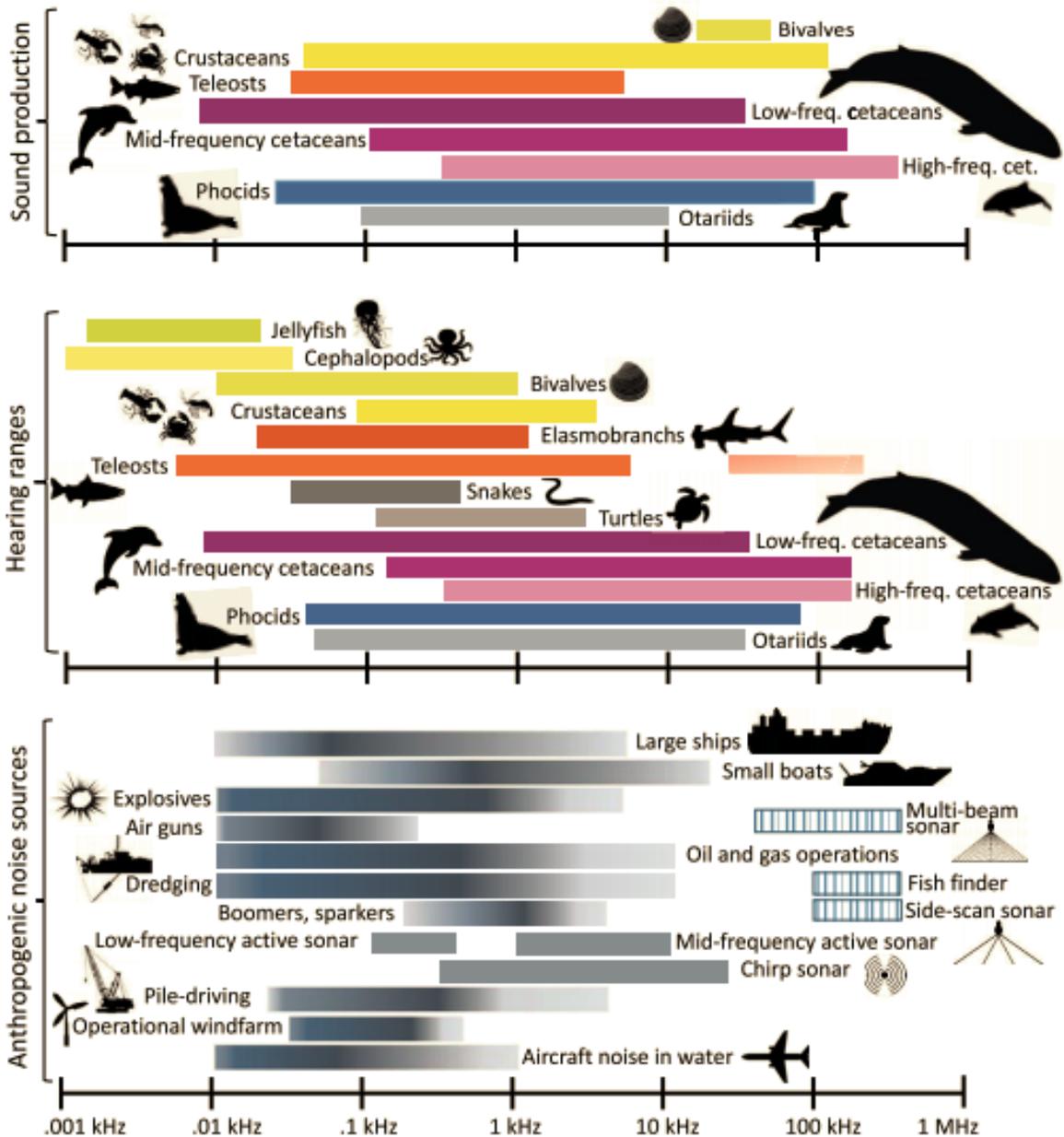


Figura 21. Sources and animal receivers of sound in the ocean soundscape (Duarte et al., 2021).

La figura 21, muestra un diagrama de Stommel en el que se puede observar una comparativa de tres niveles de los rangos de frecuencia: en el primero (de arriba hacia abajo) se encuentra la producción de sonido de diferentes grupos animales, en el segundo se observan los rangos audibles de estos mismos grupos y en el tercero se observan las más importantes fuentes de ruido antropológico. En esta infografía se puede observar claramente

la existencia del solapamiento de los rangos de frecuencia emitidos por el ruido de los diferentes tamaños de las embarcaciones con rangos acústicos (emitidos y receptados) de los cetáceos. En las islas Galápagos aún no existen estudios sobre acústica de misticetos y odontocetos. Por lo que es indispensable iniciar con estudios acústicos de base que permitan identificar sonidos de baja y alta frecuencia comúnmente usados en especies de cetáceos con mayor concentración o especies raras que puedan tener impactos negativos debido a la saturación de la contaminación acústica provocada por las embarcaciones turísticas a corto y largo plazo.

Posteriormente, cuando se obtenga la comparación entre los sonidos de las seis especies de cetáceos, tendremos que las especies de cetáceos que mayormente serán amenazadas por el solapamiento de las bajas frecuencias serán los misticetos (Ballena de Bryde, ballena azul y ballena jorobada) ya que para comunicarse a largas distancias usan frecuencias de onda corta para poder tener una alta resolución espacial y una menor pérdida por transmisión de sonido. Mientras que las frecuencias medias, serán las que mayor solapamiento tendrán con las vocalizaciones de las especies de odontocetos (Delfín común, delfín nariz de botella y la orca), ya que sus silbidos les sirven para comunicarse a cortas distancias.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En las últimas décadas, las poblaciones de cetáceos han declinado alrededor del mundo por diversos motivos, en especial por el tráfico de las embarcaciones que generan condiciones de contaminación acústica en los ecosistemas marinos. Este es un tema que ha llamado la atención en diversos campos de la investigación científica, en especial sobre la bioacústica. Resulta importante realizar estos estudios como línea base para determinar los posibles impactos que esta actividad de origen antropológico pueda causar en ecosistemas frágiles como las islas Galápagos en las que la actividad turística es primordial como fuente de ingresos económicos para la población galapagueña así como a nivel nacional.

Esta propuesta de investigación busca caracterizar y cuantificar la cantidad de energía, nivel de presión y rango de frecuencia emitido por las embarcaciones turísticas y las 6 especies de ballenas y delfines (*Baleoptera edeni*, *Baleoptera musculus*, *Megaptera novaeangliae*, *Delphinus delphis*, *Tursiops truncatus* y *Orcinus orca*). Estas se eligieron por ser las especies comúnmente observadas en el canal Bolívar ubicado al oeste del archipiélago de Galápagos (entre las islas Isabela y Fernandina).

Con los resultados de estas mediciones se puede establecer la necesidad de disminuir la cantidad de ruido marino emitido principalmente por las embarcaciones turísticas en la Reserva Marina de Galápagos; estableciendo regulaciones en la legislación ambiental. Lo que permitirá disminuir la contaminación acústica y así evitar el impacto para las especies y el frágil ecosistema de Galápagos. Adicionalmente, el producto de esta investigación servirá para que las empresas turísticas establezcan mejoras en los protocolos turísticos haciendo que su operación sea más sostenible y sustentable con el medio ambiente.

A partir de este estudio, se obtiene como producto una base de datos de bioacústica con la que se podría realizar una plataforma de acceso público. Lo que permitirá a cualquier persona interesada pueda utilizar esta información para fines investigativos e inclusive implementar un turismo virtual como atractivo turístico integrando los audios en los

recorridos de los centros de interpretación turística para ofrecer al visitante una visión integral y holística de la ecología de los cetáceos. Inclusive puede aportar a los fines de educación ambiental en las escuelas y colegios de los galapagueños. Finalmente, mi propuesta de investigación incentivará al desarrollo de nuevas investigaciones en el campo de la ecología acústica, el cual permita ampliar el muestreo a otras zonas de alta concentración de barcos y cetáceos poco estudiados en las islas Galápagos.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

FASES	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES	SUJETO DE ESTUDIO	Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	Enero	Febrero	Marzo		
				1 al 15	16 al 31	1 al 15	16 al 30	1 al 15	16 al 31	1 al 15	16 al 31	1 al 15	16 al 30	1 al 15	16 al 31	1 al 15	16 al 30	1 al 31	1 al 30	1 al 28	1 al 31		
Trabajo de campo	Toma de datos cetáceos	Reconocimiento; toma de datos; grabación sp	Baleonoptera edeni (Ballena de Bryde)																				
			Baleonoptera musculus (Ballena azul)																				
			Megaptera novaengliae (Ballena jorobada)																				
			Delphinus delphis (Delfín común)																				
			Tursiops truncatus (Delfín narís de botella)																				
			Orcinus orca (Orca)																				
	Toma de datos embarcaciones	Actualización de la tabla referencial según el tipo de motor																					
	Identificación; toma de datos; grabación de sonido embarcaciones																						
Trabajo de laboratorio	Análisis de datos	Medición de frecuencia y energía de sonido																					
		Procesamiento de datos																					
		Análisis estadístico deductivo: T student																					
Informe final	Resultados y recomendaciones	Descripción de resultados																					
		Riesgos, amenazas y recomendaciones de manejo ambiental																					
		Informe final																					

PRESUPUESTO

RECURSOS MATERIALES

FASE	DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES	ITEMS	DETALLE	#UNIDADES	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)	FUENTE DE FINANCIAMIENTO
Toma de datos cetáceos y embarcaciones							
Trabajo de campo	Reconocimiento; toma de datos; grabación sp; actualización de la tabla referencial según el tipo de motor; Identificación; toma de datos; grabación de sonido embarcaciones	Hidrófono	Marca Dolphin Pro	1	\$ 194,00	\$ 194,00	CETACEA ECUADOR
		Grabadora digital	Marca TASCAM	1	\$ 335,00	\$ 335,00	
		Computadora portatil	HP	1	\$ 800,00	\$ 800,00	
		Go Pro Hero 9		2	\$ 715,00	\$ 1.430,00	
		Binoculares	Larga distancia	2	\$ 350,00	\$ 700,00	
		GPS	Marca GARMIN	1	\$ 534,00	\$ 534,00	
		Láser de distancia		1	\$ 99,00	\$ 99,00	
Análisis de datos							
Trabajo de laboratorio	Medición de frecuencia y energía de sonido; procesamiento de datos; análisis estadístico deductivo: T student	Software	Raven Pro (versión 1.6.1)	1	\$ 300,00	\$ 300,00	CONSERVACIÓN INTERNACIONAL
		Internet		1		\$ 0,00	
		Computadora portatil	HP	2	\$ 800,00	\$ 1.600,00	
Total						\$ 5.992,00	

RECURSOS HUMANOS Y MOVILIZACIÓN

FASE	DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES	ITEMS	DETALLE	# UNIDADES	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)	FUENTE DE FINANCIAMIENTO
Trabajo de campo	Toma de datos cetáceos y embarcaciones	Biólogo/a (Especialista Acústico/a)	1 profesional x 11 meses	11	\$ 2.500,00	\$ 27.500,00	PNUD
		Biólogo/a Marino	1 profesional x 11 meses	11	\$ 2.500,00	\$ 27.500,00	
		Viaticos	7 viajes (15 días al mes) x 2 personas	14	\$ 800,00	\$ 11.200,00	
Trabajo de laboratorio	Análisis de datos	Experto en Estadística	1 profesional x 4 meses	4	\$ 2.000,00	\$ 8.000,00	
		Ayudante de Laboratorio	1 profesional x 7 meses	2	\$ 1.000,00	\$ 2.000,00	
Informe final	Resultados y recomendaciones	Movilización	25 dolares x 33 meses	33	\$ 25,00	\$ 825,00	
		Oficina	Instalaciones para 4 personas X 11 meses	11	\$ 250,00	\$ 2.750,00	PNG
Total						\$ 79.775,00	

CUADRO DE RESUMEN PRESUPUESTARIO

SUBTOTAL	Recursos Materiales	\$ 5.992,00
	Recursos Humanos y movilización	\$ 79.775,00
TOTAL		\$ 85.767,00

LITERATURA CITADA

- Alarcón, D. E. (2012). Análisis de la abundancia relativa y distribución de cetáceos en el canal Bolívar (Isabela), Galápagos (Bachelor's thesis).
- Caldwell, M. C., y Caldwell, D. K. (1965). Individualized whistle contours in bottle-nosed dolphins (*Tursiops truncatus*). *Nature*, 207(4995), 434-435.
<https://doi.org/10.1038/207434a0>
- Chu, K., y Harcourt, P. (1986). Behavioral correlations with aberrant patterns in humpback whale songs. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 19(5), 309-312.
- Cockcroft, V. G. (1991). Incidence of shark bites on Indian Ocean hump-backed dolphins (*Sousa plumbea*) off Natal, South Africa. *Cetaceans and Cetacean Research in The Indian Ocean Sanctuary*, 277-282.
- Duarte, C., Chapuis, L., Collin, S., Costa, D., Devassy, R., Eguiluz, V., Erbe, C., Gordon, T., Halpern, B., Harding, H., Havlik, M., Meekan, M., Merchant, N., Miksis-Olds, J., Parsons, M., Predragovic, M., Radford, A., Radford, C., Simpson, S., Slabbekoorn, H., Staaterman, E., Van, I., Winderen, J., Zhang, X., y Juanes, F. (2021). The soundscape of the Anthropocene ocean. *Noise Pollution*.
<https://doi.org/10.1126/science.aba4658>
- Denkinger, J., Oña, J., Alarcón, D., Merley, G., Salazar, S., y Palacios, D. M. (2013). From whaling to whale watching: Cetacean presence and species diversity in the Galapagos Marine Reserve. Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
- Evans, P. G., Canwell, P. J., y Lewis, E. J. (1992). An experimental study of the effects of pleasure craft noise upon bottle-nosed dolphins in Cardigan Bay, West Wales. *European Research on Cetaceans*, 6, 43-46.
- Finley, K. J., Miller, G. W., Davis, R. A., y Greene, C. R. (1990). Reactions of belugas, *Delphinapterus leucas*, and narwhals, *Monodon monoceros*, to ice-breaking ships in the Canadian high arctic. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences*.
- Flores, S. (2012). Análisis del sistema logístico marítimo de las islas Galápagos y estimación de su huella ecológica (disertación de pregrado no publicado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
- Gordon, J. C. D., Gillespie, D., Potter, J., Frantzis, A., Simmonds, M. P. y Swift, R. (1998). The Effects of Seismic Surveys on Marine Mammals. *Seismic and Marine Mammals Workshop*, London, UK.

- Gordon, J. y Moscrop, A. (1996). Underwater noise pollution and its significance for whales and dolphins. *Conservation of Whales and Dolphins* (ed. M.P. Simmonds y J.D. Hutchinson), 281-319. New York: Wiley and Sons.
- Heathershaw, A. D., Ward, P. D., Jones, S. A. S., y Rogers, R. (1997). Understanding the impact of sonars on the marine environment. *Proceedings-institute of acoustics*, 19, 51-64.
- Helweg, D. A., Frankel, A. S., Mobley, J. R., y Herman, L. M. (1992). Humpback whale song: Our current understanding. *Marine Mammal Sensory Systems* (pp. 459-483). Springer, Boston, MA.
- Day, D. (1994). Lista de cetaceos vistos en Galapagos. *Noticias de Galapagos*, 51, 7-8.
- Dirección del Parque Nacional Galápagos y Observatorio de Turismo de Galápagos. (2016). Informe anual de visitantes a las áreas protegidas de Galápagos 2016. Galápagos – Ecuador.
- Dirección del Parque Nacional Galápagos. (2019). Informe anual de visitantes a las áreas protegidas de Galápagos del año 2019. Galápagos - Ecuador.
- Félix, F. (2015). Guía de campo para la observación de ballenas jorobadas en la costa de Ecuador. Museo de Ballenas, Secretaría Técnica del Mar y Conservación Internacional Ecuador. Quito. 72 p.
- IUCN. (2020). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-3. <https://www.iucnredlist.org>
- Jefferson, T. A., Stacey, P. J., y Baird, R. W. (1991). A review of killer whale interactions with other marine mammals: predation to co-existence. *Mammal Review*, 21(4), 151-180.
- Ketten, D. R. (1992). The marine mammal ear: specializations for aquatic audition and echolocation. *The evolutionary biology of hearing* (pp. 717-750). Springer, New York, NY.
- Ketten, D. R. (1997). Structure and function in whale ears. *Bioacoustics*, 8(1-2), 103-135.
- Mackay, R. S., y Pegg, J. (1988). Debilitation of prey by intense sounds. *Marine Mammal Science*, 4(4), 356-359.
- McCauley, R. D., Fewtrell, J., Duncan, A. J., Jenner, C., Jenner, M. N., Penrose, J. D., y McCabe, K. (2000). Marine seismic surveys—a study of environmental implications. *The APPEA Journal*, 40(1), 692-708.
- Moscrop, A., y Swift, R. (1999). *Atlantic Frontier Cetaceans: Recent research on distribution, ecology and impacts*.

- Norris, K. S., y Mohl, B. (1983). Can odontocetes debilitate prey with sound? *The American Naturalist*, 122(1), 85-104.
- Nowacek, D. P., Thorne, L. H., Johnston, D. W., y Tyack, P. L. (2007). Responses of cetaceans to anthropogenic noise. *Mammal Review*, 37(2), (pp. 81-115). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2007.00104.x>
- Denkinger, J., Oña, J., D., Merlen, G., Salazar, S., y Palacios, D. M. (2013). From whaling to whale watching: cetacean presence and species diversity in the Galapagos Marine Reserve. *Science and Conservation in the Galapagos Islands* <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5794-7>.
- Dirección del Parque Nacional Galápagos. (2014). Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador
- Forryan, A., Garabato, A. C. N., Vic, C., Nurser, A. G., y Hearn, A. R. (2021). Galápagos upwelling driven by localized wind–front interactions. *Scientific reports*, 11(1), 1-12.
- Perry, C. (1998, April). A review of the impact of anthropogenic noise on cetaceans. En *Scientific Committee at the 50th Meeting of the International Whaling Commission* (Vol. 27, p. 3).
- Pirotta, E., Milor, R., Quick, N., Moretti, D., Di Marzio, N., Tyack, P., ... & Hastie, G. (2012). Vessel noise affects beaked whale behavior: results of a dedicated acoustic response study. *PLoS One*, 7(8), e42535.
- Sayigh, L. S., Tyack, P. L., Wells, R. S., y Scott, M. D. (1990). Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*: stability and mother-offspring comparisons. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 26(4), 247-260.
- Sayigh, L. S., Tyack, P. L., Wells, R. S., Solow, A. R., Scott, M. D., e Irvine, A. B. (1999). Individual recognition in wild bottlenose dolphins: a field test using playback experiments. *Animal Behaviour*, 57(1), 41-50.
- Shapiro Le y Da Dewsbury. (1986). Male dominance, female choice and male copulatory behavior in two species of voles (*Microtus ochrogaster* and *Microtus montanus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 18:267-274.
- Simmonds, M., Dolman, S., y Weilgart, L. (2003). Oceans of noise: A WDCS science report. *Whale and Dolphin Conservation Society*, 164.
- Swan, J. M., Neff, J. M., y Young, P. C. (1994). Environmental implications of offshore oil and gas development in Australia. The finding of an independent scientific review.

- Thompson, T. J., Winn, H. E., y Perkins, P. J. (1979). *Mysticete sounds. Behavior of marine animals* (pp. 403-431). Springer, Boston, MA.
- Tyack, P. (1981). Interactions between singing Hawaiian humpback whales and conspecifics nearby. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 8(2), 105-116.
- Tyack, P. L., y Clark, C. W. (2000). Communication and acoustic behavior of dolphins and whales. *Hearing by whales and dolphins* (pp. 156-224). Springer, New York, NY.
- Tyack, P. L. (1997). Studying how cetaceans use sound to explore their environment. *Communication* (pp. 251-297). Springer, Boston, MA.
- Weilgart, L. S. (2007). The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Canadian Journal of Zoology*, 85(11), 1091-1116.
- Wiggins, S. M., Oleson, E. M., y Hildebrand, J. A. (2001). Blue whale call intensity varies with ambient noise level. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 110(5), 2771-2771.
- Zagaeski, M. (1987). Some observations on the prey stunning hypothesis. *Marine Mammal Science*, 3(3), 275-279.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de registro de los resultados del ruido de las embarcaciones turísticas.

Operador turístico	Tipo de embarcación	# embarcaciones	Capacidad de pax	Tipo de motor (rpm)	# motores	Velocidad min	Velocidad max	Frecuencia baja	Frecuencia alta	Energía	SPL/SEL
Tour de crucero navegable	Buque										
	Catamarán										
	Velero										
	Yate										
Tour de buceo navegable	Buque										
	Catamarán										
	Velero										
	Yate										
Tour diario	Lancha										
Tour diario de buceo	Lancha										
Tour de bahía	Taxi acuático										
Pesca vivencial	Taxi acuático										

Anexo 2. Ficha de registro de los resultados del sonido de los cetáceos.

Orden	Nombre común	Nombre científico	n	Señal acústica	Tipo de frecuencia	Frecuencia baja	Frecuencia alta	Energía	SPL/SEL
Mysticeto	Ballena de Bryde	<i>Baleonoptera edeni</i>			Frecuencia baja				
Mysticeto	Ballena azul	<i>Baleonoptera musculus</i>			Frecuencia baja				
Mysticeto	Ballena jorobada	<i>Megaptera novaeanglie</i>			Frecuencia baja				
Odontoceto	Delfín común	<i>Delphinus delphis</i>			Frecuencia media				
Odontoceto	Delfín nariz de botella	<i>Tursiops truncatus</i>			Frecuencia media				
Odontoceto	Orca	<i>Orcinus orca</i>			Frecuencia media				